

新疆现行灌溉制度下膜下滴灌棉田土壤盐分分布变化^{*}

王振华^{1,2} 杨培岭¹ 郑旭荣² 何新林² 张金珠² 李文昊²

(1. 中国农业大学水利与土木工程学院, 北京 100083; 2. 石河子大学水利建筑工程学院, 石河子 832000)

摘要: 分析了膜下滴灌应用典型灌区新疆石河子 121 团连续 4 年的定点监测膜下滴灌棉田盐分。结果表明,盐分在膜下滴灌灌水作用下不断向远离滴灌带的区域迁移,水平方向逐渐向膜间裸地聚集,垂直方向逐渐向下层运移。剖面盐分随滴灌应用年限的增加逐渐由上大下小变化为上下均一的垂线状,这个过程尤其在滴灌应用 2~4 年表现得比较明显。滴灌应用 4 年深层(140 cm 土层)开始脱盐,滴灌应用 5 年基本达到作物适宜耐盐含量。盐分降低主要原因在于当地的灌溉制度。灌水特别是较大定额的灌水,改变了盐分自然分布特点。在周期性灌水作用下,各年生育期内盐分含量相对较低,土壤盐分总量呈降低趋势。盐分降低主要时期在出苗水灌后及花铃后期。随滴灌应用年限的增加,300 cm 深度范围内土壤盐分也逐渐降低,滴灌应用约 10 年左右呈铅垂线改良型分布特点。现行膜下滴灌灌水制度在滴灌应用 5 年以上应适当减少花铃期的灌水定额,灌溉定额可降至 618 mm 左右,但苗期灌水仍需保持较大的灌水定额。

关键词: 新疆棉区 膜下滴灌 土壤盐分 长期监测 灌溉制度

中图分类号: S278 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2014)08-0149-11

引言

膜下滴灌可以在根区形成淡化的脱盐区^[1-2],同时深层渗漏的减少,也降低了次生盐渍化发生的可能性,但是,膜下滴灌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,在灌溉用水含有一定盐分时,盐分会逐步在根底积累,有可能产生土壤积盐爆发^[2-4]。目前,新疆膜下滴灌应用面积已突破 2×10^6 hm²,随着膜下滴灌应用年限的变化,生产实践中因滴灌运移到土壤湿润锋处的盐分是否在根区累积,引起很多学者关注和思考。

一部分学者认为膜下滴灌棉花生育期内盐分在膜间 0~40 cm 强烈聚集,在棉花生育期结束后,田间 0~60 cm 以内土层随膜下滴灌应用年限增加处于积盐态势^[3,5-9],也有一些学者认为覆膜滴灌技术明显降低了作物根区盐分,膜下滴灌根区土壤盐分含量随滴灌应用年限的增加逐年下降^[10-16]。

以上研究大多缺少长时间定点连续的监测数据,研究周期相对较短,难以反映膜下滴灌田间盐分真实的变化趋势。因此,本文通过对新疆现行灌溉制度下典型膜下滴灌不同应用年限农田进行连续 4 年的定点监测,揭示当前灌溉制度条件下膜下滴灌

农田土壤盐分动态变化特点,为膜下滴灌技术在干旱区可持续应用提供理论依据。

1 材料与方法

在典型绿洲农业区新疆兵团 121 团 18 连选定 2008 年开始应用膜下滴灌的棉田,2009—2012 年连续 4 年定点监测土壤盐分分布及变化。该农田附近人工未干扰荒地表层土壤盐分质量分数受降雨和蒸发影响一般在 3%~15% 之间变化,0~40 cm 土层盐分平均质量分数在 2.5%~7.0% 之间,0~100 cm 土层盐分平均质量分数在 1.8%~4.2% 之间,100~140 cm 土层盐分平均质量分数为 0.3%~1.1% 之间。灌区地下水动态受灌溉和水库蓄水影响较大,生育期内可上升到 2 m 以内,生育期末可降至 4 m 以下,地下水矿化度较高,经测定在 30~60 g/L 之间。该地块连续 5 年均种植棉花,品种相同,每年灌水和施肥制度相近,研究区滴灌棉田典型灌水制度一般为从 4 月下旬到 8 月下旬滴灌灌水 9 次,灌水定额一般在 90 mm 左右,出苗水定额较大,可达 136.08 mm,全生育期灌溉定额平均值为 847.71 mm。

种植模式采用机采棉模式。2009—2012 年每年从 4 月份开始至 10 月份结果,每月中旬在固定取

收稿日期: 2014-01-05 修回日期: 2014-04-10

^{*} 国家自然科学基金资助项目(51369027、U1203682)和石河子大学杰青培育基金资助项目(2013ZRKXJQ02)

作者简介: 王振华,博士生,石河子大学副教授,主要从事干旱区节水灌溉理论与技术研究,E-mail: wzh2002027@163.com

通讯作者: 杨培岭,教授,博士生导师,主要从事灌溉排水理论与新技术研究,E-mail: yangpeiling@126.com

样地点取样一次,每次选3个取样区,每个区取3个点,分别为膜内毛管处、棉花窄行中点、膜外两膜中点(见图1)。每个点从地表向下每20 cm取样一个,分别为0、20、40、60、80、100、120和140 cm共计8个样,每次共取72个土样。同时在相应取样点周边荒地上取样3次,并观测研究区地下水变化。对所取土样测试其含水率和含盐量,含盐量用电导法测定并经标定换算为质量比,每次取3组平均值进行分析。所获数据用 Oriange 8.5 绘图和分析。

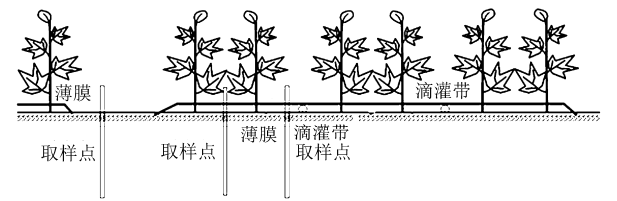


图1 膜下滴灌棉花种植及取样位置示意图
Fig.1 Cotton planting of drip irrigation under mulch and the location of sampling

经测定该地块在2009年4月取样的离子组成、荒地离子组成及养分含量分别见表1和表2,根据

表1 土壤离子质量比

Tab.1 Ion content of the soil mass ratio g/kg

地型	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	SO ₄ ²⁻
滴灌地	0.10	0.25	3.1	0.02	0.04	7.88	0.30
荒地	0.03	0.22	3.81	0.19	0.18	11.46	0.70

表3 膜下滴灌棉田2008年地块计划湿润层水量平衡计算特征值

Tab.3 Water balance calculations in plan moist layer of 2008 lot drip irrigation

阶段	农田含水率均值/%	占田持的百分比/%	实际土壤储水量/mm	理论土壤储水量/mm	相对理论增量/mm	作物需水量/mm	实际灌水量/mm	超灌水量/mm	超灌比例/%
初期	26.755	78.51	160.53	127.80	32.73	57.2	231.34	174.14	304.44
中期	28.833	84.60	173.00	153.36	19.64	455.5	538.61	83.11	18.25
末期	25.168	73.85	151.01	127.80	23.21	25.2	77.76	52.56	208.57
总计	27.528	80.77	484.54	408.96	75.58	537.9	847.71	309.81	57.60

由于棉田全生育期计划湿润层(0~60 cm)适宜含水率应在田间持水量的55%~80%,而实际为80.77%,说明总体上农田土壤含水率略高于适宜含水率的上限,但从平均值角度分析,理论上棉田适宜含水率的范围是55%~80%,是指灌水周期内土壤含水率在这个范围内比较适宜,换句话说,灌水周期内的适宜含水率范围的平均值应该是67.5%(3个阶段分别为62.5%、75%和62.5%),而滴灌农田实际土壤含水率平均值80.77%包含了4年观测期内不同灌水周期土壤含水率的随机值,因此,农田计划湿润层平均含水率实测值应该与适宜含水率范围的平均值进行比较才有意义,则农田实际含水率平均值80.77%远高于适宜含水率平均值67.5%,说明

新疆盐碱土分类标准,Cl/SO₄比值0.8,属于氯化物硫酸盐中度盐化土壤。根据国际制土壤分类标准土壤质地属于粉质粘土。灌溉水源为水库水,矿化度在0.4 g/L左右。

表2 土壤养分质量比

Tab.2 Mass ratio of soil nutrient content mg/kg

地型	铵态氮	硝态氮	有效磷	速效钾
滴灌地	108.69	620.7	5.72	200.605
荒地	9.66	40.465	11.405	269.33

2 结果分析

2.1 膜下滴灌棉田根区土壤水量平衡分析

为分析膜下滴灌棉田土壤盐分的变化,先了解现行膜下滴灌棉田实际灌溉制度下计划湿润层水量平衡状况。以棉花根系主要分布深度0~60 cm为根区和计划湿润层分析,根区土壤田间持水量为34.08%,将观测数据4~10月份根据棉花生长情况划分为3个阶段:4~5月份为棉花生长初期;6~8月份为棉花生长中期;9~10月份为棉花生长末期。

根据0~60 cm土层深度内膜下滴灌棉田各阶段的平均含水率及棉田根区土壤水量平衡方程分别计算根区储水量、理论储水量以及超灌水量,计算结果见表3。

农田计划湿润层土壤水分含量超过了适宜含水率范围,农田存在灌水过量的现象,存在灌溉水浪费的情况。

从膜下滴灌棉花不同阶段来分析,表3中棉花计划湿润层在3个阶段农田实际平均含水率占田间持水量的百分比均高于理论上适宜含水率占田间持水量百分比的平均值,最高在初期阶段,说明膜下滴灌棉田初期灌水定额相对最为偏高。

膜下滴灌棉田计划湿润层(0~60 cm)在不同阶段的实际储水量和理论储水量根据 $W = H\theta$ (W 、 H 、 θ 分别表示储水量、计划湿润层深度和土壤含水率)计算,其中理论土壤含水率为棉花计划湿润层不同阶段适宜含水率范围的平均值,计划湿润层不

同阶段实际土壤储水量、理论土壤储水量及实际储水量相对理论储水量的增加量计算结果分别见表 3 的第 4~6 列。可以看出,膜下滴灌棉田计划湿润层实际储水量相对理论储水量在不同阶段均有不同程度的增加,相对理论储水量增量合计 75.58 mm,说明灌水处于超量状态。

作物需水量即为满足棉花生长发育和较高产量而需要消耗的理论水量,根据文献[17]研究结果,按照本文棉花生长阶段划分整理后结果见表 3,实际灌水量采用研究区 2009—2012 年连续 4 年的平均值。

根据本文所划分阶段重新整理后的实际灌水量数据见表 3 第 8 列,则实际灌水量与理论需水量的差额即为超灌水量,计算结果见表 3 第 9 列,超灌水量占作物需水量的百分比即为超灌比例,计算结果见表 3 第 10 列。

由表 3 可以看出,在不考虑洗盐、压盐情况下,膜下滴灌棉田灌水量相对作物需水量超额灌溉了 309.81 mm,超出作物需水量的 57.60%,主要在初期(4—5 月份)超额灌溉,超灌水量 174.14 mm,超灌比例高达 304.44%,在棉花生长旺盛的中期阶段(6—8 月份),超灌水量 83.11 mm,超灌比例为 18.25%,而在棉花生长末期(9—10 月份),超灌水量为 52.56 mm,由于末期作物本身需水较小,因此超灌比例显得较大,为 208.57%,说明在不考虑压盐需水量而仅考虑作物需水量情况下,膜下滴灌棉田现行灌溉制度的灌水量偏大,理论上灌水偏大为 309.81 mm,灌溉定额可由现在的 847.71 mm 降至 537.90 mm,应主要降低前期和中期的灌水定额。

2.2 棉花生育期初不同滴灌年限土壤盐分分布特征

根据新疆气候特点,121 团棉花基本上在 4 月下旬播种,采用干播湿出方式,播种后滴灌一次,以保证出苗,由于当地农田普遍含有盐碱,因此,出苗水滴灌灌水定额一般在 135.69 mm 左右,既为出苗提供充足水分,同时进行压盐出苗,为棉苗生长提供一个低盐环境,苗期灌水对土壤盐分的分布影响较大,但随滴灌应用年限不同,这种影响和分布又有所不同。要分析滴灌对盐分的影响,应先了解荒地自然状况下的盐分分布特征,当地荒地土壤盐分分布特征一般比较稳定,以 2009 年 4 月 25 日和 10 月 7 日两次取样数据为例(图 2),说明荒地盐分分布特点。

在未灌溉及人为扰动的盐碱荒地土壤盐分在棉花播种后生育期初表现为地表积盐,表层盐分质量比在 90 g/kg 以上,形成一层盐壳,剖面上由地表向深处递减,约在 80 cm 以下降至 20 g/kg 以下,到

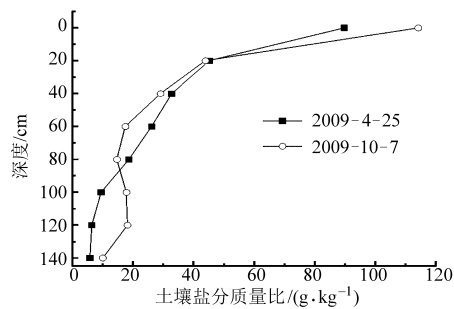


图 2 荒地土壤盐分分布

Fig. 2 Soil salinity distribution of wasteland

140 cm深处降至 5 g/kg 左右,属于典型的干旱区土壤盐碱分布特点,由强蒸发弱降水所致。说明自然状态下,上层土壤盐分受降雨和蒸发影响略有变化,深层相对稳定,处于自然动态平衡状态。

人类活动干扰后,采用膜下滴灌技术进行灌溉的农田,土壤盐分受水分运动影响显著,2009—2012 年连续 4 年 4 月份的盐分剖面分布见图 3。

由图 3 可以看出,滴灌后,盐分向远离滴灌带的方向运移。不同滴灌年限棉田第一次滴灌出苗后,总体上盐分分布特点为:膜内毛管下土壤盐分 0~40 cm 土层含量较低;膜间裸地土壤盐分在 0~20 cm 土层含量较高,滴灌后土壤盐分含量随距滴灌带的位置越远含量相对越高,由于出苗水灌水定额较大,水分将盐分运移至薄膜之外,在土壤蒸发作用下,盐分逐渐向膜间裸地聚集。垂直方向土壤盐分逐渐向下层运移,并在一定深度处聚集,聚集深度与灌水定额和滴灌年限相关。滴灌 2 年开始时亦即滴灌应用 1 年之后(2009-4-25),在棉花生育期期初,出苗水灌后,在剖面 0~80 cm 土层表现最明显,盐分在水平方向距滴灌带 60~70 cm 处(膜间)积聚;剖面上,在 0~80 cm 之间含量较高,80~140 cm 范围盐分含量相对较低,总体上呈现上高下低,这与荒地盐分剖面分布特征类似,说明盐分受灌溉影响有限,仅使膜内上层土壤盐分相对荒地略有降低,给作物生长提供了相对低盐环境,但盐分含量相对仍然较高,0~40 cm 土层盐分质量比仍在 16 g/kg 以上,最高达 66.3 g/kg,膜内最高达 51.2 g/kg,对于作物种子萌芽及生长仍非常困难,观测表明棉花出苗成活率仅为 7.1%,棉花产量仅为 1 279.2 kg/hm²。

滴灌应用 2 年后(2010-4-17),整体盐分含量明显降低,说明盐分的分布受灌水影响显著,总体上呈现膜内低膜间高、上层低中间高的分布特点,已经与荒地分布特征及滴灌第 2 年初的分布特征完全不同,人工膜下滴灌技术的灌溉改变了自然条件下土壤剖面盐分分布特征。

滴灌应用 3 年后剖面盐分整体又有所下降,说

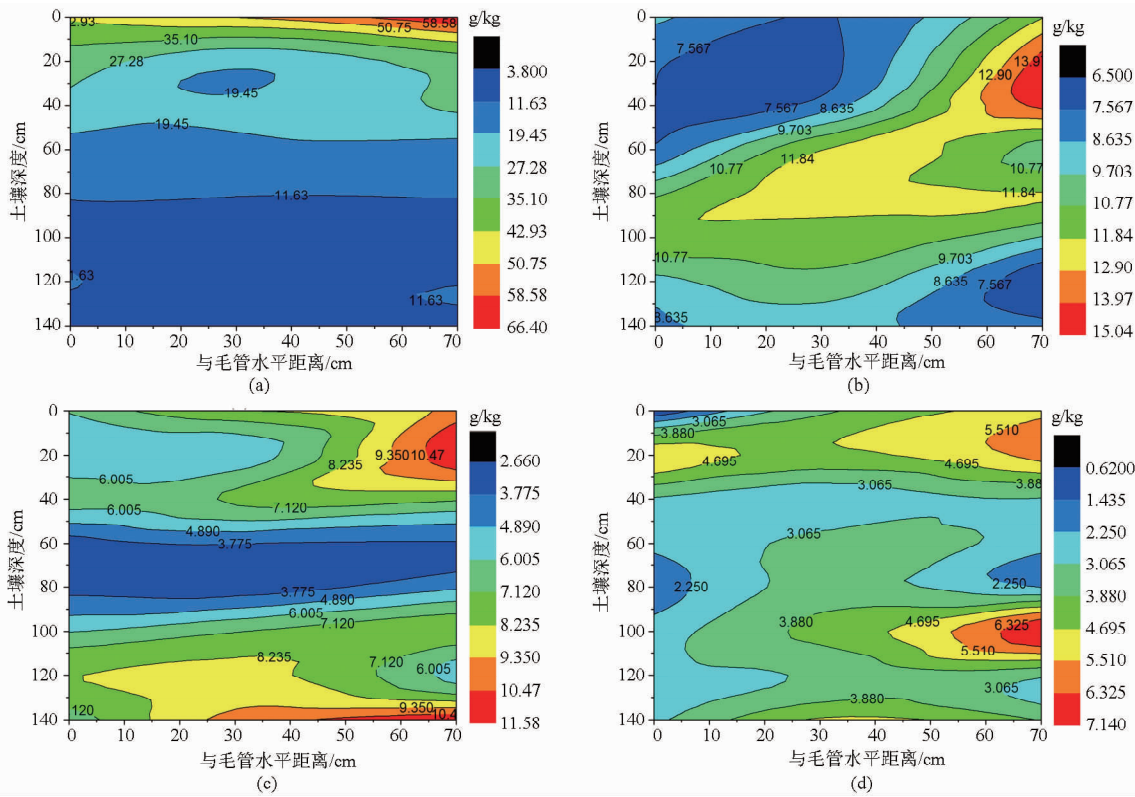


图 3 2008 年地块滴灌 2~5 年生育期初土壤盐分空间分布

Fig. 3 Soil salinity spatial distribution in cotton beginning fertility of 2008 lot drip 2 to 5 years

(a) 2009-4-25 (b) 2010-4-17 (c) 2011-4-16 (d) 2012-4-14

明盐分继续在灌水作用下不断向远离滴灌带的区域迁移,特别是向下层和深层迁移,膜间的盐分也逐渐向下迁移并不断降低。滴灌应用 4 年后整体盐分质量比相对较低,观测区范围内最高值为 9.4 g/kg,膜内土壤盐分均小于 5 g/kg,对于作物生长相对影响较小。盐分聚集区域仅在膜间上层和中下层出现,上层最大值仅 7.2 g/kg,说明盐分受灌水影响降低幅度越来越小。

盐分降低的原因主要在于当地的灌溉制度,前文已经分析,现行灌溉制度相对作物理论需水量和土壤适宜储水量偏高。实际灌水后土壤湿润锋深度一般在 1.5 m 以上,甚至达到 3 m,在生育期内灌水后 0~60 cm 根区土壤水分一般超过田间持水量的 90% 以上,盐分向膜间和深层迁移明显,由于自然状态下当地土壤表层盐分较高,正是灌水改变了盐分自然分布特点,特别是较大定额的灌水,在研究区土壤条件下,使得土壤水分垂直运动比较强烈,带动土壤中可溶性盐分不断向下迁移,根区土壤盐分含量随之降低,加之研究区地下水埋深较浅(棉花生育期内主要时段不足 2 m),上层土壤盐分极有可能不断迁移进入地下水,从而使得 0~60 cm 土壤盐分不断被淋洗降低,上层土壤呈脱盐状态,即使停水后,在蒸发和根系耗水影响下,盐分有所上升,但由于地表薄膜覆盖盐分随水分上移受到抑制,土壤水

分仅在膜间裸地一定范围内向上运动强烈,盐分随水分进入根区总量相对有限,因此在整个生育期灌溉制度周期性灌水作用下,各年生育期内盐分含量相对较低,土壤盐分总量呈降低趋势;即使在非灌溉季节,由于蒸发作用不强,使得因蒸发作用向上迁移的盐分总量将变得有限,一般也仅在生育期灌水结束后的 9 月底和 10 月上旬有小幅累积升高,在经过越冬期后,新疆冬季的降雪及开春后融雪使得盐分亦呈淋洗向下迁移趋势,至 4 月中下旬以后,进入新一轮灌溉季节,加之年际间膜间膜内土壤混翻,覆膜及滴灌位置逐年不定,土壤盐分在生育期初仍会小幅升高,在灌水作用下再逐渐降低,周而复始,盐分在灌溉制度作用下,总体呈降低趋势,在生育期内又在蒸发、施肥及根系吸水作用下呈小幅波动上移变化特点。

因此,在生育期初膜下滴灌显著改变土壤盐分自然分布状态,盐分向深层和膜间逐年运移和聚集,根区盐分在滴灌 4 年以后降至适宜范围。

2.3 全生育期内土壤盐分变化

膜下滴灌应用后,虽然出苗水对盐分分布在一定时期内产生了显著影响,但随着气温升高,棉花生长和腾发量增大,加上不断的灌水,土壤盐分亦在动态变化,2009—2012 年连续 4 年全生育期土壤剖面平均盐分质量比随深度的分布见图 4。

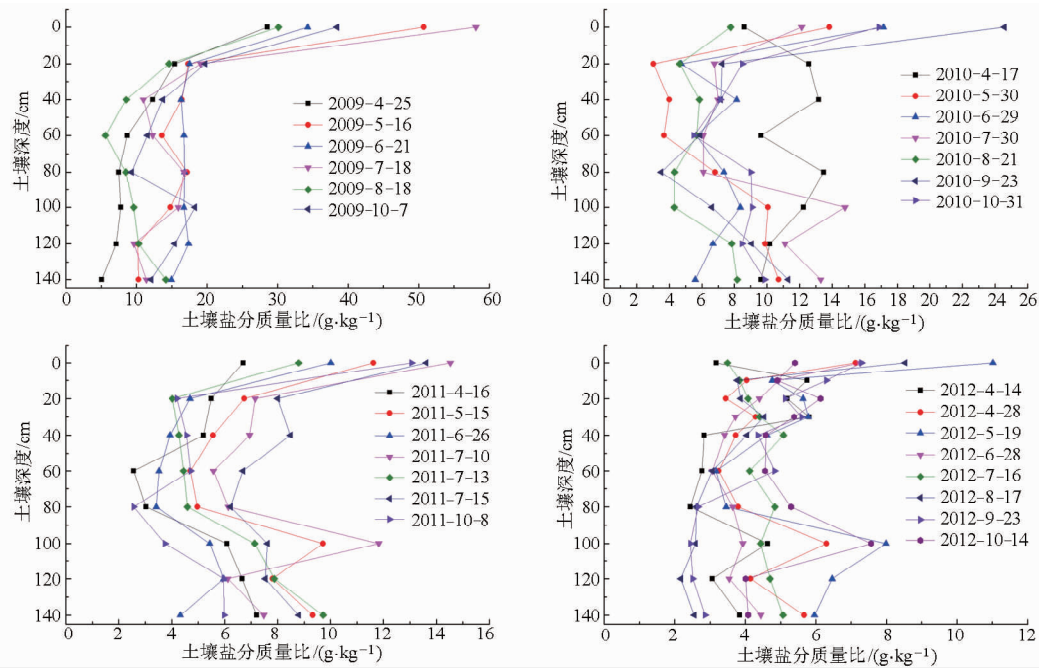


图 4 2008 年地块 2009—2012 年全生育期田间平均土壤盐剖面分布

Fig.4 Soil salinity spatial distribution in cotton all growth period of 2008 lot during 2009—2012

由图 4 可以看出,全生育期剖面土壤盐分变化,在滴灌应用的第 2 年内,即 2009 年 4~10 月,总体盐分质量比较高,整体均在 10 g/kg 以上,特别是表层土壤盐分质量比均在 30 g/kg 以上,且以 7 月 18 日观测值最大,接近 60 g/kg,20 cm 土层均在 15~20 g/kg,不同时期变化不大;20~140 cm 深度范围盐分质量比在 10~20 g/kg 之间,且呈现在 4 月 25 日和 8 月 18 日 2 个阶段含量最低,6 月 21 日含量相对较高,主要原因可能是 6~7 月份一方面气温较高,蒸发蒸腾旺盛,盐分向上迁移明显,另一方面可能是施肥较多,肥料施入引起含盐量的增加。而 4 月 25 日和 8 月 18 日,盐分含量较低主要原因一方面是出苗水灌水定额较大引起剖面整体盐分向下迁移,8 月份灌水高峰期已过,长时间大定额的灌水使得盐分向下不断迁移,同时施入的化肥逐渐被作物吸收利用,共同引起剖面盐分的不断降低;10 月份由于灌水停止,在蒸发作用下盐分逐渐由深层向上不断迁移一部分,使得剖面盐分略有升高,但毕竟由于一年的灌水周期盐分向下迁移的较多,使得剖面盐分终将不断减少,在观测区 0~140 cm 盐分仍处于降低趋势。

2010 年数据同样表明,4 月 17 日盐分较高,出苗水灌后,5 月 30 日整体盐分下降显著,特别是 20~120 cm 范围降低最为明显,8 月 21 日仍然含量较低,与 2009 年具有类似规律,9 月和 10 月虽略有升高,但相对生育期初整体盐分降低明显。2011 年和 2012 年均具有类似规律。

膜下滴灌棉田棉花生育内 6~8 月份盐分整体

呈现上低下高的分布特点,盐分平均质量比及最高质量比不仅在年内从 6 月到 8 月份不断降低,而且在年际间随滴灌年限增长也不断降低。盐分分布特征明显与荒地不同,盐分不断由表层向深层迁移,并最终可能迁移进入地下水。盐分的这些动态变化特点正是由于灌水超量引起的。

2.4 棉花生育期末滴灌土壤盐分分布特征

棉花吐絮后,进入收获期,经过生育期灌水、降雨、蒸发、作物耗水等复杂过程后,2009—2012 年各年 10 月份的剖面土壤盐分分布情况见图 5,不同深度盐分质量比相对膜下滴灌应用第 1 年的盐分差值及降低百分比见表 4。

用第 1 年初(荒地)盐分质量比减去各滴灌年限生育期末相同深度的平均盐分质量比的差值占荒地盐分质量比的百分比表示脱盐率。脱盐率为负,表示该土层相对原始荒地状态盐分增加,处于积盐状态。

图 5 表明,经过各年灌溉季节结束,农田剖面土壤盐分分布发生显著变化,膜下滴灌应用第 2 年后,即 2009 年 10 月 7 日数据表明,剖面土壤盐分在膜间同时具有 3 个聚集区,分别为膜间上层(水平距管 20~70 cm,垂直 0~20 cm),中层(水平距管 50~70 cm,垂直 30~60 cm),下层(水平距管 20~70 cm,垂直 90~130 cm),其中以上层盐分质量比最高,可达 73.5 g/kg,中层和下层平均盐分质量比约为 18.6 g/kg;在膜内毛管下 0~80 cm 范围盐分含量相对较低,平均盐分质量比为 9.6 g/kg,整体盐分相对生育期初总量显著减少,分布位置明显改变,盐

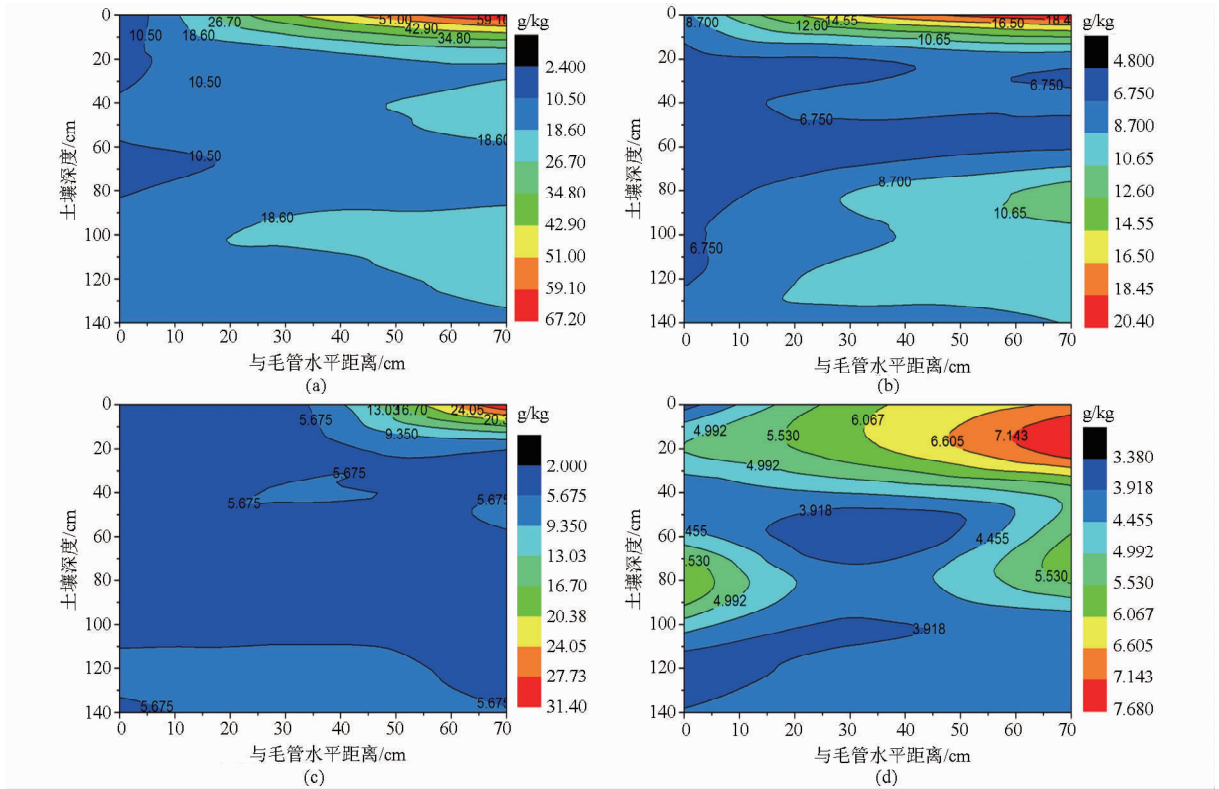


图 5 2008 年地块滴灌 2 ~ 5 年生育期末土壤盐分分布变化

Fig.5 Soil salinity spatial distribution in cotton end of period fertility of 2008 lot drip 2 to 5 years

(a) 2009 - 10 - 7 (b) 2010 - 10 - 31 (c) 2011 - 10 - 11 (d) 2012 - 10 - 8

表 4 膜下滴灌 1 ~ 5 年生育期末土壤盐分平均值及相对荒地脱盐率

Tab.4 Average soil salinity and desalination rate relative wasteland in drip irrigation 1 to 5 years ending fertility

土壤 深度 /cm	荒地盐分	滴灌 1 年		滴灌 2 年		滴灌 3 年		滴灌 4 年		滴灌 5 年	
	质量比	盐分质量比	脱盐	盐分质量比	脱盐	盐分质量比	脱盐	盐分质量比	脱盐	盐分质量比	脱盐
	$\text{/(g}\cdot\text{kg}^{-1}\text{)}$	$\text{/(g}\cdot\text{kg}^{-1}\text{)}$	率/%	$\text{/(g}\cdot\text{kg}^{-1}\text{)}$	率/%	$\text{/(g}\cdot\text{kg}^{-1}\text{)}$	率/%	$\text{/(g}\cdot\text{kg}^{-1}\text{)}$	率/%	$\text{/(g}\cdot\text{kg}^{-1}\text{)}$	率/%
0	89.68	53.92	39.88	37.01	58.73	14.99	83.28	13.07	85.43	5.41	93.97
20	45.20	27.89	38.29	14.21	68.55	6.80	84.95	4.19	90.72	6.13	86.43
40	32.80	24.72	24.64	16.70	49.08	6.89	78.98	4.56	86.11	4.58	86.03
60	26.16	16.84	35.60	13.20	49.53	5.70	78.22	4.72	81.95	4.56	82.56
80	18.72	12.25	34.52	13.51	27.80	8.50	54.58	2.56	86.33	5.30	71.70
100	9.52	7.39	22.31	20.08	-111.06	8.24	13.39	3.75	60.64	7.56	20.51
120	6.44	11.35	-76.10	18.17	-181.96	8.53	-32.44	5.96	7.45	4.01	37.74
140	5.86	9.19	-56.79	15.67	-167.46	8.28	-41.27	5.98	-2.00	4.08	30.31
平均	29.30	20.44	30.21	18.57	36.61	8.49	71.01	5.60	80.89	5.21	82.23
0~40	55.89	35.51	36.47	22.64	59.49	9.56	82.89	7.27	86.99	5.37	90.38
40~100	18.13	12.16	32.90	15.60	13.95	7.48	58.74	3.68	79.73	5.81	67.97
100~140	6.15	10.27	-66.91	16.92	-175.05	8.41	-36.65	5.97	2.95	4.05	34.20

注:荒地数据为 2009 年 4 月 20 日取样数据,第 1 年生育期末数据以 2009 年 4 月 20 日数据代替。

分向膜间和深层迁移,并在膜间聚集。

滴灌应用 3 年后,盐分分布继续变化,盐分聚集区逐渐分化为膜间表层和下层,盐分含量不断降低,毛管下盐分低盐区扩展至 120 cm 深度。滴灌应用 4 年后,盐分总量持续降低,盐分聚集区仅在膜间表层出现,低盐区进一步扩大,在剖面整体 20 ~ 100 cm 距管 0 ~ 70 cm 范围均为低盐区,盐分质量比低于 5 g/kg。滴灌应用 5 年后,整体盐分含量较低,全剖

面盐分质量比基本低于 5 g/kg,仅膜间表层盐分相对较高,最高不过 7.6 g/kg。说明灌水季节膜下滴灌农田土壤盐分变化显著,受灌水影响,整体盐分逐渐向远离毛管的方向迁移,特别是向深层迁移,即使水平方向迁移至膜间的盐分也逐渐向下层和深层迁移,剖面盐分聚集区不断分化,并减小,低盐区从毛管下附近逐渐扩大至整个剖面观测区,滴灌应用 5 年基本达到作物适宜耐盐含量。

表 4 说明,膜下滴灌应用 1 年相对荒地 在 0 ~ 100 cm 范围均处于脱盐状态,在 100 ~ 140 cm 范围 为积盐状态,积盐率为 66.91%,盐分质量比达到 10.27 g/kg。滴灌应用 2 年后,0 ~ 80 cm 继续脱盐, 100 ~ 140 cm 继续积盐,积盐率可达 175.05%,盐分 质量比达到 16.92 g/kg,在观测 5 年内属于积盐最 为严重的阶段。滴灌 3 年后,0 ~ 40 cm 相对荒地脱 盐率达 82.89%,平均盐分质量比 9.56 g/kg,脱盐相 对较高,在 100 ~ 140 cm 积盐率为 38.65%,相对前 两年下降显著,说明盐分可能运移出观测区,向 140 cm 以下迁移并在某一深度积聚,0 ~ 140 cm 全剖 面平均盐分质量比 8.49 g/kg,相对降低明显。滴灌 4 年后,在上层 0 ~ 40 cm 脱盐率又小幅升高,保持 较高范围,40 ~ 100 cm 中层土壤脱盐程度加大, 100 ~ 140 cm 下层开始脱盐,脱盐率 2.95%,说明此 时处于整体脱盐状态,盐分向下不断迁移出观测区, 全剖面平均盐分质量比 5.6 g/kg,接近棉花作物耐 盐上限,基本适于耕作。滴灌 5 年后,全剖面脱盐进 一步加大,上层 0 ~ 40 cm 达到 90.38%,平均盐分质 量比 5.37 g/kg,40 ~ 60 cm 范围更是低于 5 g/kg, 100 ~ 140 cm 深层脱盐率达到 34.2%,呈现从表层 至深层不断降低的脱盐趋势,盐分也由表层到深层 逐渐降低,类似或接近改良型土壤盐分分布特点 (见图 6)。

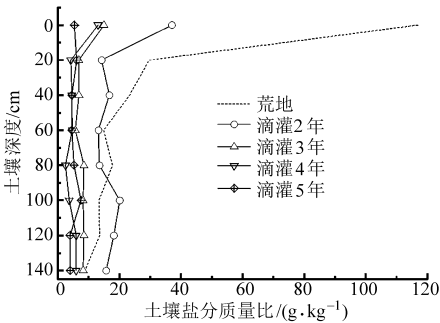


图 6 2008 年地块滴灌 5 年内不同年限 生育期末土壤盐分质量比均值

Fig. 6 Soil salinity at the end of different age fertility drip five years in 2008 plot

剖面盐分平均值的变化(图 6)随滴灌应用年限 逐渐由上大下小变化为上下均一的垂线状,这个过 程尤其在滴灌应用 2 ~ 4 年表现得比较明显。

因此,膜下滴灌在灌水特别是各年超量灌水作 用下,滴灌应用 0 ~ 5 年盐分总体呈降低趋势,这个 趋势又包含从上层向下层先下降后升高再降低的脱 盐积盐再脱盐的过程,上层始终脱盐,中层脱盐率由 小到大再到小,下层 100 ~ 140 cm 呈现先积盐后脱 盐,特别是在滴灌应用 2 年后积盐达到最高,滴灌应 用 4 年深层开始脱盐,之后脱盐力度加大,并逐渐接

近作物耐盐范围。

3 讨论

由于土壤水分是土壤盐分的溶剂和载体,田间 土壤盐分运移受土壤水分运动影响,但盐分运移过 程中,又不可能仅发生对流运移,对流和水动力弥散 共同作用^[18-19]。另外,在田间土壤中,大孔隙及裂 隙通常在土壤剖面垂直方向上发育良好,膜下滴灌 灌水后田间可能存在局部的优先流,因此,田间尺度 的盐分运移理论上通常是极度不一致的。

但本文研究发现,膜下滴灌棉花生育期内及随 着膜下滴灌应用年限的增加,土壤盐分不仅在滴灌 水分作用下发生一定的水平迁移,而且整体上表现 为剖面盐分不断垂直向下迁移,耕作层及观测范围 内的盐分均表现为逐渐降低。

这是因为盐分运移由微观尺度到宏观尺度的演 变是由膜下滴灌农田土壤多孔介质本身在不同尺度 下所体现出的不同空间变异程度所决定的。在极微 观尺度下,盐分主要在分子扩散及孔隙程度弥散作 用下运移的,这种运移在荒地自然条件下可能比较 显著,而对于膜下滴灌农田来说可能整体影响较小; 随着空间尺度的加大,盐分运移受土壤空间变异的 影响,特别是受膜下滴灌较大灌水定额的影响,盐分 运移对流作用突出并使其在纵向运移方向上相互产 生巨大差异(滴头下方运移最快,远离滴头运移减 慢),而这种差异一时难以被横向对流和弥散作用 所弥补,垂直方向盐分呈现降低变化^[18-19]。随着空 间、时间尺度的进一步加大,在膜下滴灌周期性灌水 作用下,由于多孔介质呈现宏观上的均一性,横向弥 散作用逐渐弥补盐分在横向上的浓度差异,使得宏 观上膜下滴灌棉田土壤盐分最终呈现整体降低趋 势。

正如本文研究表明的,膜下滴灌应用 5 年以内, 盐分逐渐向下迁移,而且不仅是内部的分布变化,而 且在内部重新分布变化的基础上逐渐降低。由于 2009—2012 年观测区深度均为 140 cm,以上研究分 析表明 140 cm 土层以内土壤盐分逐渐降低,盐分必 然迁移至观测区 140 cm 以下土层,为进一步研究盐 分向下迁移的情况,在 2012 年 10 月 8 日,在分别开 始应用膜下滴灌的 2008 年地块(连续滴灌应用 5 年)、2006 年地块(连续滴灌应用 7 年)、2002 年地 块(连续滴灌应用 11 年)生育期末取样深度扩展至 300 cm,相关盐分质量比分别见图 7 ~ 10。

图 7 ~ 9 表明,膜下滴灌分别应用 5 年、7 年和 11 年后,在原来的观测区 0 ~ 140 cm 深度范围,盐分 变化总体并不显著,特别是滴灌应用时间越长,不同

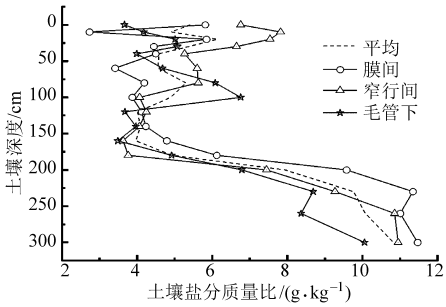


图 7 2008 年地块滴灌 5 年后土壤盐分(2012-10-8)

Fig. 7 Soil salinity content after drip irrigation
5 years in 2008 plot

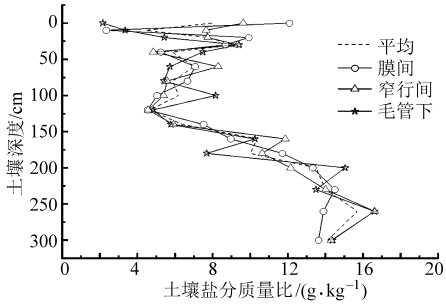


图 8 2006 年滴灌地块滴灌 7 年后盐分(2012-10-8)

Fig. 8 Soil salinity content after drip irrigation
7 years in 2006 plot

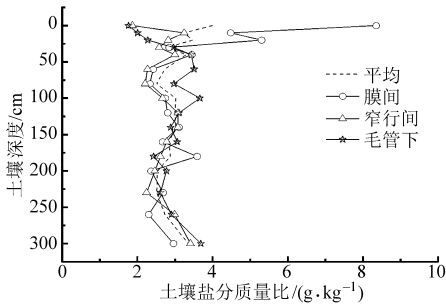


图 9 2002 年滴灌地块滴灌 11 年
后土壤盐分(2012-10-8)

Fig. 9 Soil salinity content after drip irrigation
11 years in 2002 plot

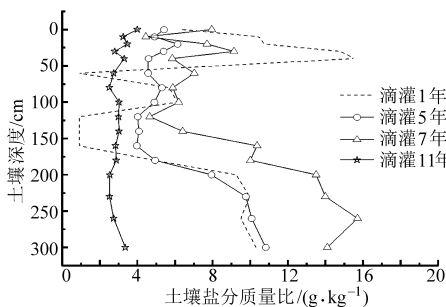


图 10 不同滴灌年限生育期末土壤盐分

Fig. 10 Soil salinity content after drip irrigation
different years

盐分差异则十分显著。滴灌应用 5 年的地块在 140 ~ 300 cm 范围,3 个取样点盐分均逐渐升高,同时仍表现为相同深度膜间盐分最高,膜内毛管下最低,说明盐分仍受灌水影响不断向下迁移,毛管下受到的影响最大,盐分继续向下和更深层次迁移的更多,随滴灌应用年限的增加,300 cm 深度范围以内的土壤盐分也必然逐渐降低,图 8 和图 9 充分证明了这一点。滴灌应用 7 年后 140 ~ 300 cm 范围土壤盐分尽管仍逐渐升高,但升高幅度相对较小,不同位置之间的差异也越来越小,至滴灌应用 11 年的地块,则在 0 ~ 300 cm 范围内除表层相对较高外,整体盐分分布呈典型的上下均一的垂线状分布,图 10 亦说明这一点。

膜下滴灌应用对农田土壤盐分的分布的影响,和长期耕作对绿洲农田开发的过程基本类似,剖面盐分平均值均呈现从荒地上大下小到上小下大,最后演化到上下均一的垂线状分布(见图 10),盐分总量逐渐降低,盐分聚集区逐渐下移,但膜下滴灌由于其自身特点使得这个变化过程又极具特色,是在滴灌水分辐射状分布的条件下带动盐分逐渐向膜间和深层不同扩散迁移,再进行向下迁移的这一特殊演化过程。

已有研究成果部分认为盐分升高,一方面是因为研究周期短,另一方面研究深度观测范围浅,还有一点研究区灌水定额小,理论灌水数据,而没采用实际生产灌水数据。

观测区加大到 300 cm 深度后,可以发现,滴灌应用 5 年后在 200 ~ 300 cm 范围明显积盐,滴灌应用 7 年后在 200 ~ 300 cm 范围积盐有所下降,趋于缓和,滴灌应用 11 年 0 ~ 300 cm 全剖面盐分趋于一条垂线,盐分整体降低到一个新的平衡状态,仅在表层受灌水蒸发影响出现波动,充分说明随膜下滴灌应用时间增长,田间剖面土壤盐分下降趋势明显并趋于稳定,可能至滴灌 10 年左右处于完全改良的平衡状态。

研究表明,土壤脱盐是现行灌溉制度过量灌溉造成的,由于干旱区灌溉农业必须要有一定的盐分淋洗水量,但盐分淋洗水量与灌溉水质、冲洗脱盐标准、土壤盐分含量及组成和作物种类有关,根据《美国国家灌溉工程手册》及文献[20]盐分淋洗水量的计算公式及方法,结合研究区实际情况,可计算盐分淋洗水量约占需水量的 4.5%,所需淋洗水量为 25.4 mm,灌溉定额为 563.3 mm,另据联合国粮农组织建议盐碱土盐分淋洗比例一般控制在灌溉定额的 10% ~ 15%,根据当地研究含量情况取上限 15% 计算的话,则总灌溉定额为 563.3 ~ 647.8 mm,

位置盐分差异越小,仅在表层差异相对较大,不同滴灌影响年限之间的差异也并不十分显著。而在 140 ~ 300 cm 深度范围,不同滴灌应用年限的地块

淋洗水量为 25.4 ~ 84.5 mm。若按照《灌溉排水工程学》中关于盐分冲洗定额的计算公式及方法,结合新疆研究区土壤特点及实践经验,棉花根区土壤耐盐标准按照含盐量 5 g/kg 计算,根据表 4 盐分含量,可计算出研究地块 1 m 土层 2009—2012 年苗期的盐分冲洗定额分别为 434.33、279.66、106.48 和 83.96 mm。而膜下滴灌棉田现行灌溉制度平均灌溉定额 847.71 mm,超出作物需水量 309.81 mm,苗期灌水量超出需水量 174.14 mm,这部分水量客观上起到了淋洗盐分的作用,但相对淋洗水量和滴灌 3 年以后的棉田冲洗定额而言仍具有较大的节约空间。综合考虑认为膜下滴灌棉田滴灌 5 年以上盐分淋洗水量亦控制在 80 mm 左右,灌溉定额可降至 618 mm 左右,并适当提高灌水频率,这与文献[21 - 22]结果类似。

4 结论

- (1) 新疆膜下滴灌棉田在现行灌溉制度下土壤盐分受灌水影响显著。灌水使土壤盐分不断向远离滴灌带的区域迁移,水平方向逐渐在膜间裸地聚集,垂直方向逐渐向下层运移,并在一定深度处聚集,聚集深度与灌水定额和滴灌年限相关。
- (2) 随滴灌应用年限增加,低盐区从毛管下附

近逐渐扩大至整个剖面观测区,盐分聚集区不断分化并减小,即使膜间的盐分也逐渐向下迁移并不断降低,剖面盐分随滴灌应用年限逐渐由上大小变化为上下均一的垂线状,这个过程尤其在滴灌应用 2 ~ 4 年表现的比较明显。膜下滴灌应用 5 年内盐分从上层向下层呈现脱盐积盐再脱盐的变化过程,滴灌应用 5 年后基本达到作物适宜耐盐含量。

(3) 膜下滴灌棉田盐分降低主要原因在于当地的灌溉制度,超额灌水客观上起到了淋洗盐分作用,现行灌溉制度显著改变了盐分自然分布特点,使得土壤盐分不断降低。盐分降低主要时期在出苗水后及花铃后期,即 4 月中下旬及 8 月下旬。随滴灌应用年限增加,膜下滴灌农田土壤盐分受灌水影响逐渐下降,滴灌应用 10 年左右 0 ~ 300 cm 深度土壤盐分呈铅垂线改良型分布特点。

(4) 研究区现行膜下滴灌灌溉定额超过棉花理论需水量 309.81 mm,在盐荒地应用滴灌 5 年内,该灌溉制度的超量灌水对于盐分淋洗起到了积极作用,但在滴灌应用 5 年以上土壤盐分淋洗水量约需 80 mm 左右,为节约水资源,现行膜下滴灌灌水制度应充分发挥膜下滴灌高频灌溉的技术特点,灌溉定额可降至 618mm 左右,适当减少灌水定额、增加灌水次数。

参 考 文 献

- 1 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[J].农业工程学报,2006,22(4):32 - 36.
Li Mingsi, Kang Shaozhong, Sun Haiyan. Relationships between dripper discharge and soil wetting pat tern for drip irrigation[J]. Transactions of the CSAE, 2006, 22(4): 32 - 35. (in Chinese)
- 2 吕殿青,王全九,王文焰,等.膜下滴灌水盐运移影响因素研究[J].土壤学报,2002,39(6):794 - 801.
Lü Dianqing, Wang Quanjiu, Wang Wenyan, et al. Factors affecting soil water movement and solute transport for film drip irrigation [J]. Acta Pedologica Sinica, 2002, 39(6):794 - 801. (in Chinese)
- 3 刘新永,田长彦.棉花膜下滴灌盐分动态及平衡研究[J].水土保持学报,2005,19(6):82 - 85.
Liu Yongxin, Tian Changyan. Study on dynamic and balance of salt for cotton under plastic mulch in south Xinjiang[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2005, 19(6): 82 - 85. (in Chinese)
- 4 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[J].干旱区地理,2000,23(2):177 - 181.
Tian Changyan, Zhou Hongfei, Liu Guoqing. The proposal on control of soil salinizing and agricultural sustaining development in 21's century in Xinjiang[J]. Arid Land Geography, 2000, 23(2):177 - 181. (in Chinese)
- 5 张伟,吕新,李鲁华,等.新疆棉田膜下滴灌盐分运移规律[J].农业工程学报,2008,24(8):15 - 19.
Zhang Wei, Lü Xin, Li Luhua, et al. Salt transfer law cotton field with drip irrigation under the plastic mulch in Xinjiang Region [J]. Transactions of the CSAE, 2008, 24(8): 15 - 19. (in Chinese)
- 6 周宏飞,马金玲.塔里木灌区棉田的水盐动态和水盐平衡问题探讨[J].灌溉排水学报,2005,24(6):10 - 14.
Zhou Hongfei, Ma Jinling. Studies on water-salt dynamics and balance of cotton crops land in tarim irrigation region[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2005, 24(6):10 - 14. (in Chinese)
- 7 王海江,王开勇,刘玉国,等.膜下滴灌棉田不同土层盐分变化及其对棉花生长的影响[J].生态环境学报,2010,19(10):2381 - 2385.
Wang Haijiang, Wang Kaiyong, Liu Yuguo, et al. Effects on cotton growth and salinity changes in different soil depth of drip irrigation in cotton field[J]. Ecology and Environmental Sciences, 2010, 19(10): 2381 - 2385. (in Chinese)
- 8 杨鹏年,董新光,刘磊,等.干旱区大田膜下滴灌土壤盐分运移与调控[J].农业工程学报,2011,27(12):90 - 95.
Yang Pengnian, Dong Xinguang, Liu Lei, et al. Soil salt movement and regulation of drip irrigation under plastic film in arid area [J]. Transactions of the CSAE, 2011, 27(12): 90 - 95. (in Chinese)

9 牟洪臣,虎胆·吐马尔白,苏里坦,等. 干旱地区棉田膜下滴灌盐分运移规律[J]. 农业工程学报,2011,27(7):18-22.
Mu Hongchen, Hudan·Tumarbay, Su Litan, et al. Salt transfer law for cotton field with drip irrigation under mulch in arid region [J]. Transactions of the CSAE, 2011, 27(7): 18-22. (in Chinese)

10 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[J]. 农业工程学报,2007, 23(2): 60-64.
Li Yuyi, Zhang Fenghua, Pan Xudong, et al. Changes of salt accumulation in soil layers with different landforms in Mamas River Valley in Xinjiang Region of China[J]. Transactions of the CSAE,2007, 23(2): 60-64. (in Chinese)

11 谭军利,康跃虎,焦艳萍,等. 不同种植年限覆膜滴灌盐碱地土壤盐分离子分布特征[J]. 农业工程学报,2008,24(6):59-63.
Tan Junli, Kang Yuehu, Jiao Yanping, et al. Characteristics of soil salinity and salt ions distribution in panting years [J]. Transactions of the CSAE,2008, 24(6): 59-63. (in Chinese)

12 谭军利,康跃虎,焦艳萍,等. 滴灌条件下种植年限对大田土壤盐分及 pH 值的影响[J]. 农业工程学报,2009,25(9):43-50.
Tan Junli, Kang Yuehu, Jiao Yanping, et al. Effects of cropping years on soil salinity and pH value in field under drip irrigation condition[J]. Transactions of the CSAE, 2009, 25(9): 43-50. (in Chinese)

13 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,2009,2(6):228-231.
Yin Bo, Liu Yantao. Spatial distribution and accumulation pattern of soil salinity with long term drip irrigation under plastic mulching[J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2009,2(6):228-231. (in Chinese)

14 李明思,刘洪光,郑旭荣. 长期膜下滴灌农田土壤盐分时空变化[J]. 农业工程学报,2012,28(22):82-87.
Li Mingsi, Liu Hongguang, Zheng Xurong. Spatiotemporal variation for soil salinity of field land under long-term mulched drip irrigation[J]. Transactions of the CSAE, 2012, 28(22): 82-87. (in Chinese)

15 孙林,罗毅. 长期滴灌棉田土壤盐分演变趋势预测研究[J]. 水土保持研究,2013,20(1):186-192.
Sun Lin, Luo Yi. Study on the evolution trends of soil salinity in cotton field under long-term drip irrigation[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2013,20(1):186-192. (in Chinese)

16 王振华,杨培岭,郑旭荣,等. 膜下滴灌系统不同应用年限棉田根区盐分变化及适耕性[J]. 农业工程学报,2014,30(4):90-99.
Wang Zhenhua, Yang Peiling, Zheng Xurong, et al. Soil salinity changes of root zone and arable in cotton field with drip irrigation under mulch for different years[J]. Transactions of the CSAE, 2014, 30(4): 90-99. (in Chinese)

17 张金珠. 北疆膜下滴灌棉花土壤水盐运移特征及耗水规律试验研究[D]. 乌鲁木齐:新疆农业大学,2010.
Zhang Jinzhu. Study on water-salt transport characteristics and water consumption of cotton under drip irrigation with film mulch in north Xinjiang[D]. Urumqi: Xinjiang Agricultural University,2010. (in Chinese)

18 李韵珠,李保国. 土壤溶质运移[M]. 北京:科学出版社,1998: 162-172.

19 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: 57-67.

20 陈小兵,杨劲松,杨朝晖,等. 基于水盐平衡的绿洲灌区次生盐碱化防治研究[J]. 水土保持学报,2007,21(3):32-37.
Chen Xiaobing, Yang Jinsong, Yang Zhaozhui, et al. Secondary salinization control based on hydro-salinity balance in oasis irrigation area[J]. Journal of Soil and Water Conservation,2007,21(3):32-37. (in Chinese)

21 Kang Yaohu, Wang Ruoshui, Wan Shuqin, et al. Effects of different water levels on cotton growth and water use through drip irrigation in an arid region with saline ground water of Northwest China[J]. Agricultural Water Management,2012,109: 117-126.

22 王峰,孙景生,刘祖贵,等. 不同灌溉制度对棉田盐分分布与脱盐效果的影响[J]. 农业机械学报,2013,44(12):120-127.
Wang Feng, Sun Jingsheng, Liu Zugui, et al. Effect of different irrigation scheduling on salt distribution and leaching in cotton field[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery,2013,44(12):120-127. (in Chinese)

Soil Salt Dynamics in Cotton Fields with Mulched Drip Irrigation
under the Existing Irrigation System in Xinjiang

Wang Zhenhua^{1,2} Yang Peiling¹ Zheng Xurong² He Xinlin² Zhang Jinzhu² Li Wenhao²
(1. College of Water Resources and Civil Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China
2. College of Water and Architectural Engineering, Shihezi University, Shihezi 832000, China)

Abstract: With the application of mulched drip irrigation, soil salt distribution and variation features in agricultural fields are catching attentions year by year. In the 121 Regiment of the Xinjiang Production and Construction Corps (XPCC), Shihezi City, Xinjiang which is a typical area with mulched drip irrigation, soil salts in cotton fields were monitored for 4 consecutive years. The results showed that soil salts were continuously transferred away from the irrigation lines by the irrigation water. Horizontally, the salts gradually accumulated towards the bare soil between films, while vertically, they moved gradually

towards deeper layers. Soil salt distribution in soil profiles changed from a wineglass shape (which was typical in wasteland and narrows down towards deeper soil layers) to a uniform vertical line with longer history of mulched drip irrigation. And this change was relatively pronounced from the 2nd to the 4th year of irrigation. After 4 years of irrigation , the soil at 140 cm below surface began to be desalinized and after 5 years of irrigation soil salt content was at a point that crops could tolerate. Soil salt content decrease was mainly affected by the local irrigation regime. Irrigation , especially large amounts of irrigation , changed the natural distribution features of salts. With periodic irrigation , soil salt content during crop growth period was relatively low and total soil salt content displayed decreasing trends. Soil salt content decreased mainly at the seeding stage and the late blossing and boll-forming stages. Soil salt content in the 0 ~ 300 cm layer also decreased gradually with longer history of drip irrigation. After about 10 years of irrigation , soil salt distributed in a modified form of a plumb line. For current drip irrigation regime , it was suggested that the irrigation amount for the blossing and boll-forming stages should be properly decreased to about 618 mm in fields with an irrigation history of over 5 years. However , a relatively large amount of irrigation water should be maintained for the seedling stage.

Key words: Xinjing cotton area Drip irrigation under mulch Soil salt Long-term monitoring
Irrigation schedule

(上接第 85 页)

Performance Experiment on Cyclone Separating Device Based on Off-centered Inlet Scoop

Zhou Xuejian¹ Yuan Huajie¹ Yan Weihong² Shi Qingxiang¹ Ma Meng¹ Li Yuhang¹
(1. College of Agricultural Engineering , Henan University of Science and Technology , Luoyang 471003 , China
2. China SINOMACH Heavy Industry Corporation , Beijing 100102 , China)

Abstract: Taking rice as the experiment subject , and making scoop offsetting from feed inlet to ensure the quality of cleaning , the influence of the rotation angle and offset distance of the off-centered inlet scoop on the performance of cyclone separating device was studied. Based on the result of this study , the orthogonal test and regression test were also carried out . Through the performance test on cyclone separating device , the following conclusions were obtained. When the diameter of the cyclone separating tube was $\Phi = 350$ mm , the rotation angle of off-centered inlet scoop was $\delta = 150^\circ$, the offset distance of inlet scoop was $d = 35$ mm , and the rotation speed of fan was $N_f = 1\,200$ r/min , the cleaning effect was as well favorable , and the cleaning rate was $Y_q \geq 99\%$ and the loss rate was $Y_s \leq 0.1\%$. Through the orthogonal test and regression test , the best structural parameters and motion parameters of the cyclone separating device were obtained as following : diameter of the grain export $\Phi = 160$ mm , rotation speed of the fan $N_f = 1\,157$ r/min , rotation speed of the winnower $N_y = 1\,065$ r/min , cleaning rate $Y_q = 99\%$, and loss rate $Y_s = 0.06\%$.

Key words: Combine harvester Cyclone separating Cleaning device Off-centered inlet scoop
Influence law