

具有秸秆夹层层状土壤一维垂直入渗水盐分布特征^①

张金珠^{1,2}, 王振华^{1,2*}, 虎胆·吐马尔白³

(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;

3 新疆农业大学水利与土木工程学院, 乌鲁木齐 830052)

摘要: 为了解具有秸秆夹层层状土壤一维垂直入渗水盐分布特征, 通过定水头入渗实验装置, 在距土表以下 20 cm 设置一个秸秆夹层, 研究了 4 种秸秆铺设量(0、6 000、12 000、18 000 kg/hm²)和 2 种秸秆长度(1、10 cm)的秸秆夹层对盐碱土入渗过程土壤水分和盐分分布的影响。结果表明, 盐碱土中设置秸秆夹层具有良好的阻水性, 累积入渗量和入渗速率明显下降, 下渗水流在一定限度内滞留于秸秆层以上, 秸秆夹层同时具有减渗性, 使下渗水量明显减小; 土壤盐分在秸秆夹层以下一定深度范围内出现峰值。秸秆长度影响盐分滞留深度, 秸秆长度 10 cm 处理全盐含量最大值深度较秸秆长度 1 cm 处理有所下移; 秸秆夹层也影响着水分入渗过程中离子的交换与吸附, Cl⁻ 入渗后在剖面深度的变化规律与全盐变化规律相同, HCO₃⁻ 对秸秆夹层的敏感性明显强于 SO₄²⁻, SO₄²⁻ 对水分依赖性较强, 含水量足够大时才能引起它的快速运移。

关键词: 秸秆夹层; 累积入渗量; 入渗速率; 土壤水盐

中图分类号: S278

覆膜滴灌技术可保墒、节水、增温、抑制杂草生长, 促进作物生长, 提高作物产量和品质^[1-2]。但由于覆膜滴灌技术所采用的薄膜为高分子聚合物, 很难分解, 又由于非常薄, 田间应用后易破碎, 很难回收, 致使田间土壤残膜大量积累, 已严重污染土壤并影响作物生长。研究表明, 土壤中的残膜可使土壤体质量增加、土壤水分移动速率减慢, 随着残留地膜的增加, 小麦、玉米、棉花的生长发育均受到严重影响^[3]。针对地膜残留问题, 很多专家学者提出了用光解膜、淀粉膜、草膜和液体膜等来代替聚乙烯塑料薄膜, 但是这些研究成果或所开发的产品大部分成本较高, 或者应用效果不理想, 至今没有在新疆生产实践中推广^[4]。

秸秆覆盖(表层覆盖、深层覆盖)具有改变农田下垫面性质和能量平衡, 减少土壤蒸发、蓄水保墒、调节地温、提高肥力等综合作用^[5-13], 还可提高作物产量, 具有较好的生态效应和经济效益^[14-18]。同时, 秸秆覆盖对于抑制土壤盐分表聚, 增加土壤有效含水量已在许多试验研究中得到证实。Sauer 等^[19]研究认为玉米残茬覆盖时可减少 34%~50% 的土壤蒸发,

并明显影响土壤湿度和热状况。周少平等^[20]在黄土高原西部连续 5 年定位观测了 4 种耕作措施, 发现秸秆覆盖能有效增加玉米-小麦-大豆轮作系统的水分利用效率; 改大豆为利用营养体的豆科牧草, 可提高系统的水分和光能利用率。赵耕毛等^[21]发现秸秆覆盖保墒效果好, 土壤表层盐分明显减少。李玲玲等^[22]认为免耕秸秆覆盖, 增加作物耗水量, 提高作物产量, 提高了土壤水分利用率。景明等^[23]研究认为春小麦拔节之后, 秸秆覆盖相对地膜覆盖保墒效果更好。侯连涛等^[24]研究认为与不覆盖处理相比, 在冬小麦灌浆期秸秆覆盖能有效提高下午 2:00 以后的光合速率, 降低上午 10:00—14:00 的蒸腾速率。于舜章等^[25]研究认为覆盖秸秆可提高夏玉米产量, 同时提高降雨利用效率。伊德里萨等^[26]研究认为秸秆覆盖可提高土壤保墒能力, 促进玉米植株中后期生长发育以及提高单株叶面积和干物质质量。李晓明等^[27]研究表明土壤水分蒸发受风速和秸秆覆盖的明显影响, 土壤水分累积蒸发量与时间之间呈显著的指数关系。李全起等^[28]发现秸秆覆盖后, 土壤入渗能力提高, 减少深层底墒水的消耗。国内外专家学者在秸秆

基金项目: 国家自然科学基金项目(51369027)、石河子大学杰青培育项目(2013ZRKXJQ02)和现代节水灌溉兵团重点实验室(石河子大学)开放基金项目(JSGG2011001)资助。

* 通讯作者(wzh2002027@163.com)

作者简介: 张金珠(1980—), 女, 博士, 讲师, 主要从事节水灌溉理论与技术研究。E-mail: xjshzzjz@sina.cn

覆盖方面作了大量研究工作,尤其在内地形成了丰富的研究成果并在实践中推广应用,但秸秆覆盖在干旱区的研究相对薄弱,尤其在滴灌技术广泛应用的土壤盐渍化区域,秸秆覆盖滴灌水盐调控方面的类似研究几乎空白。本文通过室内土柱试验,研究深层覆盖条件下(即秸秆夹层)秸秆用量及秸秆长度对一维土壤剖面水分、盐分分布的调控影响,以为在新疆地区棉花生产中推广秸秆覆盖替代塑料薄膜覆盖提供理论依据,从而解决该地区地膜残留问题,改善农田土壤环境。

1 材料与方 法

试验系统包括土柱、电子称、马氏瓶、麦秸秸秆。试验土柱是用厚 5 mm 机玻璃管制作而成,长 80 cm,直径 20 cm。在其侧面每隔 5 cm 开一个 10 mm 小孔,在垂直方向上呈 90° 错开,入渗结束后分层取土柱表层 0~1 cm 和土柱侧面每隔 5 cm 开口的土样。

试验土样来自新疆兵团第八师 121 团 6 连的重盐碱土,经风干过筛等常规处理后测定其基本物理性质。土壤质地参照美国制土壤质地分类标准,土壤颗粒分析采用吸管法,根据其颗粒分析将土样划分为沙壤土,经测定,土壤风干含水率(即初始含水率)为 $0.024 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$,饱和含水率为 $0.35 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$,饱和导水率 $0.00231 \text{ cm}/\text{min}$ 。土壤初始含盐量 40 g/kg 左右。该土壤的基本物理性质详见表 1。

表 1 土壤质地分类及其他指标
Table 1 Soil texture classification and other indicators

颗粒组成(g/kg)			土壤 质地	风干含水率 (cm^3/cm^3)
<0.002 mm 黏粒	0.002~0.05 mm 粉粒	0.05~0.25 mm 砂粒		
120	200	680	沙壤土	0.024

为了研究具有秸秆夹层层状土壤—维垂直入渗水盐分布特征,土样经混合、风干、碾压、过筛,按设定体积质量 $1.48 \text{ g}/\text{cm}^3$ 分层均匀装入土柱,在相同的试验条件(试验土壤、体积质量、灌水量等)下,在距土表 20 cm 处铺设秸秆,形成一个秸秆夹层,秸秆夹层设计 2 种不同秸秆长度(1、10 cm)和 4 种秸秆铺设量(0(CK)、6 000、12 000、18 000 kg/hm^2),共 8 个处理,每个处理 3 次重复,并保证秸秆夹层上下土壤体积质量一致。不同秸秆铺设量所形成的秸秆夹层厚度分别为 6 000 kg/hm^2 对应 2 cm、12 000 kg/hm^2 对应 4 cm、18 000 kg/hm^2 对应 6 cm。

土柱装置完毕,进行垂直—维入渗试验,利用马氏瓶稳压供水,马氏瓶通过控制阀门与胶管(带有模拟滴头的气针)连接,滴头悬挂于土柱土壤表面圆心

上空,距离土表 2 cm,灌水量均为 95.5 mm,灌溉水源为饮用纯净水,矿化度低于 0.1 g/L,可忽略灌溉水中盐分及离子对土壤的影响。滴头平均流量为 0.48 L/h,根据土柱截面积可换算为断面灌水速率为 $0.02548 \text{ cm}/\text{min}$,大于土壤饱和导水率 $0.00231 \text{ cm}/\text{min}$,因此试验中的入渗为积水入渗过程。

在入渗试验过程中每间隔 60 min 读取马氏瓶水尺刻度读数,同时测量土柱表面积水深度,通过马氏瓶减少水量扣除土表面积水水量后可计算从入渗开始到观测时刻时段内的累积入渗水量,即累积入渗量(用 I 表示,单位 mm)。从入渗开始,每隔 60 min 测量一次土柱湿润锋的位置,并用记号笔在土柱外表面描绘标记,以土柱土面为原点,向下至不同观测时刻标记的湿润锋位置记为该时刻对应的湿润锋运移距离,即湿润锋位置(用 Z 表示,单位 cm)。以单位时间内湿润锋运移变化的距离表示为湿润锋入渗速率,简称入渗率(用 i 表示,单位 cm/min)。

入渗 2 880 min 后,从土面表层开始向下每隔 5 cm 用小勺取土样,取样位置分别是:0~1、5、10、15、20、25、30、35、40 cm 处,共 9 个土样。将所取土样烘干测其含水率后,过 1 mm 土壤筛,按照土壤与蒸馏水 1:5 质量比混合震荡、过滤,对其浸提液用 DDS-11A 数显电导率仪测定其电导率(EC),与烘干法标定后换算为盐分含量(单位 g/kg),土壤离子组成中 Cl^- 用 AgNO_3 滴定法测定, SO_4^{2-} 用 EDTA 间接滴定法测定, HCO_3^- 用双指示剂滴定法测定,单位均换算为 g/kg。

2 结果与分析

2.1 秸秆夹层对土壤水分累积入渗量及入渗参数的影响

已有研究表明,在黄土中设置砂层具有良好的阻水性,使下渗水流在一定限度内滞留于砂层以上的土体内,增加了上层土壤的持水能力;具有减渗性,使下渗水量及入渗锋面的湿润速度明显减小;并且还可将下渗的非线性过程转化为线性过程,从而使整个入渗过程进入一个具有较小入渗率的稳渗阶段。在水分向一个层状结构的土体入渗时,无论夹层土壤的质地较表层土壤粗或细,土体内的夹层均会对下渗水流起到阻水的作用^[29]。

不同秸秆夹层土柱试验累积入渗量、湿润锋、入渗率与时间的变化关系见图 1~图 3。Colman 和 Bodman^[30]认为无论细致土覆盖粗砂土,还是粗质土覆盖细质土,土壤都可看成均质的,并且入渗过程由

细致土来控制。从图 1 中可以看出，累积入渗量均随时间延长呈增大趋势。在入渗的初始阶段，入渗水分尚未到达秸秆层，水势梯度较大，基质势为影响累积入渗量的主要因素，因此在本试验最初的时间段内，累计入渗量随时间呈近似线性增加，不同秸秆用量处理间差别不大。入渗 240 min 后，累积入渗量发生明显差异，其中 CK 处理的累积入渗量增加得要明显比有秸秆夹层处理快。由图 2 可知，入渗 240 min 时湿润锋在 20 cm 处，刚好在秸秆层的下边缘，说明秸秆层空隙大，储水多，也证明了秸秆层对入渗有影响，但是整体入渗过程由土壤控制。在 240~450 min 时段内，CK 处理依近似线性累计增加，而秸秆处理

累积入渗量增加不明显；在 420 min 时 CK 处理与秸秆处理间差异达到最大，CK 处理累积入渗量比秸秆长度 1 cm、秸秆用量 6 000、12 000、18 000 kg/hm² 的处理分别高 19.8%、30.0%、29.7%，比秸秆长度 10 cm 含量、秸秆用量 6 000、12 000、18 000 kg/hm² 各处理相应高 30.3%、44.9%、30.3%。在同一时刻，同一秸秆长度秸秆用量 12 000 kg/hm² 处理累积入渗量均小于其他处理，表现为 12 000 kg/hm²<18 000 kg/hm²<6 000 kg/hm²<CK，但相同秸秆长度下不同秸秆含量处理间差异不明显；相同秸秆用量秸秆长度 10 cm 处理比秸秆长度 1 cm 处理累积入渗量和入渗速率小(图 3)。

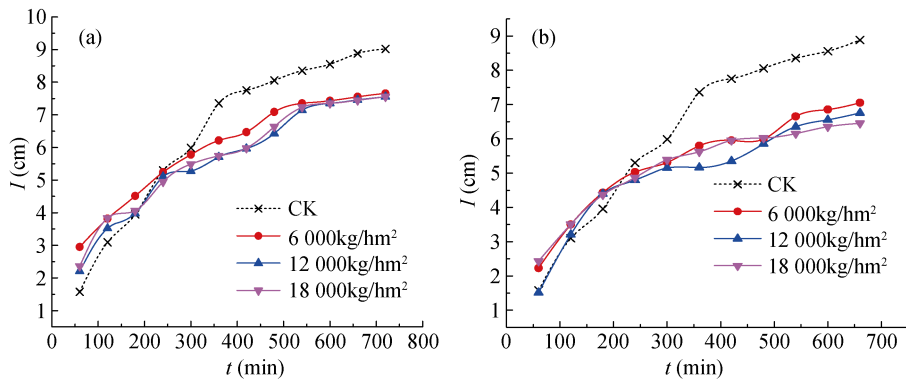


图 1 秸秆处理土壤累积入渗量随时间变化(a: 秸秆长度 1 cm; b: 秸秆长度 10 cm)
Fig. 1 Cumulative infiltration changes over time for the straw treatments

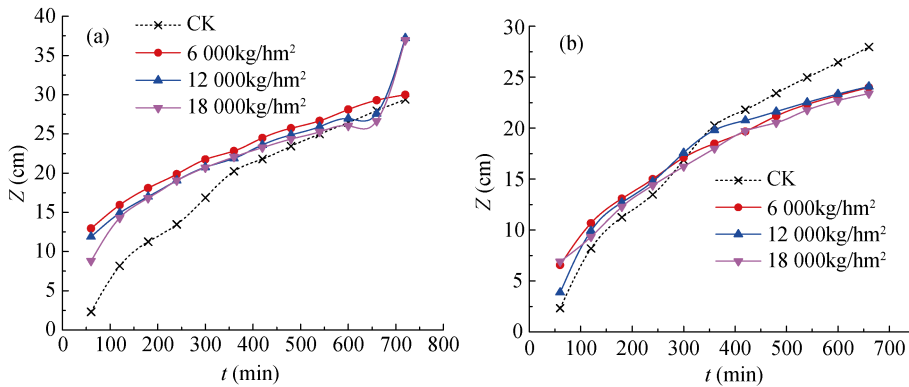


图 2 秸秆处理土壤湿润锋随时间的变化(a: 秸秆长度 1 cm; b: 秸秆长度 10 cm)
Fig. 2 Wetting front changes over time for the straw treatments

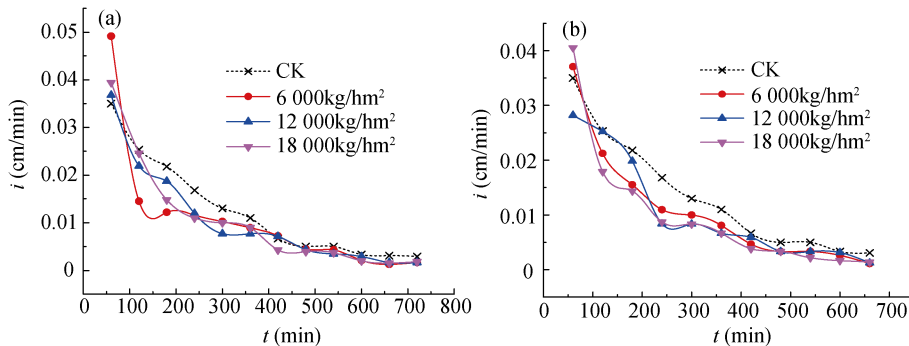


图 3 秸秆处理土壤入渗率随时间的变化(a: 秸秆长度 1 cm; b: 秸秆长度 10 cm)
Fig. 3 Infiltration rate changes over time for the straw treatments

在积水入渗过程中,当入渗锋面处于秸秆夹层以上的土层范围时整个入渗过程为一非线性过程。即,入渗率随时间变化不是一个线性关系,而是在入渗初始时刻,由于土壤为风干含水率,其基质势非常高,土水势梯度趋于无限大,土壤入渗速率很高,随着入渗的增加,土水势梯度逐渐减小,入渗速率也逐渐减小,即湿润锋的变化也相应随入渗时间的增加而减少。当入渗锋面在重力势和基质势的共同作用下继续向下迁移至秸秆上界面时,其锋面不再下移。此时随着入渗水量的补给,界面上层的土壤含水量逐渐增加,相应的基质势亦逐步扩大。而当界面处的土壤含水量逐渐增大,相应的基质势已逐步增大。当界面处的含水量增大到某一含水量状态时,入渗锋面才开始穿过界面继续进入下层。此时入渗率的变化比较缓慢,变化幅度小,但仍然呈递减的趋势,这与王文焰等^[29]对沙土夹层情况下的黄土入渗机制进行的室内模拟研究结果:“湿润锋穿过界面后,入渗率变为常数”的说法不一致。原因可能是两者之间的夹层厚度差距较大,夹层材料不同。本文试验夹层厚度 1.5~5.0 cm, 秸秆长度 1 cm 和 10 cm, 且此夹层的空隙较大。

2.2 秸秆夹层对土壤水盐及离子分布的影响

入渗 2 880 min 结束后取样, 不同秸秆处理土壤水盐及离子分布见图 4~图 8。

由图 4~图 8 可以看出,在水分入渗过程中,盐分的运移受土壤透水性的影响,因此土体构型直接影响着水盐运移、离子交换和吸附。如中位夹层土体构型水盐运移情况明显不同于 CK 处理土壤。从土壤剖面孔隙之间的作用来看,秸秆层在土壤之间时,可看作大毛管上面和下面都接在小毛管上,水盐运移主要靠重力作用。

相较秸秆长度 10 cm 处理, 秸秆长度 1 cm 处理时秸秆夹层空隙较小, 密度大, 夹层储水量较多; 但在两者相等厚度 1.5 cm 时(6 000kg/hm²), 秸秆夹层含水率相等, 拥有相等的储水量。与 CK 处理相比, 它们一维垂直积水入渗的共同特点是: 土柱 20 cm 处以上处于积水状态, 20 cm 以下处于缺水状态; 但秸秆长度 10 cm 处理的积水和缺水状态均要比秸秆长度 1 cm 处理的要弱得多。即, 具有秸秆长度 10 cm 夹层的土壤含水率分布与 CK 处理很接近。由此, 在一维垂直入渗中秸秆夹层越薄, 储水量越少, 反之亦然; 秸秆越短秸秆夹层储水量越多, 对一维垂直入渗的含水率的分布影响越大, 反之亦然。

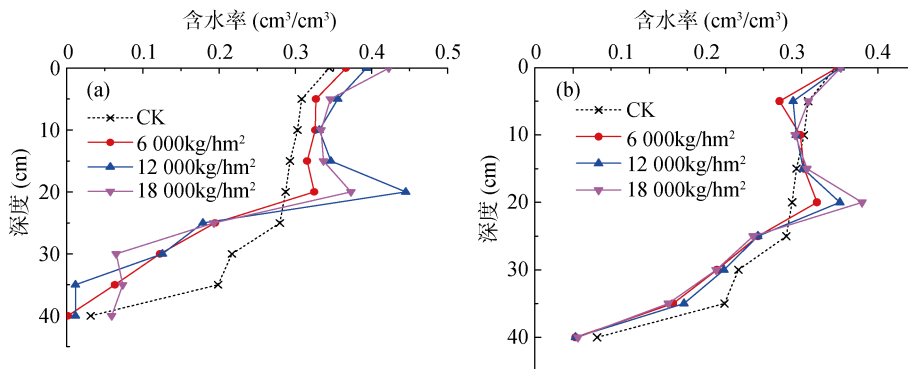


图 4 秸秆处理土壤含水率随深度的变化(a: 秸秆长度 1 cm; b: 秸秆长度 10 cm)

Fig. 4 Variations of moisture contents with depths for the straw treatments

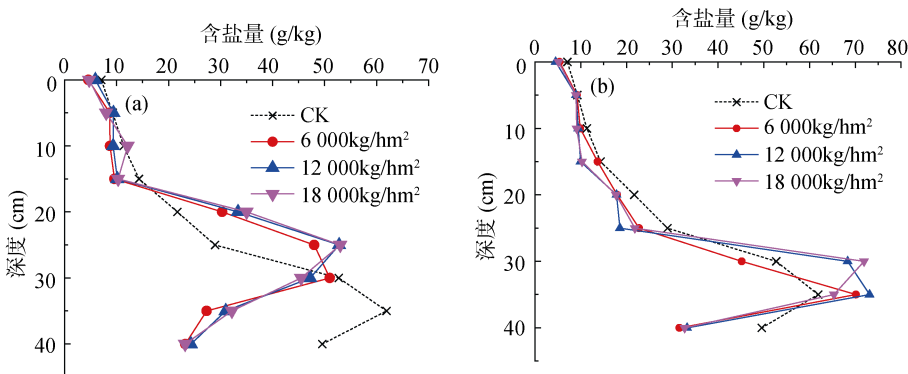


图 5 秸秆处理土壤含盐量随深度的变化(a: 秸秆长度 1 cm; b: 秸秆长度 10 cm)

Fig. 5 Variations of salt contents with depths for the straw treatments

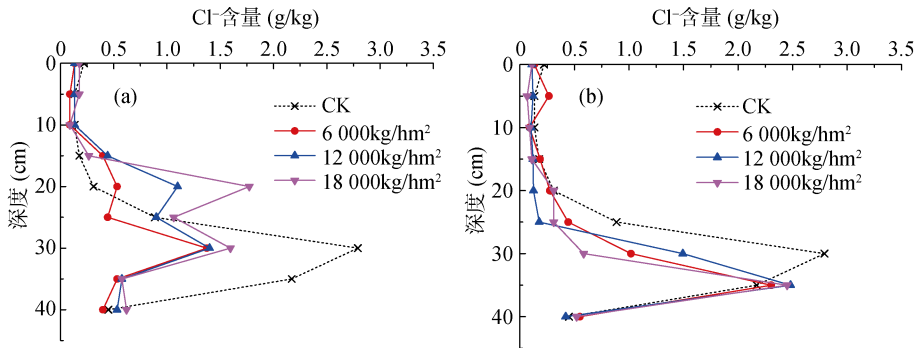


图 6 秸秆处理土壤 Cl^- 含量随深度的变化(a: 秸秆长度 1 cm; b: 秸秆长度 10 cm)
Fig. 6 Variations of Cl^- concentrations with depths for the straw treatments

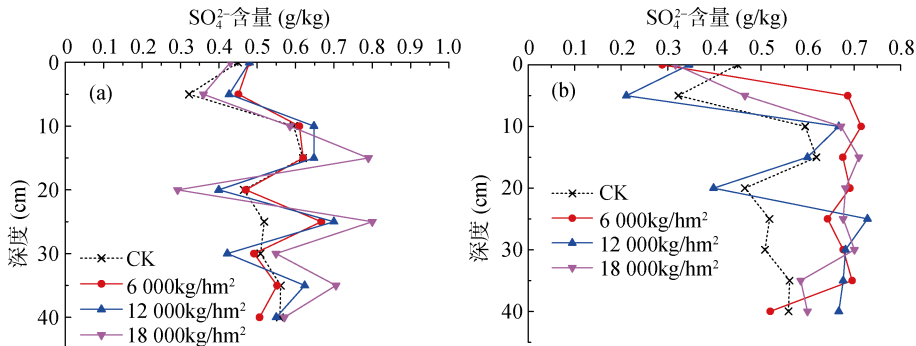


图 7 秸秆处理土壤 SO_4^{2-} 含量随深度的变化(a: 秸秆长度 1 cm; b: 秸秆长度 10 cm)
Fig. 7 Variations of SO_4^{2-} concentrations with depths for the straw treatments

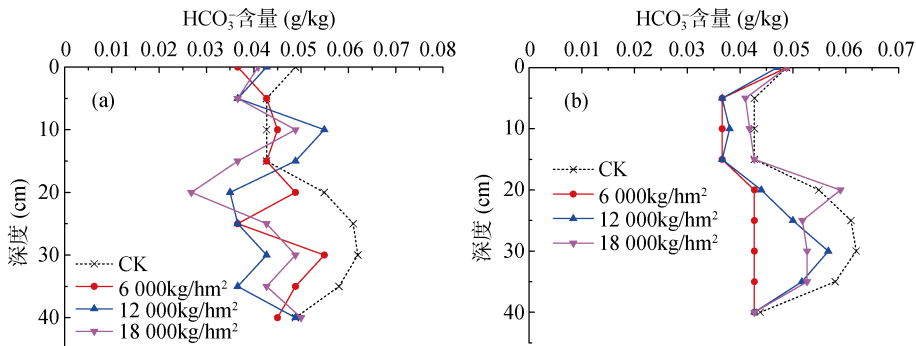


图 8 秸秆处理土壤 HCO_3^- 含量随深度的变化(a: 秸秆长度 1 cm; b: 秸秆长度 10 cm)
Fig. 8 Variations of HCO_3^- concentrations with depths for the straw treatments

图 5 显示: CK 处理的盐分拐点出现在土柱 35 cm 处且最大, 并且该处未到湿润锋处; 秸秆长度 10 cm 处理土壤入渗 30 cm 处出现拐点, 但 30 cm 与 35 cm 这两处盐分含量相同; 而秸秆长度 1 cm 处理在土柱 25 cm 处出现盐分拐点, 且 25 cm 和 30 cm 处盐分含量相同, 和前两个处理相比, 意味着积盐区上移。

秸秆夹层的厚度和密度以及空隙不仅影响一维垂直入渗的水分和盐分的变化, 也影响着水分入渗过程中离子的交换与吸附, 其中占盐分含量 38% 左右的 Cl^- 的入渗在剖面深度上的变化规律与总盐的变化规律相同, 它对秸秆夹层的敏感性与总盐对夹层的敏感性一致。 HCO_3^- 虽然含量较少, 但它对秸秆夹

层的敏感性明显要强于含量比它大 10 倍的 SO_4^{2-} 。 SO_4^{2-} 在 CK 处理中的入渗对水分依赖性较强, 含水量足够大时才能引起它的快速运移。

因此, 在盐碱土中设置秸秆夹层可使下渗水流在一定程度上滞留于秸秆夹层以上的土体内; 而且还可使下渗水量及入渗锋面的湿润速度减小。这也与在水向一个层状结构的土体内入渗时, 无论夹层土壤的质地较表层土壤粗或细, 土体内的夹层均会对下渗水流起到阻水的作用^[29]说法一致。

3 结论

本文通过室内定水头土柱试验研究分析了深层

覆盖(秸秆夹层)条件下不同秸秆用量及秸秆长度对入渗过程土壤水分、盐分变化的影响。结果表明：在盐碱土土壤深度 20 cm 处设置秸秆夹层具有良好的阻水性，累积入渗量和入渗速率明显下降，下渗水流在一定限度内滞留于秸秆层以上，秸秆夹层同时具有减渗性，使下渗水量明显减小；土壤盐分在秸秆夹层以下一定深度范围内出现峰值。秸秆长度影响盐分滞留深度，秸秆长度 10 cm 处理全盐含量最大值深度较秸秆长度 1 cm 处理有所下移；秸秆夹层也影响着水分入渗过程中离子的交换与吸附， Cl^- 入渗后在剖面深度的变化规律与全盐变化规律相同， HCO_3^- 对秸秆夹层的敏感性明显强于 SO_4^{2-} ， SO_4^{2-} 对水分依赖性较强，含水量足够大时才能引起它的快速运移。文中秸秆用量差异并未对累积入渗量和入渗速率产生影响，可能是由于本研究设置的秸秆量梯度较小，今后研究中有待扩大秸秆用量差异以寻求不同秸秆用量对累积入渗量和入渗速率的影响。

参考文献：

- [1] Anikwe MAN, Mbah CN, Ezeaku PI, Onyia VN. Tillage and plastic mulch effects on soil properties and growth and yield of cocoyam (*Colocasia esculenta*) on an ultisol in southeastern Nigeria[J]. Soil and Tillage Research, 2007, 93(2): 264–272
- [2] Mahajan G, Sharda R, Kumar A, Singh KG. Effect of plastic mulch on economizing irrigation water and weed control in baby corn sown by different methods[J]. African Journal of Agricultural Research, 2007, 2(1): 19–26
- [3] 解红娥, 李永山, 杨淑巧, 王娟娟, 吴秀峰, 武宗信. 农田残膜对土壤环境及作物生长发育的影响研究[J]. 农业环境科学学报, 2007, 26(增刊): 153–156
- [4] 毛树春. 育苗移栽新技术示范在新疆[J]. 中国棉花, 2007, 34(8): 35
- [5] Vos JGM, Sumarni N. Integrate crop management of hot pepper under tropical low land conditions: effect of mulch on crop performance and production[J]. Journal Horticultural Science, 1997, 72 (3): 415–424
- [6] Huixiao W, Changming L, Lu Z. Water-saving agriculture in china: An overview[J]. Advances in Agronomy, 2002, 75(2): 135–171
- [7] 高亚军, 李生秀. 旱地秸秆覆盖条件下作物减产的原因及作用机制分析[J]. 农业工程学报, 2005, 21(7): 15–19
- [8] 巩杰, 黄高宝, 陈利顶, 傅伯杰. 旱作麦田秸秆覆盖的生态综合效应研究[J]. 干旱区农业研究, 2003, 21(3): 69–73
- [9] 晋凡生, 张宝林. 免耕覆盖玉米秸秆对旱地土壤环境的影响[J]. 农业生态研究, 2000, 8(3): 47–50
- [10] 蔡太义, 贾志宽, 黄耀威, 贾志宽, 杨宝平, 张睿, 韩清芳, 聂俊峰. 中国旱作农区不同量秸秆覆盖综合效应研究进展[J]. 干旱区农业研究, 2011, 29(5): 63–68
- [11] Wang Y, Xie Z, Malhi S S, Vera, CL, Zhang, YB, Wang, J N. Effects of rainfall harvesting and mulching technologies on water use efficiency and crop yield in the semi-arid loess plateau, China[J]. Agric Water Manage, 2009, 96(3): 374–382
- [12] Liu Y, Li S Q, Chen F, Yang, SJ, Chen, XP. Soil water dynamics and water use efficiency in spring maize (*Zea mays* L.) fields subjected to different water management practices on the loess plateau, China[J]. Agric Water Manage, 2010, 97(5): 769–775
- [13] 谷洁, 高华, 方日尧. 施肥和秸秆覆盖对旱地作物水分利用效率的影响[J]. 农业工程学报, 1998, 14(2): 160–164
- [14] 刘婷, 贾志宽, 张睿, 郑甲成. 秸秆覆盖对旱地冬小麦灌浆动态及产量的影响[J]. 干旱区农业研究, 2010, 28(2): 34–37
- [15] 刘超, 王有科, 湛景武, 杨直毅. 秸秆覆盖量对夏玉米产量影响的试验研究[J]. 灌溉排水学报, 2008, 27(4): 64–66
- [16] 翟胜, 梁银丽, 王巨媛, 戴全厚, 翟继元, 熊亚梅. 地表覆盖对日光温室黄瓜生长发育及生理特性的影响[J]. 中国生态农业学报, 2007, 15(2): 73–77
- [17] 赵忠华, 张晓海, 晋艳. 综合抗旱栽培技术对烤烟生长发育和产值量的影响[J]. 中国农学通报, 2011, 27(12): 238–243
- [18] 王谊, 马富裕, 樊华, 冯志磊, 于娟娟, 杨洲. 播期和晚播秸秆覆盖对加工番茄干物质积累和产量的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2012, 30(3): 25–30
- [19] Sauer T, Hatfield J, Prueger J. Corn residue age and placement effects on evaporation and thermal regime[J]. Soil Sci. Soc. Am. J., 1996, 60: 1 558–1 564
- [20] 周少平, 谭广洋, 沈禹颖, 南志标, 高崇岳, 杨晶. 保护性耕作下陇东春玉米-冬小麦-夏大豆轮作系统土壤水分动态及水分利用效率[J]. 草业科学, 2008, 25(7): 6–975
- [21] 赵耕毛, 刘兆普, 张博, 李杰. 滨海盐渍区海水养殖废水利用与减蒸抑盐措施研究[J]. 土壤, 2010, 42(2): 292–296
- [22] 李玲玲, 黄高宝, 张仁陟, 晋小军, Kwong Yin CHAN. 不同保护性耕作措施对旱作农田土壤水分的影响[J]. 生态学报, 2005, 25(9): 2 326–2 332
- [23] 景明, 姜丙州, 张会敏, 李强坤. 不同覆盖材料对干旱区春小麦棵间蒸发的影响[J]. 水资源与水工程学报, 2010, 21(2): 92–99
- [24] 侯连涛, 江晓东, 韩宾, 焦念元, 赵春, 李增嘉. 不同覆盖处理对冬小麦气体交换参数及水分利用效率的影响[J]. 农业工程学报, 2006, 22(9): 58–63
- [25] 于舜章, 陈雨海, 周勋波, 李全起, 罗毅, 于强. 冬小麦期覆盖秸秆对夏玉米土壤水分动态变化及产量的影响[J]. 水土保持学报, 2004, 18(6): 175–178
- [26] 伊德里萨, 张展羽, 郭相平, 王为木, 孔莉莉. 非充分灌溉条件下秸秆覆盖对玉米生长的影响[J]. 河海大学学报, 2008, 36(3): 342–345
- [27] 李晓明, 王飞, 胡林, 穆兴民. 风速和秸秆覆盖对土壤水分蒸发影响的模拟试验研究[J]. 干旱地区农业研究, 2011, 29(3): 186–190
- [28] 李全起, 陈雨海, 于舜章. 灌溉条件下秸秆覆盖麦田耗

- 水特性研究[J]. 水土保持学报, 2005, 19(2): 130-141
- [29] 王文焰, 张建丰, 王志荣. 砂层在黄土中的阻水性及减渗性的研究[J]. 农业工程学报, 1995, 17(3): 33-41
- [30] Colman EA, Bodman GB. Moisture and energy conditions during downward entry of water into moist and layered soils[J]. Proceeding of Soil Sci. Soc. Am., 1945, 9: 3-11

Distribution Characteristics of One-dimensional Vertical Infiltration Water and Salt in Layered Soil with Subsurface Straw Layer

ZHANG Jin-zhu^{1,2}, WANG Zhen-hua^{1,2*}, Hudan·TUMAREBI³

(1 College of Water & Architectural Engineering, Shihezi University, Shihezi, Xinjiang 832000, China; 2 Corps Key Laboratory of Modern Water-saving Irrigation, Shihezi, Xinjiang 832000, China; 3 School of Water Conservancy and Civil Engineering, Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830052, China)

Abstract: In this study, a constant head infiltration device was used to investigate the distribution characteristics of one-dimensional vertical infiltration water and salt in layered saline and alkaline soil with a subsurface straw layer at a depth of 20 cm below soil surface. Four levels, 0 (CK), 6 000, 12 000, and 18 000 kg/hm², of straw amount with 2 levels, 1 and 10 cm, of straw length were set up to investigate their influences on the distribution of infiltration water and salt in saline alkaline soil. The results showed that the subsurface straw layer in saline alkaline soil clearly lowered water infiltration with apparent drops in accumulated infiltration amount and infiltration rate. And infiltration water stopped above the straw layer within certain limits. At the same time, the subsurface straw layer prevented water from going through, resulting in an obvious decrease of water below it. Salt content peaked at a certain depth below the straw layer. And straw length exerted an effect on the depth where salts were stopped with the peak of the total salt content at a deeper position in the 10 cm straw length treatments compared with that in the 1 cm treatments. The subsurface straw layer also impacted the ion exchange and adsorption during water infiltration. The changes of Cl⁻ distribution in the soil profile after infiltration was similar to that of total salt. HCO₃⁻ was obviously more sensitive to the subsurface straw layer than SO₄²⁻ which relied heavily on water and only migrated rapidly when water content was high enough.

Key words: Subsurface straw layer, Accumulated infiltration amount, Infiltration rate, Water and salt in soil