

膜下滴灌条件下盐荒地土壤盐分变化规律研究

宗 含^{1,2},高 龙³,王雅琴⁴,赵志强^{2,5},王子天^{2,5}

(1.西北农林科技大学水利与建筑工程学院,陕西 杨凌 712100;2.长安大学水与发展研究院,陕西 西安 710054;3.河北省黄壁庄水库管理局,河北 石家庄 050224;4.第八师炮台土壤改良试验站,新疆 石河子 832066;5.长安大学环境科学与工程学院,陕西 西安 710054)

摘 要:基于对下野地灌区、金沟河灌区的试验监测,从土壤盐分年内、年际变化及其与地下水埋深的关系两个方面,研究膜下滴灌条件下盐荒地土壤盐分变化规律。研究表明:在年际间,下野地灌区、金沟河灌区实施膜下滴灌6~8 a的盐荒地,深度在60~100 cm的土层土壤含盐率分别保持在0.5%、0.8%上下,形成稳定积盐层,在60 cm以上土层土壤盐分基本处于动态平衡;在年内,盐荒地土壤盐分整体上呈现随生育期的推后而降低的趋势,0~60 cm土层脱盐效果较为明显,春秋两季是两个积盐的高峰期;下野地灌区、金沟河灌区地下水埋深年际均值为3.60、2.26 m,土壤含盐率年际均值为0.49%、0.77%,土壤盐分随地下水埋深的减小而增加,说明石河子垦区土壤含盐量受地下水埋深影响较为明显。

关键词:膜下滴灌;盐荒地;土壤盐分;地下水埋深

中图分类号:S152.7 **文献标志码:**A

Soil salinity dynamics in salt wasteland soil with drip irrigation under plastic film

ZONG Han^{1,2}, GAO Long³, WANG Ya-qin⁴, ZHAO Zhi-qiang^{2,5}, WANG Zi-tian^{2,5}

(1. College of Water Resources and Architectural Engineering, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China;

2. Research Institute of Water and Development, Chang'an University, Xi'an, Shaanxi 710054, China;

3. Huangbizhuang Reservoir Administration of Hebei, Shijiazhuang, Hebei 050024, China; 4. Paotai Soil Improvement Test Station of the Eighth Division, Xinjiang Production and Construction Corps, Shihezi, Xinjiang 832066, China;

5. College of Environmental Science and Engineering, Chang'an University, Xi'an, Shaanxi 710054, China)

Abstract: Based on the experiment data in the irrigation area of Xiayedi and Jingouhe, and data of intra-year and inter-year of the dynamic change of soil salinity and its relationship with groundwater level, we investigated the dynamics of soil salinity in salt wasteland soil with drip irrigation under film. The results indicated that: During the inter-year, there was a stable salt accumulated layer at about 60~100 cm deep in salt wasteland soil with drip irrigation under film after 6~8 years. The soil salinity of the irrigation area of Xiayedi and Jingouhe in this layer was almost constant around 0.5% and 0.8%, respectively, however, the soil salinity varied in the layers above 60 cm. The intra-year soil salinity had a trend of decreasing with growing seasons and particularly in the layer of 0~60 cm. In spring and autumn, the soil salt showed a rising trend. For inter-years, the soil salinity of the irrigation area of Xiayedi and Jingouhe was pretty constant around 0.49% and 0.77%, respectively, and the water level was around 3.60 m and 2.26 m deep. The soil salinity increased with decreasing groundwater level, indicating that the soil salinity in Shihezi reclamation area was significantly affected by the groundwater level.

Keywords: drip irrigation under plastic film; salt wasteland; soil salinity; groundwater level.

新疆盐碱地总面积 $2.1814 \times 10^4 \text{ km}^2$, 占全国盐碱土 ($9.913 \times 10^4 \text{ km}^2$) 面积的 22.01%^[1]。利用膜下

滴灌技术改良盐碱荒地,成本少,见效快,一般三年时间即可达到中低产田,所以此技术现已广泛应用到盐碱荒地改良上,并适合种植各种作物,成为新疆农业生产的一种主要技术。随着膜下滴灌技术在新疆大面积的推广应用,农田土壤盐分分布、运移、土壤次生盐碱化、地下水位变化等,将对作物的生长发育产生相应的影响。为了了解滴灌条件下土壤水盐运移变化特点,为盐碱地的综合开发利用和防治农田土壤次生盐渍化提供新的思路和技术,保证形成安全的膜下滴灌土壤生态环境,增加应用膜下滴灌技术的经济、社会、生态效益,针对盐渍化农田盐分危害作物生长、肥力瘠薄、有机质提升困难、滴灌棉田剖面积盐等问题,以滴灌盐荒地为主要研究对象,2008 年开始定点观测典型盐渍化区域长期滴灌条件下土壤剖面周年盐分动态变化,初步了解土壤剖面积盐规律。

膜下滴灌没有相应的农田排水系统,所以对于长期使用此技术是否会产生盐分积累等问题,一些专家学者尤为专注。赵永成等^[2]针对膜下滴灌棉田土壤盐渍化问题,从年内与年际变化两方面分析其土壤盐分演变特征,研究发现膜下滴灌 4~12 a 的棉田存在稳定积盐层。孙肇君等^[3]研究新疆膜下滴灌棉田盐分运动规律发现,土壤中盐分的变化表现出“盐随水动”的特点,盐分在不同广度与深度下被重新分配,在膜间地表和 60 cm 土层以下积累强烈。姚宝林^[4]等通过设计灌水定额和灌水次数双因素组合试验,发现膜下滴灌棉花生育期 0~30 cm 土壤盐分变幅大于 40~100 cm,较小的灌水定额和灌水次数使 0~30 cm 盐分变幅增大。李玉义等^[5]用类比法对灌区盐渍化耕地的发展趋势进行初步预测,结果表明:目前大力推广的膜下滴灌由于其良好的节水和压盐效果,土壤中盐分含量逐年下降,随着滴灌年限的增加,土壤平均脱盐率逐渐提高。相关试验研究表明,膜下滴灌技术使用初期,田间土壤盐分含量下降很快,随后幅度减小,使用到一定年限后,土壤含盐量基本稳定在一定范围内^[6],但也有研究表明棉花膜下滴灌条件下棉田内含盐量在生育期内呈降低趋势,表现为滴灌湿润峰边缘土壤含盐量较大,地下水位变化影响土壤盐分变化^[7]。本文基于 8 年的试验观测及目前已有的相关研究成果,在盐荒地开展膜下滴灌技术,探究盐荒地初始土壤盐分变化规律,为新疆典型干旱区域盐碱地治理提供理论支持。

1 材料与方法

本试验在新疆建设兵团农八师石河子垦区进行,石河子垦区位于准噶尔盆地古尔班通古特沙漠边缘,天山北麓,地处欧亚大陆腹地(44°45'N, 85°36'E),海拔 332~333 m,多年平均降雨量 152.8 mm,多年平均蒸发量 1 952.6 mm,属于典型温带大陆性干旱荒漠气候。试验区选择石河子垦区中具有代表性的下野地灌区(121 团 6 连)、金沟河灌区(144 团 8 连),试验区位置图见图 1。

2008 年在下野地灌区、金沟河灌区分别选择一块盐荒地进行开垦。其中,下野地灌区所选择地块总面积为 7.33 hm²,土壤为轻壤土,平均分成三个相连地块;金沟河灌区所选择地块总面积为 7.2 hm²,平均分为三个相连地块。采用膜下滴灌技术种植棉花作物,两个灌区总共六个地块,每个地决定一个点长期进行土壤盐分的监测,并打观测井观测地下水埋深和分析地下水矿化度,取样时间为每年 4 月 10 日至 9 月 20 日,建立土壤盐分、土壤养分、地下水信息档案,分析在长期滴灌条件下盐荒地土壤盐分分布特点,为新疆干旱地区膜下滴灌灌溉制度的制定提供依据。土壤盐分测定每月一次,取土深度为 0~20、20~40、40~60、60~80、80~100 cm,共计 5 个土层,采样范围 1 m²内,各采样点取膜内和膜外各一点同层混合,地下水的观测同时进行,至 2015 年已连续进行 8 a 试验。

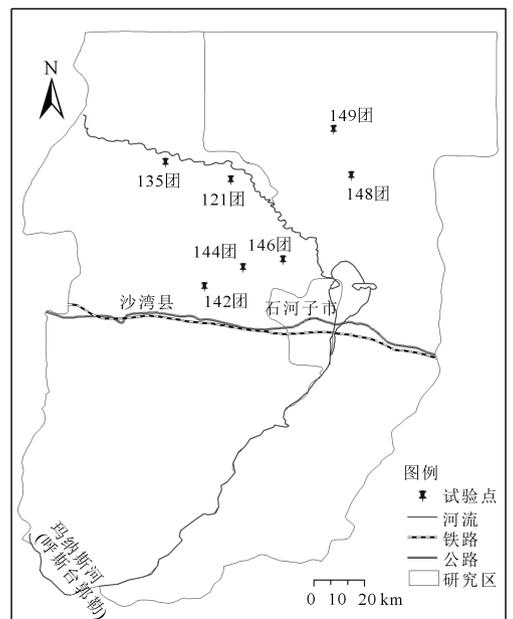


图 1 试验区位置图

Fig.1 Location map of experimental area

2 结果与分析

2.1 土壤盐分垂直分布特征

2008–2015 年对 121 团 6 连(121-6)和 144 团 8 连(144-8)的土壤盐分状况进行了测定,按照不同年份、不同月份、不同深度对土壤含盐率进行统计分析。由表 1 可以看出,121 团、144 团盐荒地经过 8 a 膜下滴灌种植,土壤盐分整体呈下降趋势,土壤含盐率下降值分别为 87.7%、75.4%,脱盐率较高。由于各土层土壤含盐率相较于 2008 年初始盐分均出现较大波动,为了更好地分析和比较各土层盐分垂直分布特征,选取数学统计分析中的变异系数 CV (Coefficient of Variation) 进行分析,它是原始数据标准差 σ 与原始数据平均数 μ 的比,公式为:

$$CV = \frac{\sigma}{\mu}$$

式中, σ 为样本标准差; μ 为样本均值。

根据土壤盐分变异划分等级, $CV > 1$ 为强变异, $0.1 < CV \leq 1$ 为中等变异, $CV \leq 0.1$ 为弱变异。由表 2 可知,121 团 6 连、144 团 8 连地块 0 ~ 100 cm 各土层深度土壤盐分均为中等变异,表明在长期膜下滴灌条件下典型盐渍化区域土壤含盐量变化波动较小,可有效保持膜下土壤含盐量处于稳定状态^[8]。

121 团 6 连开垦的盐荒地在 2008 年初土壤含盐率达到 3.383 2%,属于典型盐渍化区域,由图 2 (a) 可以看出在膜下滴灌进行的前 3 年(2008–2010 年)脱盐最明显,其中 0~60 cm 土层脱盐效果比 60~100 cm 土层更明显。由图 2(b) 可知,经过 6~8 a 膜下滴灌后,121 团 6 连、144 团 8 连地块 2013–2015 年 0~60 cm 土层土壤盐分变异系数均大于深层 60~100 cm,其土壤含盐率分别保持在 0.5%、

0.8% 上下,属于中、重度盐化土,因此 121 团、144 团深度大约在 60~100 cm 的土层均出现稳定积盐层。121 团 6 连 0~60 cm 土层,土壤含盐率在 2014 年 0~20 cm 土层最高为 0.898 5%,在 2013 年 40~60 cm 土层最低为 0.373 8%,此时其土壤盐分变异系数分别为 62.28% 和 29.31%。144 团 8 连 0~60 cm 土层,土壤含盐率在 2013 年 40~60 cm 土层最高为 0.955 2%,在 2015 年 40~60 cm 土层最低为 0.519 3%,此时其土壤盐分变异系数分别为 39.33% 和 44.32%,说明 0~60 cm 土层土壤盐分处于动态平衡,随着灌水、蒸散发的变化波动明显。

棉花的生育期分为:播前(4 月下旬)、苗期(5 月上旬)、蕾期(6 月中旬)、花期(7 月上旬)、吐絮期(8 月下旬)、收获期(9 月中旬)。2013–2015 年,在 4 月份到 9 月份整个生育期对土壤盐分取样分析结果(图 3) 可以看出:首先,各地块土壤盐分在不同种植年限内整体上呈现随生育期的推后而降低的趋势,在收获停水后又出现增长趋势,盐分的变化表现出“盐随水动”的特点;其次,每年 4 月棉花播种前,由于当地气温变化较大,土壤盐分在外界蒸发作用下出现春季返盐现象。灌水后,0~60 cm 土层盐分随着滴灌水的淋溶作用呈现向下运移的趋势,土壤盐分下降较快。8 月份吐絮期以后,灌水结束,土壤盐分又开始积累,至 9 月份收获期停水后,受蒸发作用影响,盐分主要呈现向地表运移的趋势,60~100 cm 土层盐分有所下降。总体来说,在整个生育期 0~60 cm 土层脱盐效果较为明显,为盐碱地棉花的生长发育提供了一个适宜的水盐环境,但随着灌水的结束,盐分又呈现出积聚趋势,尤其是在春秋两季是两个积盐的高峰期,建议应采取必要的洗盐措施,为第二年的种植提供良好的土壤环境。

表 1 盐荒地不同年际土壤含盐率/%

Table 1 Variation of soil salinity in salt wasteland during the inter-year

地点 Location	开始实施滴灌年份 First year of drip irrigation							
	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
121 团 6 连 121-6	3.3832	2.2212	1.0493	0.7250	0.4027	0.4289	0.6144	0.4175
144 团 8 连 144-8	1.589	1.454	0.991	1.159	1.070	0.839	0.783	0.464

表 2 盐荒地土壤盐分变异系数

Table 2 Variability coefficient of soil salinity in salt wasteland

土层深度/cm Soil depth	121 团 6 连 121-6			144 团 8 连 144-8		
	2013	2014	2015	2013	2014	2015
0~20	0.4165	0.6228	0.2083	0.3987	0.5943	0.3206
20~40	0.3155	0.3762	0.3834	0.2749	0.5897	0.2906
40~60	0.2931	0.5692	0.1314	0.3933	0.5135	0.4432
60~80	0.3201	0.3112	0.4642	0.4554	0.4653	0.3933
80~100	0.2673	0.4044	0.4012	0.4717	0.4219	0.1982

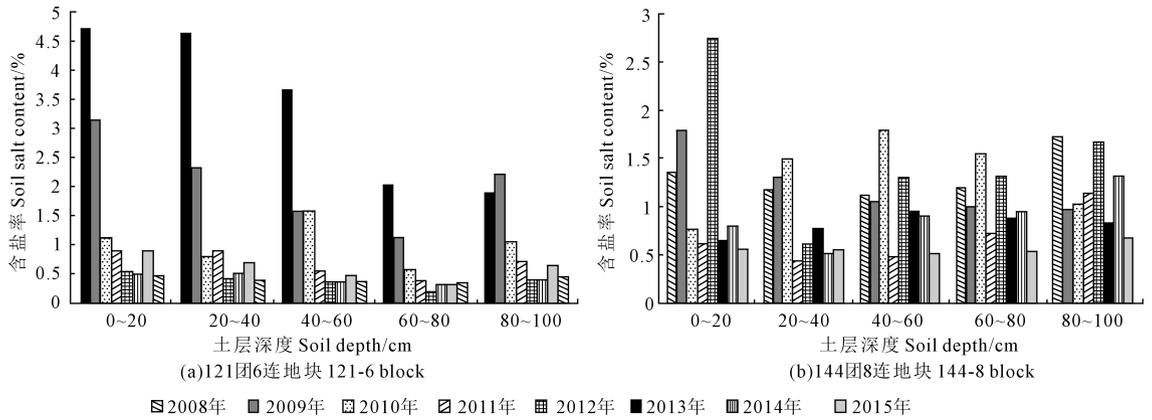


图 2 年际间土壤盐分垂直分布

Fig.2 Inter-year vertical distribution of soil salinity

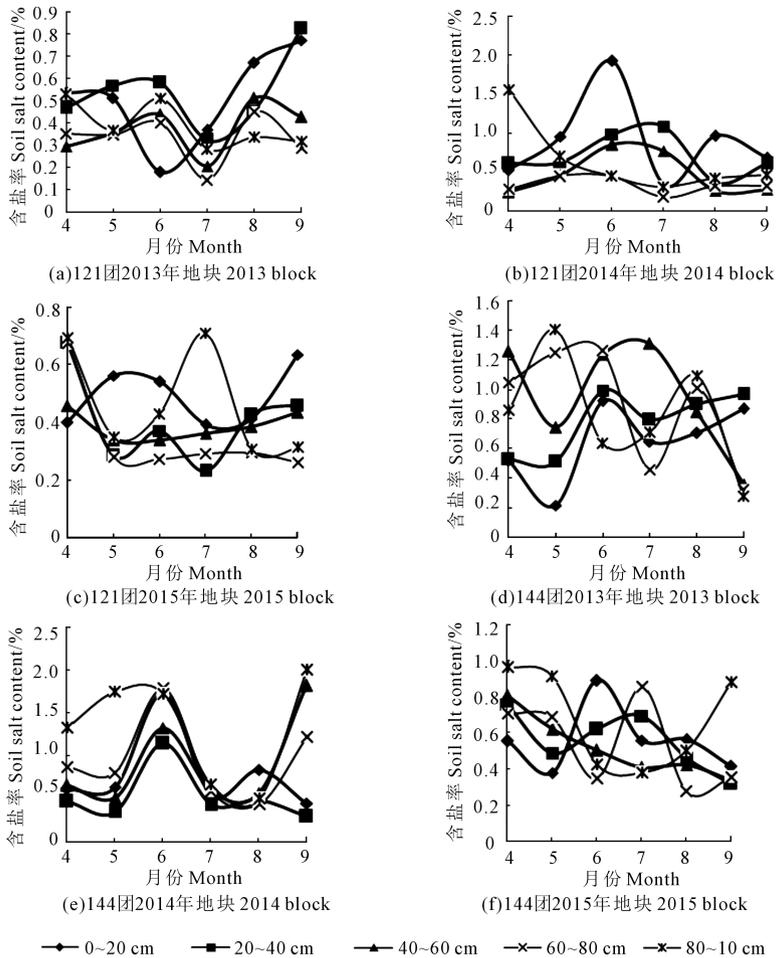


图 3 年内土壤盐分垂直分布

Fig.3 Intra-year vertical distribution of soil salinity

2.2 土壤盐分与地下水埋深的分布特征

由图 4(a)可知 2013 年 121 团土壤盐分整体偏高,4-6 月土壤含盐率为 0.43%,7 月份土壤含盐率有所下降,8、9 月份土壤含盐率有明显提高,土壤含盐率年内均值为 0.47%左右;对于 121 团地下水埋深,4-6 月地下水埋深较大为 3.9 m 左右,7-9 月地下水埋深较小为 3.24 m 左右,地下水埋深年内均值

为 3.61 m 左右。此外,根据研究区域 121 团土壤盐分及地下水埋深的年内变化规律,可知在研究区域膜下滴灌的条件下,土壤盐分与当地地下水埋深有着密切联系。根据当地灌溉制度,灌溉初始土壤盐分受到淋洗,含盐量下降明显,地下水埋深变小;灌溉中后期 7-9 月份,随着地下水埋深的逐渐减小直至达到较为稳定水平 3.23 m 左右,此过程中土壤含

盐率逐渐升高,控制在 0.5% 左右,而干旱地区地下水埋深临界值为 2.7m 左右,小于研究区域最小地下水埋深,说明研究区域在膜下滴灌灌溉模式下,土壤盐分及地下水均可控制在合理的范围之内,为当地推广膜下滴灌技术提供了可靠的科学依据。由图 4(b)、(c)可知,2014 年、2015 年 121 团地下水埋深与土壤盐分呈现出同 2013 年相似的水文规律,地下水埋深年内均值为 4.04 m,土壤含盐率年内均值 0.52%。综上所述,研究区域 121 团 2013 年至 2015 年地下水埋深与土壤盐分年际变化不是很明显。结合当地 2016 年地下水埋深观测数据,地下水埋深在 3.29~4.30 m 之间,2016 年地下水埋深最大为 4.30 m,2016 年地下水埋深最小为 3.29 m,均值为 3.80 m;土壤含盐率在 0.42%~0.61% 之间。

图 4(d)、(e)、(f)为 144 团 2013 年至 2015 年地下水埋深与土壤盐分的变化关系图。2013 年地下水埋深年内均值为 2.40 m,土壤含盐率年内均值为 0.84%;两者之间呈现一定的负相关关系,尤其在灌溉中后期 7~9 月份变化明显。2014 年土壤水盐负相关程度较 2013 年高,地下水埋深年内均值为 2.16 m,土壤含盐率年内均值为 0.90%。2015 年土壤水盐的变化趋势与 2013、2014 不同,土壤盐分与地下水埋深变化趋势相近,人为因素可能是造成该现象的主要原因;2015 年 144 团地下水埋深年内均值为 2.23 m,土壤含盐率年内均值为 0.57%。

综上,144 团在 2013~2015 年间地下水埋深年际均值为 2.26 m,土壤含盐率年际均值为 0.77%;

121 团地下水埋深及土壤含盐率年际均值分别为 3.60 m 和 0.49%。根据当地土壤质地及气候条件,结合相关文献,研究区域地下水埋深的临界值为 2.7 m 左右。121 团地下水埋深最大,土壤含盐率低,而地下水埋深较浅的 144 团土壤积盐更为严重,说明石河子垦区土壤含盐量受地下水埋深影响较为明显。土壤中盐分的变化表现出“盐随水动”的特点,土壤盐分随毛管水上升到地表,水分蒸发后,使盐分积累在表层土壤中。石河子垦区气候干旱,夏季农业生产活动频繁,用水量高,但由于该地区夏季平均气温最高,蒸发强烈,土壤中的水分大量蒸发,会携带大量盐分到达土壤表层,使土壤积盐,因此,合理利用地下水不失为解决土壤盐渍化问题的一条科学途径。

3 结 论

1) 由年际间土壤盐分垂直分布特征可知,盐荒地经过多年膜下滴灌,各土层土壤盐分下降明显,且呈现出随种植年限的增加而减小的趋势,对比 2008 年盐荒地开垦前含盐率,土壤整体脱盐率较高;下野地灌区(121 团)、金沟河灌区(144 团)实施膜下滴灌 6~8 a 的盐荒地地块在 60~100 cm 土层深度土壤含盐率分别保持在 0.5%、0.8% 上下,形成稳定积盐层,在 60 cm 以上土层土壤盐分基本处于动态平衡。

2) 由年内土壤盐分垂直分布特征可知,实施膜下滴灌 6~8 a 的两块盐荒地土壤盐分整体上呈现随

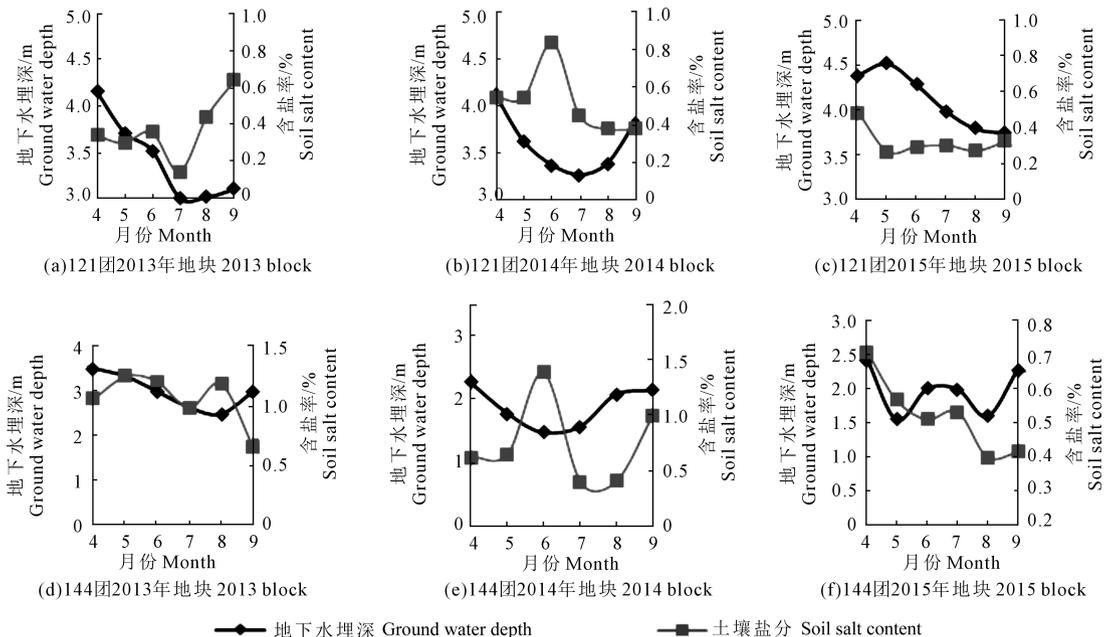


图 4 试验点 2013~2015 年地下水埋深与土壤盐分的关系

Fig.4 Relationship of groundwater level with soil salinity from 2013 to 2015

生育期的推后而降低的趋势;灌水后,0~60 cm 土层盐分下降较快,灌水结束后,土壤盐分又开始积累,盐分主要呈现向地表运移的趋势,60~100 cm 土层盐分有所下降。总体来说,0~60 cm 土层脱盐效果较为明显,但春秋两季是两个积盐的高峰,建议应采取必要的洗盐措施。

3)由土壤盐分与地下水埋深的分布特征可知,灌溉初始土壤盐分受到淋洗,含盐率下降明显,地下水埋深变小;灌溉中后期(7-9 月份),随着地下水埋深的逐渐减小直至达到稳定水平,土壤含盐率逐渐升高。144 团、121 团地下水埋深年际均值为 2.26、3.60 m,土壤含盐率年际均值为 0.77%、0.49%,121 团地下水埋深最大,土壤含盐率低,而地下水埋深较浅的 144 团土壤积盐更为严重,土壤中盐分的变化表现出“盐随水动”的特点,土壤盐分与地下水埋深关系密切,土壤盐分随浅层地下水埋深的增大而减小,说明石河子垦区土壤含盐量受地下水埋深影响较为明显,地下水埋状况是制约土壤盐分含量的重要因素。

随着我国对生态环境建设的重视程度越来越高,西部干旱地区地下水过度开采的现象得到有效控制;为了节水、提高用水效率,在研究区采用膜下滴灌先进节水技术,本研究证明了该技术的合理

性、科学性,为新疆典型干旱区域盐碱地治理提供了理论依据。

致谢:论文数据采集得到了新疆炮台石河子试验站的大力帮助,衷心感谢炮台试验站的朱拥军站长、王雅琴老师!

参 考 文 献:

- [1] 罗廷彬,任崑,谢春虹. 新疆盐碱地生物改良的必要性与可行性[J]. 干旱区研究,2001,(1):46-48.
- [2] 赵永成,虎胆·吐马尔白,马合木江·艾合买提,等. 北疆常年膜下滴灌棉田土壤盐分年内及年际变化特征研究[J]. 干旱地区农业研究,2015,33(5):130-134,162.
- [3] 孙肇君,张伟,李鲁华等. 新疆膜下滴灌棉田盐分运移规律研究[J].新疆农业科学,2009,46(1):133-137.
- [4] 姚宝林,李光永,叶含春,李发永. 干旱绿洲区膜下滴灌棉田土壤盐分时空变化特征研究[J/OL]. 农业机械学报,2016,47(01):151-161.
- [5] 李玉义,柳红东,张风华等. 新疆玛纳斯河流域灌溉技术对土壤盐渍化的影响[J]. 中国农业大学学报,2007,12(1):22-26.
- [6] 殷波,柳延涛. 膜下长期滴灌土壤盐分的空间分布特征与累积效应[J]. 干旱地区农业研究,2009,27(6):228-231.
- [7] 牛长英,陈玉东. 大田棉花膜下滴灌土壤盐分分布规律试验研究[J]. 新疆农垦科技,2008,(5):43-44.
- [8] 邢旭光,赵文刚,马孝义,等. 覆膜滴灌条件下棉花根层土壤盐分时间稳定性研究[J]. 农业机械学报,2015,46(7):146-153.

(上接第 6 页)

- [10] 毕远杰,王全九,雪静. 淡水与微咸水入渗特性对比分析[J]. 农业机械学报,2010,(7):70-75.
- [11] 刘静妍,毕远杰,孙西欢,等. 交替供水条件下土壤入渗特性与水盐分布特征研究[J]. 灌溉排水学报,2015,(4):55-60.
- [12] 刘静妍. 不同灌溉模式的微咸水入渗特性和土壤水盐分布特征[D]. 太原:太原理工大学,2015.
- [13] 孙向阳. 土壤学[M]. 北京:中国林业出版社,2005:322.
- [14] 汪志农. 灌溉排水工程学(2版)[M]. 北京:中国农业出版社,2010:40.
- [15] 樊贵盛. 非饱和土壤介质水分入渗能问题[M]. 北京:中国水利水电出版社,2012.
- [16] 吴忠东,王卫华,张照录,等. 咸淡组合淋洗对土壤水盐分布特征的影响[J]. 排灌机械工程学报,2014,32(12):1085-1090.
- [17] 胡克林,李保国,陈德立,等. 农田土壤水分和盐分的空间变异性及其协同克立格估值[J]. 水科学进展,2001,12(4):460-465.
- [18] 吴忠东,王全九. 入渗水矿化度对土壤入渗特征和离子迁移特性的影响[J]. 农业机械学报,2010,(7):64-69,75.
- [19] 苏莹,王全九,叶海燕,等. 咸淡轮灌土壤水盐运移特征研究[J]. 灌溉排水学报,2005,(1):50-53.
- [20] 吴忠东,王全九,苏莹. 微咸水进行农田灌溉的研究[J]. 人民黄河,2005,(5):52-54.
- [21] 张建国,金斌斌. 土壤与农作[M]. 郑州:黄河水利出版社,2010:84.
- [22] 张明柱,黎庆淮,石秀兰. 土壤学与农作学[M]. 北京:中国水利水电出版社,1994:82.
- [23] 吴忠东,王卫华,张照录,等. 咸淡组合淋洗对土壤水盐分布特征的影响[J]. 排灌机械工程学报,2014,(12):1085-1090.
- [24] 吕殿青,王全九,王文焰,等. 土壤盐分分布特征评价[J]. 土壤学报,2002,(5):720-725.
- [25] 王文焰. 波涌灌溉试验研究与应用[M]. 西安:西北工业大学出版社,1994:2.