

添加木质素和生物炭对土壤氮、磷养分及水分损失的影响

宋彬¹, 孙茹茹¹, 梁宏旭¹, 胡玥¹, 彭湃², 余雕³

(1.西北农林科技大学资源环境学院, 陕西 杨凌 712100; 2.西北农林科技大学林学院, 陕西 杨凌 712100; 3.西北农林科技大学水土保持研究所, 陕西 杨凌 712100)

摘要: 研究添加木质素和生物炭对土壤氮、磷养分及水分损失的影响,降低土壤改良剂使用成本,增加造纸黑液中木质素的利用途径,促进木质素在土壤改良中的应用。试验选取生物炭改良剂与木质素作为对比,通过土柱淋溶和静态吸收法,研究不同添加量(质量分数为0.1%, 2%, 4%)的木质素和生物炭对土壤氮磷养分、水分、脲酶活性以及pH的影响。土壤中添加木质素和生物炭均能减缓pH变化程度;抑制土壤脲酶的活性,且在添加氮肥后的1~20天抑制效果明显,其抑制效果与添加量呈正相关。添加量为1%, 2%, 4%的木质素和生物炭与对照组相比,铵态氮挥发量分别显著减少8.29%, 14.29%, 14.86%和3.79%, 11.65%, 15.26%;全氮淋溶量分别显著减少32.37%, 37.70%, 42.49%和25.43%, 30.70%, 39.54%;全磷淋溶量分别显著减少23.68%, 40.48%, 48.12%和6.97%, 22.88%, 35.30%;水分淋溶量分别显著减少7.71%, 15.82%, 9.29%和9.91%, 15.00%, 16.06%。在本试验中,木质素、生物炭质量分数分别为2%和4%时对降低土壤氮、磷养分和水分损失的效果最佳。因此,可以说明木质素和生物炭在水肥保持上的效果相近,在一定程度上可以替代生物炭改良剂在土壤中的应用。

关键词: 木质素; 生物炭; 淋溶; 氮挥发

中图分类号: S147.2

文献标识码: A

文章编号: 1009-2242(2019)06-0227-06

DOI: 10.13870/j.cnki.stbcbx.2019.06.032

Effects of Lignin and Biochar Addition on Soil Nitrogen and Phosphorus Nutrients and Water Loss

SONG Bin¹, SUN Ruru¹, LIANG Hongxu¹, HU Yue¹, PENG Pai², SHE Diao³

(1.College of Natural Resources and Environment, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100; 2.College of Forestry, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100; 3.Institute of Soil and Water Conservation, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100)

Abstract: The effects of lignin and biochar addition on soil nitrogen (N) and phosphorus (P) nutrients and water loss were researched in order to reduce the cost of soil amendment, increase the utilization of lignin that came from papermaking black liquor, and promote the application of lignin in soil amendments. The biochar amendment and lignin were selected as the comparison in this study. The effects of lignin and biochar with different additions (0, 1%, 2%, and 4% respectively in the mass fraction) on N, P, water loss, urease activity and pH value in soil were studied by the soil column simulation method and static absorption method. Both addition of lignin and biochar in soil could alleviate the changes of pH value and could inhibit the activity of urease. The inhibition effect was obvious after adding N fertilizer 1~20 days when the inhibition rate was positively correlated with the addition amount. Compared with the CK, the amount of lignin and biochar added with 1%, 2% and 4% could significantly reduce the volatilizing amount of ammonium N by 8.29%, 14.29%, 14.86% and 3.79%, 11.65%, 15.26%, respectively. Total N leaching amount was significantly reduced by 32.37%, 37.70%, 42.49% and 25.43%, 30.70%, 39.54%, respectively. Total P leaching amount was significantly reduced by 23.68%, 40.48%, 48.12% and 6.97%, 22.88%, 35.30%, respectively. The water loss was significantly reduced by 7.71%, 15.82%, 9.29% and 9.91%, 15.00%, 16.06%, respectively. In this experiment, the best mass fraction of lignin and biochar was 2% and 4% respectively when the inhibition

收稿日期: 2019-04-25

资助项目: 国家重点研发计划项目“黄土高原水土流失综合治理技术及示范”第二课题:黄土梁状丘陵区林草植被体系结构化及杏产业关键技术及示范(2016YFC051702);国家自然科学基金项目“木质素基缓释氮肥尼希合成机理及氮素释放规律研究”(31772390)

第一作者: 宋彬(1994—),男,在读硕士研究生,主要从事土壤化学研究。E-mail: songbin3032@163.com

通信作者: 余雕(1974—),男,副研究员,硕士生导师,主要从事土壤化学研究。E-mail: diaoshe888@163.com

effect on soil N, P nutrients and water loss was the best. Therefore, it could be found that lignin could replace biochar amendment in soil to some extent for the similar function of water and fertilizer conservation and similar effect on inhibiting urease activity to biochar.

Keywords: lignin; biochar; leaching; ammonia volatilization

中国的肥料使用量位居世界前列,约占 33%^[1],但肥料的利用率较低,损失率较高,如氮肥的当季利用率为 30%~35%,钾肥为 35%~50%,磷肥仅为 10%~20%^[2]。低肥料利用率不仅造成巨大的经济损失,而且会造成水体富营养化、地下水硝酸盐化和土壤板结等环境危害^[3]。提高农业化肥利用率、减少化肥施用量和损失量,是目前学者关注的焦点之一。

木质素是木质纤维素生物质的主要成分,占地球上有机碳资源的 30%,是一种非常重要的可再生资源^[4],它除了主要存在于植物体中,还在造纸、乙醇生产等生物精炼产业中作为废弃产物大量产出^[5],每年造纸工业制造出约 5.0×10^7 t 的木质素废渣,其中仅有 1%~2% 用于高端生产,剩余则作为燃料被焚烧或者直接排放到河流中^[6]。木质素是由苯基丙烷单元通过醚键和碳—碳键联接而成的一种天然高分子化合物^[7],含有多种官能团,如酚羟基、醇羟基、羧基等,具有抗氧化、抗菌、可降解、强度大、产量大、高比表面积的优点^[8]。Rinaldi 等^[9]研究发现,木质素剩余价值的利用,将提高生物质及消费品的经济可行性和可持续性,为生物质及经济提供推动力。木质素添加到土壤中可被缓慢降解为腐殖酸^[4],能够增加土壤团粒结构数量和增强团粒结构性质,改良因为过度耕作或污染而造成退化的土壤。有报道^[10]显示,木质素在土壤中可残留 20~38 年,是土壤中非常稳定的有机组分,也是影响土壤有机碳循环的重要物质。目前木质素及其化合物在农业中的应用主要集中在肥料、农药缓释剂、饲料添加剂、土壤改良剂、植物防腐剂和液体地膜等方面^[6]。木质素及其化合物在农业上的利用,对于促进废物利用、净化环境、提高可再生资源利用率及发展绿色农业有着重要意义^[9],但目前为止,关于木质素的保水保肥能力方面的报道还很少。

生物炭是生物质在中等温度(350~700 °C)和缺氧条件下热裂解而形成的一种碳素含量大、芳香化程度高的固态物质。生物炭具有孔隙数量多、比表面积大、表面官能团丰富和离子交换能力强等优点^[11],因此将其施入土壤后能够有效降低土壤容重,促进土壤团聚体的形成,修复和改良植物根系生长环境,提高肥料利用率,减少水体污染和养分淋溶损失^[12]。生物炭具有稳定性,在土壤中分解缓慢,存留时间较长,因此土壤中长期施加生物炭能够提高土壤碳累积量,维持土壤的碳氮比平衡和农田生态系统平衡,促进耕地的可持续利

用,符合当前绿色农业发展的要求。

木质素和生物炭均由一个巨大骨架聚合而成^[7,12],具有亲水吸附效果,可以吸附水分和养分,两者可以通过静电引力、范德华力、吸附和交换等作用将养分暂时固定下来,延缓养分的释放^[13-14],并且都具有大量的碳元素,可以调节土壤的碳氮比,增加土壤有机质存储量,调节土壤的理化性质,达到改良土壤的目的。目前国内外对生物炭在养分淋溶损失影响方面的研究已经逐渐成熟,截止 2014 年,SCI 数据库可以检索到相关论文 2 500 余篇^[14],中国已经成为研究这一领域的发文大国。但是,目前对木质素在土壤养分淋溶和水分损失作用的相关研究正处于起步阶段,木质素相比于生物炭价格更加低廉、来源更加丰富,其具有更加广阔的研究前景。

基于木质素和生物炭二者类似的结构和性质,将木质素添加到土壤后也具有保水保肥的能力,因此本文选取木质素作为生物炭的替代物,用于土壤改良中。本文是在前人^[15]研究生物炭对养分淋溶损失的基础上,采用室内模拟试验,研究添加木质素和生物炭的处理对土壤氨挥发和氮磷淋溶损失状况,分析二者在减少养分损失和保水保肥中的优缺点。

1 材料与方法

1.1 生物炭和木质素的制备及理化性质

本次试验于 2017 年 8 月 23 日开始至 11 月 20 日结束。生物炭是由柠条枝在 500 °C 的马弗炉(SXZ-12-10)中经过热解碳化制造而成。木质素是由陕西某造纸公司造纸废液经碱法制造而成。试验用土取自西北农林科技大学固原站基地,大田耕作层 0—20 cm 土壤,土壤类型为黄绵土。供试土壤理化性质为:土壤容重 1.48 g/cm³,田间持水量 29.6%,pH 8.1,有机质含量 8.65 g/kg,全氮含量 1.25 g/kg,全磷含量 0.56 mg/kg,全钾含量 17.84 mg/kg,CEC 值 17.5 cmol/kg。土壤采集后自然风干,去除其他杂物,过 0.025 cm 筛备用。木质素、生物炭理化性质见表 1。

1.2 试验方法

静态吸收法:每个处理分别称取过 2 mm 筛的风干黄绵土 500 g,分别加入全土重的 1%,2%,4% 的木质素和生物炭,记作 M1、M2、M4 和 S1、S2、S4,不添加木质素和生物炭的为对照处理 CK1,每个处理重复 3 次。混匀置于广口瓶中,加去离子水使含水量达到持水量的 75%^[15],氮肥使用指标为 500 mg/kg,

以尿素为氮源。在每个广口瓶内于土壤表面放置 1 个 25 mL 的烧杯,烧杯内装有硼酸指示剂溶液 5 mL,在试验开始后的第 2,3,4,5,7,13,16,19,25,

30,35 天换取小烧杯^[15],用标准酸溶液滴定,并在每次换取烧杯后做空白滴定。每次换取烧杯时取土壤样品 4 g,用于检测土壤中脲酶活性和 pH。

表 1 木质素、生物炭的理化性质

类别	产率/%	pH	C/%	H/%	N/%	O/%	铵态氮/ (mg·kg ⁻¹)	硝态氮/ (mg·kg ⁻¹)	灰分/%	C/N
木质素	28	5.17	46.36	2.80	4.89	15.10	2.40	0.40	30.85	9.48 : 1
生物炭	34	8.98	45.26	1.22	0.75	27.13	1.89	0.37	25.64	60.34 : 1

土柱淋溶法:淋溶装置为高 30 cm、半径 6 cm 的 PVC 圆柱管,顶部留 10 cm 为灌水层,PVC 管底部用圆柱形杯子接渗漏液,连接处用凹槽固定,防止渗漏损失。按 1.3 g/cm³ 容重先装入过筛风干土样 250 g 于柱子底部,然后将剩余 250 g 土与肥料(氮、磷施肥水平均为 500 mg/kg)混合后填入淋溶柱,表层再以少量细沙(25 g)覆盖以防加水时扰乱土层造成管壁效应。每个土柱分别加入全土重 1%,2%,4% 的木质素或生物炭作为试验处理,不添加木质素和生物炭的为对照,分别记作 m1、m2、m4 和 s1、s2、s4、CK2,每个处理重复 3 次。淋溶前,测定土柱质量,并将土柱底部润湿在室温下保持 3 天,使土柱内环境条件稳定。淋溶时先加水至田间持水量,静置 24 h,收集淋溶液,然后在室内培养土柱,并于第 1,4,8,14,21,28 天^[15] 各加水淋溶 1 次。淋溶液收集在 500 mL 容量瓶中,称重后,取 25 mL 定容到 50 mL 容量瓶,分别测定全氮和全磷含量。

1.3 分析方法

土壤常规分析参照《土壤农业化学分析方法》,pH 采用雷磁 PHS-25 型 pH 计测定,土壤脲酶活性采用苯酚一次氯酸钠比色法测定,铵态氮含量采用硼酸吸收—靛酚蓝比色法测定,淋溶液中全氮含量采用 AA3 连续流动分析仪测定,全磷含量采用过硫酸钾氧化—钼蓝比色法测定^[16]。

1.4 数据分析

试验数据用 Excel 2010 进行处理,SPSS 22.0 软件进行数据统计分析,并用 Origin 2017 软件作图。

2 结果与分析

2.1 木质素、生物炭的理化特征

由表 1 可以看出,柠条生物炭、造纸木质素的主要组成元素相同,均是由 C(45.26%,46.36%)、O(27.13%,15.10%)组成,并且都含有大量的灰分物质(25.64%,30.85%)。两者灰分物质中含有多种植物生长所需的营养元素,如钾、钙、钠、镁、锌、硅等。木质素、生物炭的碳氮比分别为 9.48 : 1,60.34 : 1,添加木质素能够显著增加土壤中的氮素含量,增加土壤的潜在肥力。木质素和生物炭除了元素组成相似

外,还具有类似功能的结构,如都具有较大的比表面积、丰富的表面孔隙和官能团^[8,12]。因此,将木质素添加到土壤中应和生物炭具有相似的作用,如减少养分淋溶损失、吸附土壤的水分和养分,从而提高土壤的保水保肥能力。

2.2 木质素和生物炭对氨挥发、脲酶活性以及 pH 的影响

2.2.1 木质素和生物炭对氨挥发量的影响 土壤中氮素的损失途径主要有氨挥发和硝态氮淋溶 2 种。尿素施入土壤后,在脲酶的作用下发生分解反应,使土壤中的铵态氮浓度迅速增加,在极短的时间内提高铵态氮的挥发速率。由图 1 可知,添加木质素和生物炭均能显著减少铵态氮的累计挥发量。木质素、生物炭添加量均分别为 1%,2%,4% 时,培养 35 天后,各处理的氨累计挥发量为 10.53,9.85,9.78 和 11.05,10.15,9.73 mg,与 CK1 的 11.49 mg 相比,各处理依次减少 8.29%,14.29%,14.86% 和 3.79%,11.65%,15.26%。综合对比添加木质素或生物炭的处理,发现 M1、M2 处理比 S1、S2 处理氨挥发量减少 4.50%,2.64%,M4 处理却比 S4 处理增加 0.40%。但总体就氨累计挥发减少量来说,木质素、生物炭添加量为 4% 时,二者抑制氨挥发效果最为相近。

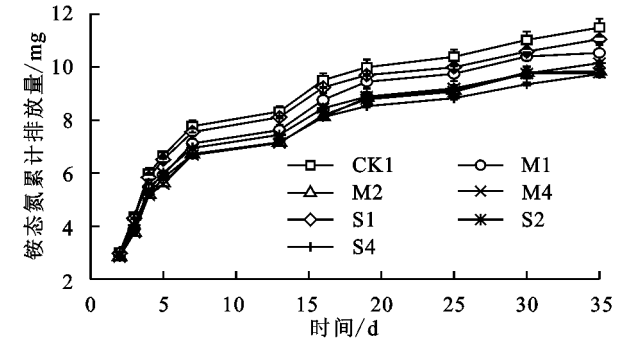


图 1 木质素和生物炭处理的氨累计挥发量

2.2.2 木质素和生物炭对土壤脲酶活性和抑制率的影响 脲酶又叫尿素氨基水解酶,是一种由土壤中多种微生物联合分泌的金属酶,其主要作用是促进尿素的分解。尿素只有经过脲酶的分解作用水解成铵态氮后,才能被作物根系吸收。土壤中的脲酶含量和活性与铵态氮有显著关系。从图 2 可以看出,各处理脲酶活性总体呈现先升高后降低再升高的趋势。添加木质素、

生物炭处理的土壤脲酶活性变化趋势较对照相比具有显著性差异。在第 8 天时,对照、添加木质素和添加生物炭的土柱中脲酶活性均达到第 1 个峰值,分别为 3.64, 3.00, 2.66, 2.88, 3.04, 2.95, 2.88 mg/g;第 14 天时,添加木质素或生物炭的脲酶活性开始低于对照;到第 20 天时,添加木质素和添加生物炭的土壤中脲酶活性相近且趋于平缓,木质素略高于生物炭。

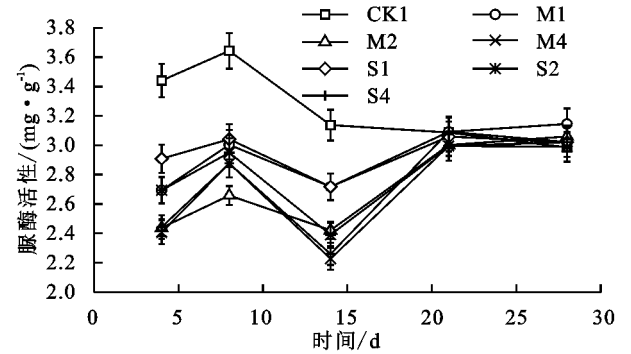


图 2 不同处理的土壤脲酶活性

脲酶抑制率是指不同处理脲酶活性同对照相比对脲酶的抑制情况。由图 3 可知,除 S1 处理外,其余处理在 1~8 天时对脲酶活性抑制缓慢降低。在 8~14 天时,M1、M2、S1 处理对脲酶活性的抑制效果持续下降,M4、S2、S4 处理反而上升,尤其是 M4 处理对脲酶活性抑制率达到 29.01%,说明高添加量的木质素对脲酶活性的持续性抑制效果最好,生物炭与之相反。在 14 天后,各处理对脲酶的抑制效果迅速下降,个别处理甚至对脲酶活性还有促进作用。这种趋势的出现可能是因为腐殖质与土壤中的酶形成了腐殖物质和酶—碳水化合物复合体,这种结合是可逆结合,酶分子较少遭到变性和破坏,一定条件下还可恢复其活性。木质素是可逆转的脲酶抑制剂,能够抑制尿素的水解作用,木质素碳氮比较高,在土壤中能在微生物作用下逐渐降解,是土壤腐殖物质的良好前体,而腐殖物质除能增加土壤有机质外,还对脲酶的活性有抑制作用。木质素对土壤脲酶的抑制程度随木质素施入量的增加而增强。

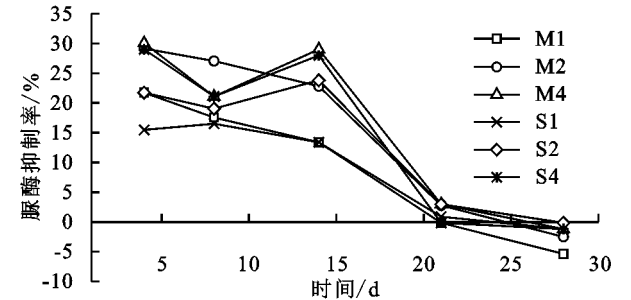


图 3 不同处理的土壤脲酶抑制率

2.2.3 不同处理对土壤 pH 的影响 由图 4 可知,土壤中的 pH 均呈现先升高再降低的趋势,在添加 5 天时,pH 达到峰值,1%生物炭处理最高,且 3 种添加

量的生物炭处理均略高于木质素处理;在第 25 天时,土柱中的 pH 达到稳定。pH 的大小和尿素水解速率具有线性关系,前期尿素水解速率大,氨挥发速率也随之增加,从而促进土柱中 pH 的上升;后期氮肥损失减少,尿素水解缓慢,pH 也随之降低。黄绵土本身 pH 含量较高,更加有利于土壤中氨的挥发,木质素和生物炭均能抑制尿素的分解,减缓 pH 增加速度,二者在影响土壤 pH 的效果相近,无显著性差异。

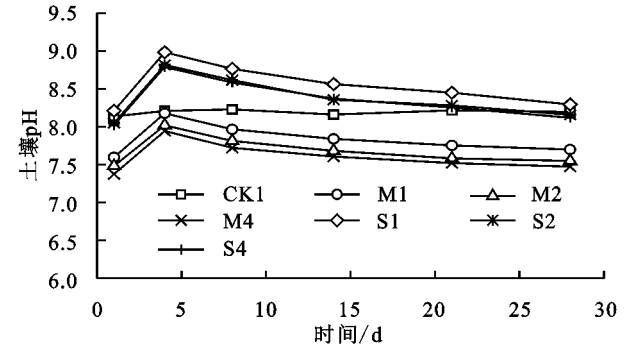


图 4 不同处理的土壤 pH

2.3 木质素和生物炭对肥料淋溶的影响

2.3.1 木质素和生物炭对氮素淋溶损失的影响 氮素淋溶是氮肥损失的最大途径,其到达地下水层后通过水势运移,造成地表水及地下水的污染,硝酸盐含量超标。从图 5 可以看出,随着时间的推移,淋溶量在逐渐增大。在第 28 天,添加木质素或生物炭的各处理累计淋溶量依次为 94.33, 86.90, 80.22, 104.01, 96.67, 84.33 mg,相比较于 CK2 的 139.49 mg 分别减少 32.37%, 37.70%, 42.49%, 25.43 %, 30.70%, 39.54%。可知木质素添加量为 2%的效果与生物炭添加量为 4%的相当。

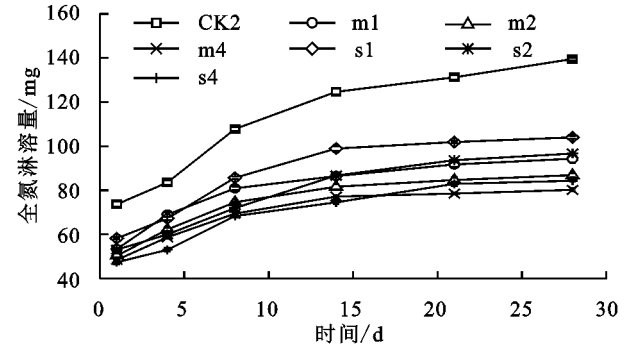


图 5 不同处理氮素淋溶的累积量

2.3.2 木质素和生物炭对磷素淋溶损失的影响 磷元素在土壤中通常以络合物形式固定在团粒体周围,移动性差,淋溶磷素较少,磷素也是引起水体富营养化的主要元素之一。从图 6 可以看出,磷素和氮素一样,随着淋溶时间和次数的增加磷素累计淋溶量呈增加趋势。在 1~10 天磷素淋溶速率最高,在 10~30 天淋溶速度趋于平缓,在 28 天时,对照和添加木质素及生物炭的各处理最终淋溶量分别为 142.60, 108.83,

84.88, 73.98, 132.66, 109.97, 92.27 mg, 相比较于 CK2, 磷素淋溶损失量分别减少 23.68%, 40.48%, 48.12%, 6.97%, 22.88%, 35.30%, 同添加量的生物炭和木质素相比较, 木质素添加量为 2% 的处理对磷肥的固持能力最好。

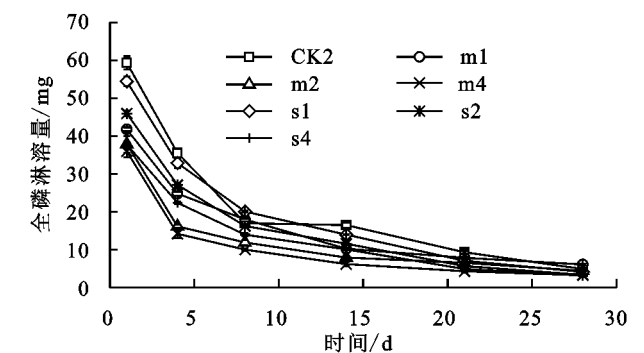


图 6 不同处理磷酸根淋溶量的变化

2.3.3 木质素和生物炭对淋溶体积的影响 木质素和生物炭添加到土壤后, 其疏松多孔的性质能够吸附土壤游离的水分, 从而增加土壤的持水能力。由图 7 可知, 不同处理的土柱淋溶量均呈先升高后降低的趋势, 土柱累计淋溶量从大到小依次为 CK2>m1>m4>s1>s2>m2>s4。添加 2% 木质素和 4% 生物炭土柱淋溶液相比较于其他处理显著减少, 与 CK2 相比分别减少 15.82% 和 16.06%, 可知添加木质素和生物炭均能减少土壤水分淋溶。

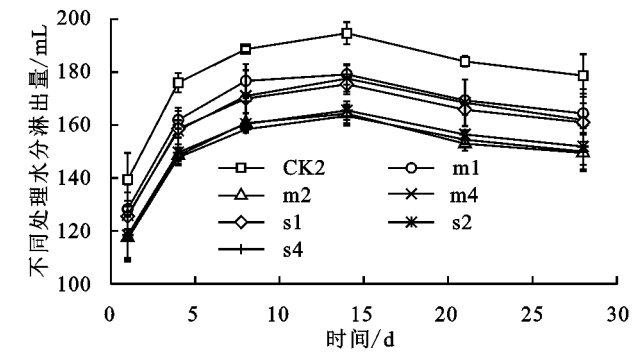


图 7 不同处理土柱水分淋出量的变化

3 讨论

木质素和生物炭都是能直接或间接从自然可再生资源中获得的高分子物质。一般认为, 木质素是一种三维立体空间结构, 相比较于生物炭的网状结构, 其表面积更大, 吸附基团更多^[8,12]。木质素大分子链在造纸工业中已经被碱化降解, 结构上除了原有的酚羟基和醇羟基外, 又增加了芳香基、甲氧基等活性基团^[17], 这样使木质素可以进行氧化、还原、水解、醇解、酸解、光解、生物降解、酰化、磺化、烷基化、卤化、硝化、缩聚或接枝共聚等许多化学反应。而且相比较木质素而言, 生物炭是由农作物秸秆、杂草、树枝等生物废弃物经过复杂炭化才能形成的一种碳含量丰富的炭物质。虽然生物炭热解后会形成一种具有吸附性、芳香性的物

质^[18], 但总体来说, 生物炭制造过程复杂, 反而不如造纸废液中的木质素提取方便。

本试验发现, 木质素在土壤中保水、保肥, 抑制脲酶活性和 pH 变化上的效果与添加生物炭的效果相近。生物炭表面的酸性官能团上的 H^+ 可以质子化 NH_3 形成 NH_4^+ , 生物炭的高 CEC 也会进一步吸附 NH_4^+ , 增强土壤对氮的吸收效应^[19]。除此之外, 生物炭能够通过提高土壤田间持水量、微生物生物量和改变细菌群落土壤的结构, 减少微生物对氮素的分解, 进而可能有助于减少氮的淋失^[20]。相比较于生物炭, 木质素除了本身的结构具有吸附功能之外, 还含有醌类、羟基等活性基团, 这些基团在一定程度上作用效果与脲酶抑制剂作用相似, 施入土壤后能够减缓氮肥的分解过程^[21]。脲酶是一种由土壤中多种微生物联合分泌的金属酶, 其主要作用是促进尿素的分解, 脲酶的含量及活性是土壤分解尿素的重要指标, 添加木质素和生物炭的处理, 均能抑制脲酶活性, 其抑制率与二者的添加量呈正比。在王秋静^[22]的研究中也发现, 土壤脲酶活性的抑制程度随着施入木质素量的增加而增加, 木质素的吸附基因能在一定程度上吸附养分, 减缓养分流失; 李卓瑞等^[15]的研究中发现, 木质素包膜肥料能够减缓尿素的释放, 增加土壤的持水性能, 抑制脲酶活性, 减缓尿素过快地向铵态氮转化。在前人^[23]的研究中发现, 含有醌类基团的物质长期可作为脲酶抑制剂存留土壤中, 在对木质素的结构检测中发现, 木质素中含有醌类基团, 因此, 可以断定木质素对脲酶的抑制作用主要是其醌类基团在其作用^[9]。在 He 等^[24]的研究中发现, 生物炭以 15 t/hm^2 添加到土壤中, 土壤氮挥发增加 85%, 目前还没发现关于木质素对脲酶促进方面的研究, 由此看出木质素在脲酶抑制方面比生物炭更稳定。

土壤 pH、土壤酶的活性是检测土壤理化性质的重要指标, 尿素的施入会产生铵态氮, 铵根水解会造成土壤 pH 升高, 而 pH 升高又能影响土壤中氮的挥发, 而随着 pH 升高, 尿素水解速度加快, 铵态氮含量增加。本研究发现, 除添加量为 1% 的生物炭处理外, 其余处理的 pH 均小于 CK, 且变化幅度较小。因此可以得出, 木质素、生物炭添加到土壤中, 能够增加土壤的缓冲能力, 维持 pH 的稳定性, 该结果与 Rosales 等^[25]的研究大体一致。

磷素也是植物吸收的大量元素之一。生物炭和木质素均是具有较大的比表面积和孔结构的物质, 能够在其结构表面吸附大量的磷酸基团, 所以添加木质素、生物炭能够减低土壤磷素的淋溶量。Zhou 等^[26]的研究中发现, 采用生物炭和磷肥混合施用在土壤中, 磷素的淋溶量仅为对照的 15.91%, 生物炭显

著提高了总磷(TP)、有效磷(AP)含量并促进了磷吸收,降低了磷淋溶。生物炭主要通过提高表层水分利用率、微生物活性等,来影响磷素在土壤中的分解和促进作物对磷元素的吸收^[15,26]。而木质素除了通过影响水分等因素外,对磷素在土壤中的分解还具有其他功能,如木质素可以提高根系土壤碱性磷酸酶活性,并且添加木质素浓度越高,提高越显著^[26]。木质素结构基团具有络合、交换、吸附离子的优良性能,能够抑制土壤颗粒对磷酸基团的吸附,增加有效磷的数量,提高作物对磷肥的吸收^[10]。木质素中黄腐酸物质也能对作物产生刺激作用^[27],促进作物对磷肥的吸收速率,减少损失。木质素与肥料混合添加到设施蔬菜上,除了能够降低蔬菜硝酸盐含量外,还能够显著增加蔬菜的维生素 C 含量。

在本试验中,通过对木质素和生物炭不同添加量处理的效果对比,可以看出木质素 2% 添加量的处理无论是在静态吸收试验还是土柱淋溶试验中的效果均与生物炭添加量为 4% 的处理效果相持平,因此造纸黑液中的木质素应和生物炭一样在土壤水肥保持方面具有应用价值。并且相比较生物炭复杂的制造过程,造纸废液中木质素具有提取简单、含量大、价格低廉等优点,适合进行简单回收使用。

4 结论

(1) 添加木质素或者生物炭,可以降低土壤 pH 的变化范围,抑制脲酶活性,抑制率与二者的添加量呈正相关,其中木质素添加量为 2% 的与生物炭添加量为 4% 的处理抑制效果相近。

(2) 对比 CK1 处理,木质素添加量为 4% 的处理能够减少全氮、铵态氮、磷酸根的损失量分别为 42.49%、14.86% 和 48.12%,生物炭添加量为 4% 的处理能够减少全氮、铵态氮、磷酸根的损失量分别为 39.54%、15.26%、35.30%;对比 CK2 处理,木质素添加量为 2% 的处理对水分保持效果最好,达到 15.82%,几乎与生物炭添加量为 4% 的处理(16.06%)相持平。

(3) 木质素和生物炭在保水保肥、抑制脲酶活性和改变土壤 pH 的效果相近,木质素在一定程度上可以替代生物炭改良剂在土壤中的应用。

参考文献:

- [1] Ju X T, Gu B J, Wu Y Y, et al. Reducing China's fertilizer use by increasing farm size[J]. *Global Environmental Change*, 2016, 41: 26-32.
- [2] 赵玉芬,尹应武.我国肥料使用中存在的问题及对策[J]. *科学通报*, 2015, 60(36): 3527-3534.
- [3] Tian C, Zhou X, Liu Q, et al. Effects of a controlled-release fertilizer on yield, nutrient uptake, and fertilizer

- usage efficiency in early ripening rapeseed (*Brassica napus* L.) [J]. *Journal of Zhejiang University-Science B*, 2016, 17(10): 775-786.
- [4] Upton B M, Kasko A M. Strategies for the conversion of lignin to high-value polymeric materials: Review and perspective [J]. *Chemical Reviews*, 2015, 116(4): 2275-2306.
- [5] Thakur V K, Thakur M K. Recent advances in green hydrogels from lignin: A review [J]. *International Journal of Biological Macromolecules*, 2015, 72: 834-847.
- [6] Kai D, Tan M J, Chee P L, et al. Towards lignin-based functional materials in a sustainable world [J]. *Green Chemistry*, 2016, 18(5): 1175-1200.
- [7] 路瑶,魏贤勇,宗志敏,等.木质素的结构研究与应用[J]. *化学进展*, 2013, 25(5): 838-858.
- [8] Laurichesse S, Avérous L. Chemical modification of lignins: Towards biobased polymers [J]. *Progress in Polymer Science*, 2014, 39(7): 1266-1290.
- [9] Rinaldi R, Jastrzebski R, Clough M T, et al. Paving the way for lignin valorisation: Recent advances in bioengineering, biorefining and catalysis [J]. *Angewandte Chemie International Edition*, 2016, 55(29): 8164-8215.
- [10] 刘宁,何红波,解宏图,等.土壤中木质素的研究进展 [J]. *土壤通报*, 2011, 42(4): 991-996.
- [11] 邢英,李心清,王兵,等.生物炭对黄壤中氮淋溶影响:室内土柱模拟[J]. *生态学杂志*, 2011, 30(11): 2483-2488.
- [12] 陈温福,张伟明,孟军.生物炭与农业环境研究回顾与展望[J]. *农业环境科学学报*, 2014, 33(5): 821-828.
- [13] 张杰,汪洪,李书田,等.施用木质素对土壤中尿素转化及释放的影响[J]. *中国土壤与肥料*, 2010(5): 16-20.
- [14] 王洪媛,盖霞普,翟丽梅,等.生物炭对土壤氮循环的影响研究进展[J]. *生态学报*, 2016, 36(19): 5998-6011.
- [15] 李卓瑞,韦高玲.不同生物炭添加量对土壤中氮磷淋溶损失的影响[J]. *生态环境学报*, 2016, 25(2): 333-338.
- [16] 鲍士旦.土壤农化分析[M]. 3 版.北京:中国农业出版社, 1999: 42-50.
- [17] Li J B, Wang M, She D, et al. Structural functionalization of industrial softwood kraft lignin for simple dip-coating of urea as highly efficient nitrogen fertilizer [J]. *Industrial Crops and Products*, 2017, 109: 255-265.
- [18] Zhang P, Sun H W, Ren C, et al. Sorption mechanisms of neonicotinoids on biochars and the impact of deashing treatments on biochar structure and neonicotinoids sorption [J]. *Environmental Pollution*, 2018, 234: 812-820.
- [19] Sha Z P, Li Q Q, Lv T T, et al. Response of ammonia volatilization to biochar addition: A meta-analysis [J]. *Science of the Total Environment*, 2019, 655: 1387-1396.
- [20] 陶朋闯,陈效民,靳泽文,等.生物质炭与氮肥配施对旱地红壤微生物量碳、氮和碳氮比的影响[J]. *水土保持学报*, 2016, 30(1): 231-235.

[9] Wu Q H, Liu C L, Lin W J, et al. Quantifying the preferential flow by dye tracer in the North China Plain [J].*Journal of Earth Science*, 2015, 26(3):435-444.

[10] 田香姣,程金花,杜士才,等.2 种土地利用方式下的优先流特征[J].*水土保持学报*, 2014, 28(3):37-41.

[11] 魏虎伟,程金花,杜士才,等.利用染色示踪法研究四面山两种林地优先路径分布特征[J].*水土保持通报*, 2015, 35(2):193-197.

[12] 戴翠婷,刘窑军,王天巍,等.三峡库区高砾石含量紫色土优先流形态特征[J].*水土保持学报*, 2017, 31(1):103-108.

[13] 赵其国,黄国勤,马艳芹.中国南方红壤生态系统面临的问题及对策[J].*生态学报*, 2013, 33(24):7615-7622.

[14] 黄国勤,赵其国.红壤生态学[J].*生态学报*, 2014, 34(18):5173-5181.

[15] 王毅.壤中流控制机制及其生态水文效应的试验和模拟研究[D].北京:中国科学院大学, 2011.

[16] 王亮亮,张中彬,彭新华.南方红壤丘陵区不同土地利用方式土壤水力学性质研究[J].*土壤*, 2013, 45(5):875-882.

[17] 鲍文,赖奕卡.湘中红壤丘陵区不同土地利用类型对土壤特性的影响[J].*中国水土保持*, 2011(10):47-50.

[18] 刘祖香,陈效民,靖彦,等.典型旱地红壤水力学特性及其影响因素研究[J].*水土保持通报*, 2013, 33(2):21-25.

[19] 毕利东,张斌,潘继花.运用 Image J 软件分析土壤结构特征[J].*土壤*, 2009, 41(4):654-658.

[20] Zhang Z B, Peng X, Zhou H, et al. Characterizing preferential flow in cracked paddy soils using computed tomography and breakthrough curve[J].*Soil and Tillage Research*, 2015, 146(1):53-65.

[21] 王艳玲,刘翠英,徐江兵,等.长期有机无机肥配施条件下的旱地红壤水分特征分析[J].*土壤通报*, 2015, 46(2):334-340.

[22] 尹梅,洪丽芳,付利波,等.曲靖市坡耕地土壤养分的空间变异性及其与利用方式的关系[J].*土壤通报*, 2013, 44(1):35-41.

[23] 武琳,黄尚书,叶川,等.土地利用方式对江西红壤旱地碳库管理指数的影响[J].*土壤*, 2017, 49(6):1275-1279.

[24] 程东娟,张亚丽.土壤物理实验指导[M].北京:中国水利水电出版社, 2012:13-111.

[25] Janssen M, Lennartz B. Characterization of preferential flow pathways through paddy bunds with dye tracer tests[J].*Soil Science Society of America Journal*, 2008, 72(6):1756-1766.

[26] Weiler M, Fluhler H. Inferring flow types from dye patterns in macroporous soils[J].*Geoderma*, 2004, 120(1/2):137-153.

[27] 邹文秀,韩晓增,陆欣春,等.不同土地利用方式对黑土剖面土壤物理性质的影响[J].*水土保持学报*, 2015, 29(5):187-193.

[28] Kölbl A, Schad P, Jahn R, et al. Accelerated soil formation due to paddy management on marshlands (Zhejiang Province, China) [J].*Geoderma*, 2014, 228/229(18):67-89.

[29] Zhang G L, Gong Z T. Pedogenic evolution of paddy soils in different soil landscapes [J].*Geoderma*, 2003, 115(1/2):15-29.

[30] Liu M X, Guo L, Yi J, et al. Characterising preferential flow and its interaction with the soil matrix using dye tracing in the Three Gorges Reservoir Area of China[J].*Soil Research*, 2018, 56(6):588-600.

[31] 赵娇娜.长武塬区不同土地利用类型土壤大孔隙流研究[D].陕西 杨凌:中国科学院研究生院(教育部水土保持与生态环境研究中心), 2012.

[32] 王鹏程.三峡库区森林植被水源涵养功能研究[D].北京:中国林业科学研究院, 2007.

[33] 黎建强,张洪江,程金花,等.长江上游不同植物篱系统的土壤物理性质[J].*应用生态学报*, 2011, 22(2):418-424.

(上接第 232 页)

[21] 徐强.工业碱木质素基缓释氮肥的制备及缓释性能研究[D].陕西 杨凌:中国科学院大学(中国科学院教育部水土保持与生态环境研究中心), 2017.

[22] 王秋静.木质素在生物质炭尿素肥料中的应用研究[D].哈尔滨:东北农业大学, 2015.

[23] Modolo L V, Da-Silva C J, Brandão D S, et al. A minireview on what we have learned about urease inhibitors of agricultural interest since mid-2000s[J].*Journal of Advanced Research*, 2018, 13:29-37.

[24] He T H, Liu D Y, Yuan J J, et al. Effects of application of inhibitors and biochar to fertilizer on gaseous nitrogen emissions from an intensively managed wheat field[J].*Science of the Total Environment*, 2018, 628:121-130.

[25] Rosales E, Meijide J, Pazos M, et al. Challenges and recent advances in biochar as low-cost biosorbent: From batch assays to continuous-flow systems [J].*Bioresource Technology*, 2017, 246:176-192.

[26] Zhou K, Sui Y Y, Xu X, et al. The effects of biochar addition on phosphorus transfer and water utilization efficiency in a vegetable field in Northeast China[J].*Agricultural Water Management*, 2018, 210:324-329.

[27] 吕婷雯.木质素对施用有机肥下盆栽平邑甜茶生长及土壤环境的影响[D].山东 泰安:山东农业大学, 2016.