

生物炭不同施用方式对水盐调控及小麦苗期生长的影响

徐 强^{1,2}, 刘洪光^{1,2}, 李明思^{1,2}, 李鹏飞^{1,2}, 龚 萍^{1,2}

(1.石河子大学水利建筑工程学院,新疆 石河子 832000;2.现代节水灌溉兵团重点实验室,新疆 石河子 832000)

摘要:为研究生物炭不同应用模式对盐碱土水盐调控及小麦苗期生长的影响。通过室内桶栽模拟试验,生物炭以 2 种物理状态(粉状和杆状)、3 个添加量(1%,3%和 5%质量百分比)分别作为覆盖和添加物,以不添加生物炭的处理作为对照。结果表明:“干播湿出”条件下,FF(粉状覆盖)、GF(杆状覆盖)处理小麦出苗率分别为对照(CK)的 7.33~9.00,3.00~3.33 倍;FH(粉状混合)、GH(杆状混合)处理的出苗率较 CK 分别提高 66.67%~166.67%,33.00%~367.00%。FF、GF 处理的株高大幅提高,较 CK 分别提高 21.52%~34.55%,24.54%~40.48%;FH、GH 处理的株高小幅提高,较 CK 分别提高 -1.35%~12.22%,3.76%~8.59%。不同应用模式的灌后含水率差异明显,FF 处理的表层土壤较 CK 提高 0.31%~15.58%;而 GF 处理的表层土壤含水率较 CK 下降 0.40%~7.65%;FH、GH 处理的土壤含水率较 CK 分别提高 7.33%~18.61%,1.33%~18.38%;蒸发后 FF、GF 处理的含水率较 CK 分别提高 4.34%~45.38%,27.08%~53.22%,蒸发后 0—15 cm 土层的含水率明显提高,FH、GH 处理土壤含水率较 CK 分别提高 3.26%~16.66%,5.77%~36.37%。CK 0—10 cm 土层的电导率相对变化率最大,为 124.76%,FF、GF 处理的电导率相对变化率分别为 59.61%~114.73%,18.21%~86.47%;GH、FH 处理的电导率相对变化率分别为 67.26%~96.30%,72.05%~122.32%。FF、GF 处理的蒸发量较 CK 分别减少 0.76%~27.21%,53.49%~77.02%;FH、GH 处理的蒸发量与 CK 相比分别减少 1.95%~4.79%,1.71%~14.82%。生物炭改良作用的大小取决于生物炭的添加量和应用方式,等炭量投入条件下 FF、GF 处理在水盐分布、抑制蒸发和作物生长的作用优于 FH、GH 处理,可作为干旱区添加生物炭改良盐碱地的适宜模式。

关键词:生物炭;应用模式;水盐分布;土壤蒸发;小麦

中图分类号:S156.4;S512.1

文献标识码:A

文章编号:1009-2242(2023)05-0363-07

DOI:10.13870/j.cnki.stbcbxb.2023.05.044

Effects of Different Application Methods of Biochar on Water and Salt Regulation and Wheat Seedling Growth

XU Qiang^{1,2}, LIU Hongguang^{1,2}, LI Mingsi^{1,2}, LI Pengfei^{1,2}, GONG Ping^{1,2}

(1.College of Water Conservancy & Architectural Engineering, Shihezi University, Shihezi, Xinjiang 832000; 2.Key Laboratory of Modern Water-Saving Irrigation of Xinjiang Production & Construction Group, Shihezi, Xinjiang 832000)

Abstract: In order to study the effects of different application modes of biochar on water and salt regulation in saline alkali soil and wheat seedling growth, an indoor bucket planting simulation experiment was conducted. Biochar was covered on the surface of the soil in two forms of powdery and rod-shaped, with a mass percentage of 1%, 3% and 5%. Under the same treatment, biochar was mixed with 10 cm of the soil surface, and the treatment without biochar was used as a control (CK). The results showed that under the condition of “dry sowing and wet emergence”, the emergence rate of wheat treated with FF (powdery cover) and GF (rod-shaped cover) was 7.33 to 9.00 and 3.00 to 3.33 times higher than that of CK, respectively. The emergence rate of FH and GH treatments increased by 66.67% to 166.67% and 33.00% to 367.00%, respectively, compared with CK. The plant height of FF and GF treatments significantly increased, with an increase of 21.52% to 34.55% and 24.54% to 40.48%, respectively, compared with CK. The plant height of FH and GH treatments increased slightly, with an increase of -1.35% to 12.22% and 3.76% to 8.59%, respectively, compared with CK. There were significant differences in post irrigation moisture content among

收稿日期:2023-02-13

资助项目:国家自然科学基金项目(51790533,52069026,U1803244);兵团中青年创新领军人才项目(2022CB002-02)

第一作者:徐强(1993—),男,博士研究生,主要从事绿洲盐碱地改良与利用研究。E-mail:1693260422@qq.com

通信作者:刘洪光(1980—),男,教授,博士,主要从事土壤盐渍化治理研究。E-mail:liuhongguang-521@163.com

different application modes, and FF treatment increased the surface soil moisture content by 0.31% to 15.58% compared with CK. The surface soil moisture content treated with GF decreased by 0.40% to 7.65% compared with CK. The soil moisture content of FH and GH treatments increased by 7.33% to 18.61% and 1.33% to 18.38%, respectively, compared with CK. After evaporation, the moisture content of FF and GF treatments increased by 4.34% to 45.38% and 27.08% to 53.22%, respectively, compared with CK. After evaporation, the moisture content of the 0—15 cm soil layer increased significantly. The soil moisture content of FH and GH treatments increased by 3.26% to 16.66% and 5.77% to 36.37%, respectively, compared with CK. The maximum relative change rate of conductivity in the 0—10 cm soil layer of CK was 124.76%, while that in FF and GF treatments was 59.61% to 114.73% and 18.21% to 86.47%, respectively. The relative change rate in conductivity of GH and FH treatments was 67.26% to 96.30% and 72.05% to 122.32%, respectively. Compared with CK, the evaporation of FF and GF treatments decreased by 0.76% to 27.21% and 53.49% to 77.02%, respectively. Compared with CK, the evaporation of FH and GH treatments decreased by 1.95% to 4.79% and 1.71% to 14.82%, respectively. The improvement effect of biochar depended on the amount and the application method of biochar. Under equal carbon input conditions, FF and GF treatments had better effects on water and salt distribution, inhibition of evaporation, and crop growth than FH and GH treatments, which could be used as suitable models for adding biochar to improve saline alkali land in arid areas.

Keywords: biochar; application mode; water and salt distribution; evaporation; wheat

全球气候变化以及人类活动的强烈干扰,使得土壤盐渍化已成为全球干旱、半干旱地区最主要和影响最广泛的土地退化问题之一^[1],也是限制土地高效利用和导致农业生产水平低下的直接影响因素^[2]。新疆灌区耕地总面积为 $3.99 \times 10^6 \text{ hm}^2$,其中盐碱化面积 $1.28 \times 10^6 \text{ hm}^2$,占灌区耕地面积总数的 32.07%^[3]。合理有效地持续利用盐碱地资源已成为关系到经济社会发展、国家粮食安全的重要课题^[4]。生物炭已经被广泛地作为土壤改良剂^[5-6]改善土壤物质循环和土壤结构^[7-8],生物炭施入土壤后,其聚合稳定性提高 17%~20%,总孔隙率和可用水量增加 2%~3%,容重减少 3%~5%^[9],土壤体积密度显著降低 7.6%,土壤孔隙度显著增加 8.4%,骨料稳定性增加 8.2%,可用保水能力提高 15.10%,饱和透水率提高 25.20%^[10]。提高土壤保水性能和有效水含量^[11],尤其是提高土壤中可供作物利用的有效水分含量,富含生物炭的土壤比无生物炭的土壤田间持水量提高 18.00%。新疆地区因特殊的气候条件,盐碱地农田普遍存在蒸降比大、地下水位浅、盐分表聚等问题^[12-14]。覆盖作为一种常见的保护性耕作措施,能显著降低无效水分蒸发,调节土壤盐分分布,目前最常用的覆盖物是地膜与秸秆,然而,塑料薄膜的使用加剧环境污染问题,而作物秸秆直接还田减少作物出苗,加重病虫害^[15]。生物炭作为覆盖物可以避免这些问题的发生。本研究将 2 种物理状态的生物炭分别作为覆盖物和添加物,探究不同应用模式生物炭对土壤水分含量、蒸发特征和小麦苗期生长的影响,阐明其改良效益,以期应用生物炭改良盐碱土提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 供试材料

试验于 2021 年 4—10 月在石河子大学水利建筑工程学院水利与土木工程实验中心(86°03'E,44°18'N)进行。试验供试土壤取自石河子大学实验农场,土壤经风干、碾碎后过 2 mm 筛去除杂质,土壤总含盐量 1.56% (占干土质量),筛分法及比重计法测定土壤砂粒、粉粒和黏粒含量分别为 12.86%,77.90%和 2.44%,根据国际制土壤分类法^[1],所用的土壤质地为粉砂壤土。根据生物质炭在研究地区的可得性,选用棉花秸秆炭为供试生物质炭。棉秆经铡草机铡成 5~10 cm 小段,在 250~350 °C 不完全缺氧条件下热解 2.5 h 得到杆状生物炭,棉秆生物炭粉碎后过 2 mm 筛为粉状生物炭。生物炭与土壤理化性质见表 1。

1.2 试验方法

试供小麦品种为“新冬 22”。采用桶栽试验,试验在聚乙烯塑料桶(桶口直径 33.50 cm,底部直径 26.20 cm,高 34.00 cm)中进行。生物炭以粉状、杆状 2 种物理状态,3 种质量百分比(1%,3%,5%)覆盖于土壤表层,分别为 FF1、FF3、FF5、GF1、GF3、GF5;生物炭以粉状、杆状 2 种物理状态,3 种质量百分比(1%,3%,5%)混合于土壤表层 10 cm,分别为 FH1、FH3、FH5、GH1、GH3、GH5;以不添加生物炭的处理作为对照处理(CK);以不添加生物炭的覆膜处理记为 CM,每个处理 5 个重复。试验设计见表 2。土壤质地为粉砂壤土,按容重 1.40 g/cm^3 分层装土,每桶各装入 25.50 kg 土。各土柱按照 5 cm 1 层分别计算并称量样品,分层界面处进行磨毛,避免出现分层

现象。填装完成后,在土柱顶部放置 1 张滤纸,避免水流扰动土壤。试验中采用容量为 1 L 的大树输液袋供水,每个土柱设置 1 个输液袋,试验用水为自来水,矿化度为 0.15 g/L,每桶桶底铺有纱网和细砂,试

验期间采取称重法控制土壤含水率保持在田间持水率的 70%~100%。4 月 30 日每桶播种 10 颗,播种方式为“干播湿出”,5 月 10 日第 2 次每桶补种 5 颗,7 月 15 日结束试验。

表 1 生物炭与土壤理化性质

类型	容重/ (g·cm ⁻³)	田间 持水量/%	电导率/ (mS·cm ⁻¹)	有机碳/ (g·kg ⁻¹)	总氮/ (g·kg ⁻¹)	总磷/ (g·kg ⁻¹)	K ⁺ / (g·kg ⁻¹)	Ca ²⁺ / (g·kg ⁻¹)	Mg ²⁺ / (g·kg ⁻¹)
粉砂壤土	1.40	26.46	2.56	4.63	0.39	0.75	12.35	6.28	4.51
生物炭	0.51	—	0.72	521.69	25.72	11.02	20.58	19.63	4.26

表 2 试验设计

处理	生物炭 状态	生物炭 添加量/%	生物炭 添加位置
FF1	粉状	1	表面覆盖
FF3	粉状	3	表面覆盖
FF5	粉状	5	表面覆盖
GF1	杆状	1	表面覆盖
GF3	杆状	3	表面覆盖
GF5	杆状	5	表面覆盖
FH1	粉状	1	表层混合
FH3	粉状	3	表层混合
FH5	粉状	5	表层混合
GH1	杆状	1	表层混合
GH3	杆状	3	表层混合
GH5	杆状	5	表层混合

1.3 观测项目

(1)作物出苗率:出苗以叶片露出土面 2 cm 为准,播种后 6 天开始观测出苗率,2 周后结束。

出苗率(%)=出苗数/种子总数×100% (1)

(2)作物株高:播种后 35 天用直尺测量小麦幼苗的高度。

(2)土壤水盐含量:土壤第 1 次蒸发开始前,取土样作为蒸发试验的初始条件,取样位置分别为距土表 0—5,5—10,10—15,15—20,20—25 cm 处。在蒸发过程中,取样时间为灌前 1 天、灌后 48 h 取土样。取样深度与蒸发开始前一致。取样后采用烘干法测定土壤质量含水率,浸出液(土水比为 1:10)测定土壤电导率。

(3)土壤蒸发量:以每次灌前、灌后土壤含水率计算的土壤贮水变化量作为土壤蒸发量。

$$\Delta W=(\theta_i-\theta_{i+1})\cdot\gamma\cdot h\cdot r^2$$
 (2)

式中: θ_i 、 θ_{i+1} 为第 i 次蒸发前后的土壤质量含水量(%); γ 为土壤容重(g/cm³); h 为土层深度(cm); r 为各土层的筒体半径(cm)。

1.4 数据处理

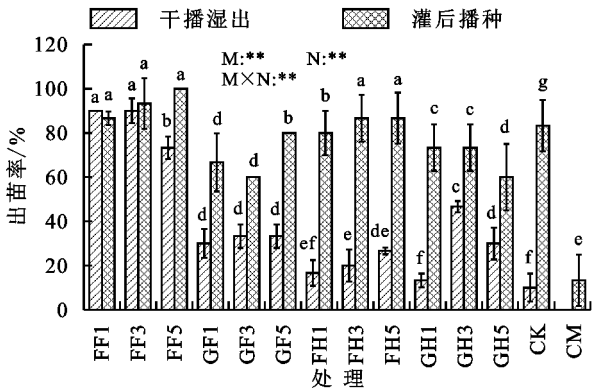
试验数据采用 Excel 2003 进行整理,采用 SPSS 19.0 软件进行统计分析,计算各处理性状的平均值,

并进行相关性分析,LSD 法进行显著性检验($p\leq 0.05$),使用 Origin 2020 软件作图。

2 结果与分析

2.1 棉秆生物炭不同施用方式对出苗率的影响

“干播湿出”条件下,各种添加生物炭处理的小麦出苗率显著高于 CK($p\leq 0.05$),不同的生物炭应用模式对小麦出苗的促进效果有差异,且随着生物炭添加量的增加而差异增大(图 1)。其中 CM 处理的出苗率最低为 0,CK 仅为 10.00%;FF 1%,3%,5%处理的出苗率分别为 CK 的 9.00,9.00,7.33 倍;GF 1%,3%,5%处理的出苗率分别为 CK 的 3.00,3.33,3.33 倍。FH 1%,3%和 5%处理的出苗率较 CK 分别提高 66.67%,100%和 166.67%;GH 1%,3%和 5%处理的出苗率较 CK 分别提高 33.00%,367.00%和 200.00%。



注:图中不同字母表示处理间差异显著($p<0.05$);M 为单因素生物炭应用模式,N 为单因素生物炭添加量,M×N 为应用模式与添加量的交互作用;显著性检验中的 * 和 ** 分别表示在 $p<0.05$ 和 $p<0.01$ 水平上达到显著。下同。

图 1 生物炭不同施用方式对小麦出苗率的影响

“灌后播种”条件下,仅 FF 和 FH 的处理对小麦出苗率有促进作用,且随着生物炭添加量的提高而提高(图 1),FF 1%,3%,5%处理的出苗率较 CK 分别提高 4.00%,12.00%和 20.00%;FH 1%,3%和 5%处理的出苗率较 CK 分别提高 4.00%,4.00%和 4.00%,而其他处理的小麦出苗率则表现为下降趋势。GF 1%,3%和 5%处理的出苗率较 CK 分别降低 19.99%,28.00%和 4.00%;GH 1%,3%和 5%处理的出苗率较 CK 分别降低 12.00%,12.00%和 28.00%。

2.2 生物炭不同施用方式对小麦株高的影响

生物炭的不同施用方式对小麦株高的提高幅度不同,但是不同生物炭添加量之间所产生的效果没有显著差异(图 2)。生物炭表层覆盖的施用方式显著提高小麦株高,而株高随着生物炭施用量增加先提高后降低,其中 FF 1%,3%和 5%处理的株高较 CK 分别提高 31.96%,34.55%和 21.52%;GF 1%,3%和 5%处理的小麦株高较 CK 分别提高 24.54%,40.48%,27.48%。生物炭混合施用方式对小麦株高仅有小幅度的提升,FH 1%,3%和 5%处理的株高较 CK 分别提高 -1.35%,1.07%和 12.22%;GH 1%,3%和 5%处理的小麦株高较 CK 分别高出 5.82%,8.59%,3.76%,而 CM 处理的株高与 CK 相比较则下降 44.57%。

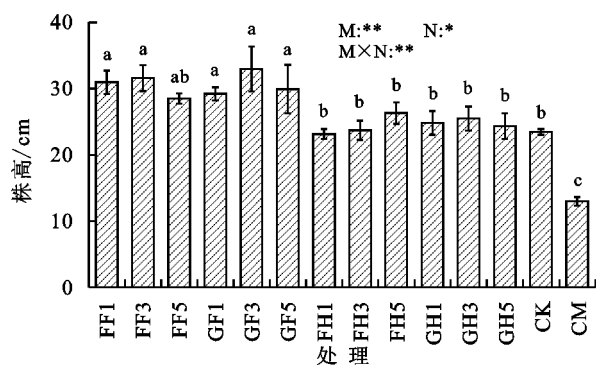


图 2 生物炭不同施用方式对小麦株高的影响

2.3 生物炭不同施用方式对土壤水分含量的影响

灌前覆盖各处理全部土层的含水率均明显高于 CK,并且 0—5 cm 土层的含水率提高幅度明显高于 5—25 cm 土层(图 3)。其中 FF 1%,3%,5%处理 0—5 cm 土层的含水率较 CK 分别提高 8.03%,13.77%,45.38%,5—25 cm 土层的含水率较 CK 提高 4.34%~13.81%。随着粉状生物炭覆盖量的增加,1%,3%,5%处理的土壤含水率平均增大 6.78%,11.96%,18.49%。GF 1%,3%,5%处理各土层间的含水率则没有明显差别,较 CK 提高 27.08%~53.22%,随着杆状生物炭覆盖量的增加,1%,3%,5%处理的土壤含水率分别增大 32.39%,35.27%,43.70%。CM 含水率提高幅度最大为 45.81%~61.86%。灌后 FF 1%,3%,5%处理表层土壤(0—5 cm)的含水率较 CK 分别提高 0.31%,4.64%,15.58%;而 GF 处理表层土壤的含水率较 CK 分别下降 0.40%,7.65%,2.55%,其他土层与 CK 没有差别。

灌前 0—15 cm 土层土壤含水率的提高较明显,FH 1%,3%,5%处理土壤含水率较 CK 提高 3.26%~16.66%,随着生物炭添加量的增加,土壤含水率分别增加 6.79%,11.70%,12.31%;GH 1%,3%,5%处理土壤含水率较 CK 提高 5.77%~36.37%,随着生物炭添加量的增加,土壤含水率分别增加 9.71%,14.07%,27.50%。

灌后混合添加生物炭各处理土壤水分均有不同程度提高,且随着生物炭添加量的增加,土壤含水率提高幅度增大。0—15 cm 土层的土壤含水率提高较明显,FH 1%,3%,5%处理土壤含水率较 CK 提高 7.33%~18.61%,随着生物炭添加量的增加,土壤含水率平均增加 8.27%,12.55%,14.28%;GH 1%,3%,5%处理土壤含水率较 CK 提高 1.33%~18.38%,随着生物炭添加量的增加,土壤含水率平均分别提高 5.58%,6.16%,16.75%;CM 与 CK 没有差别。

2.4 生物炭不同施用方式对土壤盐分含量的影响

由图 4 可知,各处理电导率相对变化率差异明显,抑制盐分表聚的能力取决于施用方式和添加量。CK 0—10 cm 土层的电导率相对变化率最大,为 124.76%,CM 处理的电导率相对变化率最小,仅为 4.15%。FF 1%,3%和 5%处理的电导率相对变化率分别为 114.73%,67.60%和 59.61%;GF 1%,3%和 5%处理的相对变化率分别为 86.47%,34.38%和 18.21%;GH 1%,3%和 5%处理的电导率相对变化率分别为 96.30%,67.46%和 67.26%;FH 1%,3%和 5%处理的相对变化率分别为 72.05%,98.67%和 122.32%。

2.5 生物炭不同施用方式对土壤蒸发量的影响

各处理间蒸发量差别显著,其中 CK 的蒸发量最大,FF、GF 2 种生物炭添加模式对蒸发量均有明显抑制作用,且随着添加量提高,蒸发量减少(图 5)。FF 1%,3%和 5%处理的蒸发量较 CK 分别减少 0.76%,15.03%和 27.21%;GF 1%,3%和 5%处理的蒸发量较 CK 分别减少 53.49%,70.51%和 77.02%;FH 1%,3%和 5%处理的蒸发量与 CK 相比较分别减少 4.79%,2.60%和 1.95%;GH 1%,3%和 5%处理的蒸发量与 CK 相比较分别减少 1.71%,11.77%和 14.82%;CM 处理的蒸发量较 CK 减少 91.54%。

3 讨论

3.1 不同生物炭施用方式对作物苗期生长的调控效应

生物炭可以通过提高土壤水分含量、淋洗表层盐分、抑制盐分上移等水盐调控方式缓解土壤盐胁迫对植物的危害,改善植物的生长环境,抵消盐胁迫带来的不利影响,以促进幼苗生长或增强植物对渗透压力的抵抗力。“干播湿出”条件下各生物炭添加处理均可显著提高作物的出苗率,无论何种生物炭应用方式,小麦的出苗率均显著高于 CK ($p < 0.05$)。本试验中,FF 处理条件下 2 种播种方式均能明显提高小麦出苗率,添加量越高,提高效果越明显,与 Phillips 等^[2]研究结果相反。Phillips 等^[2]指出,生物炭在土壤上用作覆盖物时,在施用量小的情况下,对出苗率

没有显著促进作用,如果施用量增加,则显著降低出苗率。这可能是因为前人试验中使用的是木质生物炭,其保水能力比秸秆生物炭弱,很容易因蒸发而快速失去水分,导致覆盖在土壤表面的生物炭粉的供水难以满足种子对水分的需求^[3]。Hansen 等^[4]研究

指出,秸秆生物炭通过增加土壤水分保持率而提高作物生产力,但添加木质生物炭并没有产生积极的效果。本试验中,FF 和 GF 处理的出苗率较高,这可能与粉状生物炭的孔隙结构丰富、比表面积大、持水能力强^[5-7]、表层土壤含水量较高及蒸发量减少有关。

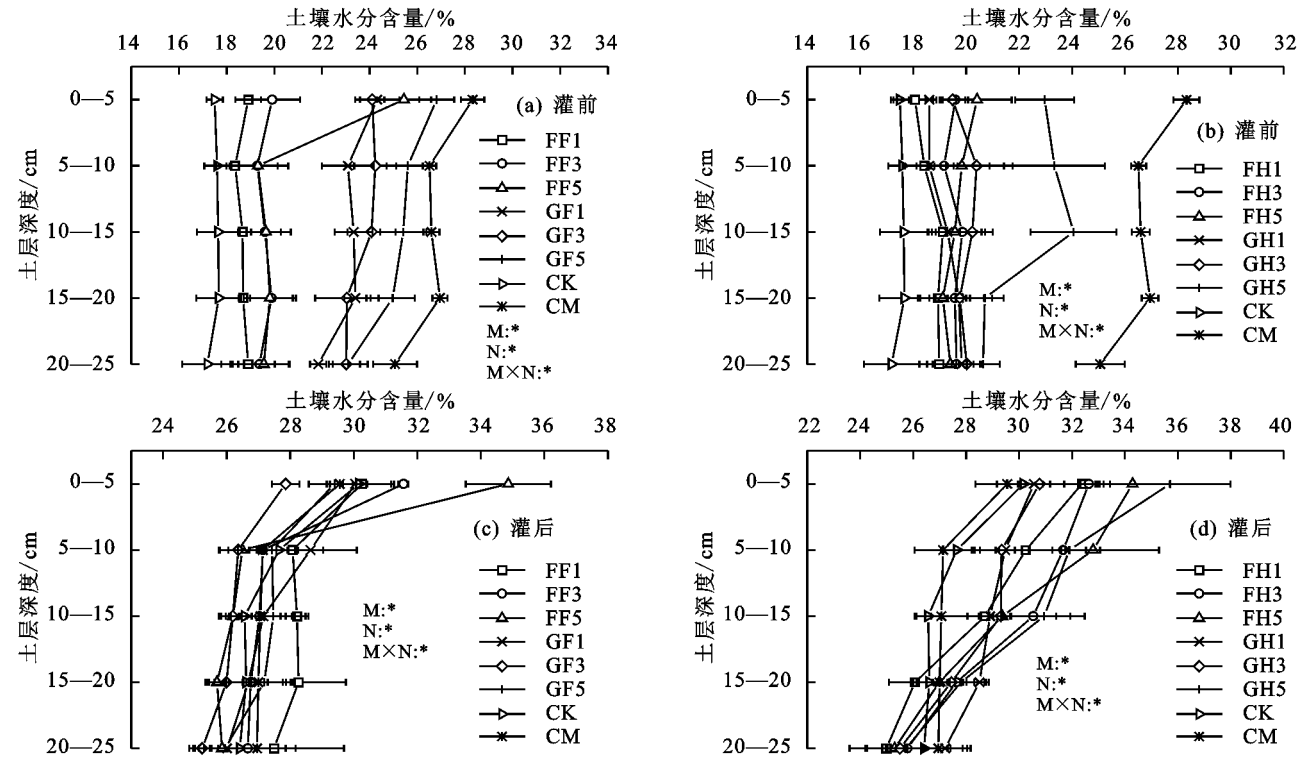


图 3 生物炭不同施用方式对土壤含水量的影响

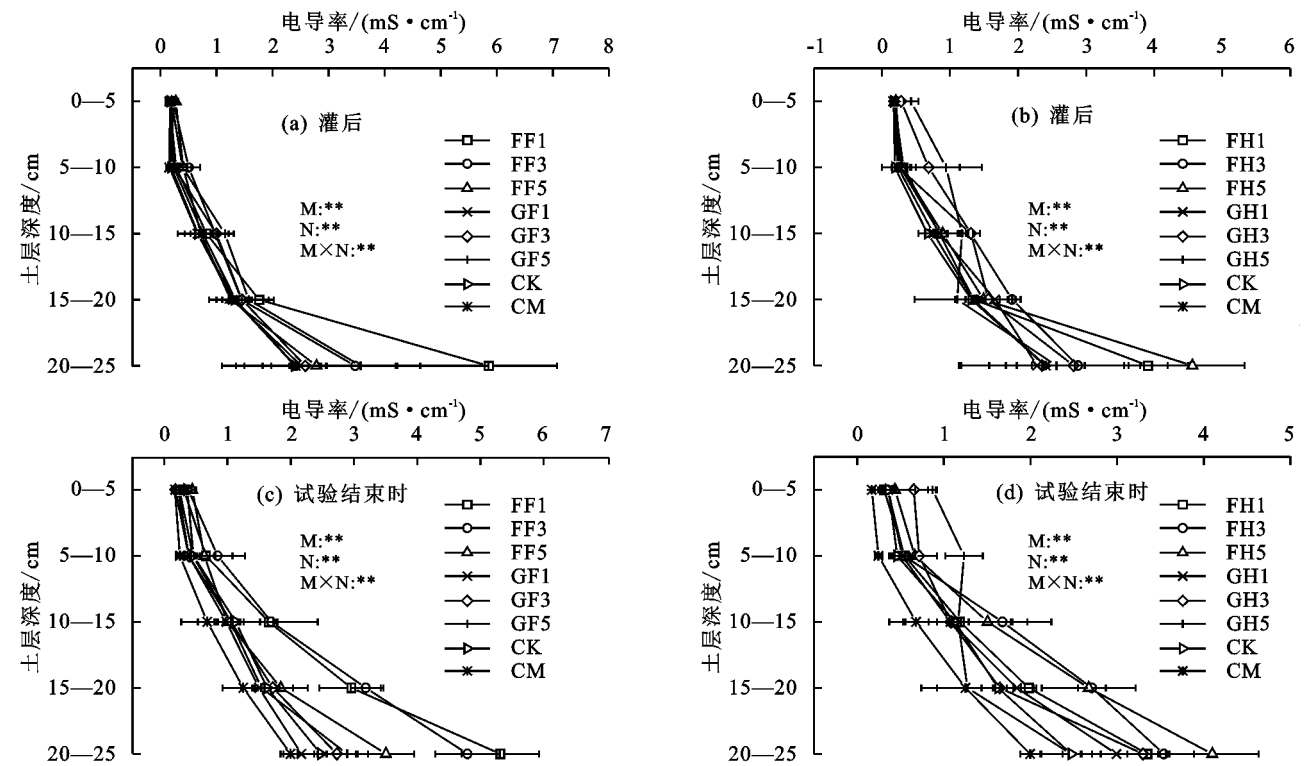


图 4 生物炭不同施用方式对土壤盐分含量的影响

本研究结果显示,在盐碱土中添加生物炭对小麦株高具有显著提高作用,生物炭的应用减轻盐度对植

物生长的负面影响,这与 Ali 等^[8]和 Zhu 等^[9]的研究结果一致。生物炭的不同施用方式对小麦苗株高的

提高幅度不同,FF 和 GF 处理显著提高小麦株高,FH 和 GH 处理对小麦株高仅有小幅提升。这可能与 FF、GF 处理对土壤含水量较高、蒸发量减少有关(图 3)。本试验 CM 处理的小麦出苗和株高均受抑制,这是因为在覆膜条件下土壤空气中 CO_2 增加,而 O_2 相对减少,尤其灌溉后土壤水分处于饱和状态,形成缺氧状态,导致作物出苗和植株根系发育受阻^[10]。由于本试验是室内试验,土壤通气和温度变化对作物生长的影响缺乏了解,不同生物炭施用方式对土壤通气性和温度的影响需要进一步研究。

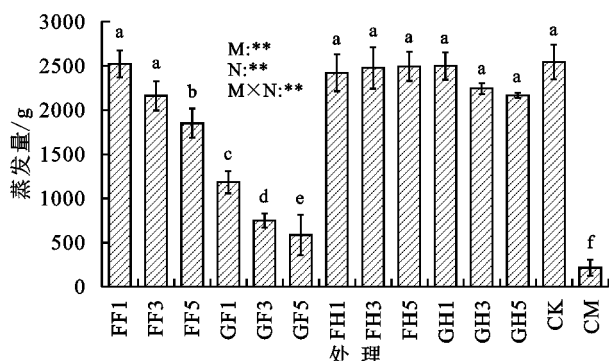


图 5 生物炭不同施用方式对土壤蒸发的影响

新疆农业灌溉水源日趋减少,冬灌或春灌用水日益紧缺,已无法提供充足的冬春灌用水,北疆普遍应用“干播湿出”播种技术,在有限水资源条件下实现作物一播全苗,节水、缓解用水紧张、避灾、保苗效果明显。但该技术在南疆地区的推广受到一定程度的限制,特别在重度盐碱地上示范推广出现缺苗、死苗、僵苗等现象,对高产造成一定的影响^[11-12]。本研究表明,“干播湿出”条件下,FF、GF 处理可显著提高盐碱土出苗率和株高,促进作物苗期生长。盐碱地的水利改良措施与生物炭施用方式的结合对新疆地区盐碱地农业节水具有现实意义。

3.2 不同生物炭施用方式对水盐调控的影响

灌后 FH 1%,3%,5% 处理土壤含水率较 CK 提高 7.33%~18.61%;GH 1%,3% 和 5% 处理土壤含水率较 CK 提高 1.33%~18.38%,生物炭混合添加可以改变土壤的孔隙特性^[13],土壤孔隙度显著增加,团粒结构稳定性增加,持水能力提高^[14-15]。灌后 FF 1%,3% 和 5% 处理表层土壤(0—5 cm)的含水率较 CK 提高 0.31%~15.58%,是因为生物炭的吸湿能力比其他土壤有机质高 1~2 个数量级^[16],覆盖在表面的炭粉与土壤一起取出来测土壤含水率,故 FF5% 处理 0—5 cm 表层含水率最高。GF 处理表层土壤的含水率较 CK 下降 0.40%~7.65%,则是因为与土表接触的炭杆吸湿能力高于土壤,造成 GF 表层土壤含水率较低。覆盖添加生物炭在蒸发后土壤含水量明显高于混合添加,FF 1%,3%,5% 处

理的含水率较 CK 提高幅度为 4.34%~45.38%,GF 处理较 CK 提高 27.08%~53.22%,这与覆盖添加明显抑制蒸发作用有关。

3.3 不同生物炭施用方式对蒸发量的影响

FH 处理的蒸发量与 CK 相近,GH 处理的蒸发量较 CK 降低幅度更大。这是因为生物炭内孔隙在较低的土壤水势下主导水分保持,生物炭内孔隙保水能力高于土壤间孔隙^[17],所以 GH 处理较 FH 处理降低蒸发量作用更明显。而 Hansen 等^[4]研究认为,木质生物炭的加入增加了永久枯萎点的水分保持量,但根系很难利用由大颗粒的木质生物炭所保留的水,植物无法获取水分。大颗粒生物炭的施用对提高土壤含水量较粉状生物炭更有优势,但大颗粒生物炭内孔隙水的可用性与生物炭种类有关,需要进一步研究不同来源生物炭大颗粒混合添加在低水势条件下土壤水分的可用性。

干旱区旱作农业综合生产能力主要受降雨稀少、蒸发能力强、土壤保水能力差等因素制约^[18],采取地膜覆盖措施持续改善蒸发特性是提高土壤蓄水保墒能力、促进旱地作物高产稳产、实现旱作农业可持续发展的有效途径^[19]。地膜被大面积推广使用,但长时间、大规模的覆盖地膜造成农田残膜积累污染。当前,新疆棉田地膜平均残留量超过 265.3 kg/hm²,是全国平均水平的 4.5 倍^[20]。本试验结果表明,生物炭覆盖有效地创造一个蒸发屏障,防止底层土壤的水分流失,FF、GF 2 种生物炭添加模式均对蒸发量有明显抑制作用,且随着添加量提高,蒸发量减少。其中 GF 3%,5% 2 个处理的蒸发量与覆膜(CM)处理相近,生物炭作为覆盖物具有替代地膜的潜力,一方面可减少农田地膜污染;另一方面,随着全球气候变暖,干旱区温度与降水量提高,与地膜覆盖相比,较生物炭覆盖不仅可抑制蒸发,还能够增加降雨的入渗量,提高自然降水的利用效率。生物炭在土壤中的稳定性很强,周转过程可能长达数百年或更久^[16,21-22],作为覆盖层生物炭,能持续发挥抑制蒸发的作用,但其作为覆盖物的有效期、耕作措施的配合等问题有待进一步研究。

4 结论

(1)“干播湿出”条件下,FF、GF 处理小麦出苗率分别为对照(CK)的 7.33~9.00,3.00~3.33 倍;FH、GH 处理的出苗率较 CK 分别提高 66.67%~166.67%,33.00%~367.00%。

(2)FF、GF 处理的株高大幅提高,较 CK 分别提高 21.52%~34.55%,24.54%~40.48%;FH、GH

处理的株高小幅提高,较 CK 分别提高 -1.35% ~ 12.22% , 3.76% ~ 8.59% 。

(3)不同施用方式的灌后含水率差异明显,FF 处理的表层土壤较 CK 提高 0.31% ~ 15.58% ;而 GF 处理的表层土壤含水率较 CK 下降 0.40% ~ 7.65% ;FH、GH 处理的土壤含水率较 CK 分别提高 7.33% ~ 18.61% , 1.33% ~ 18.38% ;蒸发后 FF、GF 处理的含水率较 CK 分别提高 4.34% ~ 45.38% , 27.08% ~ 53.22% 。蒸发后 0—15 cm 土层的含水率提高较明显,FH、GH 处理土壤含水率较 CK 分别提高 3.26% ~ 16.66% , 5.77% ~ 36.37% 。

(4)CK 0—10 cm 土层的电导率相对变化率最大,为 124.76% ,FF、GF 处理的电导率相对变化率分别为 59.61% ~ 114.73% , 18.21% ~ 86.47% ;GH、FH 处理的电导率相对变化率分别为 67.26% ~ 96.30% , 72.05% ~ 122.32% 。

(5)FF、GF 处理的蒸发量较 CK 分别减少 0.76% ~ 27.21% , 53.49% ~ 77.02% ;FH、GH 处理的蒸发量与 CK 相比较分别减少 1.95% ~ 4.79% , 1.71% ~ 14.82% 。

综上所述,4 种生物炭施用方式均能提高土壤含水率,抑制反盐,减少蒸发量,促进作物生长,但生物炭改良作用的大小,取决于生物炭的添加量和施用方式。本研究认为,等炭量投入条件下 FF、GF 处理在水盐分布、抑制蒸发和作物生长的作用优于 FH、GH 处理。

参考文献:

- [1] Akhtar S S, Andersen M N, Liu F. Biochar mitigates salinity stress in potato[J]. Journal of Agronomy and Crop Science, 2015, 20(5): 368-378.
- [2] Phillips C L, Meyer K M, Trippe K M. Is biochar applied as surface mulch beneficial for grassland restoration? [J]. Geoderma, 2020, 375: e114457.
- [3] Burrell L D, Zehetner F, Rampazzo N, et al. Long-term effects of biochar on soil physical properties[J]. Geoderma, 2016, 282: 96-102.
- [4] Hansen V, Hauggaard-Nielsen H, Petersen C T, et al. Effects of gasification biochar on plant-available water capacity and plant growth in two contrasting soil types [J]. Soil and Tillage Research, 2016, 161: 1-9.
- [5] Amini S, Ghadiri H, Chen C, et al. Salt-affected soils, reclamation, carbon dynamics, and biochar: A review[J]. Journal of Soils and Sediments, 2015, 16(3): 939-953.
- [6] Awan S, Ippolito J A, Ullman J L, et al. Biochars reduce irrigation water sodium adsorption ratio [J]. Biochar, 2021, 3(1): 77-87.
- [7] Baiamonte G, De Pasquale C, Marsala V, et al. Structure alteration of a sandy-clay soil by biochar amendments[J]. Journal of Soils and Sediments, 2014, 15(4): 816-824.
- [8] Ali S, Rizwan M, Qayyum M F, et al. Biochar soil amendment on alleviation of drought and salt stress in plants: A critical review[J]. Environmental Science and Pollution Research International, 2017, 24(14): 12700-12712.
- [9] Zhu H, Yang J, Yao R, et al. Interactive effects of soil amendments (biochar and gypsum) and salinity on ammonia volatilization in coastal saline soil [J]. Catena, 2020, 190(C): e104527.
- [10] 胡晓棠.滴灌棉田根区土壤水热气环境及对根系生长的影响[D].新疆 石河子:石河子大学, 2007.
- [11] 陈绪兰,孙春梅,刘萍.棉花“干播湿出”技术在新疆库尔勒推广实践[J].中国棉花, 2021, 48(5): 41-42.
- [12] 新疆阿拉尔垦区“干播湿出”种棉花[J].吉林农业, 2015(8): 45.
- [13] Hussain R, Bordoloi S, Gupta P, et al. Effect of biochar type on infiltration, water retention and desiccation crack potential of a silty sand[J]. Biochar, 2020, 2: 465-478.
- [14] Omondi M O, Xia X, Nahayo A, et al. Quantification of biochar effects on soil hydrological properties using meta-analysis of literature data [J]. Geoderma, 2016, 274: 28-34.
- [15] Hossain M Z, Bahar M M, Sarkar B, et al. Biochar and its importance on nutrient dynamics in soil and plant[J]. Biochar, 2020, 2(4): 379-420.
- [16] Chen W, Meng J, Han X, et al. Past, present, and future of biochar[J]. Biochar, 2019, 1(1): 75-87.
- [17] Liu Z, Dugan B, Masiello C A, et al. Biochar particle size, shape, and porosity act together to influence soil water properties[J]. PLoS One, 2017, 12(6): e179079.
- [18] 范雷雷,史海滨,李瑞平,等.秸秆覆盖对沟灌水盐迁移与玉米水分利用效率的影响[J].农业机械学报, 2021, 52(2): 283-293.
- [19] 李帅霖,王霞,王朔,等.生物炭施用方式及用量对土壤水分入渗与蒸发的影响[J].农业工程学报, 2016, 32(14): 135-144.
- [20] 文卿琳,刘绍东.新疆无膜滴灌栽培对棉花出苗及生长指标的影响[J].农学学报, 2021, 11(6): 19-24.
- [21] 陈温福,张伟明,孟军.农用生物炭研究进展与前景[J].中国农业科学, 2013, 46(16): 3324-3333.
- [22] Miao W, Cheng X Y, Meng J, et al. Ageing of rice husk biochar along a freeze-thaw cycles[J]. Matec Web of Conferences, 2016, 63: e4013.