

活性炭对土壤入渗、蒸发特性及养分淋溶损失的影响

方圆^{1,2}, 冯浩^{1,2,3}, 操信春^{1,2}, 丁奠元^{1,2}

(1. 西北农林科技大学水利与建筑工程学院, 陕西 杨凌 712100; 2. 西北农林科技大学
中国旱区节水农业研究院, 陕西 杨凌 712100; 3. 中国科学院水利部水土保持研究所, 陕西 杨凌 712100)

摘要: 通过室内土柱模拟试验, 设置活性炭质量分数为 0% (对照), 0.1%, 0.3%, 0.6%, 0.9% 及 1.2% 共 6 个处理, 研究不同活性炭施入量对土壤入渗、蒸发特性及养分淋溶损失的影响。结果显示: 随着活性炭用量的增加, 土壤入渗能力先增强后减弱; 100 min 时, 施加 0.3% 活性炭的土壤累积入渗量达到最大, 高于对照的 10.60%, 而施加 1.2% 活性炭的土壤累积入渗量较对照的减少 5.70%; 33 d 的土壤累积蒸发量随着活性炭施用量的增大而逐渐减小, 与对照的相比最大减小量达 21.35%; 土壤淋溶液中硝态氮(NO_3^-)、土壤可溶性有机碳(DOC)的浓度随活性炭用量增大而减小, 与对照的相比最大减小量分别为 8.52% 和 47.11%。活性炭的施加对提高旱区农田蓄水保肥能力有重要意义。

关键词: 活性炭; 土壤; 入渗; 蒸发; 养分淋溶

中图分类号: S152.7; S153.5 文献标识码: A 文章编号: 1009-2242(2011)06-0023-04

Influence of Active Carbon on Soil Infiltration and Evaporation Characteristics and Nutrient Leaching Loss

FANG Yuan^{1,2}, FENG Hao^{1,2,3}, CAO Xin-chun^{1,2}, DING Dian-yuan^{1,2}

(1. College of Water Resource and Architectural Engineering, Northwest Agriculture and Forestry University, Yangling, Shaanxi 712100; 2. Institute of Water Saving Agriculture in Arid Areas of China, Northwest Agriculture and Forestry University, Yangling, Shaanxi 712100; 3. Water and Soil Conservation Research Institute, China Academy of Sciences and Ministry of Water Resources, Yangling, Shaanxi 712100)

Abstract: Soil columns experiment was used to investigate the effects of active carbon application on soil infiltration, evaporation characteristics and leaching loss of nutrients. There were six treatments with different active carbon's contents: 0% (the control treatment), 0.1%, 0.3%, 0.6%, 0.9% and 1.2%. The results showed that: Along with the increase of active carbon application, the soil infiltration increased to a certain degree and then declined. After 100 minutes infiltration, the highest and lowest cumulative infiltration appeared in the 0.3% and 1.2% treatment, about 10.60% higher and 5.7% lower than that of the control treatment, respectively. The cumulative soil evaporation in 33 days decreased with the increasing application of the active carbon, the maximum reduction was about 21.35% compared to the control treatment's. The concentrations of NO_3^- and DOC in the soil leachate decreased with the increase of active carbon application, the maximum reduction being 8.52% and 47.11% respectively compared to the control treatment's. The application of active carbon was of great importance to increase soil available nutrients and water-holding capacity in arid region.

Key words: active carbon; soil; infiltration; evaporation; nutrient leaching

水资源相对不足和土壤肥力低下是制约干旱半干旱地区农业生产的 2 个重要因素。农业要向高产稳产方向发展, 必须发展以充分利用有效降水为中心的节水灌溉和旱地农田节水保水保肥技术。研究表明, 向土壤中添加土壤改良剂能够调节土壤肥力状况, 改善土壤结构、渗透性以及保水保土能力^[1]。近年来, 国内外有关土壤结构改良剂改良土壤方面的研究很多。根据土壤结构改良剂材料的来源、制法和性质, 土壤结构改良剂可分为天然土壤结构改良剂和人工合成土壤结构改良剂^[2]。其中, 聚丙烯酰胺(PAM)作为一种土壤结构改良剂, 可以稳定或改良土壤结构和凝聚径流中的悬浮颗粒, 增加降雨入渗、减少径流和土壤侵蚀, 从而改善土壤水分状况, 增加植物可利用水含量, 提高水分利用效率, 减少杀虫剂和肥料的流失, 改善生态环境^[1]。研究表明, 天

收稿日期: 2011-06-30

基金项目: 国家“十二五”863 计划课题(2011AA100503); 中央高校基本科研业务费专项资金

作者简介: 方圆(1987—), 男, 河南新乡人, 研究生, 主要从事农业水土资源保护与利用方面研究。E-mail: fangzheng416@163.com

通讯作者: 冯浩(1970—), 男, 陕西延安人, 博士, 研究员, 主要从事水土资源高效利用方面研究。E-mail: nercwsi@vip.sina.com

然沸石是很好的土壤改良剂,沸石加入到土壤后,可以增加土壤对铵根离子、磷酸根离子和钾离子的保持能力,提高养分利用效率及养分有效性^[3]。活性炭作为最古老最重要的工业吸附剂之一,与其他吸附剂(树脂类、硅胶、沸石等)相比,具有许多优点:高度发达的孔隙结构和巨大的内比表面积;炭表面含有(或可以附加)多种官能团,具有催化性能且性能稳定,可以在不同温度、酸碱度中使用;可以再生^[4]。近年来,活性炭已被运用于农业生产中,在农业方面,活性炭可制成土壤改良剂,促进植物幼苗的生长;用于包炭种子可改善种子性能;用于花卉保鲜剂,杂草抑制剂等^[5]。李玉奇等^[6]通过温室试验研究发现活性炭能显著提高黄瓜总生物量、蔓长、叶面积指数、叶片数和产量。尽管活性炭已经作为土壤改良剂用于农业实际生产中,但其对土壤改良的具体效应研究尚缺,尤其是活性炭施加后对土壤水分入渗、蒸发及养分淋溶影响的基础研究还未有报道。本文通过室内模拟对比试验研究活性炭施入土壤后对土壤入渗、蒸发特性及养分淋溶损失的影响,旨在探索活性炭作为土壤改良剂对土壤的改良效果,进而为其在旱区农田保墒固肥中的应用提供理论依据。

1 研究方法

1.1 试验材料

以西北农林科技大学节水灌溉试验站土壤为供试体,土壤类型为壤土,采集深度为 10—30 cm。供试土壤的基本理化性质为:土壤砂粒,粉粒,粘粒含量分别为 23.83%,62.15%及 14.02%,土壤有机质含量 7.10 g/kg,碱解氮 22.99 mg/kg,速效磷(P_2O_5)41.64 mg/kg,速效钾(K_2O)138.25 mg/kg,属于中等肥力土壤,土壤风干后过 2 mm 筛备用。供试活性炭由天津市科密欧化学试剂有限公司生产,市购。

1.2 试验设计与方法

试验共设 6 个水平的活性炭质量分数,所取土壤(不添加活性炭)作为一个水平,记为 CK,在供试土样中按 0.1%,0.3%,0.6%,0.9%,1.2%的比例添加活性炭作为 5 个水平,分别记为 H1,H2,H3,H4,H5。将供试土样风干,碾碎后过 2 mm 筛,配以所需的活性炭。按设计容重为 1.3 g/cm^3 填充到直径 10 cm,高 35 cm 的 PVC 管中。装土前管底用纱布封住,管内均匀涂抹一薄层凡士林,管底放滤纸,然后将土壤分 5 层(6 cm/层,填充高度为 30 cm)装入土柱中,每次装土前必须保证土壤表面打毛。采用垂直一维积水入渗法测定装土结束后土壤入渗性状。试验装置由土柱和马氏瓶组成,水头均控制为 4 cm,记录单位时间马氏瓶水位的下降高度。待土柱饱和下部滴水后用烧杯收集淋溶液,测定淋溶液中硝态氮和土壤溶解性有机碳(DOC)含量。硝态氮用紫外分光光度计测定,DOC 用 TOC-VCPH 仪测定。入渗试验和淋溶液收集结束后,将所有土柱放入人工气候箱中测定其在一定环境下的蒸发,控制温度为 $30 \text{ }^\circ\text{C}$,每天早上 9:00 对所有土柱进行称重,然后打开人工气候箱,晚上 9:00 关闭人工气候箱,蒸发过程持续 33 d。所有试验处理重复 3 次。

1.3 数据处理与分析

试验中所有数据均为各重复测定的平均值,采用 Excel、SPSS15.0 等软件对数据进行处理。

2 结果与分析

2.1 施加活性炭对土壤入渗特性的影响

土壤入渗能力主要受土壤自身的性质如土壤质地、容重、含水率、地表结皮、水稳性团粒含量等多种因素影响^[7],通常在稳定入渗之后用稳定入渗速率表征,但在达到稳定入渗之前,常用累积入渗量来表征入渗能力^[8]。图 1 给出了各处理土壤在各试验观测时间点的累积入渗量。图 1 显示,试验初始阶段,不同处理对土壤的累积入渗量影响不显著:如试验进行到 20 min 时,

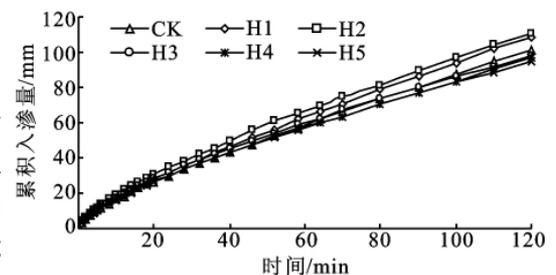


图 1 不同处理土壤累积入渗量动态变化

各处理的土壤累积入渗量均接近 28.0 mm,差异不大,这可能因为试验初期影响土壤入渗量的主导因子为其前期含水率而非土壤结构。随着试验的进行,各时间点不同处理土壤累积入渗量的差异趋于明显,且不同处理间的差距有随着时间的推移而增大的趋势。由图 1 可知,各处理入渗速率在 100 min 时基本达到稳定,故以 100 min 累积入渗量来衡量土壤前期入渗能力。100 min 时各处理累积入渗量大小顺序依次为 H2(97.0 mm) > H1(94.0 mm) > CK(87.7 mm) > H3(86.0 mm) > H4(83.0 mm) > H5(82.7 mm),处理 H1 的土壤累积入渗量较 CK 的高出 7.18%,处理 H2 的土壤累积入渗量与 CK 的相比增加值最大,达 10.60%。可见,当活性炭施用量较小时,土壤的累积入渗量随活性炭施用量的增加而增加;但是当活性炭施用量继续增加时,土壤累积入渗量反而开始减小,80 min 时 H3 水平的土壤累积入渗量(73.5 mm)较对照的高 0.2 mm,然而随着入渗时

间的增加,添加高水平活性炭的土壤累积入渗量逐渐减少,其中活性炭添加量最大的处理 H5 的累积入渗量较对照 CK 的少 5.70%。入渗稳定时土壤的累积入渗量随活性炭施加比例增大呈现先增大后减小的变化趋势,这可能与活性炭的比表面积大、吸附能力强有关:添加少量的活性炭增大了土壤的表面积及孔隙度,促进了水分的入渗,并在一定范围内随着活性炭掺入比例的增加这种促进作用增强;但活性炭含量继续增加时,其较强的吸附能力将土壤中的杂质、微小悬浮物吸附,从而堵塞了土壤中水分流通的孔隙,导致入渗能力下降。

为描述添加活性炭对土壤入渗过程的影响,采用 Philip 入渗模型^[9]对各处理入渗过程的实测值进行拟合:

$$I(t) = St^{0.5} + At$$

式中: $I(t)$ 为累积入渗量(mm); S 为吸渗率($\text{mm}/\text{min}^{0.5}$); A 为稳渗率(mm/min); t 为入渗时间(min)。

采用 Duncan 新复极差法对拟合参数的显著性进行比较。各处理的拟合参数、决定系数及对参数的显著性比较结果见表 1。从表可看出,各处理决定系数(R^2)均大于 0.994,拟合效果较好,故认为活性炭的施加(0.1%~1.2%)对土壤入渗进程的规律没有影响。各处理的吸渗率(S)及稳渗率(A)大小基本呈现随活性炭施加量增大而先增后减的规律,与累积入渗量随活性炭施加量变化的表现规律基本一致。土壤吸渗率(S)是土壤依靠毛管力吸收液体能力的量度^[10],而稳渗率(A)能衡量土壤的渗透性能^[11]。在活性炭施用量较少时,其对土壤稳定入渗率(A)具有较好的改善作用,能在一定程度上提升土壤稳定入渗速率,然而随着活性炭用量的增加,由于其吸附的杂质和悬浮物较多,反而降低了土壤的入渗速率。所以在活性炭改良土壤时应该适量施用。

2.2 施加活性炭对土壤蒸发特性的影响

农田生产实际中,作物蒸腾和地表蒸发是土壤水分散失的主要途径,有效抑制土壤水分的无效蒸发对提高土壤水分的利用效率有重要意义。图 2 给出了各处理的土壤累积蒸发量随时间的变化趋势。从图可以看出,各处理的土壤累积蒸发量随活性炭施入量的增大而减小,且随着时间的推移,不同处理间累积蒸发量的差异变大。33 d 测定结果显示,各处理(H1、H2、H3、H4、H5)土壤累积蒸发量较对照(CK)的分别低 5.59%,9.80%,14.25%,16.84%及 21.35%,随着活性炭施用量的增加,抑制土壤蒸发的效果越明显。由上可知,活性炭能有效减少土壤蒸发,保蓄土壤水分。

在大气蒸发力比较固定的情况下,湿润土壤蒸发可分为稳定蒸发、速率递减和扩散控制 3 个阶段^[9]。本试验各处理土壤水分蒸发的各个阶段分界并不明显,但累积蒸发量随时间变化的趋势基本一致。本研究采用幂函数 $E_c = a \times t^b$ 来拟合累积蒸发量和时间的关系。通过累积蒸发量对时间求导,可得各处理蒸发速率与时间的关系为: $Et = a \times b \times t^{b-1}$ 。根据该幂函数性质可知,各个处理幂函数系数 $a \times b$ 值大小基本上反映了各个处理蒸发速率之间的大小关系。6 个处理幂函数的各参数拟合结果见表 2。各处理的决定系数(R^2)均大于 0.994(表 2),拟合精度均较高。比较表征各个处理蒸发速率大小的系数 $a \times b$ 值大小可以发现,活性炭含量越高,试验期内的平均蒸发速率越小,这与图 2 中各处理间累积蒸发量大小的趋势一致。活性炭的施加,可能改善了土壤结构,从而促进了土壤的抗蒸发效能,且在一定范围内,活性炭用量越多,土壤蒸发损失的水分越少。

2.3 施加活性炭对养分淋溶损失的影响

土壤中的氮素损失主要来自氮的淋失和氨的挥发等作用,其中氮素淋溶损失是目前造成氮肥利用率较低的主要原因之一,与此同时,在地下水水位较高的地区,氮素的淋溶损失也会造成地下水污染,所以减少氮素的淋溶损失对于提高氮肥利用率和保护生态环境具有重要的意义^[12]。土壤可溶性有机碳(DOC)是指吸附在土壤或沉积物颗粒或溶解在孔隙水中的总的水溶性有机碳库^[13]。土壤及水体中 DOC 的产生、迁移与转化对土壤碳库和其他元素具有重要的影响^[14]。土壤活性有机碳是微生物生长的速效基质,其含量高直接低影响土壤微生物的活性,从而影响温室气体的排放,所以减少 DOC 向深层淋失具有重要的意义。

表 1 不同处理的 Philip 入渗模型拟合结果

处理	拟合参数		R^2
	吸渗率/ ($\text{mm} \cdot \text{min}^{-0.5}$)	稳渗率/ ($\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}$)	
CK	3.546b	0.456ab	0.995
H1	3.878ab	0.504a	0.994
H2	4.429ab	0.533a	0.997
H3	4.313ab	0.434ab	0.998
H4	4.808a	0.327b	0.995
H5	4.022ab	0.388ab	0.994

注:同列相同字母表示差异不显著($P < 0.05$)。

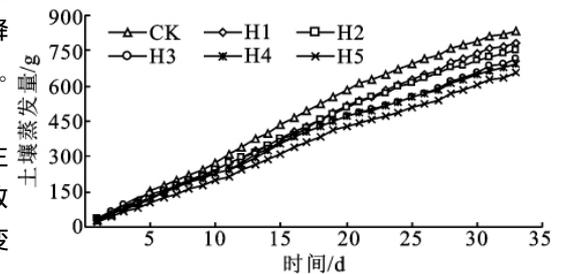


图 2 不同处理土壤累积蒸发量动态变化

表 2 累积蒸发量与时间的回归关系

处理	Ec 拟合参数		R^2	$a \times b$
	a	b		
CK	29.734	0.9771	0.9977	29.0531
H1	30.262	0.9337	0.9971	28.2556
H2	29.553	0.9392	0.9943	27.7562
H3	31.927	0.8645	0.9958	27.6009
H4	30.819	0.8941	0.9977	27.5553
H5	22.712	0.9642	0.9982	21.8989

本文以 NO_3^- 的淋溶来衡量氮素的损失,图 3 给出了不同活性炭施加量处理下 NO_3^- 、DOC 的淋溶损失量及各处理间的差异显著程度。对照组 CK 淋溶液中的 NO_3^- 和 DOC 浓度的平均值分别为 38.23, 59.54 mg/L。从图 3 可以看出,活性炭的施加对减少土壤养分淋失作用明显;各活性炭施加处理中,淋溶液中的硝态氮和 DOC 浓度均减小,且活性炭施加量越大,养分淋失与对照的差异越大;与 CK 的相比,5 个不同活性炭施加量的处理(H1、H2、H3、H4、H5)的 NO_3^- 浓度分别减少 2.23%, 3.20%, 4.99%, 7.24% 及 8.52%, DOC 浓度分别减少 18.45%, 35.58%, 42.33%, 45.45% 和 47.11%;硝态氮和 DOC 浓度减少程度随活性炭施加量的变化其规律存在差异:前者为减—平—减—平的阶梯状走势,而 DOC 浓度随着少量活性炭的施加急剧减小,但当活性炭施加量超过 0.3% 后,其减小程度趋于稳定,表现为 H3、H4、H5 中 DOC 浓度减少量相当。有研究表明,土壤对肥料中元素离子的吸附是提高其抗淋溶效果的内在因素^[15],而施用活性炭可以加强土壤对肥料的吸附和保持,抑制肥料中元素的流失,有利于作物吸收利用,从而提高肥料的利用率。虽然其内在机理还有待进一步研究,但活性炭施加对土壤养分淋溶损失的抑制作用已很明显。

3 结论与讨论

(1) 施加少量活性炭在不改变土壤水分入渗规律的同时能在一定程度上提高土壤入渗能力;0.3% 的活性炭施用量对土壤能力改善结果最优,累积入渗量较 CK 的增加了 10.60%;随后活性炭施用量继续增大时,土壤入渗速率、稳定入渗率及累积入渗量均较对照的有明显减少,活性炭质量分数为 1.2% 时,累积入渗量较对照的少 5.70%。

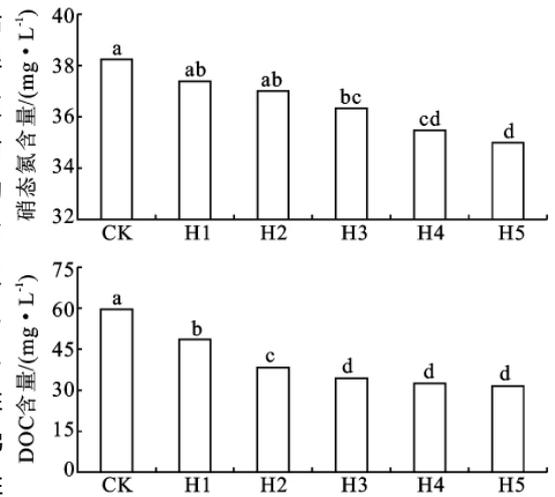
(2) 各处理 33 d 内日累积蒸发量随时间变化的趋势基本一致,但从蒸发观测试验开始,不同处理的日累积蒸发量存在差别,且差距逐渐加大;同一观测日随着活性炭含量的增加土壤累积蒸发量减少,其中,第 33 天施加 1.2% 活性炭处理的累积蒸发量比对照的小 21.35%。

(3) 活性炭处理后的土壤淋溶液中的 NO_3^- 、DOC 的浓度均低于对照的,且基本有随用量的增大,土壤淋溶液中各离子的浓度减小的趋势。其中,活性炭施加量最大的处理(H5)的 NO_3^- 、DOC 浓度较对照的减少幅度最大,达 8.52% 和 47.11%,活性炭对 DOC 的影响较 NO_3^- 敏感;随着活性炭施加量的增大, NO_3^- 浓度的变化为下阶梯状走势,而 DOC 的浓度先大幅度变小,之后趋于稳定。

通过分析施加活性炭对土壤水分入渗、蒸发特性及养分淋溶损失的影响及原因,可为旱区农业生产中保水保肥、提高农业生产能力提供理论依据。同时,有关活性炭对土壤作用的内在机理,反映活性炭保水保肥能力的综合指标的建立,以及最佳活性炭施加百分比的确定等还有待进一步深入研究。

参考文献:

- [1] 潘英华,雷廷武,张晴雯,等.土壤结构改良剂对土壤水动力学参数的影响[J].农业工程学报,2003,19(4):37-39.
- [2] 朱咏莉,刘军,王益权.国内外土壤结构改良剂的研究利用综述[J].水土保持学报,2001,15(6):140-142.
- [3] 解占军,王秀娟,牛世伟,等.沸石与改性沸石在土壤质量改良中的应用研究进展[J].杂粮作物,2006,26(2):142-144.
- [4] 崔静,赵乃勤,李家俊.活性炭制备及不同品种活性炭的研究进展[J].炭素技术,2005,24(1):26-31.
- [5] 孙康,蒋剑春.国内外活性炭的研究进展及发展趋势[J].林产化学与工业,2009,29(6):98-104.
- [6] 李玉奇,王涛,奥岩松.活性炭和风化煤对设施黄瓜生长、产量和品质的影响[J].安徽农业科学,2010,38(6):2851-2853.
- [7] 袁建平,张素丽,张春燕,等.黄土丘陵区小流域土壤稳定入渗速率空间变异[J].土壤学报,2001,38(4):579-583.
- [8] 李卓,吴普特,冯浩,等.容重对土壤水分入渗能力影响的模拟试验[J].农业工程学报,2009,25(6):40-45.
- [9] 邵明安,王全九,黄明斌.土壤物理学[M].北京:高等教育出版社,2006.
- [10] 付秋萍,王全九,樊军. Philip 公式确定吸渗率时间尺度研究[J].干旱地区农业研究,2009,27(4):65-70.
- [11] 闵雷雷,于静洁,张广英,等.3种方法测估的林地稳渗率对比初探[J].南水北调与水利科技,2010,8(5):36-38.
- [12] 员学锋,吴普特,汪有科,等.施加 PAM 条件下土壤养分淋溶试验研究[J].水土保持通报,2003,23(2):26-28.
- [13] 郗敏,孔范龙,吕宪国,等.三江平原典型岛状林湿地土壤水 DOC 质量浓度分布特征[J].辽宁工程技术大学学报:自然科学版,2009,28(2):322-325.
- [14] 张金波,宋长春,杨文燕.小叶章湿地表土水溶性有机碳季节动态变化及影响因素分析[J].环境科学学报,2005,25(10):1397-1402.
- [15] 龙明杰,张宏伟,谢芳,等.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.



注:图中相同字母表示同一时期不同处理间差异不显著 ($P < 0.05$)。

图 3 不同处理土壤硝态氮和 DOC 淋溶损失量