

# 塔里木河下游灌区灌溉方式转变对农田及其防护林

## 土壤水盐动态的影响

赵新风<sup>1</sup> 徐海量<sup>1,2†</sup> 严江平<sup>3</sup> 张鹏<sup>1</sup>

(1 中国科学院新疆生态与地理研究所绿洲生态与荒漠环境重点实验室, 乌鲁木齐 830011)

(2 新疆生态与地理研究所阿克苏水平衡试验站, 新疆阿拉尔 843300)

(3 库尔勒农二师 34 团林业工作站, 新疆库尔勒 841507)

**摘要** 通过分析塔里木河下游喀拉米吉镇绿洲大面积滴灌条件下的农田(3个棉田1个果园)与其防护林地土壤水盐分布特征,采用对比试验与野外监测方法,研究了当前滴灌体系对林网内农田及其防护林地的影响,分析防护林网内土壤水盐变化的主要因子。得出以下结论:(1)喀拉米吉镇绿洲,由于滴灌技术的普及,地下水埋深以 $0.5\text{ m a}^{-1}$ 的速度下降;地下水埋深具有季节性变化,在非灌溉季节地下水埋深较浅,在灌溉季节地下水埋深较深,与非灌溉季节相比,灌溉季节里地下水埋深平均下降了1 m以上。(2)由于喀拉米吉镇绿洲农田滴灌对土壤的影响深度不超过80 cm,灌溉水对地下水的补给量几乎为零,农田防护林根系只能从土壤深层吸收水分,导致了林地内土壤含水率显著低于农田( $p<0.01$ )。(3)当前 $5\ 250\text{ m}^3\text{ hm}^{-2}\text{ a}^{-1}$ 的棉田灌溉、 $7\ 000\text{ m}^3\text{ hm}^{-2}\text{ a}^{-1}$ 的果园灌溉,使0~60 cm的土壤盐分处于低盐状态,基本达到农田的脱盐要求;防护林地盐分均明显高于农田( $p<0.01$ ),为农田的2倍~3倍;林地内土壤盐分表聚作用明显:砂壤土地、砂土地、黏土地1、黏土地2内表层土壤盐值分别较其农田高79.3%、77.1%、80.6%、88.4%。(4)通过林地间土壤含水率、土壤盐分的比较,发现地下水埋深的不同是农田防护林地土壤水盐差异的主要因素,150 cm土体内,含水率高的林地其含盐量也高,含水率低的林地其含盐量也低。

**关键词** 塔里木河灌区;农田与;防护林;土壤水盐动态;可持续利用

**中图分类号** S275.6

**文献标识码** A

干旱区人类活动的主体是绿洲,干旱区生态用水主体对象也是绿洲<sup>[1]</sup>,而防护林又是维护绿洲的屏障。但是自2003年开始,塔里木河尾间绿洲——喀拉米吉绿洲内却出现防护林大面积死亡,究竟是什么原因造成绿洲防护林退化?根据调查了解,分析这与该地区地表水文过程改变有关。2002年以前,该绿洲内防护林主要与农田统一进行灌溉,采取大水漫灌、串畦淹灌等方法,一般无防渗、防漏措施,渠系的侧渗耗水强度大,渠系渗漏系数一般可达50%,防护林长势良好。自2002年起,由于推行节水灌溉,如防渗渠道、滴灌、喷灌、涌泉灌等,节水灌溉的规模从 $6.7\text{ hm}^2$ 增至 $5\ 703\text{ hm}^2$ ,增大了850倍,造成回归水量的减少,这是防护林死亡的重要原因。其次喀拉米吉绿洲是塔里木河尾间绿洲,位于极端干旱区,蒸发强烈,无有效降水,且由上游、中游地区带来的盐分造成地下水水质盐化、低洼地集盐严重<sup>[2]</sup>,由于缺乏灌溉,土壤中的水分以土壤蒸发的形式损失严重,使土壤中的盐分向地表聚积,更加不利于防护林的生长。为了弄清灌溉方式的转变对周边环境的影响,本文分析了喀拉米吉绿洲农田与其防护林地内土壤水盐分布及地下水埋深变化特征,从而确定农田灌溉是否对防护林进行水量补给,为研究绿洲防护林的稳定性提供依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区概况

研究区位于喀拉米吉镇绿洲(87.925 E, 40.701 N),属塔里木河下游的尾间绿洲,年均

\* 中国科学院西部行动计划项目(KZCX2-XB2-13)与国家自然科学基金项目(30970549、40971284)资助

† 通讯作者:徐海量(1971-),男,研究员,硕士生导师,主要从事干旱区生态环境方面的研究。E-mail: xuhl@ms.xjb.ac.cn

作者简介:赵新风(1981-),女,河北保定人,硕士研究生,研究方向为恢复生态学。E-mail: zxinfeng668@sina.com

收稿日期:2010-06-07;收到修改稿日期:2010-11-17

气温 10.5 °C，年均降水量 35.9 mm，年蒸发量 2 588 mm，东北向大风天气频繁，沙尘暴日数 8.2 d，风沙危害严重。由于塔里木河由于多年断流，下游荒漠区地下水位已下降至 8~12 m，研究区生态环境急剧恶化。

研究区 0~100 cm 的土层土壤盐分含量状况为：全盐 12.9 g kg<sup>-1</sup>；电导率 2.43 mS cm<sup>-1</sup>；pH (1:5) 7.8；有机质 13.7 g kg<sup>-1</sup>；全氮 0.85 g kg<sup>-1</sup>；全磷 0.61 g kg<sup>-1</sup>；全钾 16.8 g kg<sup>-1</sup>；速效氮 111.1 mg kg<sup>-1</sup>；有效磷 5.4 mg kg<sup>-1</sup>；速效钾 308.5 mg kg<sup>-1</sup>。

表 1 研究区年际降水与 6~8 月平均温度情况

Table 1 Annual precipitation and temperatures in June, July and August in the study area

年份 Year	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998
年降水量 Annual precipitation(mm)	12.3	59.8	59.5	24.6	64.6	17.2	23.5	18.7	18.2	43.4
6~8 月平均温度 Mean temperate of Jun to Aug(°C)	24.9	25.8	25.9	25.3	25.2	26.5	25.9	25.7	26.0	26.6

---

年份 Year	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
年降水量 Annual precipitation(mm)	40.1	28.9	3.4	18.5	31.2	28.5	42	42.5	45.3	50.5
6~8 月平均温度 Mean temperate of Jun to Aug(°C)	26.9	26.3	27.0	27.5	26.2	26.7	26.4	26.7	26.9	27.0

研究区地表水为塔里木河干流淡水。地下水区可分为地下全淡水区和上淡下咸区以及全咸水区，全咸水区的地下水电导率最高可达 27 mS cm<sup>-1</sup>。由于灌区几乎无降雨的补给，地下水开采量极大。虽然当地棉田与果园灌水为当地恰拉水库的淡水，但在平水、枯水年份，各种作物在灌溉季节争水，不得不采用开采地下咸水而进行淡咸水混合灌模式，为研究区增加了一定数量的盐分。地下水水质见表 2。

表 2 地下水水质情况

Table 2 Water quality of groundwater

生态井位 Well position	总碱度 Total alkalinity	总硬度 Total hardness	PH	矿化度 Mineralized degree								
	(mmol L <sup>-1</sup> )	(mmol L <sup>-1</sup> )		CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	
砂壤土棉田 Sand-loamy cotton field	8.19	36.10	7.16	17.04	0.00	0.50	8.03	2.07	0.19	0.32	0.08	5.51
砂土棉田 Sandy cotton field	2.92	6.40	6.70	1.94	0.00	0.18	0.76	0.29	0.04	0.05	0.03	0.54
黏土棉田 Clayey cotton field	2.83	7.49	6.56	2.26	0.00	0.17	0.45	0.84	0.04	0.07	0.03	0.57
黏土果园 Clayey orchard	3.18	5.94	6.42	1.59	0.00	0.19	0.39	0.46	0.05	0.05	0.03	0.40

## 1.2 研究方法

1.2.1 地下水位连续监测 沿绿洲东北方向由绿洲至荒漠打 11 口生态监测井，每半月进行

一次地下水位的调查监测，分析喀拉米吉镇绿洲地下水埋深的年内、年际变化规律。

**1.2.2 样地布置** 在研究区选取具有代表性的 4 个农田：3 块棉田和一块果园，作为实验样地。为了减少地理位置、土壤质地等所造成的误差，对选的样点有以下要求：农田有防护林网维护，且灌水制度相同；农田防护林长势相似。具体见表 3。

表 3 农田及其防护林情况

Table 3 Information of farmlands and their shelterbelts

农田 Farmland	农田所对应的防护林地 Corresponding woodland	土壤质地 Soil texture	棉田(果园)灌溉制度 Irrigation system ( $\text{m}^3 \text{hm}^{-2} \text{a}^{-1}$ )	防护林灌溉情况 Irrigation of shelterbelt	防护林林龄 Forest age (a)
砂壤土棉田 Sand-loamy cotton field	砂壤土防护林地 Sand-loamy shelterbelt	砂壤土 Sandy loam	5 250	3~5 年不灌	12
砂土棉田 Sandy cotton field	砂土防护林地 Sandy shelterbelt	砂土 Sand	5 250	3~5 年不灌	8
黏土棉田 Clayey cotton field	黏土防护林地 1 Clayey shelterbelt 1	黏土 Clay	5 250	3~5 年不灌	11
黏土果园 Clayey orchard	黏土防护林地 2 Clayey shelterbelt 2	黏土 Clay	7 000	3~5 年不灌	15

**1.2.3 防护林地土样采取** 研究区绿洲内灌溉用水为塔里木河干流的河水（淡水），棉田均采用膜下滴灌技术，安装有滴灌自动化系统，滴灌带毛管为直径 12 mm，灌溉量为  $5\,250 \text{ m}^3 \text{hm}^{-2} \text{a}^{-1}$ ；果园（香梨）为漫灌，灌溉量为  $7\,000 \text{ m}^3 \text{hm}^{-2} \text{a}^{-1}$ 。遵照当地的灌溉制度，4 个农田灌溉时间一致。农田及其防护林地土样采取时间集中于 2009 年 7 月 13 日至 15 日（灌后第 8~10 天），每块样地 7 个重复。

### 1.3 数据获得与处理

土壤湿度：用土壤含水率（质量比）表示，烘干法测定，土壤含水率 = (土壤鲜质量 - 土壤干质量) / 土壤干质量 × 100%。土壤盐分：采好的土样带回实验室后，烘干过筛，按照 1 : 5 的土水比浸提，用 DDS.307A 电导率仪测定。

兼用统计软件 Origin 7.0、Excel 2003、SPSS 13.0 进行绘图。

## 2 结果与分析

### 2.1 地下水埋深变化特征

在 2008 年~2010 年间，通过监测 4 口生态井的地下水埋深，分析地下水位变化趋势，如图 1 所示。从图中可以看出，灌区内地下水埋深具有季节性变化，夏季地下水埋深较深，冬季地下水埋深较浅，即在灌溉季节地下水埋深较深，在非灌溉季节地下水埋深较浅，且水位差为 1 m 以上。这与李新等<sup>[3]</sup>对塔里木盆地阿克苏水平衡站绿洲农田开垦种植以后监测到的地下水位随灌溉季节而变化，灌溉季节和非灌溉季节地下水位可相差 1.7 m 以上的结论一致。

滴灌免去了田间渠道系统，减少了蒸发、降低了农作物的灌溉水量，从而客观上有助于地下水位上升<sup>[4]</sup>。但是，通过图 1 看出，喀拉米吉镇绿洲夏季 2009 年较 2008 年同期水埋深有一定程度的下降，2 年内平均地下水埋深以  $0.5 \text{ m a}^{-1}$  的速度下降。笔者认为这与大面积推广节水灌溉有关。随着节水灌溉的推广，新的灌溉方式使单位面积灌溉量减少，但绿洲内地下水开采总量并未相应减少，节余下的水又被用于新开垦土地的灌溉，而新的灌溉方式又无法对地下水进行补给，造成该区域地下水位持续下降。

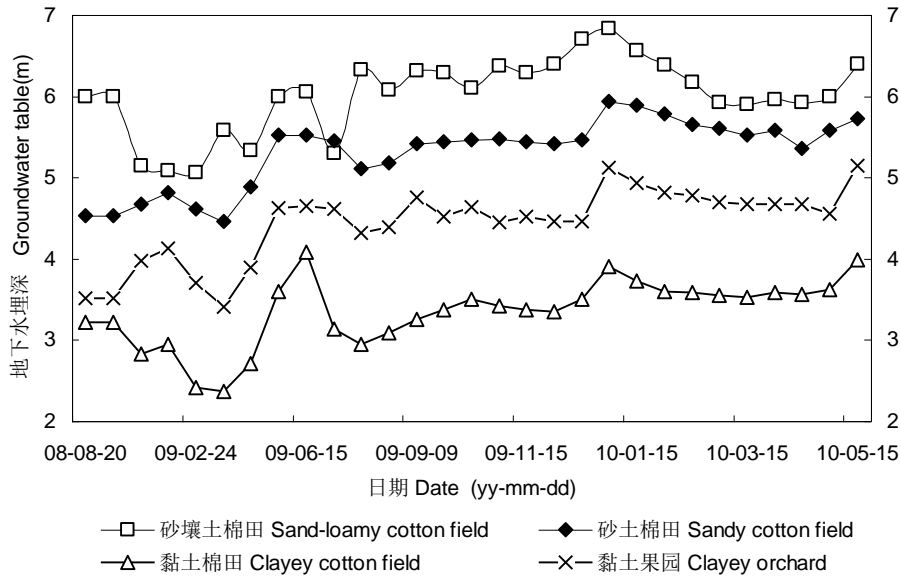
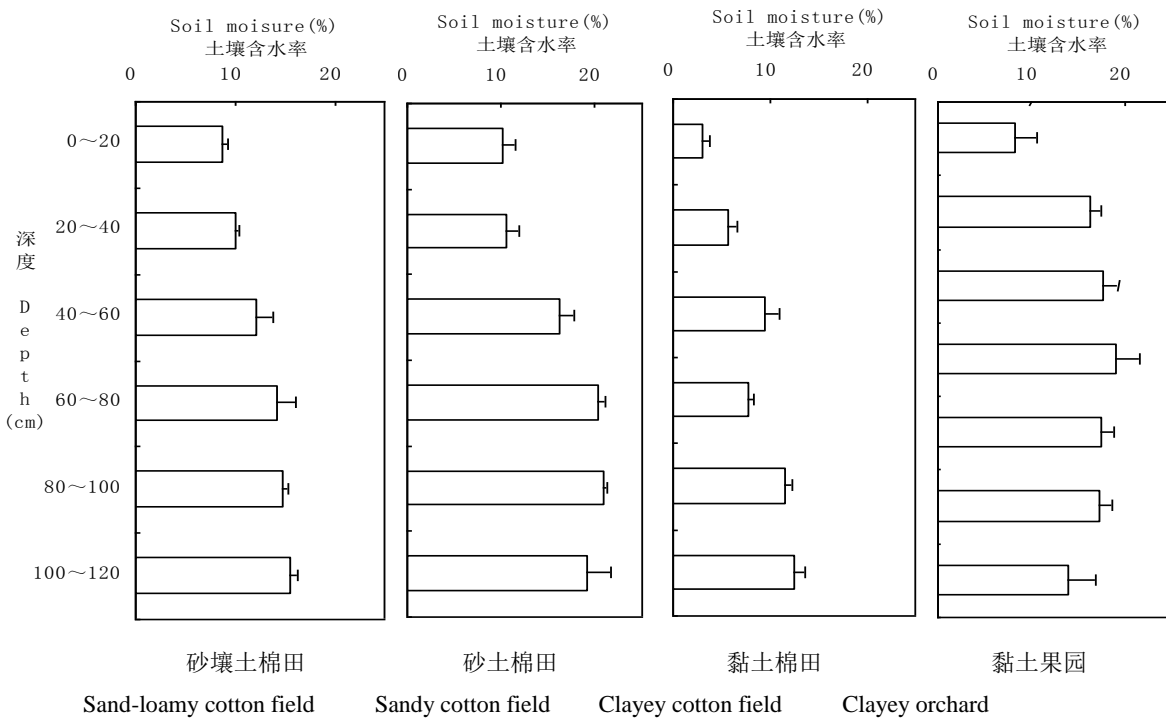


图 1 灌区农田地下水埋深的年际变化

Fig.1 Interannual variation of groundwater table in farmlands of the irrigation zone

## 2.2 农田与其防护林地土壤含水率特征

对 3 块棉田和一块果园在灌溉 8 d 后进行土壤取样，分析农田及其防护林地土壤含水率分布情况，如图 2、表 4 所示。



注：试验中 3 种棉田内的滴头流量、灌水量均一致 Note: There is consistent irrigation system in three cotton fields

图 2 农田土壤水分分布

Fig. 2 Soil moisture distribution in farmlands

表4 农田防护林地土壤水分分布

Table 4 Soil moisture distribution in farmland shelterbelts (%)

深度 Depth(cm)	砂壤土林地 Sand-loamy shelterbelt	砂土林地 Sandy shelterbelt	黏土林地 1 Clayey shelterbelt 1	黏土林地 2 Clayey shelterbelt 2
0~20	3.43±0.65	4.03±1.22	10.01±0.38	9.56±1.08
20~40	5.62±0.42	4.91±1.21	14.52±2.45	11.53±1.05
40~60	5.02±1.28	11.25±1.57	19.50±0.72	16.22±2.30
60~80	6.93±1.09	3.51±1.51	20.29±0.86	17.78±2.37
80~100	10.20±2.37	9.32±0.86	19.61±0.92	16.17±2.54
100~120	13.77±2.34	12.07±3.51	18.37±1.23	17.87±1.15
120~150	14.06±2.27	20.83±3.21	19.23±1.73	16.43±2.19

从图2看农田土壤水分特征,各农田均表现为表层、20~40 cm 土层含水率低。表层土壤含水率较低,主要由于表层土壤作为土壤水分速变层,是土壤与大气交换的媒介。20~40 cm 土层含水率低,主要由于从根系在土层中的垂直分布来看,约90%的根量集中在耕层0~40 cm 的土层中,而仅有约10%的根量分布于40 cm 以下。土样采集时间为7月中旬,正值植物生长旺期,蒸散量大。林地土壤水分同样表现出越接近地表,土壤含水率越少,土壤水也因外界干旱因素而散失。通常情况下,植物根系生物量的分布随土壤深度的增加而递减<sup>[5-6]</sup>,越到深处根系对土壤水分的作用越小,从而在表4中表现为越往深处林地土壤含水率值越大。

由表4看出砂(壤)土林地土壤水分空间异质性大,黏土林地水分空间异质性最小。由于滴灌方式自身的特征,要求无深层渗漏,各农田从中下部开始随着土壤深度的增加土壤含水率下降,黏土棉田、黏土果园下层土壤含水率分别较中层低17.2%、29.4%。可见,该绿洲灌溉系统只对棉田0~60 cm以及果园0~80 cm的土层起补水作用,滴灌对地下水的补给量几乎为零,对计划湿润层以外的土壤基本不提供水源。各林地0~80 cm的土壤含水率明显低于对应的农田( $p < 0.01$ )。农田防护林地土壤水分补给有两个来源:降水与毛管上升水,影响土壤蓄水量最直接的气象因子是降水量,降水量在很大程度上控制了土壤水分的多少<sup>[7-9]</sup>,但研究区年降水量仅36 mm,农田防护林耗水的唯一来源只能是地下水。土壤中水分和盐分的梯度格局也影响根系在土壤中的分布<sup>[10]</sup>,同时,土壤含水率的空间异质性往往受群落中植物地上部分及地下根系分布的异质性的影响<sup>[11-12]</sup>。采样时期为林木及其林下植被器官建成和旺盛生长阶段,土壤水分损失以植物蒸腾和土壤蒸发为主,土壤水消耗大于补给。人工植被,尤其是某些多年生深根植物不能很好地适应当地的生物气候条件,会在较短的时间里改变土壤水分和植被之间的动态平衡关系,导致生态的不可持续发展<sup>[13-14]</sup>。由表4可以看出,林地内60~100 cm土层土壤含水率较低,且在果园防护林中最为明显,主要是由于农田防护林内根系吸水范围在更深处,这可能与林木的树龄有关,较大的树木往往有较深的根系,这与阿拉木萨等<sup>[15]</sup>在研究不同种植年限的锦鸡儿林地的土壤水分动态变化时结果一致,即年限长的植被区土壤含水率均低于年限短的植被区。因此,林龄越大的林地,低贮水量土层应该在更深处,这与胡海波等<sup>[11]</sup>对海岸防护林土壤水分的研究一致。砂壤土林地、砂土林地、黏土林地1与黏土林地2分别在40~60、60~80、80~120、120~150 cm深处有一个含水率最低的土层。林带树木具有强烈的生物排水作用,能从土壤深层吸收大量水分,通过叶面的蒸腾作用,将水分散发至大气中,影响地下水的运动<sup>[16]</sup>。推测随着该绿洲地下水位的日益降低,毛管力也会微弱到满足不了根系的需求。因此,对农田防护林长年不灌这一举动只会加大林地内土壤水分的匮乏,使其地下水位持续下降,林地土壤含水率下降,农田防护林吸不到水而长势衰败,形成恶性循环。农作物防护安全得不到保障,而直接有碍于当地棉花、香梨、红枣的可持续性发展。美国Johnston等<sup>[17]</sup>认为:

滴灌虽然增加了水的有效性，但考虑到其引起的环境问题，应该有所限制地使用。

### 2.3 农田与其防护林地土壤盐分分布特征

对 3 块棉田和一块果园在灌溉 8 d 后进行土壤取样，分析农田及其防护林土壤盐分分布状况，如图 3、表 5 所示。

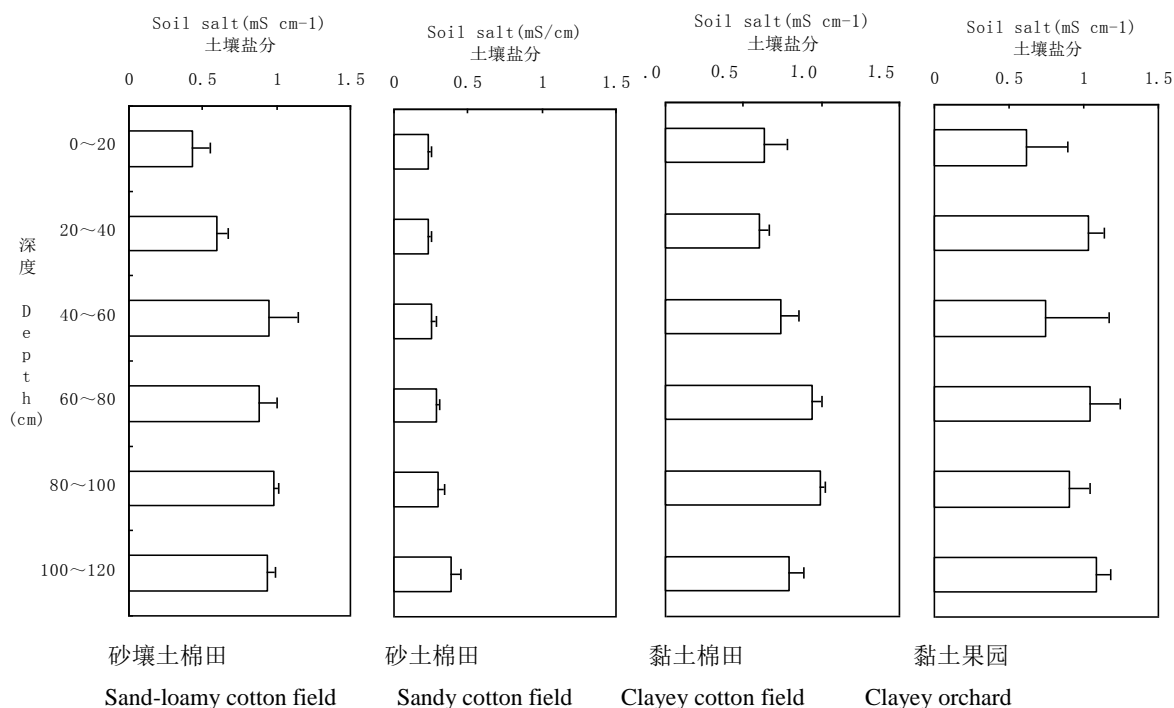


图 3 农田土壤盐分分布

Fig. 3 Soil salt distribution in farmlands

表 5 农田防护林地土壤盐分分布

Table 5 Soil salt distribution in farmland shelterbelts ( $\text{mS cm}^{-1}$ )

深度 Depth (cm)	砂壤土林地 Sand-loamy shelterbelt	砂土地林地 Sandy shelterbelt	黏土地林地 1 Clayey shelterbelt 1	黏土地林地 2 Clayey shelterbelt 2
0~20	2.07±0.17	1.02±1.22	3.29±0.38	5.31±0.38
20~40	1.34±0.17	0.69±0.18	2.28±0.25	2.46±0.12
40~60	1.50±1.28	0.80±0.12	2.54±0.18	2.39±0.27
60~80	1.19±0.19	0.45±0.05	2.43±0.34	2.34±0.16
80~100	1.19±0.18	0.77±0.24	2.39±0.15	2.01±0.32
100~120	1.84±0.18	0.73±0.15	2.57±0.30	2.15±0.19
120~150	1.51±0.32	1.22±0.33	2.30±0.53	2.00±0.19

喀拉米吉绿洲盐分积累的另一途径是：由于新疆土壤母质为少到中量含盐母质，在棉花生长过程中会吸收部分盐分到体内。在进行秸秆还田时，这些盐分被集中归还至土壤表层，客观上起到了生物积盐作用。砂质土壤，无论在棉田还是防护林地，土壤盐分均较低，主要是由于该地为2005年在绿洲-沙漠交界处的新垦荒地，土壤盐分积累年限较少所致。

棉田受滴灌的作用，盐分随滴水扩散速度减慢而慢慢积累在了湿润体外缘，所以在棉田 20~40 cm 或 40~60 cm 深处盐分积累程度加大，滴水下渗过程将盐分带入湿润区底部土层中聚集，但在砂壤土棉田 60~80 cm、黏土棉田 80~100 cm 土层中盐分积累程度逐渐减轻，可以推测 40~60 cm 土层是盐分的最大聚集区，因此，除了砂土棉田，滴灌对其他棉

田 60 cm 以下的土壤盐分作用很小，从而再一次证明了喀拉米吉绿洲农田滴灌对土壤的影响深度不超过 80 cm。

从图 3 可以看出，砂壤土棉田、砂土棉田、黏土棉田与黏土果园脱盐深度依次为 40、80、40、20 cm 深，可见滴灌条件下砂土农田的脱盐效果远远大于黏土农田，这可能是由于土壤颗粒粗、盐分容易渗漏导致。通过方差分析，农田间土壤盐分差异达极显著水平，而土层间盐分差异不显著。

最佳的灌溉应该满足作物的水分生理需求以及控制盐分在根系层土壤集聚的洗盐要求<sup>[6]</sup>。在当前棉田 5 250 m<sup>3</sup> hm<sup>-2</sup> a<sup>-1</sup> 的灌溉定额条件下、果园 7 000 m<sup>3</sup> hm<sup>-2</sup> a<sup>-1</sup> 的灌溉定额条件下，棉田主要根系层分布在 0~40 cm、果园主要根系层分布在 20~100 cm，该土层盐分含量均不高，可见当前灌溉制度起到了淋洗盐分作用。从滴灌对黏土棉田土壤水盐分布的作用影响来看，滴灌系统不只适用于棉田，可完全应用于果园。

由表 5 比较林地间土壤盐分含量，表聚强度由强至弱表现为：黏土林地 2 > 黏土林地 1 > 砂壤土林地 > 砂土林地。黏土林地 2 盐度分别较砂壤土林地与砂土林地高 61.1%、80.8%，黏土林地 1 盐度分别较砂壤土林地与砂土林地高 37.1%、69.0%。可能是由于不同质地地下水运动方向不一致以及林木根系吸水后的水分蒸发强烈程度不一致导致了不同质地林地盐分含量不同。

通过表 5 与图 3 对农田与其防护林地内土壤含盐量进行比较，通过方差分析，林地盐分均明显高于农田 ( $p < 0.01$ )。其中，除了砂壤土林地外，其他防护林内的土壤盐分均为农田的 2 倍~3 倍。对各农田与其防护林地内盐分进行比较，砂壤土林地、砂土林地、黏土林地 1、黏土林地 2 内 120 cm 土体累积土壤电导率值较其农田分别高 47.7%、61.8%、69.6%、67.3%。黏土林地 2、黏土林地 1、砂壤土林地、砂土林地内表层土壤电导率值较其农田分别高 88.4%、80.6%、79.3%、77.1%。农田灌溉过程中一部分咸水的输入、农田施肥等人为干扰的影响、滴灌免去了田间渠道系统、土壤连片种植、排碱渠失去作用等因素综合作用，加速了喀拉米吉镇内绿洲土壤盐分的积累。应采取井灌井排、机挖排渠以及刮除弃耕地地表积盐等一些措施进行排盐。加大灌水量既可以冲洗淋溶上层土壤的盐分，又能为林地适当补充必要的水分，因此，建议对农田防护林采取一年内一次大水漫灌<sup>[18]</sup>，防治防护林地的土壤盐碱化。

#### 2.4 农田防护林地土壤含水率与地下水埋深的关系

桑以琳<sup>[19]</sup>认为土壤中盐分的积累是盐分通过地下水分运动进行再分配的结果。到达潜水蒸发极限埋深时，游绿洲区土壤表层积盐过程停止<sup>[10]</sup>。前人研究得出塔里木河下游潜水蒸发极限埋深有不同，有 4.5 m<sup>[20]</sup>、5 m<sup>[21]</sup>、6 m<sup>[10]</sup>。樊自立等<sup>[22]</sup>认为当地下水埋深超过极限潜水埋深，地下水无法上行，水中盐分及深层土壤中的盐分则无法随地下水的上行带入土壤表层。由于研究区地下水埋深情况为：黏土林地 1 < 黏土林地 2 < 砂土林地 < 砂壤土林地（表 1），从表 6 中可以看出，防护林地地下水埋深越浅，150 cm 土体土壤含水率越高，地下水埋深越深，150 cm 土体土壤含水率越低。计算林地内的土壤含水率与地下水埋深的相关系数， $R^2 = -0.5972$ 。可能是由于降雨量远小于蒸散发，地下水的补充是该地区植被消耗水分的重要来源，地下水经植物吸收及表土蒸发而上行。防护林地地下水埋深越浅，150 cm 土体土壤含盐量越高，地下水埋深越深，150 cm 土体土壤含盐量越低。

表 6 农田防护林地土壤水分与盐分随地下水埋深的变化

Table 6 Variation of soil water and salt with change in groundwater table in farmlands shelterbelts

指标 Index	0~150 cm 土体平均土壤含水率 Average water content of soil 0~150 cm (%)	0~150 cm 土体平均土壤盐度 Average salinity of soil 0~150 cm (mS cm <sup>-1</sup> )	地下水埋深 Groundwater table (m)
砂壤林地	8.43	1.52	5.90

Sand-loamy shelterbelt			
砂土地			
Sandy shelterbelt	9.42	0.74	5.00
黏土地 1			
Clayey shelterbelt 1	17.36	2.58	3.10
黏土地 2			
Clayey shelterbelt 2	15.08	2.78	4.10

### 3 结 论

1) 2008年~2010年, 喀拉米吉镇地下水埋深以 $0.5 \text{ m a}^{-1}$ 的速度下降, 地下水埋深呈季节性变化, 与非灌溉季节相比, 灌溉季节里地下水埋深平均下降了1 m以上。

2) 由于喀拉米吉镇绿洲农田滴灌对土壤的影响深度不超过80 cm, 棉田灌溉制度根本无力提供防护林根系所需的水分, 而且砂壤土地、砂土地、黏土地1与黏土地2分别在40~60、60~80、80~120、120~150 cm 处有一个含水率最低的土层。

3) 当前 $5\ 250 \text{ m}^3 \text{ hm}^{-2} \text{ a}^{-1}$ 的棉田灌溉、 $7\ 000 \text{ m}^3 \text{ hm}^{-2} \text{ a}^{-1}$ 的果园灌溉, 使棉田0~40 cm、果园0~60 cm的土壤盐分处于低盐状态, 基本达到了农田的脱盐要求。防护林地盐分较高, 为农田的2倍~3倍。林地内土壤盐分表聚作用明显: 砂壤土地、砂土地、黏土地1、黏土地2内表层土壤电导率分别较其农田高79.3%、77.1%、80.6%、88.4%。

4) 地下水埋深的不同是农田防护林地土壤水盐差异的一个主要因素。150 cm的土体含水率高的林地其含盐量也高, 含水率低的林地其含盐量也低。

### 参 考 文 献

- [1] 贾宝全,许英勤.干旱区生态用水的概念和分类——以新疆为例.干旱区地理, 1998, 21(5):8-12. Jia B Q, Xu Y Q. The conception of the eco-environmental water demand and its classification in arid land——Taking Xinjiang as an example (In Chinese). Arid Land Geography, 1998, 21(5):8-12
- [2] 樊自立,马映军.中国西部地区耕地土壤盐渍化评估及发展趋势预测.干旱区地理, 2002, 25(2): 97-102. Fan Z L, Ma Y J. Assessment and prediction of developing trend of soil salinization of the cultivated land in west China (In Chinese). Arid Land Geography, 2002, 25(2): 97-102
- [3] 李新,杨德刚.塔里木河上游水资源利用效率分析.干旱区研究, 1997, 19(1): 23-26. Li X, Yang D G. Analysis on the utilization efficiency of water resources in the upper reaches of Tarim River,Xinjiang (In Chinese). Arid Area Research, 1997, 19(1): 23-26
- [4] 吕殿青,王全九,王文焰,等. 土壤盐分分布特征评价.土壤学报, 2002, 39(5):720-725. Lv D Q, Wang Q J, Wang W Y, et al. Evaluation of the soil salt distribution characteristics (In Chinese). Acta Pedologica Sinica, 2002, 39(5): 720-725
- [5] Zhou Z C, Shangguan Z P. Vertical distribution of fine roots in relation to soil factors in *Pinus tabulaeformis* Carr. forest of the Loess Plateau of China. Plant Soil, 2007, 291(1/2):119-129
- [6] David R T, Andrew B C. Manipulation of density of *Pseudotsuga menziesii* canopies: Preliminary effects on understory vegetation. Canadian Journal of Forest Research, 2001, 31(9):1 513-1 525
- [7] Wendroth O, Pohl W, Koszinski S, et al. Spatial temporal patterns and covariance structures of soil water status in two Northeast German field sites. Journal of Hydrology, 1999, 215(1/4):38-58
- [8] Qiu Y, Fu B J, Wang J, et al. Soil moisture in relation topography and land use in a hillslope catchment of the Loess Plateau, China. Journal of Hydrology, 2001, 240(3/4):243-263
- [9] 刘思春,吕家珑,张一平,等. 非饱和条件下土壤水运动与热力学关系研究.土壤学报, 2000, 37(3):388-395. Liu S C, Lv J L, Zhang Y P, et al. Study on relationship of water movement and thermodynamic function in unsaturated soil (In Chinese).Acta Pedologica Sinica, 2000, 37(3):388-395



- [10] 周洪华,陈亚宁,李卫红. 新疆铁干里克绿洲水文过程对土壤盐渍化的影响.地理学报, 2008, 63(7): 714-724. Zhou H R, Chen Y N, Li W H. Effect of oasis hydrological processes on soil salinization of Tikanlik oasis in the lower Tarim River (In Chinese).Acta Geographica Sinica, 2008, 63(7): 714-724
- [11] 胡海波,陈金林,梁珍海. 苏北淤泥质海岸防护林土壤水分的研究.中国生态农业学报, 2002, 10(4):24-27. Hu H B, Chen J L, Liang Z H. Study on soil moisture content of protective forest in silting coastal area of Jiangsu Province (In Chinese).Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2002, 10(4):24-27
- [12] Russell L S, Watts C. The understory and overstory partitioning of energy and water fluxes in an open canopy, semiarid woodland. Agricultural and Forest Meteorology, 2003, 114(3/4):127-139
- [13] Congbin F. Potential impacts of human-induced land cover change on East Asia monsoon.Global and Planetary Change, 2003,37(3-4): 219-229
- [14] Kelly R, Walker B. The effects of different forms of land use on the ecology of a semi-arid region in south-eastern.The Journal of Ecology,1976,(6): 553-555
- [15] 阿拉木萨,蒋德明,范士香,等.人工小叶锦鸡儿(*Caragana microphylla*)灌丛土壤水分动态研究.应用生态学报, 2002, 13(12):1 537-1 541. Alamusa, Jiang D M, Fan S X, et al. Soil moisture dynamics under artificial *Caragana microphylla* shrub (In Chinese). Chinese Journal of Applied Ecology, 2002, 13(12):1 537-1 541
- [16] 赵可夫,冯立田.中国盐生植物资源[M].北京:科学出版社,2001. Zhao K F, Feng L T. Halophytes resources in China(In Chinese). Beijing: Science Press, 2001
- [17] Johnston T R R, Kromm D E, Byrne J M. On-farm water conservation practices in southern Alberta. Journal of the American Water Resources Association, 2001, 37(3): 737-750
- [18] 杨红梅, 徐海量, 牛俊勇. 干旱区滴灌条件下防护林次生盐渍化土壤水盐运移规律研究. 土壤学报, 2010, 47(5):1 023-1 027. Yang H M, Xu H L, Niu J Y. Soil water and salt transport in secondary salinized soil under shelterbelt using drip irrigation in arid zone (In Chinese). Acta Pedologica Sinica, 2010, 47(5):1 023-1 027
- [19] 桑以琳.内蒙古河套灌区碱化土壤的发生原因和特性.土壤学报, 1996, 33(4):398-404. Sang Y L. Formation properties and characteristics of alkalized soil in the Hetao irrigation district of Nei Mongol (In Chinese).Acta Pedologica Sinica, 1996, 33(4):398-404
- [20] 宋郁东,樊自立.中国塔里木河水资源与生态问题研究.乌鲁木齐:新疆人民出版社, 2000. Song Y D, Fan Z L. Research of eco-water table and rational depth of groundwater of Tarim River drainage basin (In Chinese).Urumqi: Xinjiang People's Publishing House, 2000
- [21] 叶朝霞,陈亚宁,李卫红.基于生态水文过程的塔里木河下游植被生态需水量研究.地理学报, 2007, 62(5):451-461. Ye Z X, Chen Y N, Li W H. Ecological water demand of vegetation based on eco-hydrological processes in the lower reaches of Tarim River (In Chinese).Acta Geographica Sinica, 2007, 62(5):451-461
- [22] 樊自立, 马英杰, 张宏, 等. 塔里木河流域生态地下水位及其合理深度确定. 干旱区地理, 2004, 27(1): 8-13. Fan Z L, Ma Y J, Zhang H, et al. Research of eco-water table and rational depth of groundwater of Tarim River drainage basin (In Chinese). Arid Land Geography, 2004, 27(1):8-13

## Impact of changes of irrigation pattern on salt-water dynamics of soils in farmland and its shelterbelt in the irrigated zone in the lower reaches of Tarim River

Zhao Xinfeng<sup>1</sup> Xu Hailiang<sup>1,2</sup> Yan Jiangping<sup>3</sup> Zhang Peng<sup>1</sup>

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

(2 Water Balancing Test Station of Chinese Academy of Sciences, Aral, Xinjiang 843300, China)

(3 34 Group, Second Division of Forest Workstation in Korla, Xinjiang 841507, China)

**Abstract** After comparative analysis of the distribution characteristics of soil water and salt in farmlands

( 3 cotton fields and 1 orchard) and their shelterbelts in drip irrigation prevailing Kalamiji Oasis in the lower reaches of Tarim River, Northwest China through comparative tests and field monitoring, effects of the current drip irrigation pattern on farmlands within forest networks and their shelterbelts and main factors affecting salt-water dynamics in the soil within the forest network were studied and analyzed with the following conclusions obtained. (1) In Kalamiji oasis, the groundwater table in the fields lowers at a rate of  $0.5 \text{ m a}^{-1}$  as a result of popularization of drip irrigation and varies seasonally; it is relatively shallow in non-irrigation season and relatively deep in irrigation season; and over 1 m deeper in the latter than in the former. (2) As the impact of drip irrigation on soil never goes deeper than 80 cm, the irrigation supplies little water, almost nil, to groundwater, while the roots of farmland shelterbelt have to go deep into the soil to absorb water, thus leading to significantly lower soil water content in the shelterbelt than in farmland ( $p < 0.01$ ). (3) The current irrigation rate,  $5\ 250 \text{ m}^3 \text{ hm}^{-2} \text{ a}^{-1}$  in the cotton field and  $7\ 000 \text{ m}^3 \text{ hm}^{-2} \text{ a}^{-1}$  in the orchard are adequate to keep the soil (0~60 cm) low in salinity and basically satisfying the requirements of farmland desalination; but, in shelterbelt land soil salinity is obviously higher or 2~3 times higher than in farmland ( $p < 0.01$ ); surface accumulation of soil salts is apparent; as a result, the conductivity is 79.3%, 77.1%, 80.6% and 88.4% higher in loamy forest land, sandy forest land, clayey forest land 1 and clayey forest land 2 than in farmlands, respectively. (4) Comparison in soil water and salt contents between shelterbelt lands shows that the difference in depth of the groundwater table is the main factor for difference in soil water and salt content and consequently, forest lands, high in water content, are high in salinity, and vice versa in the 0~150 cm soil layer.

**Key words** Tarim River irrigated zone; Farmland; Shelterbelt; Soil water-salt dynamics; Sustainable use