

生物质炭基氮肥中试制备工艺与特性分析*

张雯 耿增超 何绪生 陈心想

(西北农林科技大学资源环境学院, 陕西杨凌 712100)

摘要:以生物质炭为载体,分别采用简单掺混、固液吸附和化学反应工艺将生物质炭与硝酸铵进行复合,制备了3种炭基氮肥,并对其主要性质和缓释特征进行了分析与评价。结果表明,3种炭基氮肥的pH值较生物质炭均有所下降;采用化学反应工艺制备的炭基氮肥负载硝酸铵最多,其次是吸附工艺,最少的为掺混工艺,且反应型炭基氮肥比吸附型和掺混型对硝酸铵的吸持作用更强。3种生物质炭基氮肥在水溶液中的累积释放规律符合“S”型释放模型;相比于硝酸铵,3种炭基氮肥均对氮素起到控释效果,且以反应型炭基氮肥的控释效果最佳。

关键词: 生物质炭 炭基氮肥 制备工艺 特性分析

中图分类号: S145.6 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2014)03-0129-05

引言

氮肥是作物生产中用量最大,增产作用明显但环境风险最大的肥料^[1],国际上氮肥的作物利用率仅在33%左右^[2],氮肥资源浪费非常严重,故缓/控释肥应运而生。生物质炭作为近年来新兴的多功能材料,多应用在改良土壤理化性质^[3-4]上,作为养分载体应用于缓/控释肥的研究目前还较少。

生物质炭是生物有机材料(生物质)在缺氧及低氧环境中经热裂解后的固体产物,可将每年植物生产中废弃生物质固定的大气二氧化碳转化为生物质炭这种碳的封存剂^[5],一方面起到碳减排作用,另一方面又可改良土壤、提高作物产量^[6],已成为全球科学研究和媒体关注的焦点。有研究表明,生物质炭具有大的比表面积,表现为较强的吸附能力和离子交换性能^[7],且其富含反应性化学官能团,基于以上特性,生物质炭可作为肥料的缓释载体,延缓肥料养分在土壤中的释放,降低肥料养分的淋溶及固定等损失,提高肥料养分利用率^[8-9]。此外,生物质炭基肥料在其养分释放完成后,仍可发挥土壤改良剂的作用。

本文以环境友好型生物质炭为缓释载体,通过3种完整、不同的中试工艺制备炭基氮肥,并研究生物质炭基氮肥的性质与缓释特征,以期对生物质炭在缓释肥研究生产上的应用提供参考。

1 材料与方 法

1.1 材 料

1.1.1 肥料原料

研究所用原料的组成包括:粒径小于1mm的硝酸铵(AR),25%的氨水和50%的硝酸溶液。

1.1.2 生物质炭材料

供试生物质炭材料来自陕西亿鑫生物能源科技开发有限公司,为农业废弃生物质材料在450℃裂解炉限氧环境下生产,其比表面积为86.70 m²/g,灰分质量分数为13.98%,密度为1.11 g/cm³。

1.2 主要仪器与设备

中试设备反应釜,电热恒温鼓风干燥箱,Vario EL III型元素分析仪,DELTA320型pH计,日立S-3400N型扫描电子显微镜,Nicolet NEXUS 470型傅里叶红外光谱仪,高压蒸汽灭菌锅,紫外分光光度计等。

1.3 生物质炭基氮肥的制备工艺

1.3.1 简单掺混型

将35份硝酸铵与65份生物质炭于搅拌器中充分搅拌均匀即得目标生物质炭基氮肥。

1.3.2 固-液吸附型

将35份硝酸铵溶于100份蒸馏水中,待其溶解充分后,再倾入65份生物质炭于该硝酸铵溶液中,边加边搅拌,搅拌30 min使其充分混匀,平衡24 h后风

收稿日期:2013-03-31 修回日期:2013-05-28

*农业部“948”项目(2010-Z19)、林业局“948”项目(2009-4-64)、陕西省攻关项目(2010K02-12-1)和陕西省自然科学基金基础研究计划资助项目(2010JM5004)

作者简介:张雯,博士生,主要从事养分有效化利用研究,E-mail: suyanyihen@126.com

通讯作者:耿增超,教授,主要从事森林土壤及农业废弃物转化研究,E-mail: gengzengchao@126.com

干或于 60℃ 下加热干燥,得吸附型生物质炭基氮肥。

1.3.3 化学反应型

①30% 的硝酸溶液:分取 50% 的硝酸 6 份,加入 4 份蒸馏水搅拌均匀得 10 份 30% 的硝酸溶液。②15% 的氨水:分取 25% 的氨水 12 份,加入 8 份蒸馏水后制得 20 份 15% 的氨水。③向反应釜内加入 9.5 份溶液①,随后倾入生物质炭 6.5 份,边加边搅拌,加完后搅拌 15 min。④在前述反应釜内加入溶液②7 份,边加边搅拌,加完后将反应釜的加料口封闭,并继续搅拌 30 min,放置 24 h 后打开反应釜底部卸料口,开动搅拌机,从卸料口用容器收集反应产物。⑤用溶液①调节收集产物的 pH 值至中性后,自然风干或于 60℃ 电热恒温鼓风干燥箱中加热干燥,产物即为反应型生物质炭基氮肥。

1.4 生物质炭基氮肥的特性分析

1.4.1 元素分析

取少量过 1 mm 筛的 3 种干燥后的生物质炭基氮肥,用 Vario EL III 型元素分析仪在 CHN 模式下分析其元素含量。

1.4.2 pH 值的测定

称取 1 g 过 1 mm 筛的 3 种干燥后的生物质炭基氮肥,以水肥质量比为 25:1 用 DELTA 320 pH 计测定样品的 pH 值。

1.4.3 微观形态的观察

3 种生物质炭基氮肥的微观形态采用日立 S-3400N 型扫描电子显微镜观察,并记录其扫描成图像。

1.4.4 红外光谱分析

取 3 种生物质炭基氮肥粉末样品少量,分别与 KBr 一起压片制备成红外扫描样品,用 Nicolet NEXUS 470 型傅里叶红外光谱仪在 400~4 000 cm^{-1} 范围内扫描并记录红外光谱图。

1.5 生物质炭基氮肥缓释特征的评价

1.5.1 氮素累积水溶出率

本试验是在文献[10]所述方法的基础上进行适当改进而进行的。

①称取过 1 mm 筛的 3 种干燥后的生物质炭基氮肥 2.0 g (准确至 0.01 g) 放入直径 150 μm (100 目) 尼龙纱网做成的小袋中,封口。②将小袋

缓慢放入加有 200 mL 蒸馏水的烧杯中,用保鲜膜密封后置于 25℃ 的生化恒温培养箱中。③每隔 24 h 取样一次,每次取样 10 mL,取样后再补进相等量的蒸馏水,如此反复 7 次。④水样采用碱性过硫酸钾消解-紫外分光光度法测定^[11] 全氮含量。⑤试验重复 3 次,并设置对照。

1.5.2 土柱淋洗

①试验所用土柱淋洗管为自制底部带孔的 PP 塑料量筒,高 35 cm,内径 6.6 cm,筒内装风干土(通过孔径 2 mm 的筛)820 g,土层高度 20 cm,土壤紧实度为 1.20 g/cm^3 。土柱中均匀混入 0.64 g 3 种炭基氮肥或 0.22 g 硝酸铵(纯氮素 225 kg/hm^2),重复 3 次,并设置对照。②通过预试验,以第 1 天加蒸馏水 300 mL,之后每天加水 100 mL 为宜。土柱加水前在土柱表层覆盖 2 张滤纸,用输液管控制水流速度,以水流入土柱的量与淋出量大致相同为宜。并以保鲜膜覆盖 PP 塑料量筒。③每隔 24 h 取样一次,每次定容至 100 mL。连续取样 15 d,水样中的总氮含量同静置水溶出率的水样测定,用碱性过硫酸钾消解-紫外分光光度计比色。

1.6 数据的统计与分析

数据的统计采用 Microsoft Office Excel 2003 软件进行;方差分析及多重比较采用 DPS 7.05 软件进行;红外光谱图像的处理采用 Origin 7.0 软件进行。

2 结果与分析

2.1 生物质炭负载硝酸铵前后的元素及酸碱度变化

本文所采用的生物质炭主要元素为碳,其质量分数高达 72.38%,其次还包括氧、氢、氮和少量灰分元素。所制备的 3 种生物质炭基氮肥由于负载了硝酸铵,氮素含量均有所增加。其中,负载氮素含量最多的是经化学反应工艺制备的炭基氮肥,其次是吸附型,相对较少的是掺混型。相应地,3 种炭基氮肥的含碳量较原生物质炭材料大幅度降低。此外,由表 1 还可看出,虽然反应型炭基氮肥负载了大量的硝酸铵,但其氢元素含量却低于吸附型,其原因可能是制备反应型炭基氮肥所用的氨水在操作过程中有较多的挥发,使反应型炭基氮肥中含 NO_3^- -N 较多,而 NH_4^+ -N 较少。

表 1 生物质炭与生物质炭基氮肥元素分析及酸碱度

Tab. 1 Elemental analysis and pH value of biochar and biochar-based nitrogenous fertilizers

样品	C 质量分数/%	O 质量分数/%	N 质量分数/%	H 质量分数/%	pH 值
生物质炭	72.38	23.81	1.19	2.62	9.99 ± 0.006 ^a
掺混型炭基氮肥	46.93	36.32	13.37	3.38	7.07 ± 0.006 ^b
吸附型炭基氮肥	46.51	36.12	13.75	3.62	6.95 ± 0.02 ^c
反应型炭基氮肥	43.96	37.23	15.38	3.44	6.79 ± 0.15 ^d

本文所采用的生物质炭 pH 值为 9.99, 具有较强的碱性, 这是由于其含有较多的盐基离子(如钙、镁、钾、钠等), 此亦决定了生物质炭具有降低氢离子和交换性铝离子水平并显著提高土壤 pH 值的作用^[12-13], 对于改良南方酸性土壤意义重大。在生物质炭负载硝酸铵后, 生物质炭上吸附的硝酸根离子和铵根离子占据了原来盐基离子的吸附点位, 使得其 pH 值显著降低, 均接近中性, pH 值降低后的炭基氮肥应用范围也将更加广泛。

2.2 生物质炭基氮肥微观形态观察

生物质炭基氮肥表面结构特征的电镜扫描(SEM)观察表明, 生物质炭材料截面粘有少量的杂质, 可能是生物质炭中灰分元素形成的盐晶体(图 1a)。在 1 500 倍数下可以看到, 生物质炭有大量微孔, 且大小不一、形状各异、表面光滑、排列紧密, 该结构为更有效地吸持硝酸铵提供了场所。

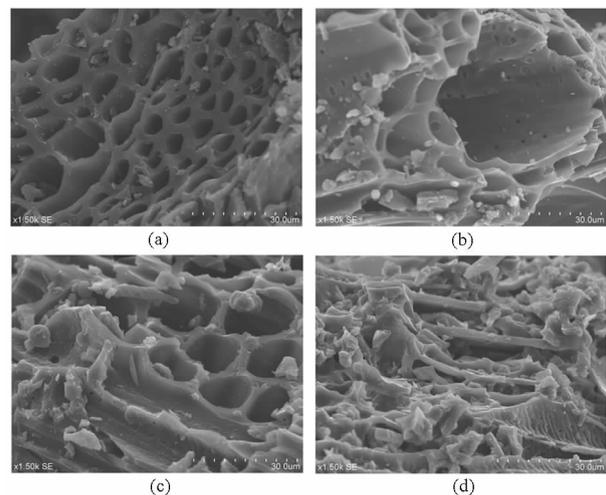


图 1 生物质炭及炭基氮肥 SEM 图像

Fig. 1 SEM micrographs of biochar and biochar-based nitrogenous fertilizers

- (a) 生物质炭 (b) 掺混型炭基氮肥
(c) 吸附型炭基氮肥 (d) 反应型炭基氮肥

从图 1b 掺混型炭基氮肥的 SEM 图像可看出, 生物质炭微孔表面零星分布着发白的颗粒状物质, 可能是吸附的硝酸铵颗粒, 但量极少。从图 1c 的扫描图像不难看出, 生物质炭断裂的管壁及棱上吸附了大量晶体状、片状物质, 应是吸附上去的硝酸铵, 且负载量多于掺混型炭基氮肥。图 1d 中该表象更为明显, 在生物质炭截面的微管中布满了形状不规则的晶体物质, 即吸附的硝酸铵, 其负载量之大甚至模糊了炭材料断面的微结构。图 1 反映出通过不同工艺制备的 3 种炭基氮肥负载的硝酸铵差异很大, 此与表 1 中元素分析的结果一致, 也类似于高海英等^[14]小试试验的研究结果。

2.3 生物质炭基氮肥红外光谱分析

由图 2 可见, 生物质炭材料几个主要吸收峰的位置出现在 3 450、1 940、1 430 cm^{-1} 附近。据研究^[15], 上述谱峰的归属一般认为是: 3 450 cm^{-1} 附近的吸收峰为—OH 伸缩振动峰, 表面基团可能为羧基或羰基; 1 940 cm^{-1} 为 C=O 的反对称伸缩振动峰; 1 430 cm^{-1} 为 C—O 特征吸收峰; 而出现在 3 000 cm^{-1} 附近较为密集的峰则为烯烃或芳环的伸缩振动频率区, 说明生物质炭中的碳大多以双键、芳香环存在, 其结构很稳定。而生物质炭表面丰富的羟基、羧基和羰基等化学性官能团则赋予了生物质炭强大的吸附性能使其能够吸附硝酸铵, 即制备的生物质炭基氮肥与常规硝酸铵相比, 具有一定的缓释效果。

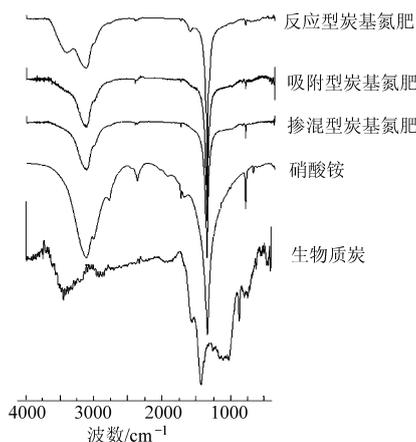


图 2 生物质炭、硝酸铵及炭基氮肥的红外光谱图

Fig. 2 IR spectra of biochar, ammonium nitrate and biochar-based nitrogenous fertilizers

反应工艺制备的炭基氮肥红外光谱图在长波数段出现了 2 个吸收峰(3 425 cm^{-1} 和 3 130 cm^{-1}), 生物质炭的羟基吸收峰末端在炭基氮肥吸收峰中明显出现, 硝酸铵 NH_4^+ 的 N—H(3 130 cm^{-1}) 的吸收峰弱化并移向高波数, 说明羟基和 NH_4^+ 形成了强烈的氢键作用。反应型炭基氮肥 1 380 cm^{-1} 处是 NO_3^- 的特征吸收峰, 在 820 ~ 1 300 cm^{-1} 范围内的弱化吸收波线也是弯曲振动峰 NO_3^- 与生物质炭 C—O 振动吸收峰的作用, 说明二者与其他基团之间有较强的氢键作用, 类似的现象在吸附工艺和掺混工艺的炭基氮肥中也有出现, 只是这两者在长波数段的吸收峰只出现在 3 130 cm^{-1} 附近, 即硝酸铵中 NH_4^+ 的 N—H 伸缩振动吸收峰, 说明硝酸铵与生物质炭之间并未发生结构上明显的化学变化。但是吸附工艺炭基氮肥在高波数段和指纹区的吸收峰强度都小幅度高于掺混型, 这主要是吸附型炭基氮肥在硝酸铵与生物炭作用后, 硝酸铵分子与生物炭的化学基团形成了分子间氢键, 削弱了硝酸铵分子间及分子

内氢键作用,也使得硝酸铵与生物质炭的结合增强,更利于铵离子的吸附,这也是吸附工艺的缓释效果优于掺混工艺的原因所在。此外,3种炭基氮肥在 820 cm^{-1} 处的吸收峰是硝酸铵存在的特征吸收峰,这表明在炭基氮肥中存在硝酸铵晶体物质。综上分析,此3种生物质炭基氮肥对氮素养分的吸持作用从大到小依次为反应工艺、吸附工艺、掺混工艺。

2.4 生物质炭基氮肥养分缓释特征的评价

2.4.1 氮素累积水溶出率

由图3可以看出,25℃静置水中3种生物质炭基氮肥的氮素累积溶出曲线均呈“S”型,掺混型、吸附型和反应型炭基氮肥的氮素累积水溶出率分别为68.95%、49.52%、35.63%,均超过了欧洲标准委员会对缓释肥料所规定的15%的标准^[16],且三者的7d累积释放率均超过80%,养分释放期虽得以延长,但是距缓释肥料的标准要求尚有差距。分析其原因,生物质炭对硝酸铵晶体的吸持仅为较弱的静电引力或化学键的物理吸附,甚至有些肥料晶体只是附着在生物质炭表面,因而所复合炭基氮肥的缓释效果有限。

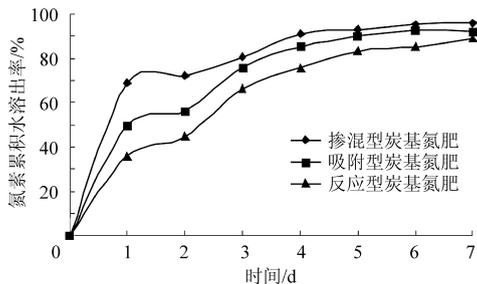


图3 生物质炭基氮肥氮素累积水溶出率

Fig.3 Percentage of accumulated release of biochar-based nitrogenous fertilizers in water

掺混型生物质炭基氮肥的氮素初始溶出率和累积溶出率依次高于吸附型和反应型,即反应型的缓释效果最优,吸附型和掺混型次之;表明炭基氮肥的制备工艺影响了生物质炭对硝酸铵的吸持强度,导致了其养分释放特征的差异。掺混型炭基氮肥除部分硝酸铵被生物质炭吸附外,尚有大量硝酸铵晶体以颗粒状掺杂在生物质炭中,因此缓释作用最弱。反应型炭基氮肥之所以较吸附型缓释效果好是由于生物质炭对反应过程中硝酸铵的物理吸附及附着作用更为彻底所致,同时其吸持强度也大于吸附型。

2.4.2 土柱淋洗

从土柱淋洗氮素累积淋出率图(图4)可以看出,添加硝酸铵的对照土柱在淋洗第2天的氮素释放率已达到80%,此后土壤中氮素的释放水平趋于稳定,类似的规律在生物质炭基氮肥上则出现在第4天。淋洗过程中,反应型炭基氮肥的氮素累积释

放率依次低于吸附型和掺混型,这与各种炭基氮肥静置水溶出率的差异趋势一致。通过15d的淋洗,硝酸铵对照及掺混型、吸附型、反应型生物质炭基氮肥的氮素累积释放率分别达到94%、86%、78%和66%,掺混、吸附和反应工艺的炭基氮肥的养分释放率都要低于对照肥料硝酸铵,这说明通过吸附和化学反应工艺将硝酸铵负载到生物质炭载体材料有延迟氮素养分释放的作用,即可以制备生物质炭基缓释氮肥。

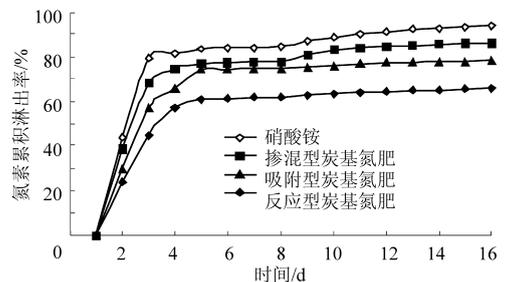


图4 生物质炭基氮肥土柱淋洗氮素累积淋出率

Fig.4 Percentage of cumulative nitrogen leachate of biochar-based nitrogenous fertilizers in soil column

高海英^[17]的吸附型木炭基氮肥初始释放率为18.86%,略高于缓控释标准,但优于本研究结果。且其小试试验制备的反应型竹炭基基氮肥的初始释放率及氮素累积水溶出率均达到了缓控释标准,氮素养分淋洗也呈现较为标准的“S”或“双S”型释放模式,这主要是其生物质炭材料采用的是比表面积达 $148\text{ m}^2/\text{g}$ 的竹炭,相当于市场上的活性炭,具有很强的吸附性能,较本研究的木炭比表面积大近2倍。此外,本研究中的生物质炭虽然是粉碎后的木炭材料,但是总体来讲,颗粒较大,直径在5mm左右,在炭基氮肥制备过程中,由于平衡时间或是外界压强不够使得硝酸铵并未深入到生物质炭的微管中,也是该研究炭基氮肥缓释效果不理想的原因。

3 讨论

结合当前的试验结果及存在的问题,生物质炭基氮肥的制备工艺应进一步优化改进,拟改进工艺可从两个方面进行:其一是将生物质原料进一步加工磨细,并通过在制备过程中施加压力,再延长其平衡时间使得生物质炭更彻底的吸附硝酸铵;其二是以磨成粉末状的生物质炭作为包裹材料,通过调节包裹层的厚度与粘结剂和密封剂的使用量,生产出不同释放模式的生物质炭包膜控释肥,满足不同作物对营养的需求规律。

采用生物质炭作为肥料负载载体,来源广泛,且环境友好,不仅为当前废弃生物质提供了处理途径,施入土壤后又能改善土壤的理化性质达到改良土壤

的效果,而且在其负载肥料后又能对养分起到一定的缓控释作用,具备很好的推广应用价值。

4 结论

(1)本次中试试验的供试生物质炭材料含碳量高,富含盐分,碱性强,在负载硝酸铵后碱度下降,使得其使用范围更加广泛。

(2)通过 SEM 观察,3 种生物质炭基氮肥负载硝酸铵的量有明显差异,以反应工艺的炭基氮肥负载量最大,吸附工艺的炭基氮肥次之,掺混型炭基氮

肥最少。红外光谱图谱分析则显示,反应工艺的炭基氮肥中存在较为强烈的氢键及化学作用,故比吸附工艺和掺混工艺的炭基氮肥对硝酸铵具有更强的吸持作用。

(3)土柱淋洗的氮素淋出率结果表明,3 种生物质炭基氮肥均在一定程度上对氮素的释放起到了控释的效果,其中以反应型炭基氮肥控释效果最佳,与静置水溶出率结果一致,也与红外光谱分析结果相吻合。

参 考 文 献

- 1 金继运,李家康,李书田. 化肥与粮食安全[J]. 植物营养与肥料学报, 2006, 12(5): 601-607.
Jin Jiyun, Li Jiakang, Li Shutian. Chemical fertilizer and food security[J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2006, 12(5): 601-607. (in Chinese)
- 2 Cassman K G, Dobermann A, Walters D T. Agroecosystems nitrogen-use efficiency and nitrogen management [J]. Ambio, 2002, 31(2): 132-140.
- 3 黄剑,张庆忠,杜章留,等. 施用生物炭对农田生态系统影响的研究进展[J]. 中国农业气象, 2012, 33(2): 232-239.
Huang Jian, Zhang Qingzhong, Du Zhangliu, et al. Research advances in effects of biochar application on agroecosystem [J]. Chinese Journal of Agrometeorology, 2012, 33(2): 232-239. (in Chinese)
- 4 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 Qianfeng, Wang Guanghua. Research progress of physicochemical properties of biochar and its effects as soil amendments [J]. Soil and Crop, 2012, 1(4): 219-226. (in Chinese)
- 5 何绪生,耿增超,余雕,等. 生物炭生产与农用的意义及国内外动态[J]. 农业工程学报, 2011, 27(2): 1-7.
He Xusheng, Geng Zengchao, She Diao, et al. Implications of production and agricultural utilization of biochar and its international dynamic [J]. Transactions of the CSAE, 2011, 27(2): 1-7. (in Chinese)
- 6 Schmidt M W I, Noack A G. Black carbon in soils and sediments: analysis, distribution implications, and current challenges [J]. Global Biogeochemical Cycles, 2000, 14(3): 777-793.
- 7 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 Xusheng, Zhang Shuqing, She Diao, et al. Effects of biochar on soil and fertilizer and future research [J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2011, 27(15): 16-25. (in Chinese)
- 8 钟雪梅,朱义年,刘杰,等. 竹炭包膜对肥料氮淋溶和有效性的影响[J]. 农业环境科学学报, 2006, 25(增刊): 154-157.
Zhong Xuemei, Zhu Yinian, Liu Jie, et al. Influence of bamboo-charcoal coating on N leaching and effectiveness of fertilizers [J]. Journal of Agro-Environment Science, 2006, 25(Supp.): 154-157. (in Chinese)
- 9 Magrini-Bair K A, Czernik S, Pilath H M, et al. Biomass derived, carbon sequestering, designed fertilizers [J]. Annals of Environmental Science, 2009, 3: 217-225.
- 10 GB/T 23348—2009 缓释肥料[S]. 2009.
- 11 HJ 636—2012 水质 总氮的测定 碱性过硫酸钾消解紫外分光光度法[S]. 2012.
- 12 Masulili A, Utomo W H, Syechfani M S. Rice husk biochar for rice based cropping system in acid soil 1. The characteristics of rice husk biochar and its influence on the properties of acid sulfate soils and rice growth in west Kalimantan, Indonesia [J]. Journal of Agricultural Science, 2010, 2(1): 39-47.
- 13 Novak J M, Lima I, Xing Baoshan, et al. Characterization of designer biochar produced at different temperatures and their effects on a loamy sand [J]. Annals of Environmental Science, 2009, 3: 195-206.
- 14 高海英,陈心想,张雯,等. 生物质炭及炭基硝酸铵肥料理化性质研究[J]. 干旱地区农业研究, 2012, 30(2): 14-20.
Gao Haiying, Chen Xinxiang, Zhang Wen, et al. A study on physicochemical properties of biochar and biochar-based ammonium nitrate fertilizers [J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2012, 30(2): 14-20. (in Chinese)
- 15 赵兆兴,孙祥玉. 光谱解析与有机结构鉴定[M]. 合肥: 中国科学技术大学出版社, 1992: 97-165.
- 16 Trenkel M E. Controlled release and stabilized fertilizers in agriculture [M]. Paris: IFA, 1997.
- 17 高海英. 一种生物炭基氮肥的特征及其对土壤作物的效应研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2012.

Root Distribution in Strip Intercropping Field under Different Growth Period and Different Soil Water

Li Xianyue Shi Haibin Gong Xuwen Peng Zunyuan Li Zhen Yan Jianwen

(College of Water Conservancy and Civil Engineering, Inner Mongolia Agricultural University, Huhhot 010018, China)

Abstract: It is the primary factor to influence the completion and utilization efficiency of water and fertilizer for the root distribution in strip intercropping field. The effects of 3 treatments of high, middle and low irrigation quotas on soil water of different positions and root distribution were studied, and the characteristics of root distribution in different growth period were investigated, as well as the pattern of root distribution in vertical and horizontal direction based on cumulative root distribution curves. The results show that the average soil water in tomato side is obviously higher than corn side, and the soil water under mulch is also obviously higher than that under outside mulch; however, there is no significant difference for the soil water of different positions under mulch. With crop growth, there are the pattern of “no cross—small cross—full cross—small cross” for roots of tomato and corn; 60% ~ 70% root concentrates in 0 ~ 30 cm soil, and the quantity of total roots and the roots in 0 ~ 30 cm soil are all increasing with the soil water, whatever root length density, root surface area density, root volume density and root weight density, yet there is the inverse for root distribution in 40 ~ 100 cm soil. The cumulative root distribution curves show that the root grows down with the soil water increase and the root grows to the district among crops with crop growth except for corn in the last stage. The root distribution is large variation in different growth periods, and the soil water is also main factor to influence root distribution in strip intercropping field.

Key words: Strip intercropping Root distribution Soil water Cumulative root distribution curve

(上接第 133 页)

Pilot Preparation Technology and Properties of New Biochar-based Nitrogenous Fertilizers

Zhang Wen Geng Zengchao He Xusheng Chen Xinxiang

(College of Nature Resources and Environment, Northwest A&F University, Yangling, Shannxi 712100, China)

Abstract: Three kinds of biochar-based nitrogenous fertilizer (BBNF), which were composited with ammonium nitrate by simple-blending process, adsorbent process and reactive process, respectively, were produced. After that properties of the new BBNF were determined and their sustained release characteristics were evaluated. The results show that the pH values of all the three BBNF are all lower than that of the raw biochar. The BBNF prepared by reactive process loads maximum ammonium nitrate, followed by the BBNF prepared by adsorption process; the least is the BBNF prepared by blending process. The retention capacity of BBNF prepared by reactive process is better than the other two. The cumulative release rate of the three BBNF in aqueous solution is in line with the “S”-type release model. Compared with ammonium nitrate, all of the three BBNF have effectively controlled-release effect on nitrogen, and the BBNF produced by reactive process has the best effect.

Key words: Biochar Biochar-based nitrogenous fertilizers Preparation technology Property analysis