

生物质炭保水剂的吸水保水性能研究

陈静¹, 李恋卿¹, 郑金伟¹, 俞欣妍¹, 潘根兴¹, 林振衡²

(1. 南京农业大学 农业资源与生态环境研究所, 江苏 南京 210095; 2. 商丘三利新能源有限公司, 河南 商丘 476000)

摘要: 以生物质炭为原料, 选择保水性和黏结性较强的 MW 型、阴型和阳型等聚丙烯酰胺(PAM)对生物质炭进行了亲水性改性, 分析了改性后的生物质炭保水剂吸水特性的变化以及对土壤水分蒸发和苗期玉米生长的影响。研究表明, 施用 3% 生物质炭两周后可降低土壤水分蒸发量 4.1%; 施用 2.5% 和 5% 的生物质炭后盆栽土壤含水量分别比对照显著提高了 39.7% 和 50.4%。通过 PAM 改性后的生物质炭可显著提高保水能力, 施用改性的生物质炭后盆栽土壤含水量较生物质炭本身提高了 10.5%~63.0%。3 种生物质炭保水剂的吸水倍率均表现为 2:10 型 > 1.5:10 型 > 1:10 型, 说明生物质炭保水剂的吸水倍率随 PAM 的质量比的升高而升高, 且 MW 型的吸水效果最好。施用 2.5% 和 5% 保水剂的土壤含水量分别比对照提高了 54.3%~84.0% 和 119.5%~145.1%, 但从土壤保水作用和对作物生长两方面出发, 2.5% 的生物质炭保水剂对其持水性和玉米植株的生长较为适宜。

关键词: 生物质炭; PAM; 保水剂; 吸水倍率; 土壤水分蒸发量

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2013)06-0302-06

中图分类号: S152.7, S156.2

Research on Water Retention Capacity of Water-retaining Agent of PAM-Biochar

CHEN Jing¹, LI Lian-qing¹, ZHENG Jin-wei¹, YU Xin-yan¹, PAN Gen-xing¹, LIN Zhen-heng²

(1. Institute of Agricultural Resources and Ecological Environment, Nanjing Agricultural University, Nanjing, Jiangsu 210095, China; 2. Sanli New Energy Company Limited, Shangqiu, He'nan 476000, China)

Abstract: With biochar modified by adding different types of water retaining agent polyacrylamide(PAM, a material with strong ability of water retention and cohesiveness) such as MW polyacrylamide, cationic polyacrylamide and anionic polyacrylamide, this article analyzed the influence of the biochar modification on the soil's water evaporation and maize growth in seedling stage. The results showed that the evaporation of soil water decreased by 4.1% with 3% biochar application after two weeks while the soil water content significantly increased by 39.7% and 50.4% with 2.5% and 5% biochar application in potting soil respectively. And with modified biochar application in the potting soil, the water-holding capacity significantly increased with the potting soil water content 10.5% to 63.0% higher. The order of the water absorbency with three modified biochar 2:10 > 1.5:10 > 1:10 showed that the water absorbency increased with the ratio of PAM addition. The highest water absorbency was found with the MW polyacrylamide while that with 2.5% and 5% modified biochar application significantly increased by 54.3%~84.0% and 119.5%~145.1% respectively. Taking consideration with soil water retaining and plant growth, 2.5% modified biochar application was chosen to use in the agricultural production.

Keywords: biochar; PAM; water-retaining agent; water absorbency; soil water evaporation

我国是缺水型国家, 干旱半干旱地区水资源缺乏是农业长期生产力低下的主要原因。近 30 a 来, 由于气候变化, 东北、华北和西北有效降雨日趋减少, 旱灾受灾率不断增加, 已成为气候变化下我国农业发展

的最主要挑战^[1]。为保障我国农业可持续发展, 抵御日益频繁的干旱胁迫是旱地农业当前的关键任务^[2]。

生物质炭是植物生物质在完全或部分缺氧情况下经热解炭化生成的一类高度芳香化的难熔性固态

收稿日期: 2013-01-28

修回日期: 2013-03-29

资助项目: 公益性行业(农业)科研专项“气候变化对农业生产的影响及应对技术研究”(200903003), “秸秆移动床热解炭化多联产关键技术研究与示范”(201303095-11)

作者简介: 陈静(1987—), 女(汉族), 重庆市人, 硕士研究生, 主要研究方向为农田碳氮循环及全球气候变化。E-mail: jingc1237@163.com。

通信作者: 李恋卿(1965—), 女(汉族), 江西省南康市人, 博士, 教授, 主要研究方向为土壤环境。E-mail: lqli@njau.edu.cn。

物质^[3]。研究表明^[3-8],生物质炭施入土壤后可起到固碳增汇及减少温室气体排放,提高酸性土壤 pH 值,降低土壤容重,提高土壤养分有效性以及改善土壤质地等作用。生物质炭具有较大的比表面积,孔隙度高。Karhu 等^[9]指出生物质炭具有的高孔隙性,施用生物质炭使土壤的保水能力提高了 11%。Asai 等^[10]研究发现,大量生物质炭的施用会提高土壤饱和和导水率和植物木质部汁液流量,表明生物质炭的施用不仅提高了土壤水分的通透性和土壤保水能力,也提高了植物水资源的可利用量。由此可见,生物质炭有一定的保水能力。但由于生物质炭中有机物质多含疏水性基团^[11],故其保水作用有限。

聚丙烯酰胺(PAM)是一种多功能表面改性物质,它作为一种重要的絮凝剂、表面活性剂、增稠剂、土壤改良剂及保水剂等广泛用于石油开采,农业及水处理等行业^[12]。PAM 施用土壤后可以增加土壤团聚性,稳定土壤结构,防止土壤流失和抑制土壤水分蒸发及保水保肥等作用^[13-16],但由于 PAM 成本较高,在农业生产中大量施用存在着较大的局限性。本研究拟利用 PAM 对生物质炭进行改性,增加生物质炭中的亲水性基团,提高生物质炭的保水能力和黏结性,减低保水和节水的成本,为旱地农业保水节水技术发展提供新的方法和途径。

1 材料与方 法

1.1 供试材料

供试生物质炭是以小麦秸秆制成,购于商丘市三利新能源有限公司。聚丙烯酰胺(PAM)为 MW 型 PAM,型号 1000 万,购自国药集团化学试剂有限公司;阴型 PAM,型号 1200 万,购自广州亚泰化工有限公司;阳型 PAM,型号 1200 万,购自广州亚泰化工有限公司。供试土壤为黄棕壤,取自南京农业大学牌楼教学科研基地,自然风干后过 10 目筛备用。生物质炭和供试土壤的基本性状详见表 1。

表 1 供试土壤和生物质炭的基本性质

类别	有机碳/ (g · kg ⁻¹)	全氮/ (g · kg ⁻¹)	碱解氮/ (mg · kg ⁻¹)	pH 值
供试土壤	2.44	0.34	24.89	6.92
生物质炭	341.20	10.35	11.97	10.03

注:供试土壤的 pH 值测定采用 2.5:1 的水土比;生物质炭 pH 值的测定采用 5:1 的水土比。

1.2 研究方法

1.2.1 生物质炭保水剂的制备 MW 型生物质炭保水剂的制备:将生物质炭磨碎后过 60 目筛孔,且混

合均匀。称取 3 份生物质炭 100 g 放置于烧杯中,分别加入 65,70,75 ml 蒸馏水用玻璃棒搅匀,之后在烧杯中分别加入 MW 型 PAM 10,15 和 20 g,搅匀后铺平放在托盘上,于 60 °C 烘箱中烘 3~5 h 至含水率为 10%~30%时取出,切成长、宽各约 0.3~0.5 cm 的颗粒,然后继续于 60 °C 烘箱中烘至恒重,即得到 1:10 MW 型,1.5:10 MW 型,2:10 MW 型生物质炭保水剂,分别制取阴型和阳型生物质炭保水剂,制备方法与 MW 型相同。

1.2.2 生物质炭保水剂的吸水倍率测定 分别称取不同生物质炭保水剂 5 g 置于烧杯中,各加入 100 ml 蒸馏水,吸水 24 h 后用已称重的 400 目尼龙筛网过滤,1 h 后(保证多余的水漏干)称重,每个处理 3 个重复。按照公式(1)计算每克生物质炭保水剂的吸水倍率:

$$Q = (M_3 - M_2 - M_1) / M_1 \quad (1)$$

式中:Q——生物质炭保水剂的吸水倍率(g/g);
M₁——吸水前生物质炭保水剂的重量(g);
M₂——尼龙筛网的重量(g);
M₃——吸水后生物质炭保水剂与尼龙筛网的总重量(g)。

1.2.3 生物质炭保水剂在单质肥料溶液中的吸水倍率测定 分别称取各种生物质炭保水剂 5 g 置于烧杯中,分别加入 100 ml 以下 3 种肥料溶液:A 为尿素溶液,浓度为 0.01 和 0.1 mol/L;B 为磷酸二氢钙溶液,浓度为 0.01 和 0.05 mol/L;C 为硫酸钾溶液,浓度为 0.01 和 0.1 mol/L。24 h 后用已称重的 400 目尼龙筛网过滤,1 h 后(保证多余的水漏干)称重,每个处理 3 个重复。按照公式(1)计算每克生物质炭保水剂的吸水倍率。此外设置蒸馏水为对照,方法相同。

1.2.4 生物质炭保水剂对土壤水分蒸发的影响测定 将生物质炭磨碎过 20 目筛孔、60 °C 烘箱烘至恒重,称取 50 g 土壤于塑料杯中,然后分别称取 1.5 g 生物质炭及生物质炭保水剂(相对于风干土重的 3%)放入对应塑料杯中,同时设置不加生物质炭及生物质炭保水剂的对照(CK)。将所加物质混匀后,加入 30 ml 蒸馏水,每天称重一次,持续两周,每个处理 3 个重复。

1.2.5 生物质炭及其保水剂对玉米幼苗生长和土壤水分的影响试验 试验共 9 个处理,分别为:(1)生物质炭:2.5%和 5%水平;(2)MW 型:2.5%和 5%水平;(3)阴型:2.5%和 5%水平;(4)阳型:2.5%和 5%水平。以上的生物质炭保水剂均为 1:10 型。同时以不添加生物质炭及保水剂的为对照(CK)。称取 1.5 g 土壤于塑料盆钵(12 cm×20 cm×18 cm)

中,分别加入 3.75 或 7.5g 生物质炭及生物质炭保水剂,每个处理 3 重复。在塑料盆钵中加入尿素(N 0.1 g/kg)、磷酸二氢钙(P_2O_5 0.1 g/kg)、硫酸钾(K_2O 0.1 g/kg)等肥料后混匀,按容重 1.3 g/cm^3 装好,加入 600 ml 蒸馏水,隔夜后播 4 粒/盆玉米种子,等出苗后留 2 株长势相似的玉米苗,将盆钵移到大棚中,22 d 后收获并测定玉米苗的长势情况及盆栽土的水分含量。供试玉米品种为苏玉 24。玉米苗生长期间浇水量为 200 ml/(次·盆),共浇水 4 次。试验于 2011 年 8 月 8 日开始,8 月 9 日加水,8 月 10 日播种,8 月 13 日部分出苗,8 月 14 日全部出苗,8 月 15 日移除多余苗后将盆钵移至大棚,9 月 5 日收获。

玉米苗的株高、叶长及叶宽用直尺测定,其中叶面积=叶长×叶宽×0.7(选取每株玉米苗最大一片苗叶测定),玉米苗生物量用烘干法测定^[17]。盆栽土的水分含量采用烘干法测定^[18]。

1.3 数据分析

所有的试验数据利用 SPSS 17.0 进行单因素方差分析,通过 LSD 多重比较分析判断处理间的差异显著性($p < 0.05$),用 Excel 2003 进行数据处理。

2 结果与分析

2.1 生物质炭保水剂的吸水倍率

各类型生物质炭保水剂的吸水倍率详见表 2。由表 2 可以看出,除 1:10 阴型保水剂,其余各类型保水剂的吸水倍率均显著高于生物质炭,且 MW 型、阴型及阳型生物质炭保水剂的吸水倍率随 PAM 用量所占比例的增加而显著增大。其中 MW 型保水剂的增加效果最为明显,1.5:10 型和 2:10 型保水剂的吸水倍率比 1:10 型分别提高 175.43% 和 252.59%。阴型保水剂中 1.5:10 型,2:10 型保水剂的吸水倍率比 1:10 型的分别提高了 46.11%, 95.21%; 阳型保水剂则分别提高了 54.24%, 115.82%。总体上 MW 型保水剂的增加效果显著高于阴型和阳型,而后两者 1:10 阳型与阴型间没有显著差异,但 1.5:10 和 2:10 阳型分别显著高于阴型。

2.2 在单质肥料溶液中生物质炭保水剂的吸水倍率

生物质炭保水剂在不同单质肥料溶液中的吸水倍率详见表 2。由表 2 可以看出,MW 型、阴型及阳型生物质炭保水剂在单质肥料溶液中的吸水倍率均随 PAM 用量所占比例的增加而显著增大。其中在 0.01 mol/L 的 K_2SO_4 溶液、0.01 和 0.1 mol/L 的尿素溶液中各类型生物质炭保水剂的吸水倍率均显著高于生物质炭;在 0.1 mol/L 的 K_2SO_4 溶液中,除阴 1:10 型保水剂外,其余生物质炭保水剂的吸水倍率

均显著高于生物质炭;而在 0.01 和 0.1 mol/L 的 $Ca(H_2PO_4)_2$ 溶液中,只有 1.5:10 和 2:10 MW 型, 2:10 阴型,1.5:10 和 2:10 阳型的吸水倍率显著高于生物质炭。

与对照相比,MW 型 2:10 保水剂在 0.01 和 0.1 mol/L 的尿素溶液中的吸水倍率显著增大了 11.98% 和 8.92%,但 MW 型 1:10 和 1.5:10 均没有明显变化。而在 $Ca(H_2PO_4)_2$ 和 K_2SO_4 溶液中 MW 型保水剂吸水倍率显著降低,其吸水倍率随着肥料浓度的增大而逐渐下降,且 $Ca(H_2PO_4)_2$ 溶液对吸水倍率的降低幅度显著大于 K_2SO_4 溶液。

在 0.01 mol/L 的尿素溶液中,阴型 1:10, 1.5:10 和 2:10 保水剂的吸水倍率分别比对照显著提高了 74.25%, 57.49% 和 69.67%; 0.1 mol/L 尿素溶液中则比对照显著提高了 79.10%, 86.81% 和 90.49%。阳型 1:10, 1.5:10 和 2:10 保水剂的吸水倍率分别比对照显著提高 100.56%, 98.87% 和 52.01%; 43.59%, 18.85% 和 17.54%。但在 K_2SO_4 溶液中阴型和阳型保水剂吸水倍率没有明显影响,而在 $Ca(H_2PO_4)_2$ 溶液中,阴型和阳型保水剂吸水倍率均显著降低,且吸水倍率随着肥料浓度的增大而呈现逐渐下降的趋势。

2.3 生物质炭及保水剂对土壤水分蒸发的影响

生物质炭及生物质炭保水剂施用两周的土壤水分累积蒸发量变化情况详见表 3。由表 3 可知,施用阳型保水剂处理的土壤水分累积蒸发量与 CK 相比几乎没有差异,而生物质炭、MW 型及阴型保水剂处理的土壤水分累积蒸发量则低于 CK,表明后者的施用有降低土壤水分蒸发的作用,其中施用生物质炭两周后可降低土壤水分蒸发量 4.11%,施用 MW 型 1:10, 1.5:10, 2:10 保水剂两周后可分别降低土壤水分蒸发量 8.66%, 10.42% 和 7.98%,阴型 1:10, 1.5:10, 2:10 型可分别降低 13.50%, 7.00% 和 8.23%。由此可见,MW 型和阴型保水剂对土壤水分蒸发的抑制作用最强,其中阴型 1:10 保水剂抑制该土壤的水分蒸发效果最好,其次是生物质炭,而阳型保水剂对抑制该土壤的水分蒸发几乎无明显影响。

2.4 生物质炭及保水剂对土壤水分和玉米幼苗生长的影响

不同处理间土壤水分含量的差异较大。表 4 显示,生物质炭和生物质炭保水剂中 2.5% 和 5% 处理的土壤水分含量分别在 21.39%~28.16% 和 23.02%~37.52% 范围。2.5% 和 5% 水平的生物质炭、MW 型、阴型及阳型组土壤含水量分别比对照显著提高了

39.65%, 54.32%, 64.45%, 83.95% 以及 50.36%, 145.09%, 119.46% 和 130.79%, 并且 5% 水平的处理显著高于 2.5% 水平的处理, 其中 MW 型提高幅度达 58.78%。与生物质炭组 2.5% 和 5% 水平相比, MW 型、阴型及阳型组土壤含水量分别显著提高 10.46%, 17.70%, 31.67% 和 63.00%, 45.96%, 53.49%。

表 2 生物质炭保水剂在不同单质肥料溶液中的吸水倍率

g/g

生物质炭保水剂类型	单质肥料溶液类型						
	蒸馏水	0.01 mol/L K ₂ SO ₄	0.1 mol/L K ₂ SO ₄	0.01 mol/L Ca(H ₂ PO ₄) ₂	0.05 mol/L Ca(H ₂ PO ₄) ₂	0.01 mol/L CO(NH ₂) ₂	0.1 mol/L CO(NH ₂) ₂
对照生物质炭	1.52±0.05 ^{bH}	1.46±0.05 ^{bH}	1.46±0.02 ^{bl}	1.78±0.07 ^{aEF}	1.81±0.14 ^{aD}	1.53±0.05 ^{bG}	1.55±0.02 ^{bG}
1:10	2.32±0.18 ^{aF}	1.95±0.12 ^{bG}	1.90±0.05 ^{bG}	1.65±0.07 ^{cFG}	1.59±0.03 ^{cEF}	2.47±0.04 ^{aF}	2.41±0.08 ^{aF}
MW 型	1.5:10	6.39±0.06 ^{aB}	5.51±0.31 ^{bB}	4.42±0.12 ^{cB}	3.26±0.02 ^{dB}	2.28±0.11 ^{eB}	6.64±0.56 ^{aB}
2:10	8.18±0.21 ^{bA}	6.89±0.33 ^{cA}	6.00±0.17 ^{dA}	4.58±0.27 ^{eA}	2.60±0.05 ^{fA}	9.16±0.83 ^{aA}	8.91±0.36 ^{aA}
1:10	1.67±0.03 ^{cdGH}	1.80±0.16 ^{cG}	1.57±0.03 ^{cdI}	1.57±0.07 ^{cdG}	1.48±0.05 ^{dF}	2.91±0.31 ^{aEF}	2.63±0.08 ^{bF}
阴型	1.5:10	2.44±0.08 ^{cF}	2.45±0.11 ^{cF}	2.15±0.10 ^{dF}	1.85±0.04 ^{eE}	1.65±0.03 ^{eE}	4.14±0.27 ^{bCD}
2:10	3.26±0.15 ^{bcD}	3.53±0.20 ^{bdD}	3.05±0.07 ^{dD}	2.32±0.08 ^{dD}	1.95±0.10 ^{cC}	6.09±0.43 ^{aB}	6.21±0.16 ^{bB}
1:10	1.77±0.16 ^{bG}	1.85±0.06 ^{bG}	1.74±0.05 ^{bH}	1.65±0.06 ^{bFG}	1.69±0.04 ^{bDE}	3.55±0.10 ^{aDE}	3.52±0.25 ^{aE}
阳型	1.5:10	2.73±0.06 ^{dE}	2.95±0.07 ^{cE}	2.66±0.02 ^{dE}	2.25±0.06 ^{eD}	2.05±0.11 ^{fC}	4.15±0.13 ^{aCD}
2:10	3.82±0.05 ^{bcC}	3.99±0.04 ^{bcC}	3.66±0.08 ^{cC}	2.90±0.08 ^{fC}	2.41±0.07 ^{eB}	4.54±0.23 ^{aC}	4.49±0.08 ^{cC}

注: 数值为“平均值±标准差”, n=3。利用 LSD 法对表中数据进行差异显著性检验, 不同小写字母表示同一行不同处理组间差异显著 (p<0.05), 不同大写字母表示同一列不同处理组间差异显著 (p<0.05)。

表 3 施用不同生物质炭保水剂后不同时间土壤水分的累积蒸发量

g/100 g

处理	2 d	4 d	6 d	8 d	10 d	12 d	14 d
对照	6.76±0.33 ^a	18.31±0.97 ^a	24.62±1.25 ^a	31.77±1.64 ^a	37.97±1.89 ^a	41.61±2.08 ^a	45.42±2.23 ^{ab}
生物质炭	6.38±0.03 ^b	17.16±0.43 ^c	23.39±0.70 ^c	30.36±0.85 ^b	36.40±0.90 ^b	39.93±0.91 ^b	43.97±1.36 ^b
1:10	5.78±0.07 ^{cd}	16.02±0.40 ^{ef}	21.83±0.42 ^d	28.29±0.60 ^e	34.15±0.73 ^c	37.61±0.80 ^c	41.49±0.85 ^c
MW 型	1.5:10	5.91±0.08 ^c	16.06±0.28 ^{ef}	21.70±0.31 ^d	28.09±0.45 ^e	33.63±0.44 ^c	37.02±0.41 ^{cd}
2:10	5.59±0.08 ^{de}	15.71±0.17 ^f	21.80±0.46 ^d	28.81±0.92 ^c	34.65±1.12 ^c	38.11±1.19 ^c	41.79±1.27 ^c
1:10	5.35±0.07 ^{fg}	14.89±0.25 ^g	20.45±0.32 ^e	26.69±0.43 ^d	32.17±0.54 ^d	35.51±0.57 ^d	39.29±0.65 ^d
阴型	1.5:10	5.51±0.03 ^{cf}	15.63±0.01 ^{fg}	21.53±0.13 ^d	28.24±0.31 ^e	34.43±0.38 ^c	38.10±0.37 ^c
2:10	5.67±0.03 ^{de}	16.34±0.20 ^{ef}	22.16±0.24 ^d	28.63±0.32 ^e	34.39±0.45 ^c	37.86±0.47 ^c	41.68±0.45 ^c
1:10	5.20±0.10 ^g	16.75±0.20 ^{ce}	23.53±0.28 ^{bc}	31.31±0.45 ^{ab}	38.06±0.45 ^a	42.02±0.51 ^a	46.38±0.64 ^a
阳型	1.5:10	5.97±0.26 ^c	17.36±0.87 ^{bc}	23.79±0.83 ^{abc}	31.23±0.81 ^{ab}	37.92±0.76 ^a	41.79±0.79 ^a
2:10	6.27±0.06 ^b	17.96±0.16 ^{ab}	24.43±0.31 ^{ab}	31.87±0.34 ^a	38.51±0.45 ^a	42.49±0.36 ^a	46.95±0.32 ^a

注: 数值为“平均值±标准差”, n=3。利用 LSD 法对表中数据进行差异显著性检验, 不同小写字母表示同一列不同处理组间差异显著 (p<0.05)。下同。

表 4 不同处理下的玉米苗的各生长指标及盆栽土壤含水量

处理	土壤含水量/%	玉米苗生长指标		
		株高/cm	叶面积/cm ²	干物质总重/g
对照	15.31±0.64 ^b	27.08±0.04 ^a	100.01±0.99 ^b	2.66±0.28 ^{bc}
生物质炭	2.5%	21.39±0.37 ^e	27.98±0.58 ^a	97.65±5.42 ^b
5.0%	23.02±1.04 ^f	28.40±2.16 ^a	100.28±7.83 ^b	2.90±0.04 ^b
MW 型	2.5%	23.63±0.89 ^f	27.95±0.62 ^a	115.02±3.22 ^a
5.0%	37.52±0.04 ^a	21.57±2.17 ^b	69.83±11.60 ^{cd}	1.90±0.29 ^d
阴型	2.5%	25.18±1.08 ^e	26.88±0.64 ^a	74.53±2.83 ^c
5.0%	33.60±0.68 ^c	19.43±0.25 ^{bc}	62.42±3.03 ^{de}	1.63±0.01 ^{de}
阳型	2.5%	28.16±1.25 ^d	26.75±0.76 ^a	77.22±4.72 ^c
5.0%	35.33±0.81 ^b	18.95±1.99 ^c	51.55±5.94 ^e	1.42±0.31 ^e

施用生物质炭及保水剂后玉米苗期生长指标变化详见表 4。由表 4 可知, 2.5% 水平的生物质炭以及阴型、阳型组处理的玉米株高、叶面积和干物质总重与对照相比均没有显著差异, 而 MW 型 2.5% 处理的叶面积比对照显著提高 15.01%, 干物质总重显著提高 27.82%, 但 5% 水平的处理中玉米株高、叶面积和干物质总重均显著降低。

3 结果讨论

施用生物质炭可以显著提高土壤的水分含量。Karhu 等^[9]研究表明, 生物质炭的施用使土壤的保水能力提高了 11%; Glaser 等^[19]研究表明, 在亚马逊施有生物质炭的土壤保水能力提高了 18%, 这可能是由于生物质炭含有丰富的孔隙, 水分可在生物质炭的小孔隙及大孔隙内储存, 从而提高土壤水分含量。本研究发现 PAM 改性的生物质炭的保水能力显著提高。这可能是由于 PAM 是一类高吸水性物质, 施用后可提高土壤的持水及导水性能, 也可有效减少土壤水分的蒸发^[20]。此外, PAM 分子链上的酰胺基可与许多物质亲和而吸附形成氢键, 从而在两个粒子之间产生黏结^[21]。利用 PAM 的黏结性将生物质炭制成颗粒状, 这样既改善了生物质炭的保水效果, 又提高了生物质炭保水剂在运输和农业生产中推广利用的便宜性。

随着 PAM 量的增加, MW 型、阴型及阳型生物质炭保水剂的吸水倍率也逐渐增加, 其中 MW 型保水剂的吸水倍率显著高于阴型及阳型。说明不同类型 PAM 保水剂在单质肥料溶液中的吸水倍率不同。苟春林^[22]研究表明, 除尿素溶液外, 保水剂在各种肥料溶液中的吸水倍率会显著下降, 并且会随着肥料浓度的增加下降幅度增加。本研究结果也表明溶液中的电解质肥料可降低保水剂的吸水倍率, 这可能是因当聚合物在盐溶液中发生水合反应后, 其膨胀能力降低的缘故^[23]。此外, 阴型和阳型保水剂在尿素溶液中的吸水倍率提高幅度大于 MW 型, K_2SO_4 及 $Ca(H_2PO_4)_2$ 溶液对阴型和阳型保水剂的影响小于对 MW 型的影响, 这可能是由于阴、阳离子型 PAM 链状分子上的荷电基团分别为带负、正电荷, 可以与接触的颗粒间产生吸附和架桥及吸附表面阳、阴离子的作用^[24-26]。此外, 由于保水剂中的生物质炭可吸附溶液中的分子或离子, 而 MW 型的吸水倍率原本就高于阳型和阴型, 故提升幅度低于阴型和阳型。

施用生物质炭可显著提高玉米产量。Zhang 等^[27]通过田间试验研究表明, 施用生物炭 20 和 40 t/hm² 时, 玉米产量显著提高, 但张晗芝等^[28]通过室

内盆栽试验研究发现施用生物炭对玉米苗期的生长没有促进作用。本研究也表明, 生物质炭的施用水平为 2.5% 和 5% 时对玉米苗的生长没有显著性影响。PAM 同样可促进玉米的生长及提高玉米产量^[29-30], 但对苗期玉米生长作用不显著^[12,31]。本研究结果表明, 施用 2.5% 的阴型及阳型保水剂也未明显促进苗期玉米的生长, 而施用 2.5% MW 型保水剂对苗期玉米生长有一定的促进作用, 这说明本研究中, MW 型 PAM 比阴型及阳型 PAM 在促进苗期玉米生长的效果方面作用更为显著。此外, 5% MW 型、阴型及阳型保水剂的施用均显著抑制了玉米幼苗的生长。本研究结果中施用 5% 生物质炭保水剂时土壤含水量高达 33.60%~37.52%, 可能过高的土壤含水量抑制了玉米幼苗根系呼吸, 进而抑制玉米的生长。

4 结论

(1) 施用生物质炭可降低土壤水分蒸发, 通过 PAM 改性的生物质炭保水剂较生物质炭的保水效果更好。适量的 MW 型保水剂施用可促进苗期玉米生长。

(2) 生物质炭保水剂中 PAM 的质量比越高, 其吸水倍率越高, 三种保水剂的吸水倍率均表现为: 2:10 型 > 1.5:10 型 > 1:10 型, 且 MW 型生物质炭保水剂的吸水倍率显著高于阴型和阳型。

(3) 除尿素外, 磷酸二氢钙和硫酸钾溶液均降低了保水剂的吸水倍率, 且吸水倍率随着肥料浓度的增大而逐渐下降。可见施用保水剂时需适当选择合适的肥料类型配合施用。

[参 考 文 献]

- [1] 潘根兴, 高民, 胡国华, 等. 气候变化对中国农业生产的影响[J]. 农业环境科学学报, 2011, 30(9): 1698-1706.
- [2] 山仑. 科学应对农业干旱[J]. 干旱地区农业研究, 2011, 29(2): 1-5.
- [3] Lehmann J, Gaunt J, Rondon M. Biochar sequestration in terrestrial ecosystems: A review[J]. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 2006, 11(2): 403-427.
- [4] Katyal S, Thambimuthu K, Valix M. Carbonisation of bagasse in a fixed bed reactor: Influence of process variables on char yield and characteristics[J]. *Renewable Energy*, 2003, 28(5): 713-725.
- [5] Chan K Y, Zwieten V L, Meszaros I, et al. Using poultry litter biochars as soil amendments[J]. *Australian Journal of Soil Research*, 2008, 46(5): 437-444.
- [6] Laird D, Fleming P, Davis D D, et al. Impact of biochar amendments on the quality of a typical Midwestern agri-

- cultural soil [J]. *Geoderma*, 2010, 158 (3/4): 443-449.
- [7] Cui Liqing, Pan Genxing, Zhang Feng, et al. Rice Cd uptake greatly reduced under biochar amendment in a contaminated paddy soil: A two-year field experiment [J]. *Bioresources*, 2011, 6(3): 2605-2618.
- [8] Zhang feng, Cui Liqing, Pan Genxing, 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 and Environment*, 2010, 139(4): 469-475.
- [9] Karhu K, Mattila T, Bergstrom I, et al. Biochar addition to agricultural soil increased CH₄ uptake and water holding capacity: Results from a short-term pilot field study [J]. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 2011, 140(1/2): 309-313.
- [10] Hidetoshi A, Samson B K, Stephan H M, et al. Biochar amendment techniques for upland rice production in Northern Laos (1): Soil physical properties, leaf SPAD and grain yield [J]. *Field Crops Research*, 2009, 111(1/2): 81-84.
- [11] Peng Xinhua, Ye Lili, Wang Cuihong, et al. Temperature- and duration-dependent rice straw-derived biochar: Characteristics and its effects on soil properties of an Ultisol in Southern China [J]. *Soil & Tillage Research*, 2011, 112(2): 159-166.
- [12] 员学锋. PAM 的土壤保水、保肥及作物增产效应研究 [D]. 陕西 杨凌: 西北农林科技大学, 2003.
- [13] 张莹莹, 李俊颖, 王定勇. PAM 对潮土水分蒸发量的影响 [J]. *中国农学通报*, 2010, 26(4): 152-156.
- [14] 员学锋, 汪有科, 吴普特, 等. PAM 对土壤物理性状影响的试验研究及机理分析 [J]. *水土保持学报*, 2005, 19(2): 37-40.
- [15] Jiang Tao, Teng Lingling, Wei Shiqiang, et al. Application of polyacrylamide to reduce phosphorus losses from a Chinese purple soil: A laboratory and field investigation [J]. *Journal of Environmental Management*, 2010, 91(7): 1437-1445.
- [16] Sepaskhah A R, Bazrafshan-Jahromi A R. Controlling runoff and erosion in sloping land with polyacrylamide under a rainfall simulator [J]. *Bio-systems Engineering*, 2006, 93(4): 469-474.
- [17] 段居琦. 玉米幼苗对干旱和氮素的反应及差异 [D]. 广西南宁: 广西大学, 2007.
- [18] 鲍士旦. 土壤农化分析 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2000: 22-24.
- [19] Glaser B, Lehmann J, Zech W. Ameliorating physical and chemical properties of highly weathered soils in the tropics with charcoal: A review [J]. *Biol. Fertil. Soils*, 2002, 35(4): 219-230.
- [20] 杨永辉, 武继承, 赵世伟, 等. PAM 的土壤保水性能研究 [J]. *西北农林科技大学学报: 自然科学版*, 2007, 35(12): 120-124.
- [21] 唐泽军, 雷廷武, 张晴文, 等. 聚丙烯酰胺增加土壤降雨入渗减少侵蚀的模拟试验研究 [J]. *土壤学报*, 2003, 40(2): 178-185.
- [22] 苟春林. 聚丙烯酰胺型保水剂与化学肥料的相互作用及其应用 [D]. 陕西 杨凌: 西北农林科技大学, 2006.
- [23] 李长荣, 荆玉芬, 朱健康, 等. 高吸水树脂与肥料相互作用的研究 [J]. *北京农业大学报*, 1989, 15(3): 187-192.
- [24] Deng Youjun, Dixon J B, White G N, et al. Bonding between polyacrylamide and smectite [J]. *Colloids*, 2006, 281(1/3): 82-91.
- [25] Laird D A. Bonding between polyacrylamide and clay mineral surfaces [J]. *Soil Sci.*, 1997, 162(11): 826-832.
- [26] 龙明杰. 高聚物土壤结构改良剂的研究 (II): 高聚物对土壤肥料的研究 [J]. *土壤肥料*, 2000(5): 13-18.
- [27] Zhang Afeng, Liu Yuming, Pan Genxing, 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 Soil*, 2012, 351(1/2): 263-275.
- [28] 张晗芝, 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.
- [29] 刘小三, 叶川, 肖国滨, 等. 聚丙烯酰胺型保水剂对土壤水分及秋糯玉米生长的效应 [J]. *中国农学通报*, 2012, 28(30): 22-27.
- [30] 唐泽军, 雷廷武, 赵小勇, 等. PAM 改善黄土水土环境及对玉米生长影响的田间试验研究 [J]. *农业工程学报*, 2006, 22(4): 216-219.
- [31] Wu Liang, Yong Sikok, Xu Xingliang, et al. Effects of anionic polyacrylamide on maize growth: A short term ¹⁴C labeling study [J]. *Plant Soil*, 2012, 350(1/2): 311-322.