

秸秆隔层与地覆膜盖有效抑制潜水蒸发和土壤返盐

赵永敢, 王 婧, 李玉义, 逢焕成^{*}

(中国农业科学院农业资源与农业区划研究所/农业部面源污染控制重点实验室, 北京 100081)

摘 要: 为了揭示秸秆隔层与地膜覆盖的蓄水控盐机理, 通过室内土柱模拟试验, 研究了浅层地下水埋深条件下秸秆隔层对土壤水分入渗过程以及结合地膜覆盖对蒸发过程和水盐运移的影响。入渗试验设置了均质土(对照)和秸秆隔层处理, 蒸发试验在均质土和秸秆隔层处理的土表分别增设覆膜和不覆膜处理。研究结果表明: 1) 秸秆隔层不但降低了土壤水分入渗速率和湿润锋推进深度, 还引起了湿润锋的不稳定性, 即优先流现象的出现; 2) 秸秆隔层能抑制潜水蒸发, 对累积蒸发量的抑制率可达 75.07%~95.42%; 3) 秸秆隔层改变了土壤水盐时空分布特征, 在入渗过程中可增加土壤含水率, 降低土壤含盐量; 蒸发过程中可将盐分控制在底土层中, 抑制了土壤返盐; 4) 地膜覆盖可减少土壤水分散失和减弱盐分表聚, 而秸秆隔层结合地膜覆盖对潜水蒸发和土壤返盐的抑制效应更强, 淡化耕层作用更为明显。该研究结果可为河套灌区农田抑盐、保水和合理的耕作措施的制定提供依据和参考。

关键词: 秸秆, 入渗, 蒸发, 覆膜, 水盐运移

doi: 10.3969/j.issn.1002-6819.2013.23.015

中图分类号: S152.7; S287

文献标志码: A

文章编号: 1002-6819(2013)-23-0109-09

赵永敢, 王 婧, 李玉义, 等. 秸秆隔层与地覆膜盖有效抑制潜水蒸发和土壤返盐[J]. 农业工程学报, 2013, 29(23): 109—117.

Zhao Yonggan, Wang Jing, Li Yuyi, et al. Reducing evaporation from phreatic water and soil resalinization by using straw interlayer and plastic mulch[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2013, 29(23): 109—117. (in Chinese with English abstract)

0 引 言

在干旱和半干旱地区, 土壤盐碱化和水资源短缺是限制农田高效利用和导致农业生产水平低下的直接影响因素^[1]。在这些地区, 土壤蒸发强烈, 灌溉后水分难以保蓄, 50%左右的农田水分通过蒸发损失^[2], 这促使深层土壤水分向上运移, 盐分也将随水分向表层土壤迁移, 水走盐留, 最终导致大量盐分聚集在表层土壤。农业生产中, 只要能减少土壤水分的无效损失, 理论上就可减轻盐分表聚, 降低土壤盐害。因此, 保持土壤水分, 控制水分蒸发, 是抑制盐分向土表运移和改良农田水盐障碍的重要议题。

覆盖是减少土壤水分蒸散损失的主要农艺措施。覆盖材料多样, 农业生产中尤以地膜和农作物

秸秆使用最为广泛。国内外研究表明, 地膜覆盖可保温增温, 保水抑盐, 改善耕层土壤水热状况, 活化土壤养分, 促进作物增产^[3-5]; 秸秆覆盖可提高土壤持水能力, 促进降雨淋盐, 抑制地表返盐, 还可改善土壤结构, 增加土壤有机质^[6-10]。在地表下设置秸秆隔层也是秸秆覆盖还田的一种方式, 近年来逐渐受到关注。有学者研究表明, 在地表下 20 或 30 cm 处覆盖小麦或玉米秸秆可降低深层土壤水分蒸发, 有效阻隔水盐上行, 防止根层盐化^[11-13]。虽然这些研究分别报道了土表覆盖和地下覆盖各自对土壤性质的改善作用, 也有部分学者对地膜和秸秆组合覆盖措施进行了研究^[14-15], 但均为地表覆盖, 而将地表覆盖与地表下埋设秸秆隔层结合的报道鲜见。作者所在课题组在内蒙古河套灌区进行了大田和微区试验, 前期研究结果表明地膜覆盖结合秸秆隔层对优化根层土壤盐分时空分布, 降低土壤溶液浓度和促进作物生长发育等方面具有显著效果^[16-18]。此外, 课题组还发明了用于土壤翻耕和秸秆深埋还田的犁具^[19], 翻地的同时可将作物秸秆与残茬翻埋至 35~40 cm 土层深处, 解决了生产中翻埋秸秆困难的问题。但总体说来, 关于秸秆隔层的研究尚处于初级阶段, 其对土壤水分入渗和蒸发过程有何影响, 以及结合地膜覆盖后如何优化土壤水盐分布等问题还需要深入研究。因此, 本文采用室

收稿日期: 2013-03-11 修订日期: 2013-10-12

基金项目: 国家自然科学基金项目(31000692)、公益性行业(农业)科研专项经费项目(200903001)和中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金项目(2012ZL031)

作者简介: 赵永敢(1984—), 男, 云南昌宁人, 博士生, 主要从事盐碱地资源利用研究。北京 中国农业科学院农业资源与农业区划研究所, 100081。Email: zygsu@163.com

※通信作者: 逢焕成(1964—), 男, 研究员, 博士生导师, 主要从事盐碱地改良与耕作制度研究。北京 中国农业科学院农业资源与农业区划研究所, 100081。Email: panghuancheng@caas.cn

内土柱试验的方法,研究秸秆隔层对土壤水分入渗过程,以及秸秆隔层结合地膜覆盖对土壤水分蒸发过程的影响,分析其对土壤水盐运移的调控机理,旨在为河套灌区农田抑盐、保水和合理的耕作措施的制定提供依据和参考。

1 材料与方法

1.1 供试土壤与土样准备

试验用土取自内蒙古五原县,采样深度为 20~40 cm。通过比重计法测得土壤中各粒组质量分数为砂粒(0.02~2 mm) 35.75%、粉粒(0.002~0.02 mm) 53.76%、黏粒(0~0.002 mm) 10.49%,土壤质地为粉砂壤土。通过测定土壤盐分组成可知,该盐土分类属于氯化物—硫酸盐土。试验前将取回的土壤风干、磨碎,除去杂物后过 2 mm 筛。用环刀法装土水饱和后烘干测得饱和含水率为 38.40%,用威尔克斯法测得田间持水量为 25.40%。称取 2 份质量相同的土样,其中一份拌入配置好的 NaCl 和 Na₂SO₄ 混合水溶液(质量比为 1:1),记为土样 A;另一份拌入同量的去离子水,记为土样 B;土样拌匀后覆膜静置 2 d 备用。采用烘干法测定土壤含水率,测得备用土样 A 和 B 的含水率平均为(2.84±0.08)%;提取土壤溶液上清液(土水比 1:5),用电导法测定土壤含盐量,测得土样 A 的含盐量为(12.06±0.26) g/kg,土样 B 的含盐量为(6.70±0.17) g/kg。

1.2 试验装置、设计和操作过程

1.2.1 入渗试验装置、设计和操作过程

土壤水分入渗试验装置包括土柱、供水装置和铁架台。所用土柱为圆柱形有机玻璃柱,高 120 cm、直径 30 cm。土柱底部封闭,中间位置设有排气孔,自封闭底部向上每隔 10 cm 绕土柱一周均匀设置 6 个取样孔,孔径 2 cm,6 个取样孔在同一水平面上且相互错开,便于取土进行水盐动态分析,试验时用橡皮塞堵住取样孔。利用马氏瓶供水,其横截面为 64 cm²,高为 80 cm,供水时水头控制在 1.5 cm。

装土前,先在土柱底部装填 5 cm 厚的砂石作为反滤层,可为入渗过程提供一个气流顺畅的入渗环境;为防止上层细颗粒土进入砂层中的大孔隙,在砂石层上平铺 2 层与土柱横截面大小相同的尼龙布。将土样按照设定体积质量为 1.45 g/cm³ 分次等量装入土柱,为使土柱各处的体积质量一致,每次填装的土层厚度控制为 5 cm,压实一层后将其表面刷毛,再装填下一层,以保证土层均匀且接触良好。

试验分为 4 组,编号分别为 T1、T2、T3 和 T4。装土时每个土柱均先装填土样 B,其中, T1 和 T2 土柱装填至 70 cm 高度时,再装填土样 A; T3 和

T4 土柱装填至 65 cm 高度时,先在土表平铺两层尼龙布,然后均匀铺设长度约 3~5 cm 的玉米秸秆,即设置秸秆隔层,压实后秸秆隔层厚度为 5 cm,容重为 0.09 g/cm³,在秸秆隔层上表也平铺两层尼龙布,再装填土样 A。最后土柱中均质土、砂石层和秸秆隔层的总高度为 110 cm。

土柱装填好后,进行垂直一维土柱积水入渗试验,水质为实验室制备的去离子水。各土柱均加水到保持土面水层 8 cm,用马氏瓶控制其水层在整个试验中保持不变。试验过程中记录不同时刻的湿润锋位置和马氏瓶水位,用于得出不同入渗时间对应的累积入渗量数据。当各土柱的湿润锋到达 960 mm 时,停止供水,并立即用塑料膜将土柱管口封住,防止土表水分自然蒸发。此时, T1、T2、T3 和 T4 土柱的灌水量分别为 345.89、344.45、314.32 和 312.39 cm。待全部水分入渗完毕后,入渗过程结束。

1.2.2 蒸发试验设计、装置和操作过程

土壤水分蒸发试验装置包括土柱、供水装置、红外灯和铁架台。该试验为上述入渗试验结束,水分再分布 48 h 后的 4 组土柱。在蒸发试验开始前,分别对 T2 和 T4 土柱的土表用圆形塑料薄膜覆盖,覆盖后薄膜边缘离柱壁 1 cm,土表覆盖率为 92.86%; T1 和 T3 处理土表不覆盖,相当于裸土蒸发。设定地下水埋深为 1 m,蓄水层厚度 10 cm;用马氏瓶供水并控制水位,10 g/L 的 NaCl 和 Na₂SO₄ 混合水溶液(质量比为 1:1)作为蒸发水源。利用 250 W 红外灯昼夜照射,模拟大气蒸发能力为 5 mm/d 的稳定蒸发,同时装设与土柱直径相近似的蒸发皿,用于率定水面蒸发能力。整个蒸发过程历时 30 d,在蒸发过程中,每日上午 08:00 通过马氏瓶水量的变化观测每个土柱的潜水蒸发量。

1.3 土样采集与测定方法

土壤水分蒸发试验开始前,通过取样孔对每个土柱进行不同土层取样,作为蒸发试验的初始条件,取样位置分别为距土表 5、10、20、30、40、50、60、70、80、90、100 cm 处。在蒸发过程中,每隔 10 d 取 1 次土样,取样深度与蒸发开始前一致。对同一高度位置的取样孔轮流取样,每次取样的位置不重复,取土后用相同含水率的母土回填^[20]。取样后采用烘干法测定土壤质量含水率,浸出液(土水比 1:5)用电导法测定土壤含盐量。

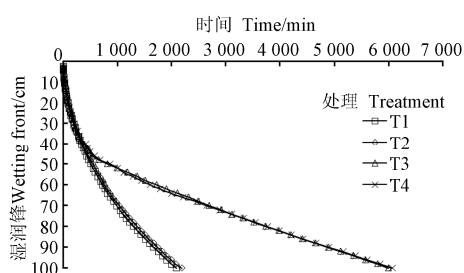
2 结果与分析

2.1 秸秆隔层对土壤入渗特性的影响

2.1.1 秸秆隔层对湿润锋运移的影响

由图 1 可知,各土柱的湿润锋下渗深度随入渗过程进行不断增加,秸秆隔层的存在明显降低了湿

润锋的推进速率,使其入渗过程有别于均质土。其中, T1 和 T2 土柱的湿润锋在入渗过程中一直保持均匀移动; T3 和 T4 土柱的湿润锋在隔层以上土层中移动时,其运移过程与 T1 和 T2 土柱基本相同,曲线重叠性较大。湿润锋进入隔层后,移动速率迅速降低,致使 T3 和 T4 土柱的湿润锋穿过隔层所用的时间明显大于 T1 和 T2 土柱通过相同土层时所用的时间,可见秸秆隔层的存在降低了湿润锋的推进速率,具有阻渗作用。湿润锋进入隔层以下土层后,推进速率也明显减小,且湿润锋不稳定,水分沿指状流动,引发优先流现象,但这种湿润锋的不均匀性随入渗深度增加而逐渐减弱,当湿润锋运移至约 68 cm 处时,优先流现象消失。



注: T1 和 T2 为均质土处理; T3 和 T4 为秸秆隔层处理。
Note: T1 and T2 indicate the treatment of homogeneous soil, T3 and T4 indicate the treatment of straw interlayer buried, respectively.

图 1 各处理湿润峰深度随时间变化过程

Fig.1 Variation of wetting front with time for different treatments

2.1.2 秸秆隔层对累积入渗量的影响

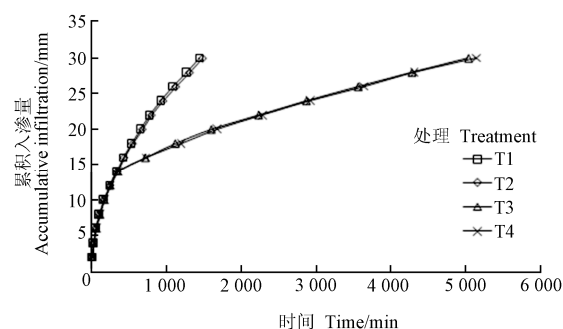
由图 2 可知,各土柱的累积入渗量均随时间延长呈增大趋势,秸秆隔层的存在明显降低了水分入渗速率。从入渗开始至 400 min 左右时(湿润锋到在隔层以上土层中移动),各土柱的累积入渗量随时间的变化趋势基本一致,曲线重叠性较大。当入渗水流进入隔层后, T3 和 T4 土柱在单位时间内的累积入渗量迅速减小,二者的平均入渗速率从 0.21 mm/min 减小至 0.06 mm/min,明显低于 T1 和 T2 土柱 (0.20 mm/min),由此表明,秸秆隔层的存在可使单位历时的累积入渗量减少,减渗作用明显。当入渗水流在隔层以下土层中移动时, T3 和 T4 土柱在单位时间内的累积入渗量基本恒定,入渗过程呈稳渗态势,其入渗速率也明显低于 T1 和 T2 土柱。

2.2 秸秆隔层与地膜覆盖对土壤蒸发特性的影响

2.2.1 秸秆隔层与地膜覆盖对蒸发强度的影响

由图 3 可知,在模拟稳定蒸发条件一致的情况下 ($E_0=5$ mm/d),各组土柱的日蒸发量有明显的差别。可以看出,秸秆隔层可明显降低蒸发强度,且秸秆隔层结合地膜覆盖的抑制效果更为明显;对

均质土进行地膜覆盖也能抑制潜水蒸发,但其效果不如秸秆隔层明显。在蒸发历时 30 d 内,秸秆隔层结合地膜覆盖 (T4) 的蒸发强度明显低于其他土柱,蒸发第 1 天时其日蒸发量占大气蒸发能力的比值 (E_w/E_0) 仅为 5.41%,且在第 2 天后就达到稳定蒸发,对潜水蒸发的抑制效果比较突出;只埋设秸秆隔层的 T3 土柱在蒸发第 1 天时 E_w/E_0 为 10.32%,其蒸发强度也大于 T4 土柱,在第 3 天后达到稳定蒸发,此后其潜水蒸发强度与 T4 土柱无明显差异;只进行地膜覆盖的 T2 土柱,由于土壤毛管连续,水分可借助毛管力作用上升至土壤表层,导致其在蒸发第 1 天时 E_w/E_0 高达 71.48%,但地膜覆盖形成的阻隔层有效地减弱了水分垂直蒸发,因此第 2 天时其 E_w/E_0 降至 27.16%,此后呈逐渐降低趋势;T1 土柱土表裸露,土壤通透性好,土表与大气之间能量交换较快,在蒸发前 3 d 的 E_w/E_0 均在 70% 以上,但由于盐分表聚严重,土表形成的盐壳可抑制水分蒸发^[21],因此随蒸发进行,其日蒸发量逐渐降低,第 30 天时 E_w/E_0 降至 14.25%,仍明显大于其他土柱。



注: T1 为均质土无覆盖处理; T2 为均质土地膜覆盖处理; T3 为秸秆隔层无覆盖处理; T4 为秸秆隔层结合地膜覆盖处理,下同。
Note: T1, T2, T3 and T4 indicate the treatment with homogeneous soil and non-mulch, homogeneous soil and plastic mulch, straw interlayer buried, and combination of plastic mulch and straw interlayer buried, respectively. The same as below.

图 2 各处理累积入渗量随时间变化过程

Fig.2 Variation of cumulative infiltration with time for different treatments

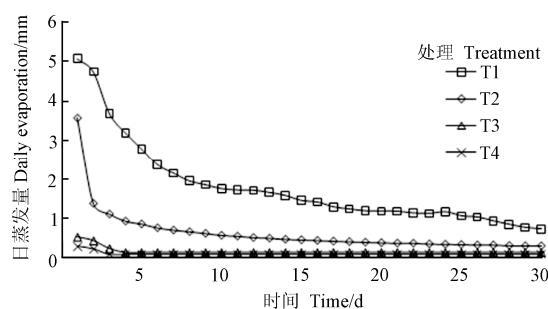


图 3 各处理的潜水蒸发强度随时间变化

Fig.3 Variation of daily evaporation with time for different treatments

2.2.2 秸秆隔层与地膜覆盖对累积蒸发量的影响

由图 4 可知, 秸秆隔层可明显降低累积蒸发量, 尤其是秸秆隔层配合地膜覆盖的效果更为突出, 而地膜覆盖的抑制效果要弱于秸秆隔层。在连续蒸发 30 d 后, T1 土柱的累积蒸发量为 53.51 mm, 占同期大气蒸发能力 (150 mm) 的 35.67%; T2 土柱的累积蒸发量为 18.33 mm, 占同期大气蒸发能力的 12.22%, 比 T1 土柱低 65.75%; 有秸秆隔层的 T3 和 T4 土柱的累积蒸发量明显较低, 分别为 4.57 和 2.45 mm, 仅占同期大气蒸发能力的 3.05 和 1.64%, 与 T1 和 T2 土柱相比, T3 土柱分别低 91.46 和 75.07%, T4 土柱分别低 95.42 和 86.63%。

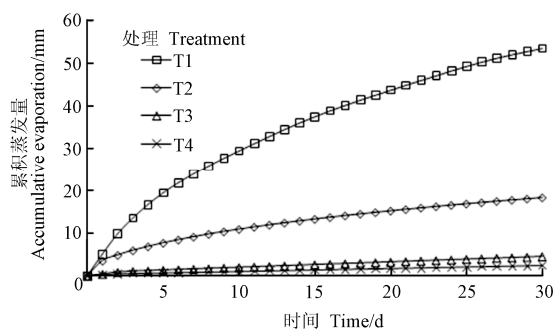


图 4 各处理的潜水累积蒸发量随时间变化

Fig.4 Variation of cumulative evaporation with time for different treatments

2.3 秸秆隔层与地膜覆盖对土壤剖面含水率的影响

由于不同措施对土壤水分入渗和蒸发特性的影响不同, 导致各土柱之间土壤含水率的明显差异。从图 5 可见, 秸秆隔层具有阻截和蓄积水分, 提高耕层土壤含水率的作用。在蒸发开始前 (水分入渗一再分布后), T3 和 T4 土柱在 0~40 cm 土层处的平均含水率比 T1 和 T2 土柱高 4.85%, >40~60 cm 土层也呈相同态势。这在农业生产上对增加耕层土壤含水率, 提高灌水和降雨的利用效率具有重要意义。

从图 5 还可以看出, 随着蒸发过程进行, 各土柱符合脱水过程, 其中 0~40 cm 土层表现尤为明显。土壤水分的损失速率主要与土壤供水能力和蒸发强度有关, 不同措施的保水效果差异明显。其中, T1 和 T2 土柱的浅层地下水在毛管力作用下能向上运移, 供水能力较强, 可补充由土表蒸发而造成水分损失; 而 T3 和 T4 土柱埋设的秸秆隔层切断了土壤毛管, 非饱和土壤水很难透过隔层向上运移, 导致二者 0~40 cm 土层含水率明显低于 T1 和 T2 土柱。覆膜措施也可不同程度的影响土壤水分蒸发和水分分布, 在有或无秸秆隔层情况下, 覆膜后均可减缓土壤水分散失, 在连续蒸发 30 d 内, T4 土柱 0~40 cm 土层含水率比 T3 土柱高 20.94%~25.16%, T2 土柱比 T1 土柱高 3.36%~4.89%, 其中 0~5 cm 土层较为突出。

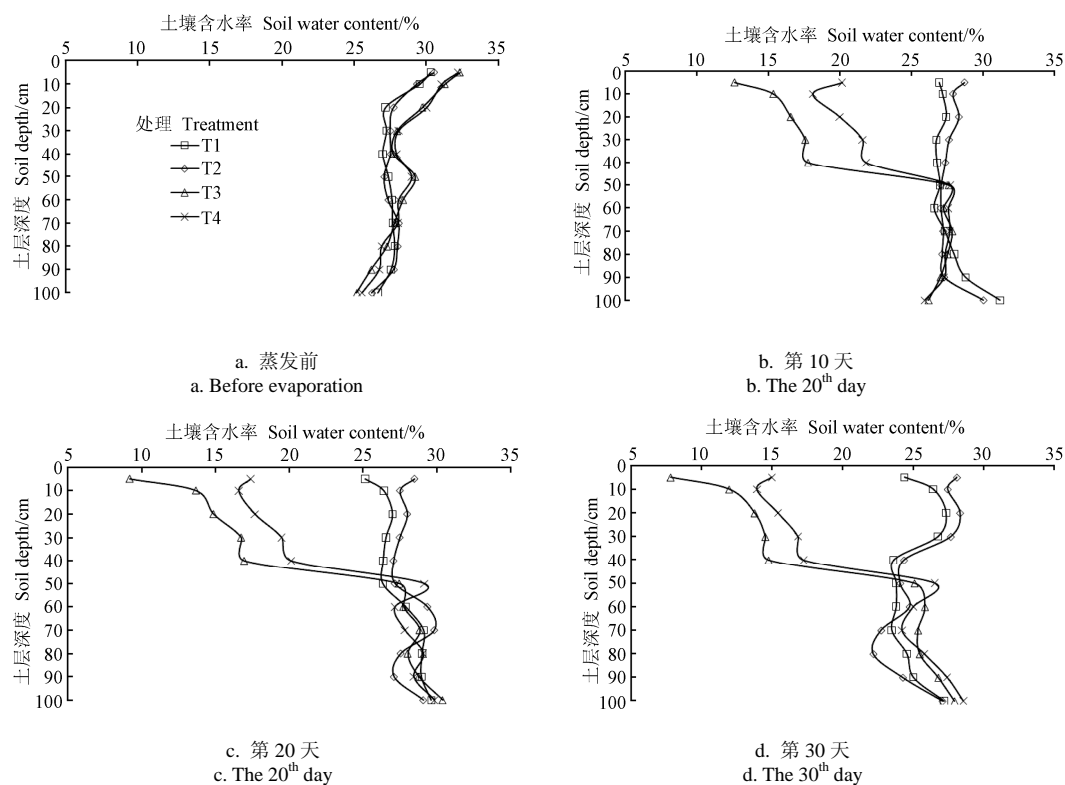


图 5 各处理不同蒸发历时的土壤剖面含水率

Fig.5 Soil water content on profiles with evaporation time for different treatments

2.4 秸秆隔层与地膜覆盖对土壤剖面含盐量的影响

由于不同措施明显影响土壤剖面含水率分布, 土壤剖面含盐量也随着发生了明显的变化。从图 6 可见, 秸秆隔层具有降低耕层土壤含盐量, 提高灌水淋盐效果的作用。在蒸发开始前, T3 和 T4 土柱在 0~40 cm 土层处的平均含盐量要比 T1 和 T2 土柱的平均值低 9.87%, >40~50 cm 土层表现相同, 而 >50~70 cm 土层呈相反态势。这是由于秸秆隔层延长了入渗水在隔层以上土层的停蓄时间^[12], 从而使土壤中可溶性盐得以充分溶解, 并随水分下移到隔层以下土层, 提高了灌水淋盐效果。这在农业生产上可有效降低耕层土壤含盐量, 减轻盐分对作物生长的危害。

从图 6 还可以看出, 在蒸发作用下, 底层土壤和潜水中的盐分可随水分向上迁移, 导致各土柱不断积盐。不同措施的控盐抑盐效果差异明显, 对盐

峰高度和含盐量也有明显影响。其中, T1 土柱的盐峰位置上移较快, 蒸发第 10 天时盐峰位置就从土柱底端上升至 >40~50 cm 土层处, 此后每隔 10 d 上升 10 cm, 返盐速率也较快, 到了第 30 天时其 0~40 cm 土层的平均含盐量为 14.64 g/kg, 与蒸发前的差值(积盐量)达 14.09 g/kg; T2 土柱返盐程度仅次于 T1 土柱, 其盐峰位置在第 10 天时上升至 >70~80 cm 土层处, 此后 20 d 内保持不变, 其 0~40 cm 土层积盐量为 1.79 g/kg; T3 和 T4 土柱由于埋设的秸秆隔层具有控盐作用, 蒸发 30 d 内盐峰位置一直保持在土柱最底端, 0~40 cm 土层积盐量分别为 1.66 和 1.27 g/kg, 二者积盐量平均比 T1 和 T2 土柱降低 81.55%, 其中 T4 土柱 90 cm 以上土层的含盐量要低于 T3 土柱, 0~5 cm 土层尤为明显。由此表明秸秆隔层的抑盐效果明显优于地膜覆盖, 而秸秆隔层配合地膜覆盖的控盐、抑盐效果最为明显。

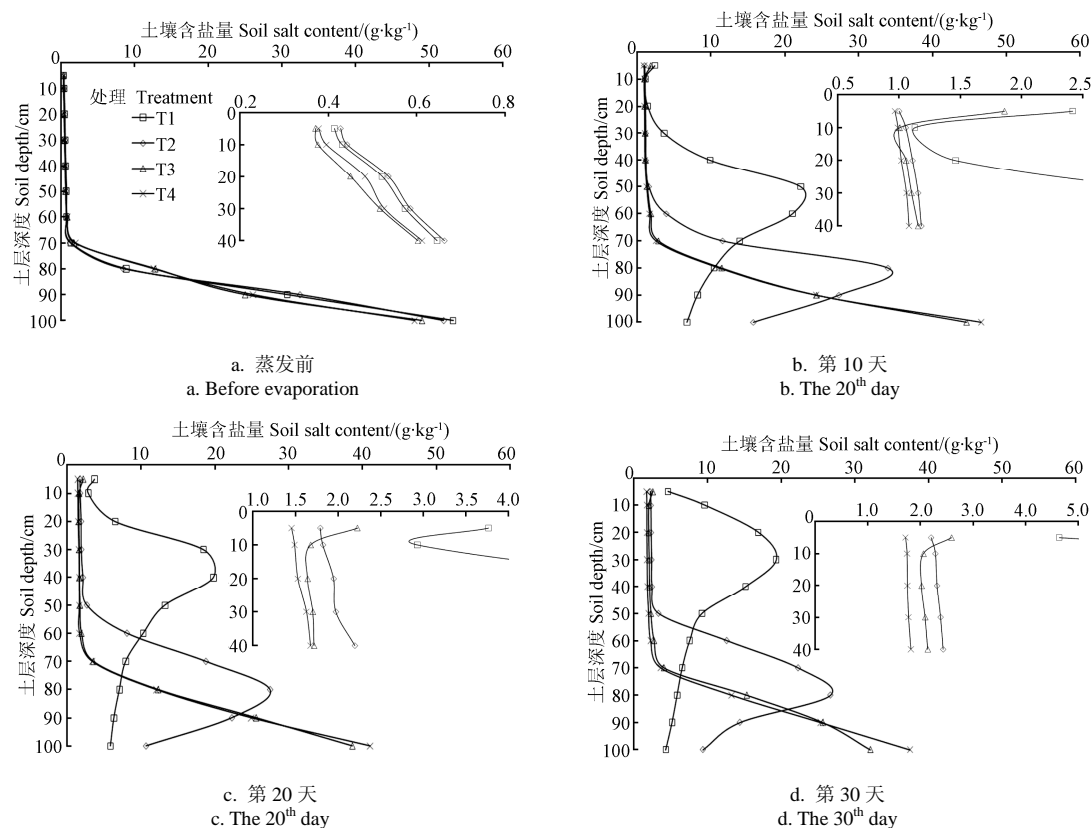


图 6 各处理不同蒸发历时的土壤剖面含盐量
Fig.6 Soil salt content on profiles with evaporation time for different treatments

3 讨论

前人研究表明, 土壤质地和土壤结构对土壤水分入渗能力有显著影响^[22-23]。在土壤中埋设秸秆隔层, 改变了土壤质地的均匀性和土体构型, 使土水势在交界面发生突变, 导致水分入渗形式也发生相应变化^[24-25]。本试验中, 秸秆隔层的存在改变了水

分入渗特征, 降低了水分入渗速率, 引发了优先流现象。这是由于土壤和秸秆的孔隙状况不同, 秸秆中以大孔隙居多, 这种在细质土层与粗质秸秆隔层交界面处形成的“孔隙差异界面”造成了导水能力的差异^[26], 致使单位时间内进入秸秆隔层的水分流运动通量减小, 从而降低了水分入渗速率。入渗水流进入秸秆隔层后, 隔层内的大孔隙结构使水流优先

迁移,可优先穿过隔层到达交界面的下表面,而隔层内填充的空气使湿润锋前部的空气压力增加,从而产生速度差异较大的非均匀流场^[27-28],致使水流呈柱状流动;入渗水流也可沿竖直或倾斜的秸秆表面流动,而优先到达隔层以下土层的水分的入渗速率要小于土壤饱和导水率,因此在隔层与土层交界处形成一个狭窄的湿润区,而湿润区内水分在短时间内无法与土壤基质的缓慢运移的其他部分保持平衡^[29-30],从而引起湿润锋运移的不均匀性。随入渗过程进行,土壤含水率逐层增加,秸秆隔层含水率达到一定程度时,其导水率趋同于细质土层,水分入渗速率基本稳定,湿润锋的不均匀性也逐渐消退。此后,水分入渗速率主要由秸秆隔层以上的细质土层控制。

秸秆隔层的存在切断了土壤毛管,改变了土体的通透性和导水能力的连续性,建立了一种不连续的水分运移道路,不但降低了土壤入渗能力,还减弱了蒸发能力。水分在土壤中的运动能力取决于代表土壤的透水性的非饱和导水率^[31]。在均质土中,蒸发伊始,剖面土壤含水率差异不大,接近于田间持水量,其导水率较大,此时大气蒸发能力决定了土壤蒸发能力,底层土壤水和潜水可借助毛管力作用上升至土壤表层而散失,蒸发强度较大;随着蒸发过程推进,中间层位的土壤含水率逐渐降低,导水率减小,水分运动速率减慢,其蒸发能力也逐渐降低。埋设秸秆隔层后,增加了隔层以上土层含水率,且蒸发刚开始时秸秆隔层的含水率较大,秸秆隔层以上土层水分散失较快,但由于隔层的毛管作用极其微弱,其导水能力远不如细质土层,因而其蒸发量明显小于均质土;随着秸秆隔层内部含水率降低,其内部大多数孔隙中的水散失后形成不导水的阻隔层,底层土壤毛管水上升至隔层时,无法越过隔层而上升^[11],只能以水汽形式扩散,从而明显降低了蒸发强度。地表覆膜后,降低了土壤的垂直蒸发量,上层土壤水蒸散速度减慢,从而减少了水汽扩散量。

秸秆隔层对土壤水分入渗和蒸发过程的影响导致了土壤中水盐分布的差异。在入渗过程中,均质土条件下,入渗水在土壤中还未达到水盐扩散平衡就已渗漏,单位体积水量淋盐效果差^[32],而埋设秸秆隔层后,隔层内部大孔隙中填充的空气形成了水分移动的阻隔层,从而延长了入渗水在隔层以上土层的停蓄时间^[12],提高了隔层以上土层含水率,同时也促进了离子的交换、吸附和解析等作用^[21],使盐分得以充分溶解,提高了淋盐效果。在蒸发过程中,均质土条件下,土壤水分运移通畅,底层土壤和潜水中的盐分在蒸发作

用下随水分不断向上运移,导致剖面土壤含盐量呈“>”形分布,上层土壤积盐严重;埋设秸秆隔层后,土壤毛管连续性被破坏,底层土壤水分很难穿过隔层,运动速率较慢,盐分被控制在深层土壤中,使剖面土壤含盐量保持“L”形分布,有效的抑制了土壤返盐。

本试验研究发现,秸秆隔层和地膜覆盖2种处理的保水和抑盐效果不同,且作用层次也有差异。其中秸秆隔层处理可降低0~40 cm土层含盐量,但保水效果不理想;地膜覆盖对0~40 cm土层的保水效果相对较好,但其抑盐效果较差;秸秆隔层结合地膜覆盖处理综合了隔层和覆膜的功能,既可抑制0~40 cm土层返盐,又可减缓该土层失水。在实际生产上,作物根系主要位于0~40 cm土层,因此合理调控、优化该层土壤水盐分布极为重要。研究结果显示,秸秆隔层结合地膜覆盖可保持较低的土壤溶液系统,淡化根层,为作物根系生长提供良好的土壤环境,从而促进作物生长发育,实现高产、高效。

4 结 论

本文通过室内土柱模拟试验,系统的研究了秸秆隔层与地膜覆盖对土壤水分入渗、蒸发和蒸发过程中土壤水盐运移的影响,得出以下结论:

1) 秸秆隔层降低了土壤水分入渗能力。在入渗过程中,使水分入渗速率和湿润锋推进速度明显减小,水分进入隔层后的入渗速率为0.06 mm/min,低于均质土的0.20 mm/min,这主要是由于秸秆隔层与细致土层的导水率差异造成。同时,秸秆隔层内部大孔隙的存在以及秸秆的分布不均匀引起土壤水分渗透的不稳地性,即优先流现象的出现。

2) 秸秆隔层抑制了潜水蒸发。在蒸发过程中,隔层处理的日蒸发量明显较小,累积蒸发量比均质土低75.07%~95.42%,因此大幅度减弱了底层土壤水补给隔层以上土层水分蒸散损失的能力。

3) 秸秆隔层优化了土壤水盐分布。入渗过程中,秸秆隔层具有长期储水作用,可增加隔层以上土壤含水率,较均质土高4.85%,还能降低土壤含盐量,较均质土低9.87%,提高了灌水淋盐效果;蒸发过程中,秸秆隔层具有控盐、抑盐作用,0~40 cm土层积盐量较均质土低81.55%,可将盐分控制在深层土壤中,抑制了土壤返盐。

4) 秸秆隔层对潜水蒸发和土壤返盐的抑制效应明显大于地膜覆盖,但秸秆隔层结合地膜覆盖的控盐、抑制效果最为明显,可大幅减弱隔层以上土壤水分散失和盐分表聚,在提高土壤含水率和降低

土壤含盐量方面起到了双重作用, 淡化了根层, 这在农业生产中对作物生长非常有利。

[参 考 文 献]

- [1] Qadir M, Ghafoor A, Murtaza G. Amelioration strategies for saline soils: a review[J]. *Land Degradation and Development*, 2001, 11(6): 501—521.
- [2] 周凌云, 周刘宗, 徐梦雄. 农田秸秆覆盖节水效应研究[J]. *生态农业研究*, 1996, 4(3): 49—52.
Zhou Lingyun, Zhou Liuzong, Xu Mengxiong. The water-saving effects of straw mulch in field[J]. *Eco-Agriculture Research*, 1996, 4(3): 49—52. (in Chinese with English abstract)
- [3] 郑力群, 陈铭达, 刘兆普, 等. 地面覆盖对盐碱土水热盐运动及作物生长的影响[J]. *土壤通报*, 2003, 34(2): 93—97.
Deng Liqun, Chen Mingda, Liu Zhaopu, et al. Effects of different ground covers on soil physical properties and crop growth on saline-alkaline soil[J]. *Chinese Journal of Soil Science*, 2003, 34(2): 93—97. (in Chinese with English abstract)
- [4] Bezborodova G A, Shadmanovb D K, Mirhashimovb R T, et al. Mulching and water quality effects on soil salinity and sodicity dynamics and cotton productivity in Central Asia[J]. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 2010, 138(1): 95—102.
- [5] Li F M, Guo A H, Wei H. Effects of clear plastic film mulch on yield of spring wheat[J]. *Field Crops Research*, 1999, 63(1): 79—86.
- [6] Cook H F, Valdes G S B, Lee H C. Mulch effects on rainfall interception, soil physical characteristics and temperature under *Zea mays* L.[J]. *Soil and Tillage Research*, 2006, 91(1): 227—235.
- [7] 员学锋, 吴普特, 徐福利. 免耕条件下秸秆覆盖保墒灌溉的土壤水、热及作物效应研究[J]. *农业工程学报*, 2006, 22(7): 22—26.
Yuan Xuefeng, Wu Pute, Xu Fuli. Soil moisture conserving irrigation under straw mulch with no-tillage[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE)*, 2006, 22(7): 22—26. (in Chinese with English abstract)
- [8] 付国占, 李潮海, 王俊忠, 等. 残茬覆盖与耕作方式对土壤性状及夏玉米水分利用效率的影响[J]. *农业工程学报*, 2005, 21(1): 52—56.
Fu Guozhan, Li Chaohai, Wang Junzhong, et al. Effects of stubble mulch and tillage managements on soil physical properties and water use efficiency of summer maize[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE)*, 2005, 21(1): 52—56. (in Chinese with English abstract)
- [9] Mulumba L N, Lal R. Mulching effects on selected soil physical properties[J]. *Soil and Tillage Research*, 2008, 98(1): 106—111.
- [10] 毕远杰, 王全九, 雪静. 覆盖及水质对土壤水盐状况及油菜产量的影响[J]. *农业工程学报*, 2010, 26(增刊 1): 83—89.
Bi Yuanjie, Wang Quanju, Xue Jing. Effects of ground coverage measure and water quality on soil water salinity distribution and helianthus yield[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE)*, 2010, 26(Suppl.1): 83—89. (in Chinese with English abstract)
- [11] 池宝亮, 庞金梅, 焦晓燕. 秸秆不同覆盖方式在控制根层盐化中的作用[J]. *山西农业大学学报: 自然科学版*, 1994, 14(4): 440—443.
Chi Baoliang, Pang Jinmei, Jiao Xiaoyan. Effects of residue mulch methods in control of salinization in root zone[J]. *Journal of Shanxi Agricultural University: Natural Science Edition*, 1994, 14(4): 440—443. (in Chinese with English abstract)
- [12] 乔海龙, 刘小京, 李伟强, 等. 秸秆深层覆盖对水分入渗及蒸发的影响[J]. *中国水土保持科学*, 2006, 4(2): 34—38.
Qiao Hailong, Liu Xiaojing, Li Weiqiang, et al. Effects of straw deep mulching on soil moisture infiltration and evaporation[J]. *Science of Soil and Water Conservation*, 2006, 4(2): 34—38. (in Chinese with English abstract)
- [13] 虎胆·吐马尔白, 吴旭春, 迪力达. 不同位置秸秆覆盖条件下土壤水盐运动实验研究[J]. *灌溉排水学报*, 2006, 25(1): 34—37.
Hudan·Tumarbay, Wu Xuchun, Di Lida. A study of effects of wheat straw mulch on soil water conservation[J]. *Journal of Irrigation and Drainage*, 2006, 25(1): 34—37. (in Chinese with English abstract)
- [14] Zhai Sheng, Liang Yinli, Zhang Xiusheng, et al. Effect of soil mulching on cucumber quality, water use efficiency and soil environment in greenhouse[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2008, 24(3): 65—71.
- [15] 张建兵, 杨劲松, 姚荣江, 等. 有机肥与覆盖方式对滩涂围垦农田水盐与作物产量的影响[J]. *农业工程学报*, 2013, 29(15): 116—125.
Zhang Jianbing, Yang Jinsong, Yao Rongjiang, et al. Dynamics of soil water, salt and crop growth under farmyard manure and mulching in coastal tidal flat soil of northern Jiangsu province[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE)*, 2013, 29(15): 116—125. (in Chinese with English abstract)
- [16] 王婧, 逢焕成, 任天志, 等. 地膜覆盖与秸秆深埋对河套灌区盐渍土水盐运动的影响[J]. *农业工程学报*, 2012, 28(15): 52—59.
Wang Jing, Pang Huancheng, Ren Tianzhi, et al. Effect of plastic film mulching and straw buried on soil water-salt dynamic in Hetao plain[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*

- (Transactions of the CSAE), 2012, 28(15): 52—59. (in Chinese with English abstract)
- [17] 赵永敢, 逢焕成, 李玉义, 等. 秸秆隔层对盐碱土水盐运移及食葵光合特性的影响[J]. 生态学报, 2013, 33(17): 5153—5161.
- Zhao Yonggan, Pang Huancheng, Li Yuyi, et al. Effects of straw interlayer on soil water and salt movement and sunflower photosynthetic characteristics in saline-alkali soils[J]. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(17): 5153—5161. (in Chinese with English abstract)
- [18] 赵永敢, 李玉义, 胡小龙, 等. 地膜覆盖结合秸秆深埋对土壤水盐动态影响的微区试验[J]. 土壤学报, 2013, 50(6): 1129—1137.
- Zhao Yonggan, Li Yuyi, Hu Xiaolong, et al. Effects of plastic mulching and deep burial of straw on dynamics of soil water and salt in micro-plot field cultivation[J]. Acta Pedologica Sinica, 2013, 50(6): 1129—1137. (in Chinese with English abstract)
- [19] 逢焕成, 李玉义, 张旭东, 等. 用于土壤翻耕和秸秆深埋还田的犁具[P]. 中国专利: 201320057961.7, 2013-07-31.
- [20] 史文娟, 沈冰, 汪志荣, 等. 蒸发条件下浅层地下水埋深夹砂层土壤水盐运移特性研究[J]. 农业工程学报, 2005, 21(9): 23—26.
- Shi Wenjuan, Shen Bing, Wang Zhirong, et al. Water and salt transport in sand-layered soil underevaporation with the shallow underground water table[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2005, 21(9): 23—26. (in Chinese with English abstract)
- [21] 胡顺军, 康绍忠, 宋郁东, 等. 塔里木盆地潜水蒸发规律与计算方法研究[J]. 农业工程学报, 2004, 20(2): 49—53.
- Hu Shunjun, Kang Shaozhong, Song Yudong, et al. Variation of phreatic evaporation and its calculation method in Tarim River basin in Xingjiang Region[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2004, 20(2): 49—53. (in Chinese with English abstract)
- [22] Franzluebbers A J. Water infiltration and soil structure related to organic matter and its stratification with depth[J]. Soil Tillage and Research, 2002, 66(2): 197—205.
- [23] Zhang G S, Chan K Y, Oates A, et al. Relationship between soil structure and runoff/soil loss after 24 years of conservation tillage[J]. Soil Tillage and Research, 2006, 92(1): 122—128.
- [24] 王春颖, 毛晓敏, 赵兵. 层状夹砂土柱室内积水入渗试验及模拟[J]. 农业工程学报, 2010, 26(11): 61—67.
- Wang Chunying, Mao Xiaomin, Zhao Bing. Experiments and simulation on infiltration into layered soil column with sand interlayer under ponding condition[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2010, 26(11): 61—67. (in Chinese with English abstract)
- [25] 李久生, 杨凤艳, 刘玉春, 等. 土壤层状质地对小流量地下滴灌水器特性的影响[J]. 农业工程学报, 2009, 25(4): 1—6.
- Li Jiusheng, Yang Fengyan, Liu Yuchun, et al. Performance of low-discharge emitters buried in soil as affected by layered-textural soils[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2009, 25(4): 1—6. (in Chinese with English abstract)
- [26] 曲晨晓, 王炜. 土壤剖面中砂质夹层的储水作用及机理研究[J]. 华中农业大学学报, 1997, 16(5): 349—356.
- Qu Chenxiao, Wang Wei. Mechanisms of water reserved by sand interlayer in soil profile[J]. Journal of Huazhong University, 1997, 16(5): 349—356. (in Chinese with English abstract)
- [27] 牛健植, 余新晓, 张志强. 优先流研究现状及发展趋势[J]. 生态学报, 2006, 26(1): 231—243.
- Niu Jianzhi, Yu Xinxiao, Zhang Zhiqiang. The present and future research on preferential flow[J]. Acta Ecologica Sinica, 2006, 26(1): 231—243. (in Chinese with English abstract)
- [28] 秦耀东, 任理, 王济. 土壤中大孔隙流研究进展与现状[J]. 水科学进展, 2000, 11(2): 203—207.
- Qin Yaodong, Ren Li, Wang Ji. Review on the study of macropore flow in soil[J]. Advance of Water Science, 2000, 11(2): 203—207. (in Chinese with English abstract)
- [29] 牛健植, 余新晓. 优先流问题研究及其科学意义[J]. 中国水土保持科学, 2005, 3(3): 110—116, 126.
- Niu Jianzhi, Yu Xinxiao. Preferential flow and its scientific significance[J]. Science of Soil and Water Conservation, 2005, 3(3): 110—116, 126. (in Chinese with English abstract)
- [30] 刘亚平, 陈川. 土壤非饱和带中的优先流[J]. 水科学进展, 1996, 7(1): 85—89.
- Liu Yaping, Chen Chuan. Introduction to preferential flow in unsaturated soil[J]. Advance of Water Science, 1996, 7(1): 85—89. (in Chinese with English abstract)
- [31] 雷志栋, 杨诗秀, 谢森传. 土壤水动力学[M]. 北京: 清华大学出版社, 1988.
- [32] 冯永军, 陈为峰, 张蕾娜, 等. 滨海盐渍土水盐运动室内实验研究及治理对策[J]. 农业工程学报, 2000, 16(3): 38—42.
- Feng Yongjun, Chen Weifeng, Zhang Leina, et al. Experimental study on salt and water movement of seashore saline soil in laboratory and harnessing measures[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2000, 16(3): 38—42. (in Chinese with English abstract)

Reducing evaporation from phreatic water and soil resalinization by using straw interlayer and plastic mulch

Zhao Yonggan, Wang Jing, Li Yuyi, Pang Huancheng^{*}

(Institute of Agricultural Resource and Regional Planning, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Key Laboratory of Non-point Source Pollution Control, Ministry of Agriculture, Beijing 100081, China)

Abstract: Soil salinization severely restricts sustainable agricultural development in the Hetao Irrigation District in Inner Mongolia of China. Furthermore, insufficient drainage and over irrigation have aggravated the development of salinization of soil in this area. As such, people are forced to use better and more effective approaches for soil and water management in saline fields to increase crop productivity. The positive effect of both burial of straw interlayer and plastic mulch on the soil infiltration and/or evaporation has been reported, but there is a paucity of information on the effect of combined straw interlayer with plastic mulch, particularly its influence mechanism. With the aim of revealing the beneficial effects of straw interlayer and plastic mulch on water storage and salt control, a laboratory simulation experiment was conducted to study the processes of soil water infiltration and evaporation with the shallow groundwater table, as well as the distribution and transportation of soil water and salt. In the infiltration process, two treatments were designed, including homogenous soil as a control and straw interlayer buried at 40 cm depth. In the consequent process of water evaporation, plastic mulch and non-mulch practices were added respectively based on the previous treatments. The results showed that the straw interlayer buried treatments not only reduced the water infiltration rate and advanced the wetting velocity, but also induced the instability of the wetting front, i.e., the appearance of the preferential flow in the infiltration process. On the other hand, the straw interlayer buried treatments dramatically reduced the groundwater evaporation, and decreased the cumulative evaporation by 75.07%~95.42% during the successive evaporation of 30 days, when compared with the levels of control. In addition, the burial of straw interlayer altered the distribution and transportation of soil water and salt in soil profile. The soil water content in the straw interlayer imposed treatments at the top soil layers was increased while salt content was decreased in the infiltration process, compared to the corresponding ones without the straw interlayer treatments due mainly to the promoted solute leaching efficiency. Primarily, the soil capillary being cut off by the straw interlayer thereby salts up in the straw interlayer buried treatments was controlled, and blocked in the deeper soil layers during the evaporation process. Throughout the experiment, plastic mulch also had an effect of retaining soil moisture and preventing salt accumulating to the surface soil layer. However, the potential effect of mulched with plastic film only on controlling salt accumulation was not as significant as the straw interlayer buried only did. Moreover, the combination of straw interlayer and plastic mulch treatment performed better to prevent water evaporation and salts built-up in the soil than either non-mulch, or the individual use of straw interlayer or plastic mulch. Therefore, a combined straw interlayer and plastic mulch would provide a better edaphic environment for crop growth in agricultural production. The results of this study provide a reference for salt control and water conservation, as well as field management practices in an arid area and saline field.

Key words: straw, infiltration, evaporation, plastic mulch, water and salt transportation

(责任编辑: 刘丽英)