

# 不同灌溉量膜下微咸水滴灌土壤盐分分布与积累特征\*

孙林<sup>2</sup> 罗毅<sup>1†</sup> 杨传杰<sup>2,3</sup> 张艳<sup>2</sup> 吉力力·阿不都外力<sup>1</sup>

(1 荒漠与绿洲生态国家重点实验室,中国科学院新疆生态与地理研究所,乌鲁木齐 830011)

(2 中国科学院生态系统网络观测与模拟重点实验室,地理科学与资源研究所,北京 100101)

(3 中国科学院研究生院,北京 100049)

**摘要** 于2010年在新疆石河子大学节水灌溉实验站进行膜下微咸水滴灌试验。灌溉水矿化度为 $3.32 \text{ g L}^{-1}$ ,三个灌溉定额处理(Q36:3 150  $\text{m}^3 \text{ hm}^{-2}$ 、Q48:4 200  $\text{m}^3 \text{ hm}^{-2}$ 、Q60:5 250  $\text{m}^3 \text{ hm}^{-2}$ ),并分析了土壤盐分分布及其积累特征。在灌溉周期内土壤盐分运移特征为:根区土壤盐分基本表现趋势为湿润体形成阶段降低,再分布阶段聚集;根底土壤盐分表现趋势为湿润体形成阶段增加,再分布阶段降低。秋后土壤盐分剖面与盐量平衡结果显示:Q36、Q48处理中灌溉输入土壤的盐分基本上存于120 cm土壤以内,Q60处理在120 cm以下土壤盐分显著增加。灌前灌后土壤水分入渗剖面显示,三个处理滴灌后36 h土壤水分湿润深度分别达到80、90、120 cm。滴头部位水分携带盐分向深层迁移,在滴灌中起着深层淋溶作用,这对于减缓上层土壤盐分积累具有积极意义。

**关键词** 膜下滴灌;灌溉量;深层分配;盐分积累

**中图分类号** S156.41 **文献标识码** A

膜下滴灌技术是将覆膜种植与滴灌技术相结合的一种新型灌溉技术,它既具备了滴灌的防止深层渗漏、减少棵间蒸发、节水、节肥、增产的特点,同时具备了覆膜栽培技术的增温、保墒、增产的作用<sup>[1-3]</sup>。因此,其在我国西北干旱地区,特别是新疆,受到了广泛的重视。至2007年仅新疆兵团实施的膜下滴灌面积已达到48万 $\text{hm}^2$ ,成为我国最大的膜下滴灌应用地区<sup>[4]</sup>。

滴灌在根区可以形成淡化的脱盐区<sup>[5-6]</sup>;覆膜抑制了膜内的土壤蒸发作用,并使得膜内盐分发生侧向运移<sup>[7-8]</sup>;同时深层渗漏的减少,也降低了次生盐渍化发生的可能,因此膜下滴灌还被用于防治土壤次生盐碱化<sup>[2]</sup>。然而滴灌技术就其实质而言,只是调节土壤盐分在作物根系层的分布状况,盐分并未排出土体,长期使用可能产生土壤积盐<sup>[9]</sup>。新疆绿洲农田灌溉水有两个来源,山区形成的地表径流与灌区的地下水。由于绿洲平原区第四系沉积物中普遍含有盐分,多数地区地下水含盐量较高<sup>[9-11]</sup>;受上游灌溉回归水的排入,河水矿化度也在逐步上

升<sup>[12]</sup>,灌溉水输入盐分积累将使得新疆绿洲农田可能出现新的土壤次生盐渍化<sup>[9,13-14]</sup>。

但是也存在另一个现实,随着膜下滴灌技术的推广,以往因盐碱化撂荒地逐步复收,李玉义等<sup>[15-16]</sup>调查结果显示,这些复收耕地根区土层内盐分呈现脱盐状态,多年滴灌耕地中也没有出现土壤盐分的积累。Hanson等<sup>[17]</sup>的研究指出,在滴灌滴头剖面处,存在一定的深层下渗淋洗。初步调查发现,目前大田灌溉中所使用的灌溉量普遍高于理论设计灌溉量,尽管超出量不大,但有可能产生淋洗作用。本文通过设计不同灌水量微咸水滴灌实验,研究灌水量对土壤盐分迁移积累影响,为膜下滴灌持续发展提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验区概况

试验点设在新疆石河子大学节水灌溉实验站(44°18'N,86°02'E)。该站位于玛纳斯河流域洪积、

\* 中国科学院“百人计划”项目(KZXC2-YW-BR-12)、中国科技部973项目(2010CB951002,2009CB825101)共同资助

† 通讯作者:罗毅(1966—),E-mail:luoyi\_cas@hotmail.com,Tel:+8610 64888920,+86991 7885441

作者简介:孙林(1973—),男,新疆塔城人,博士,主要研究方向为干旱区生态水文过程与模型。E-mail:Sunlin-Cas@hotmail.com

收稿日期:2011-05-20;收到修改稿日期:2011-10-15

冲积扇中部,海拔 300~400 m 左右,潜水位较深,年变化约 7~11 m。气候属于中温带干旱区气候,根据石河子气象站近 30 a 资料统计,年均气温 7.7℃,一年中的最高气温出现在 7 月,月均气温 25.4℃;最低气温出现在 1 月,月均气温 -15.5℃;无霜期

171 d;年降水量为 213 mm,年日照时数为 2 705 h,年蒸发量 1 342 mm(小型蒸发皿)。原始土壤类型为荒漠灰钙土,经过多年耕作改良熟化为耕作灰漠土,50 cm 以下为黄土状母质,土壤基础理化性状见表 1。

表 1 土壤理化性状

Table 1 Physical and chemical properties of the soil tested

深度 Depth (cm)	质地 Soil textures	容重 Bulk density (g cm <sup>-3</sup> )	饱和含水量 Saturated water content (cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup> )	田间持水量 Field capacity (cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup> )	pH (H <sub>2</sub> O 1:5)	土壤盐分 Soil salt (g kg <sup>-1</sup> )
0~10	中壤 Middle Loam	1.59	0.44	0.33	8.15	0.69
10~20	中壤 Middle Loam	1.69	0.43	0.31	8.19	0.79
20~40	中壤 Middle Loam	1.71	0.42	0.31	8.36	0.77
40~60	重壤 Heavy loam	1.76	0.38	0.27	8.47	0.73
60~80	重壤 Heavy loam	1.77	0.37	0.27	8.58	0.73
80~120	重壤 Heavy loam	1.74	0.37	0.27	8.53	0.77

## 1.2 试验设计

于 2010 年 4~10 月份进行微咸水灌溉实验,灌溉水矿化度为 3.32 g L<sup>-1</sup>,采用 NaCl、NaSO<sub>4</sub> 和 CaCl<sub>2</sub> 按 0.5:0.25:0.25 比例混合配置得到。设置 3 个灌溉量处理,记为 Q36、Q48、Q60,次灌水量分别为 36、48、60 mm,历时为 6 h、8 h、10 h,滴头流量为 1.6 L h<sup>-1</sup>,灌水间隔时间为 10 d,灌溉额分别为 3 240、4 140、5 100 m<sup>3</sup> hm<sup>-2</sup>。每个处理一个小区,面积为 5.5 m×10 m,每个小区布设 3 条膜,代表 3 个重复。采用一膜两灌四行模式,膜宽 140 cm,行

距为 30 cm+60 cm,株距 10 cm(图 1)。

选种棉花品种为新陆早 7 号,于 5 月 1 号采用“干播湿出”方式播种。生育期内采用滴灌方式施肥,每次施肥量为磷肥 150 kg hm<sup>-2</sup>,尿素 300 kg hm<sup>-2</sup>,生育期内共施磷肥 1 200 kg hm<sup>-2</sup>,尿素 2 520 kg hm<sup>-2</sup>。由于实验期间出现了 3 次大降水过程(第 2 次灌溉期间降水 30.7 mm、第 3 次灌溉期间降水 30.2 mm、第 7 次灌溉期间降水 19.2 mm),灌溉间隔加大,灌溉次数较设计次数少 1 次(表 2)。

表 2 各处理灌水量及棉花生育期内气象要素

Table 2 Rate of irrigation in each treatment and meteorological elements during the cotton growth stage

日期 Date (mm-dd)	生育期 Growth stage	灌次 Number of irrigation	灌水量 Irrigation rate (mm)			降水 Rainfall (mm)	水面蒸发 <sup>1)</sup> Water surface evaporation(mm)
			Q36	Q48	Q60		
05-05	出苗 Emergence						
06-10	苗期 Seedling	1	36	36	36	22.9	183.6
06-21	蕾期 Buds	2	36	48	60	0.1	63.0
07-04		3	36	48	60	30.7	65.8
07-17	花铃期 Flower boll	4	36	48	60	30.2	69.4
07-27		5	36	48	60	4.1	45.2
08-08		6	36	48	60	1.8	52.7
08-19	铃期 Boll bearing	7	36	48	60	0.5	58.3
09-02		8	36	42	54	19.2	61.2
09-23	吐絮期 Boll opening		0	0	0	9.1	90.1
	合计 Total		288	366	450	118.6	689.3

1) 乌兰乌苏站 E-601 型蒸发器观测结果 Observed data of E-601 evaporation dish from the Wulanwusu Station

### 1.3 数据观测与处理

土壤盐分取样与测定:采用土钻取样,用 DDP-210 便携式电导仪(中国科学院南京土壤研究所)测定 1:5 浸提液电导率,再用标定系数换算为土壤盐分。取样部位设在垂直滴灌带的膜间、宽行和窄行之间(图 1),设 5 个剖面点,取样深度为 5、10、20、30、45、60、80、100、120、140、160、180、200 cm。取样时间有 3 类:(1)年内变化取样,于播种前(4 月中旬)、秋收后(10 月中旬)取样,深度至地下 200 cm;(2)生育期内取样,分别为在蕾期(6 月中旬)、花铃期(7 月中旬)、铃期(8 月中旬)、吐絮期(9 月中旬)取样,取样深度至地下 100 cm;(3)灌溉周期内取样,在花铃期选择典型位置,在灌前 6 h 和灌后 1、36、72、120、228 h 时取样,深度至地下 100 cm,每个处理取 1 组。

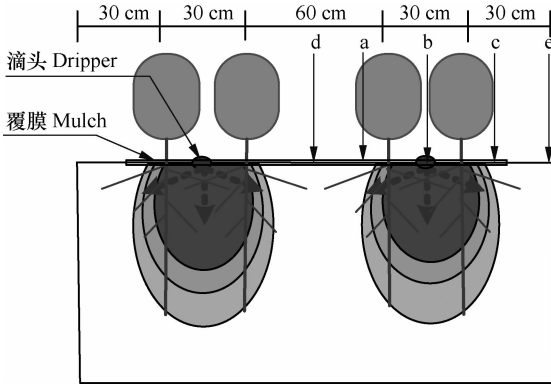


图 1 膜下滴灌布置与取样示意图(a. 滴头内侧; b. 滴头下;c. 滴头外侧;d. 膜下中部;e. 膜间)  
Fig.1 Schematic diagram of under-mulch drip and sampling (a. inside-dripper; b. under-dripper; c. outside-dripper; d. in-mulch; e. inter-mulch)

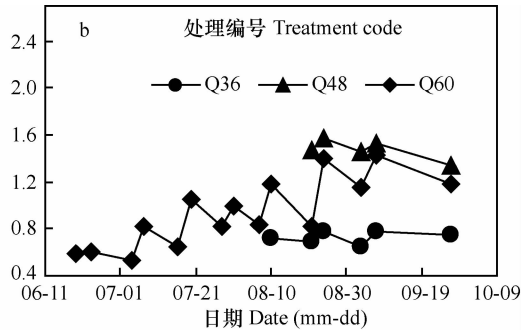
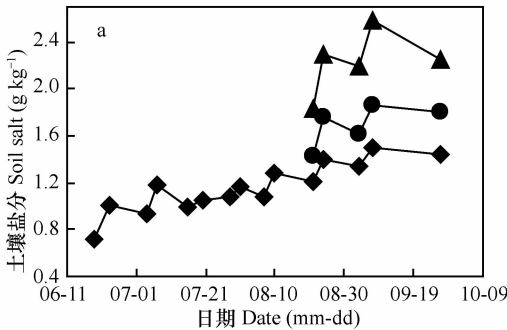


图 2 不同处理生育期内土体分区 (a. 0~60 cm, b. 60~100 cm) 土壤盐分随灌溉动态变化  
Fig.2 Dynamics of soil salinity with irrigation in soil layers (a. 0~60 cm, b. 60~100 cm) at different growth stages

土壤水分观测:采用 503DR.9 中子水分探测仪(美国 CPN 公司)观测土壤水分,中子管布设位置为图 1 中的 a、b、c,取样深度为 30、45、60、80、100、120 cm,表层 5、10、20 cm 土壤水分采用土钻取样并烘干称重法测定,土壤水分的观测时间为灌前 6 h 与灌后 36 h,次降水量超出 10 mm 时加测。

气象数据从石河子气象站 (<http://www.shzqx.gov.cn/>) 下载,该站距离本实验站 1.5 km。数据处理在 Microsoft Excel 完成,Spss10.0 进行统计分析,利用 Duncan 新复极差检验进行差异显著性检验,作图软件采用 OriginPro8.0。

## 2 结果与分析

### 2.1 灌溉期间土壤水盐动态

滴灌棉花根系分布较浅,主要分布在 60 cm 以上<sup>[1,18]</sup>。本文以 60 cm 为界,将 100 cm 土体划分为土壤根区(0~60 cm)与根底层(60~100 cm)两部分。图 2 为各处理的这两层土壤盐分随灌溉的动态变化。结果显示,随着灌溉的增加,两层土壤盐分均呈现出波浪式上升趋势。其中 Q36、Q48 处理根区层波动大于根底层, Q60 处理根底层波动大于根区层,说明在前两个处理中根底层盐分受灌溉影响小,后者受灌溉影响大。

滴灌条件水分运移过程可以分为两个阶段<sup>[19]</sup>:滴灌时湿润体形成与和滴灌结束后再分布过程,土壤盐分的主要迁移方式是随土壤水流动的运移<sup>[20]</sup>。图 3 为 Q60 处理第 7 灌溉轮次灌前 6 h(图 3(A))、灌后 36 h(图 3(B))和 228 h(图 3(C))剖面土壤水

盐分布,可以反映在一个灌溉周期内土壤水盐的具体迁移特征及其过程:(1)灌后 36 h 滴头下方形成一个长水滴式的湿润体(图 3(B-a)),高含水部位深度至根底部,土壤水分扩散深度超出 100 cm;在滴灌水分驱动下,盐分向两侧迁移,形成相对高区,滴头部位为

一淋洗淡化区(图 3(B-c))。(2)灌后 228 h 土壤水分总体降低(图 3(C-a)),基本回复至灌前水平,但灌后 228 h 土壤盐分表现为一个更大的水滴形积盐区,前部超出了 100 cm 深度(图 3(C-c)),与灌后 36 h 相比,根区盐分增加,根底部以下盐分减少。

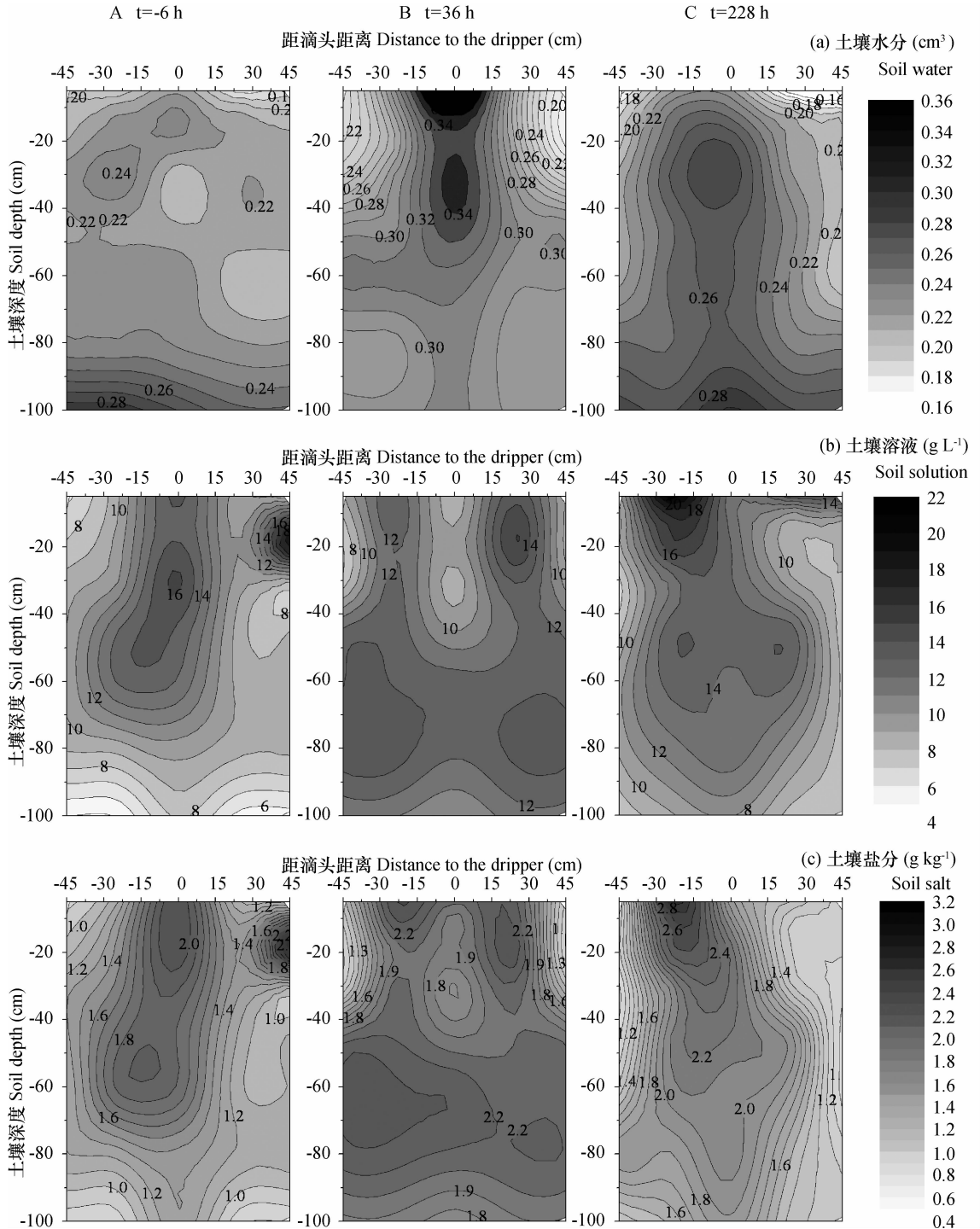


图3 Q60处理第7次灌溉后土壤水分(a)、土壤溶液(b)和土壤盐分(c)动态(A. 灌前6 h, B. 灌后36 h, C. 灌后228 h) (2010-08-19 ~ 2010-09-02)

Fig. 3 Dynamics of soil water (a), soil solution (b) and soil salt (c) after the 7<sup>th</sup> irrigation in Treatment Q60 (A. 6 h before irrigation, B. 36 h after irrigation, C. 228 h after irrigation) (2010-08-19 ~ 2010-09-02)

以上结果说明在灌溉周期内根区盐分存在着脱盐、聚盐过程。即在湿润体形成过程中,根区土壤盐分被稀释并推移至湿润体边缘形成脱盐,在再分布过程中的根系吸水作用下,周围的水分向根区运移,水分被根系吸收后盐分聚集增加;而在根底土壤盐分则为先增加再降低过程,在湿润体形成过程中,上层水盐推移至底层产生的盐分增加,由于根底不存在根系的吸水聚盐作用,到达此处的盐分在再分布过程中随水分继续向下或向上迁移,从而

表现为降低。

## 2.2 秋收后剖面土壤盐分分布特征

图4为秋收后各处理土壤剖面盐分分布,结果显示,Q36处理(图4(a))、Q48处理(图4(b))在滴头下方40 cm处形成了积盐中心,Q60处理(图4(c))没有明显的积盐中心,但在120 cm以上土体盐分相对较高;在120 cm以下土壤中,三个处理的土壤盐分从高到低顺序为Q60 > Q48 > Q36,Q60处理存在明显的盐分深层迁移。

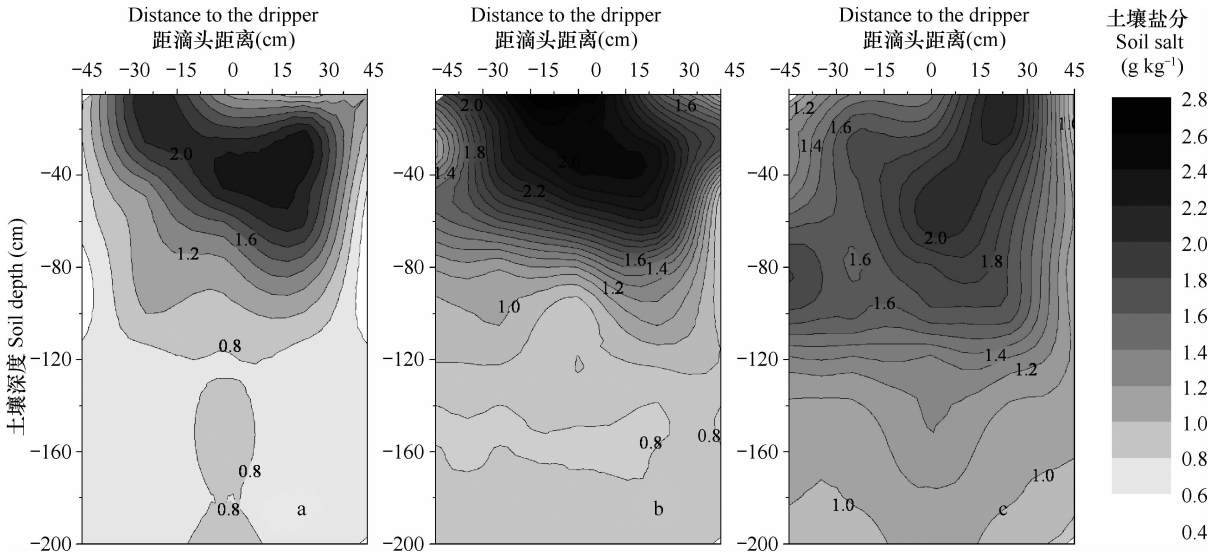


图4 秋收后不同处理(a. Q36, b. Q48, c. Q60)0~200 cm剖面土壤盐分分布  
Fig. 4 Soil salt distribution in Treatment Q36 (a), Q48 (b) and Q60 (c) in the soil layer (0~200 cm) after harvest

图5为秋收后与播种前的土壤剖面盐分比较,结果显示,与春季播种前土壤剖面盐分相比:(1)在滴头下剖面中(图5(b)),Q36、Q48处理盐分增加的主要区域在100 cm以上,120 cm以下没有显著变化( $p > 0.05$ ),在120 cm以上Q60处理明显增加,在120 cm以下也有显著增高( $p < 0.05$ ),由播种前的 $0.84 \text{ g kg}^{-1}$ 增加至 $1.14 \text{ g kg}^{-1}$ 。(2)滴头内侧(图5(a))与滴头外侧(图5(c))剖面中,Q36处理在60 cm以上高于播种前,60 cm以下土壤显著低于播种初期( $p < 0.05$ ),由于秋收后此处土壤水分远低于播种前,因此可以解释为因土壤水分低而绝对含盐量低;Q48处理在滴头内侧120 cm以下、滴头外侧80 cm以下没有显著增加( $p > 0.05$ ),Q60处理在120 cm处理有显著增加( $p < 0.05$ )。(3)在膜中

(图5(d))各处理特征与滴头内剖面相近,膜间(图5(e))剖面各处理上下的差异较小,Q36处理略低于播种前,Q48与播种前无显著差异( $p > 0.05$ ),Q60处理有显著增加( $p < 0.05$ )。

Hanson等<sup>[18]</sup>研究表明,滴灌条件下滴头剖面处存在较高的深层下渗水量,但采用田间观测与常规的平衡分析很难发现,根据模型分析结果,当灌溉量为60%~115%的潜在蒸散时,深层下渗水量为7.7%~30.9%,对盐分迁移影响不能忽略这种深层迁移。图6为不同处理灌前灌后滴头剖面土壤水分分布,三个处理的灌后36 h土壤水分湿润深度分别达到80、90、120 cm,后两者超出了根系活动的60 cm范围,导致灌溉淋溶至根下层的盐分继续向深层迁移现象。

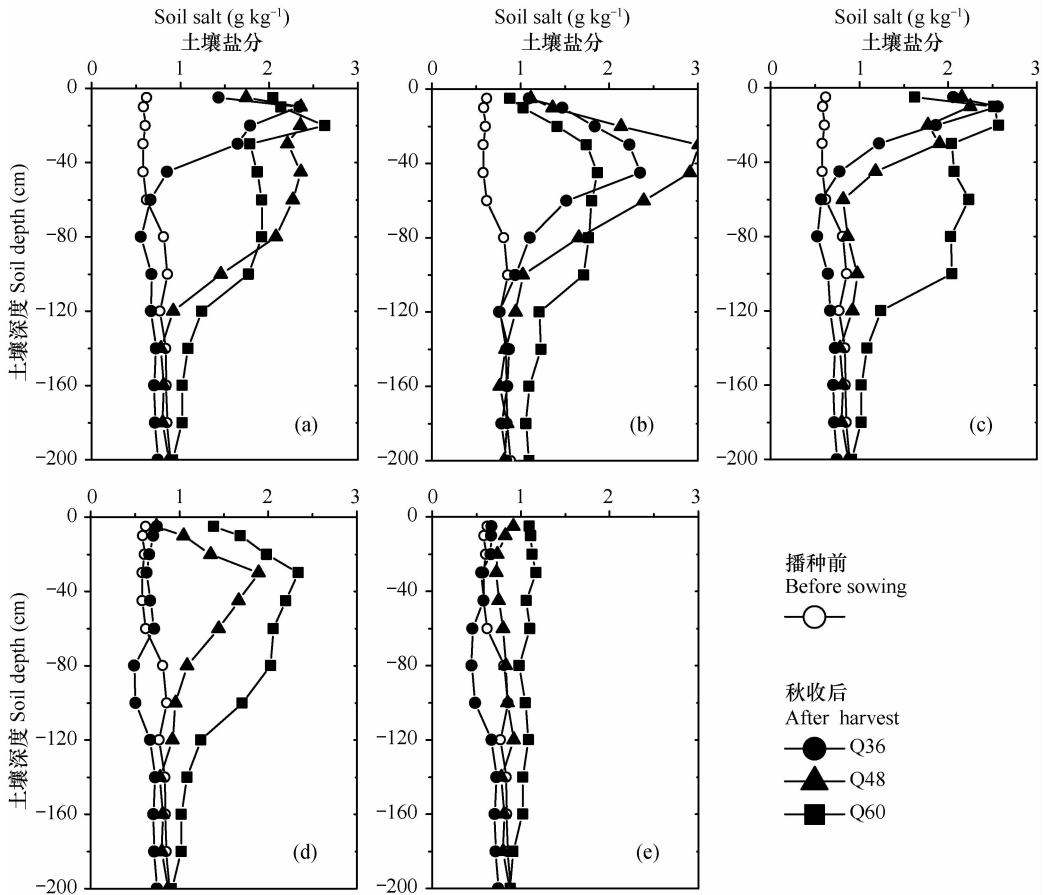


图 5 秋收后与播种前剖面土壤盐分比较(a. 滴头内,b. 滴头下,c. 滴头外,d. 膜中,e. 膜间)

Fig. 5 Soil salt contents in profile before sowing and after harvest (a. inside-dripper,b. under-dripper,c. outside-dripper,d. in-mulch, e. inter-mulch)

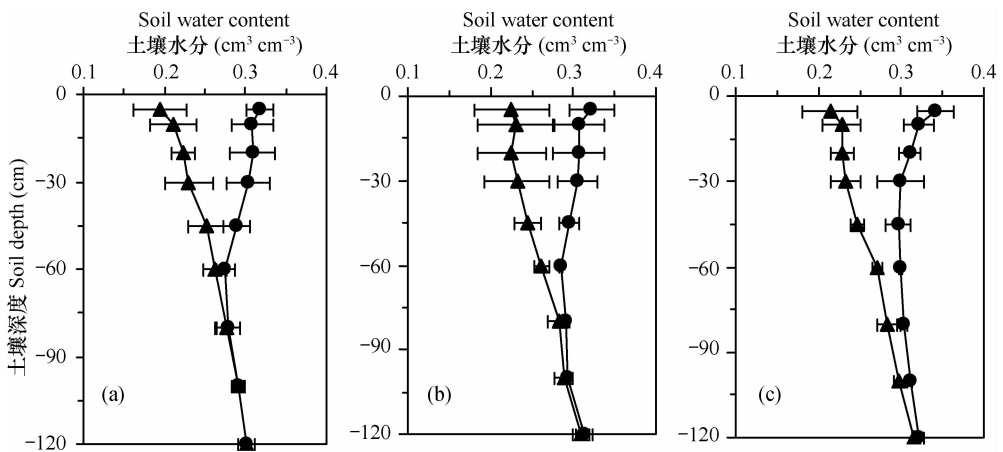


图 6 灌溉处理 Q36(a),Q48(b)和 Q60(c)灌前灌后滴头剖面土壤水分比较

Fig. 6 Soil water contents before and after irrigation at soil profile under dripper in the treatment Q36(a), Q48(b) and Q60(c) between before and after irrigation

2.3 生长季内土壤盐分动态及其平衡

图 7 为不同灌溉处理年内 0 ~ 100 cm 土体盐分动态变化。结果显示随着灌溉次数的增加土壤盐

分逐步增加,Q60 处理的初期增加较快,到了 7 月下旬后增加减缓;Q48 处理持续增加,到秋收后土壤含盐量关系为 Q48 > Q60 > Q36。表 3 为以宽 90 cm、

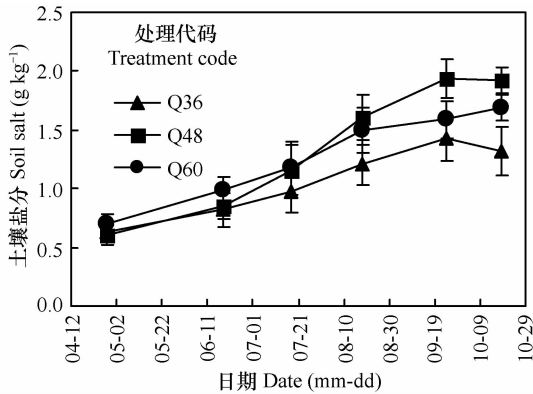


图7 不同灌溉处理0~100 cm 土壤盐分年内动态变化

Fig. 7 Annual dynamics of soil salt in the 0~100 cm soil layer in the treatments

长100 cm膜作为一个滴灌土体单元,生长季内一个土体单元的土壤盐量平衡。结果显示:在上层0~

100 cm 土体内,Q48 样地为正平衡,Q36 小区出现的是负平衡,二者数值较小,但属于取样误差范围之内( $p > 0.05$ ),即土壤增加盐量与灌溉输入盐量相当。Q60 处理中出现了明显的负平衡( $p < 0.05$ ),有-276.4 g 的亏缺,亏缺值与下层100~200 cm 增加值相当。Q36 下层100~200 cm 处理有明显降低,存在盐分随水分向更深层土壤或上层迁移。

目前已有实验研究结果显示<sup>[21-23,3]</sup>,新疆北疆地区全生育期灌溉额应为345~380 mm(折合3450~3800 m<sup>3</sup> hm<sup>-2</sup>),建议次灌水定额为26~35 mm,灌溉周期为7~8 d,采用“浅灌勤灌”的方法将棉花根系主要吸水层控制在60 cm 土层深度以内,可以减少灌水定额及深层渗漏,提高土壤水分利用率<sup>[23-24]</sup>,根据本文研究结果,若采用这一灌溉量,几乎不产生盐分的深层迁移,从而导致根区土壤盐分的增加。

表3 不同灌溉处理单元土体盐量平衡

Table 3 Salt balance in the soil columns different in treatment

土壤深度 Soil depth (cm)	处理 Treatment	灌溉输入盐 Salt input with irrigation (g)	播种前土壤储盐量 Soil salt amount before sowing (g)	秋收后土壤储盐量 Soil salt amount after harvest (g)	土壤储盐量变化 Change in soil salt amount (g)	占输入比例 Percentage of the input (%)
0~100	Q36	737.8	701.5 ± 53.7	1 404.7 ± 57.8	714.0	96.8
	Q48	1 340.9	701.5 ± 53.7	2 119.5 ± 98.3	1 465.5	109.3
	Q60	1 645.5	701.5 ± 53.7	2 070.6 ± 66.3	1 310.8	79.7
100~200	Q36		756.5 ± 18.3	649.6 ± 16.7	-107.3	
	Q48		756.5 ± 18.3	787.1 ± 11.3	30.3	
	Q60		756.5 ± 18.3	1 042.2 ± 25.1	285.4	

根据我们调查,玛河流域膜下滴灌灌溉量普遍超出这一标准,为5 000~5 600 m<sup>3</sup> hm<sup>-2</sup>,灌溉周期为10 d左右。超量灌溉的原因,一是“浅灌勤灌”在实际操作中并不现实,干旱区的大田操作采用的是分片轮灌方式,需要一个较长固定灌溉周期;二是存在天气、灌溉时间保证率、土壤空间变异性等不确定性因素影响,需要增加灌溉量以应对这些不确定,从而满足作物的需水供应以保证产量,这在客观上产生盐分的深层淋洗作用,避免根区土壤盐分的过度积累,这也是当前膜下滴灌尚未出现盐化的可能原因。

### 3 结论

本文通过对不同灌溉量微咸水灌溉实验土壤

水盐分布特征分析,可以得出以下认识与结论:

1) 在灌溉周期内,受灌溉输入盐分与随水分深层迁移运输作用,根区土壤盐量基本趋势表现湿润体形成阶段增加,再分布阶段降低;受随灌溉水分扩散运移与根系吸水聚盐作用,根区土壤盐分分布表现为在湿润体形成阶段分散,在再分布阶段聚集的特征。根底土壤盐分不受根系吸水聚盐作用影响,只有随水分的迁移扩散,土壤盐分变化趋势表现出在湿润体形成阶段增加,在再分布阶段降低的特征。

2) 三个处理当中,Q48 处理的根区土壤盐分最高,在滴头剖面40 cm 处形成高盐中心。Q60 处理根区土壤盐分低,无明显中心,但在根底60~200 cm 土壤盐分明显高于Q36、Q48 处理,其中主要原因为Q60 处理在滴头剖面处存在很高的深层下渗,而在下层土壤又缺少根系吸水作用,到达此

部位的水分携带盐分向深层迁移,起到一定深层淋溶作用,从而减缓根区土壤盐分积累。滴头剖面的深层下渗淋溶对于减缓上层土壤盐分积累具有积极意义。

## 参 考 文 献

- [ 1 ] 李明思, 郑旭荣, 贾宏伟, 等. 棉花膜下滴灌灌溉制度试验研究. 中国农村水利水电, 2001(11): 13—15. Li M S, Zheng X R, Jia H W, et al. Experimental research on under-mulch drip irrigation regime for cotton (In Chinese). China Rural Water and Hydropower, 2001(11): 13—15
- [ 2 ] 李毅, 王文焰, 王全九. 论膜下滴灌技术在干旱-半干旱地区节水抑盐灌溉中的应用. 灌溉排水, 2001, 20(2): 42—47. Li Y, Wang W Y, Wang Q J. A breakthrough thought for water saving and salinity control in arid and semi-arid area-under-film trickle irrigation (In Chinese). Irrigation and Drainage, 2001, 20(2): 42—47
- [ 3 ] 马富裕, 严以绥. 棉花膜下滴灌技术理论与实践. 乌鲁木齐: 新疆大学出版社, 2002. Ma F Y, Yan Y S. Theory and practice of drip irrigation under mulch for cotton (In Chinese). Urumqi: Xinjiang University Press, 2002
- [ 4 ] 郑耀凯, 柴付军. 大田棉花膜下滴灌灌溉制度对土壤水盐变化的影响研究. 节水灌溉, 2009(7): 4—7. Zheng Y K, Cai F J. Experimental research on effect of irrigation scheduling on moisture and salt change of mulched drip irrigation for cotton (In Chinese). Journal of Water Saving Irrigation, 2009(7): 4—7
- [ 5 ] 吕殿青, 王全九, 王文焰. 滴灌条件下土壤水盐运移特性的研究现状. 水科学进展, 2001, 12(1): 107—112. Lv D Q, Wang Q J, Wang W Y. Study on characteristics of soil water and salt transport under drip irrigation (In Chinese). Advances in Water Science, 2001, 12(1): 107—112
- [ 6 ] 李明思, 康绍忠, 孙海燕. 点源滴灌滴头流量与湿润体关系研究. 农业工程学报, 2006, 22(4): 32—35. Li M S, Kang S Z, Sun H Y. Relationships between dripper discharge and soil wetting pattern for drip irrigation (In Chinese). Transactions of the CSAE, 2006, 22(4): 32—35
- [ 7 ] 张琼, 李光永, 柴付军. 棉花膜下滴灌条件下灌水频率对土壤水盐分布和棉花生长的影响. 水利学报, 2004(9): 123—126. Zhang Q, Li G Y, Cai F J. Effect of mulched drip irrigation frequency on soil salt regime and cotton growth (In Chinese). Journal of Hydraulic Engineering, 2004(9): 123—126
- [ 8 ] 刘新永, 田长彦. 棉花膜下滴灌盐分动态及平衡研究. 水土保持学报, 2005, 19(6): 82—85. Liu X Y, Tian C Y. Study on dynamic and balance of salt for cotton under plastic mulch in south Xinjiang (In Chinese). Journal of Soil and Water Conservation, 2005, 19(6): 82—85
- [ 9 ] 田长彦, 周宏飞, 刘国庆. 21 世纪新疆土壤盐渍化调控与农业持续发展研究建议. 干旱区地理, 2000, 23(2): 177—181. Tian C Y, Zhou H F, Liu G Q. The proposal on control of soil salinizing and agricultural sustaining development in 21's century in Xinjiang (In Chinese). Arid Land Geography, 2000, 23(2): 177—181
- [ 10 ] 刘春卿, 杨劲松, 陈小兵, 等. 新疆玛纳斯河流域灌溉水质与土壤盐渍状况分析. 土壤, 2008, 40(2): 288—292. Liu C Q, Yang J S, Chen X B, et al. Quality of irrigation water and soil salinity of the Manas River valley in Xinjiang (In Chinese). Soils, 2008, 40(2): 288—292
- [ 11 ] 周金龙, 吴彬, 王毅萍, 等. 新疆塔里木盆地平原区中盐度地下水分布及其质量评价. 中国农村水利水电, 2009(9): 32—36. Zhou J L, Wu B, Wang Y P, et al. Distribution and quality assessment of medium salinity groundwater in plain areas in Tarim basin, Xinjiang (In Chinese). China Rural Water and Hydropower, 2009(9): 32—36
- [ 12 ] 王玉宝, 吴普特, 赵西宁, 等. 塔里木河流域农业用水现状调查与发展对策. 干旱区资源与环境, 2010, 24(10): 144—149. Wang Y B, Wu P T, Zhao X N, et al. Investigation and developmental countmeasures on current agricultural water use in Tarim watershed (In Chinese). Journal of Arid Land Resources and Environment, 2010, 24(10): 144—149
- [ 13 ] 刘新永, 田长彦, 马英杰, 等. 南疆膜下滴灌棉花耗水规律以及灌溉制度研究. 干旱地区农业研究, 2006, 24(1): 108—112. Liu X Y, Tian C Y, Ma Y J, et al. Water consumption characteristics and scheduling of drip irrigation under plastic film for cotton in south Xinjiang (In Chinese). Agricultural Research in the Arid Areas, 2006, 24(1): 108—112
- [ 14 ] 张伟, 吕新, 李鲁华, 等. 新疆棉田膜下滴灌盐分运移规律. 农业工程学报, 2008, 24(8): 15—19. Zhang W, Lv X, Li L H, et al. Salt transfer law for cotton field with drip irrigation under the plastic mulch in Xinjiang region (In Chinese). Transactions of the CSAE, 2008, 24(8): 15—19
- [ 15 ] 李玉义, 张凤华, 潘旭东, 等. 新疆玛纳斯河流域不同地貌类型土壤盐分累积变化. 农业工程学报, 2007, 23(2): 60—64. Li Y Y, Zhang F H, Pan X D, et al. Changes of salt accumulation in soil layers with different landforms in Manas River valley in Xinjiang region of China (In Chinese). Transactions of the CSAE, 2007, 23(2): 60—64
- [ 16 ] 李玉义, 逢焕成, 陈阜, 等. 膜下滴灌对风沙土盐分变化和棉花产量的影响. 水土保持学报, 2009, 23(4): 96—100. Li Y Y, Pang H C, Chen F, et al. Effect of drip irrigation under plastic mulch on aeolian sandy soil salt dynamic and cotton yield (In Chinese). Journal of Soil and Water Conservation, 2009, 23(4): 96—100
- [ 17 ] Hanson B, Hopmans J W, Šimůnek J. Leaching with subsurface drip irrigation on under saline, shallow irrigation under saline, shallow groundwater conditions. Journal of Vadose Zone, 2008, 7(2): 810—818
- [ 18 ] 危常州, 马富裕, 雷咏雯, 等. 棉花膜下滴灌根系发育规律的研究. 棉花学报, 2002, 14(4): 209—214. Wei C Z, Ma F Y, Lei Y W, et al. Study on cotton root development and spatial distribution under film mulch and drip irrigation (In Chinese). Cotton Science, 2002, 14(4): 209—214
- [ 19 ] 王全九, 王文焰, 王志荣. 盐碱地膜下滴灌技术参数的确定. 农业工程学报, 2001, 17(3): 47—50. Wang Q J, Wang W Y, Wang Z R. Determination of technique parameters for sa-



- line-alkali soil through drip irrigation under film (In Chinese). Transactions of the CSAE, 2001, 17(3): 47—50
- [20] Mmolawa K, Or D. Root zone solute dynamics under drip irrigation: A review. Plant and Soil, 2000, 222(1/2): 163—190
- [21] 李明思, 马富裕, 郑旭荣. 膜下滴灌棉花田间需水规律研究. 灌溉排水, 2002, 21(1): 58—60. Li M S, Ma F Y, Zheng X R. Cotton water requirement on field with trickle irrigation under plastic film and on field with furrow irrigation (In Chinese). Irrigation and Drainage, 2002, 21(1): 58—60
- [22] 李富先, 杨举芳, 张玲. 棉花膜下滴灌需水规律和最大耗水时段及耗水量的研究. 新疆农业大学学报, 2002, 25(3): 43—47. Li F X, Yang J F, Zhang L. The experiment report on cotton requiring water rules and the maximums water consumption periods and capacity in mulch drip irrigation (In Chinese). Journal of Xinjiang Agricultural University, 2002, 25(3): 43—47
- [23] 刘建军, 陈燕华, 李明思. 膜下滴灌棉花植株耗水率与土壤水分的关系. 棉花学报, 2002, 14(4): 200—203. Liu J J, Chen Y H, Li M S. Relationship between soil moisture and cotton transpiration under mulchtrickle irrigation (In Chinese). Cotton Science, 2002, 14(4): 200—203
- [24] 蔡焕杰, 邵光成, 张振华. 荒漠气候区膜下滴灌棉花需水量和灌溉制度的试验研究. 水利学报, 2002(11): 119—123. Cai H J, Shao G C, Zhang Z H. Water demand and irrigation scheduling of drip irrigation for cotton under plastic mulch (In Chinese). Journal of Hydraulic Engineering, 2002(11): 119—123

## SALT DISTRIBUTION AND ACCUMULATION IN SOILS DIFFERENT IN RATE OF UNDER-MULCH DRIP IRRIGATION WITH BRACKISH WATER

Sun Lin<sup>2</sup> Luo Yi<sup>1†</sup> Yang Chuanjie<sup>2,3</sup> Zhang Yan<sup>2</sup> Jilili Abudouwaili<sup>1</sup>

(1 State Key Laboratory of Desert and Oasis Ecology, Xinjiang Institute of Ecology and Geography, Chinese Academy of Sciences, Urumqi 830011, China)

(2 Key Laboratory of Ecosystem Network Observation and Modelling, Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China)

(3 Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

**Abstract** Under-mulch drip irrigation is an important irrigation method in irrigation agriculture of Xinjiang. However, soil salt accumulation induced by its slow deep leaching and brackish irrigation water is an urgent problem in development of sustainable agriculture.

To explore characteristics of the salt distribution and accumulation in soils as affected by rate of under-mulch drip irrigation with brackish water, a field experiment was carried out in the Water-saving Irrigation Experiment Station of the Shihezi University. The experiment was designed to have three irrigation rate treatments, Treatment Q36: 3 150 m<sup>3</sup> hm<sup>-2</sup>, Q48: 4 200 m<sup>3</sup> hm<sup>-2</sup> and Q60: 5 250 m<sup>3</sup> hm<sup>-2</sup>, and used water 3.32 g L<sup>-1</sup> in salinity. Analysis of soil samples taken before and after the irrigation indicated that the soil salinity in the root area demonstrated a basical declining trend at the forming stage of a wetted soil volume, and accumulation at the redistribution phase of soil water, while that in the soil under the root displayed an opposite way, rising in the former phase and falling in the latter. Analysis of salt distribution and balance in the soil profiles after harvest show that in Treatments Q36 and Q48, the input of salt with the irrigation stayed mainly in the 0 ~ 120 cm soil layer column, while in Treatment Q60, soil salinity increased significantly in the soil below 120 cm. Irrigation contributed about 21 percent of the increase. It was found that after 36 hours of irrigation, the wet front got into 80, 90 and 120 cm deep in Treatments Q36, Q48 and Q60, respectively. The water from the dripper infiltrated deep into the soil, bringing down salt into deep layers of the soil profile, which contributes positively to mitigating the problem of salt accumulation in the surface soil.

**Key words** Under-mulch drip irrigation; Irrigation rate; Deep percolation; Salt accumulation