

# 渭干河灌区灌排管理与水盐平衡研究

陈小兵<sup>1,2</sup>, 杨劲松<sup>1\*</sup>, 杨朝晖<sup>3</sup>, 胡顺军<sup>4</sup>, 刘广明<sup>1</sup>

(1. 中国科学院南京土壤研究所, 南京 210008; 2. 中科院烟台海岸带可持续发展研究所, 烟台 264003;  
3. 山东省农药研究所, 济南 250100; 4. 中国科学院新疆生态与地理研究所, 乌鲁木齐 830011)

**摘要:** 灌排管理不当是干旱地区灌区土壤次生盐碱化发生和扩展的主要原因。该文以新疆渭干河灌区为例, 利用多年的水盐监测资料, 采用水盐平衡方法, 确定了渭干河灌区的临界排灌比为 9.19%, 并深入讨论了确定排灌比的主要影响因素和在灌区灌排实际管理中的应用问题; 通过对耕地和新垦荒地盐分动态的对比分析, 表明干排盐措施在渭干河灌区具有可行性和必要性; 探讨了节水条件下的灌区土壤盐分管理, 指出在灌溉规模的一定的条件下, 提高田间水分利用效率和保持必要的淋洗比是实现灌区土壤盐分平衡的关键。该研究对于干旱半干旱区灌溉农业的可持续发展具有指导意义。

**关键词:** 水盐均衡; 排灌比; 干排盐; 渭干河灌区

中图分类号: T156.4

文献标识码: A

文章编号: 1002-6819(2008)-4-0059-07

陈小兵, 杨劲松, 杨朝晖, 等. 渭干河灌区灌排管理与水盐平衡研究[J]. 农业工程学报, 2008, 24(4): 59-65.

Chen Xiaobing, Yang Jingsong, Yang Zhaohui, et al. Irrigation-drainage management and hydro-salinity balance in Weigan River Irrigation District[J]. Transactions of the CSAE, 2008, 24(4): 59-65. (in Chinese with English abstract)

## 0 引言

土壤盐碱化是干旱半干旱地区一种非常重要的土壤退化类型和过程, 也是造成土地荒漠化的一个重要原因, 土壤盐碱化问题一直是该地区农业持续发展的重大威胁, 近期又成为农业环境保护的热点<sup>[1]</sup>。在与土壤盐碱化与次生盐碱化的长期斗争中, 人们在田块尺度上的土壤盐分类型与动态的定量刻画、成因分析及治理方面取得了较多的成果<sup>[2]</sup>; 在流域尺度上, 则以对土壤次生盐碱化发生与演化成因的定性分析较多, 在灌区尺度上的盐分平衡和灌排管理的定量研究上比较缺乏<sup>[3, 4]</sup>。现有的研究成果已无法满足当前以灌区为基本单位的灌排管理、盐碱地的防治和节水改造的需求, 定量分析水资源不同利用方式下的土壤盐分空间运移与聚积规律, 寻求稳定的盐分防治方法成为当前的研究重点<sup>[5]</sup>。

本文以新疆渭干河灌区为例, 以水盐均衡原理为依据, 计算了临界排灌比, 分析了在灌排工程等措施下灌区土壤盐分的运移与分布特点, 重点探索了干排盐在维

持耕地盐分平衡中的重要作用, 本文研究成果可为西北内陆灌区的水土资源的合理开发, 尤其是为土壤次生盐碱化的防治提供借鉴。

## 1 研究区概况

渭干河灌区地处天山南麓、塔里木盆地北缘的渭干河冲洪积平原, 库车、新和、沙雅三县大致呈北—南方向分布。灌区整体地势北高南低, 平均海拔 920~1100 m, 坡降为 1%~4%。灌区属大陆性暖温带极端干旱气候, 多年年均降水量为 51.6 mm, 水面蒸发量为 1750~1960 mm ( $\Phi 20$  cm 蒸发皿观测值)。灌区地下水具有较强的地带性规律, 在冲积扇的上部, 地下水矿化度在 1 g/L 左右; 在冲积扇的中部, 地下水矿化度为 1~3 g/L; 至冲积扇的下部及扇缘地区, 矿化度为 5~10 g/L。在土壤质地以轻壤和砂壤为主, pH 值 7.9~8.0, 偏碱性, 土壤盐分含量的空间变异性大, 主要与地形地貌和土地利用类型有关, 土壤耕作层含盐量一般为 3~6 g/kg, 局部地区土壤含盐量 6~10 g/kg, 夹荒地含盐量一般为 20 g/kg 左右, 盐分类型多以氯化物、硫酸盐为主。非盐化土主要分布于河道及大型灌渠或有完善灌排系统的土地上, 但在非盐化土区内也有零星的轻盐化土、甚至中、重盐化土分布; 重盐化土面积为 26%, 主要分布在非农区、荒地。

渭干河灌区土地总面积约为 4130 km<sup>2</sup>, 土地利用类型包括农田、林地和荒地、草滩、洼地等, 根据灌溉差异, 整个区域又可划分为农区(农田、林地)和非农区(草滩、洼地、荒地)两大类。随灌区内部灌排系统的完善和经济的发展与人口增加, 土地利用的格局呈现出一定的变化, 主要表现为耕地的增加和荒地与水面的减

收稿日期: 2007-04-04 修订日期: 2007-12-10

基金项目: 国家自然科学基金项目 40771097; 中国科学院知识创新工程重要方向项目课题(kzcx2-yw-406-3); 国家科技支撑计划课题(2006BAD05B04); 国家科技支撑计划课题(2007BAC17B04); 国家 863 计划重点项目课题(2006AA100207)

作者简介: 陈小兵(1974—), 男, 山西人, 博士, 助理研究员, 研究方向为农业水土资源管理及环境影响评价。烟台 中科院烟台海岸带可持续发展研究所, 264003。Email: xbchen@yic.ac.cn

\*通讯作者: 杨劲松(1959—), 研究员, 博士生导师, 主要研究领域为土壤盐渍化防控和盐渍土资源利用。南京 中科院南京土壤研究所, 210008。Email: jsyang@issas.ac.cn

少(表1),增加耕地的面积主要由荒地转化而来。

表1 渭干河灌区1993~1996年各类土地利用状况  
Table 1 Land use status from 1993 to 1996  
in Weigan River Irrigation District

土地利用类型	1993		1994		1995		1996	
	面积/km <sup>2</sup>	比例/%	面积/km <sup>2</sup>	比例/%	面积/km <sup>2</sup>	比例/%	面积/km <sup>2</sup>	比例/%
水面	153.5	3.72	139	3.37	124.5	3.01	109.8	2.66
农田、林地	1276	30.89	1366	33.07	1456	35.25	1546	37.43
草滩、洼地	257.6	6.24	272.1	6.59	286.6	6.94	301.3	7.29
荒地	1300	31.47	1210	29.30	1120	27.12	1030	24.94
未利用地	913	22.10	913	22.10	913	22.10	913	22.10
城镇用地	230.2	5.57	230.2	5.57	230.2	5.57	230.2	5.57

灌区农业完全依赖于灌溉,地下水开采量很小,灌溉水主要引自渭干河,其多年平均径流量 $22.1 \times 10^8 \text{ m}^3$ ,变差系数为0.12。灌溉方式多为常规的沟灌和畦灌,大水漫灌也普遍存在。种植作物以棉花、小麦和玉米为主。

## 2 灌区总体盐量均衡与排水分析

### 2.1 盐量总量均衡原理

灌区的盐分均衡方程一般多表达为下式<sup>[6]</sup>:

$$\Delta S = S_i - S_o \quad (1)$$

其中

$$S_i = V_i C_i \quad (2)$$

$$S_o = S_d + S_p = V_d C_d + A_c S_c + A_n S_n \quad (3)$$

式中  $S_i$ 、 $S_o$ 、 $V_i$ ——灌区总进盐量、排盐量、灌溉水量,单位分别为 $10^4 \text{ t}$ 、 $10^4 \text{ t}$ 、 $10^8 \text{ m}^3$ ;  $C_i$ ——灌溉水平平均浓度,  $\text{g/L}$ ;  $V_d$ 、 $C_d$ 、 $S_d$ ——灌区排出总水量、平均浓度、排水排盐量,单位分别为 $10^8 \text{ m}^3$ 、 $\text{g/L}$ 、 $10^4 \text{ t}$ ;  $A_c$ 、 $A_n$ ——耕地和非耕地面积,  $\text{hm}^2$ ;  $S_p$ ——植物吸盐量,  $10^4 \text{ t}$ ;  $S_c$ 、 $S_n$ ——单位面积耕地和非耕地植物吸盐量,  $10^4 \text{ t}$ 。

$DS > 0$ ,说明灌区是积盐状态;  $DS = 0$ ,说明灌区排盐量与进盐量是平衡状态;若  $DS < 0$ ,则说明灌区是脱盐状态。水盐平衡分析结果不仅可以判别灌区积盐或脱盐的发展趋势,也可为排水系统效果的分析提供基本资料,为灌排系统的调整提供必要的依据。

### 2.2 灌区盐分运移

盐分运移与水的运移密切相关,灌区的土壤盐分在地表径流、地下径流和蒸发的作用下不断进行着再分配。已有研究表明,灌区的盐分补给与排泄主要取决于引水量和排水量<sup>[7]</sup>。因此,下面主要从灌溉与排水的角度对灌区的引排盐特征进行分析。

#### 2.2.1 灌区引盐特征

经渭干河引水总干渠流引入该灌区年水量变化不大,基本稳定在 $24.0 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$ ,矿化度年际变化也较小,在 $0.33 \sim 0.40 \text{ g/L}$ ,水化学类型主要为 $\text{HCO}_3\text{-Ca}$ ,为较好的

农业灌溉用水。矿化度的月平均变化与流量有较大的相关性,洪水期较小,一般在 $0.24 \text{ g/L}$ ,多出现在7、8月份;枯水期变大,最高达 $0.54 \text{ g/L}$ ,多出现在5、6月份。

灌区引入的盐分随引水量的增加而加大,但两者呈非线性关系,引水量越大,则矿化度相对较低,引入盐量增大的比例随引水量的增大而略有减小(图1)。虽然渭干河的矿化度不大,但由于年引水量达 $24 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$ 左右,则带入灌区的盐分也在 $90 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{a}$ 上下波动。受春季灌水压盐和6、7月份农田灌溉集中引水的影响,引入的盐量在年内出现双峰(图2),其余月份变化不大。

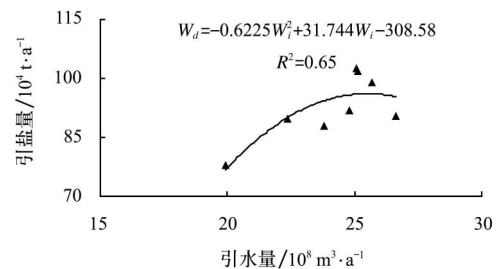


图1 灌区引水量与引盐量关系

Fig.1 Relationship between the diverted water and salt load in Weigan River irrigation district

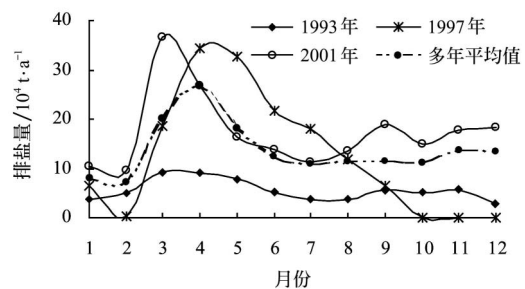


图2 灌区地表水月引盐量

Fig.2 Monthly salt load in surface water in Weigan River irrigation district

#### 2.2.2 排水排盐特征

灌区排水主要是由地表水转化而来,故排水的水量与水质均受到灌溉的显著影响。河水经渠道、河道、平原水库及田间入渗补给地下水,通过水平径流进入排水明沟排出,排水在形成过程中,其含盐成分又与当地的土壤、地下水进行了积极的交换与转化,使得排水具有鲜明的地带性特点。

排水月峰值流量出现的时间与灌溉和灌区所处的位置有关。排水高峰多出现在大量灌溉以后,位于灌区上部的新和县、库车县的排水渠大多在每年的3~4月份出现第一个排水高峰,部分断面在7~9月份出现第二个排水高峰(图3),3~4月的月排水量高峰除主要受春季灌溉洗盐的控制外,还与因土壤解冻而大量被溶解的冻结水再次补给地下水有关;位于灌区下游的沙雅县,则在每年的11~12月份还出现一次排水高峰,可能是冬灌的农田退水所形成。比较图2、图3可知,年排水量随着排

水工程的实施而增大，且与引水量呈正相关关系。由此也说明，引入的水量过多，必然造成引入灌区的盐分加大，同时也加大了排水的压力与成本。

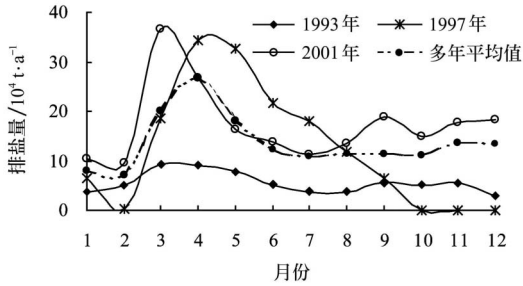


图 3 渭干河灌区月排盐量

Fig.3 Monthly salt drainage in Weigan River irrigation district

排水的盐分组成中阴离子主要以  $Cl^-$  为主，其次是  $SO_4^{2-}$ ；阳离子以  $Na^+$  为主， $Mg^{2+}$  较少，排水的水化学特征与当地土壤盐分特征有较大的相关性。排水的矿化度一般较高，绝大多数都在  $3.0\text{ g/L}$  以上，部分超过  $10\text{ g/L}$ ，排水水质在空间上的变异主要受所处水文地质单元和排水渠所控制耕地的土壤含盐量的控制。同时，排水渠运行时间的长短也影响排水水质（图 4），运行时间长（一般在 20 年以上）的排水渠，排水的矿化度较小，年际变化也较小；运行时间较短的排渠（一般在 10 年以下），排水的矿化度较大，达  $10\text{ g/L}$  以上，高者甚至超过  $20\text{ g/L}$ ，但随着时间的推移，排水矿化度变小，且趋于稳定。排水水质随时间的变化特征也反映了维护排水渠稳定运行的重要性和必要性。

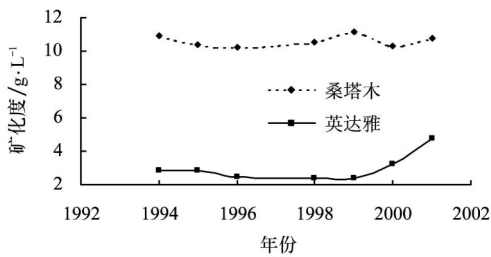


图 4 新老灌区排水特征比较

Fig.4 Comparison of drainage characteristic between new and old irrigation district

### 2.3 灌区盐分均衡计算和排水分析

#### 2.3.1 灌区盐分均衡

由于在本地区，秸秆还田的措施尚不普遍，故可忽略植物带走的盐分。则公式（1）可简化为下式

$$\Delta S = V_i C_i - V_d C_d \quad (4)$$

即灌溉引水带入的盐分与排水带走的盐分之间的平衡。1992 年以前，排水系统不健全，灌区总体处于积盐状态，土壤盐碱化问题严重。据不完全统计，1992 年自龙口引进的水量为  $15.57 \times 10^8\text{ m}^3$ ，带进灌区的总盐量为  $55.4 \times 10^4\text{ t}$ ，自灌区排出的水量为  $1.15 \times 10^8\text{ m}^3$ ，排出的盐量为

$41.2 \times 10^4\text{ t}$ ，表明该年为积盐趋势；灌区 1993~2001 年，开始进行了较为详细的水盐监测，该时间段内水盐均衡结果见表 2。从表 2 可以看出，自 1993 年，随着排水工程的实施，排水能力逐渐得到加强，灌区整体逐年趋于脱盐，排水工程改良盐碱地的作用逐渐凸显。

#### 2.3.2 排灌比的计算与讨论

从表 2 也可看出，灌区的总体盐分均衡与排灌比有关，随着排灌比的提高，灌区由积盐状态转变为脱盐状态。灌区积（脱）盐与排灌比的关系见图 5。为研究方便，可把排灌比定义为  $K$ ，把  $DS=0$  时的  $K_0$  记做临界排灌比<sup>[8]</sup>。

$$K_0 = V_d / V_i = C_i / C_d \quad (5)$$

由式（5）可知，临界排灌比与灌溉引水量、排水量、河水的盐分浓度和排水盐分浓度 4 个变量有关，而这些变量则是气候、地貌、水文、水文地质和土壤母质等多个因素综合作用的结果。从表 2 可知，灌区的引水量与其浓度相对稳定，而排水量与其浓度变化较大。因此，区域水盐监测中，应对排水的水质重点监测，排水效果应满足使得土壤的根层的含盐量满足作物生长的需要。

表 2 渭干河灌区盐分均衡结果

Table 2 Results of salt balance in Weigan River irrigation district

年份	$V_i$ / $10^8\text{ m}^3$	$C_i$ / $\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$	$S_i$ / $10^4\text{ t}$	$V_d$ / $10^8\text{ m}^3$	$C_d$ / $\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$	$S_d$ / $10^4\text{ t}$	$\Delta S$ / $10^4\text{ t}$	$V_d/V_i$ /%
1993	19.92	0.39	77.75	1.65	3.91	64.55	11.98	8.28
1994	24.80	0.37	91.86	2.60	4.10	106.56	-15.92	10.48
1995	23.79	0.37	87.83	3.12	4.79	149.40	-62.79	13.11
1996	25.66	0.39	98.85	3.56	5.22	185.91	-88.28	13.87
1997	27.82	0.43	119.61	3.81	3.94	150.07	-30.46	13.70
1998	26.63	0.34	90.28	4.30	4.84	208.53	-118.25	16.15
1999	25.15	0.40	101.77	4.89	4.91	204.18	-138.41	19.44
2000	22.38	0.40	89.49	3.31	5.45	180.43	-90.94	14.79
2001	25.07	0.41	102.62	3.46	6.00	207.50	-104.88	13.80

利用 1993~2001 年的资料(1997 排水资料收集不全，故舍弃)分析排灌比与灌区年累积积（脱）盐量的关系，两者之间的关系见图 5，呈抛物线关系。当  $DS=0$  时，可求得  $K_0=9.19\%$ 。对同一渭干河灌区，发现不同研究者所给定的临界排灌存在较大的差异，在  $9.25\% \sim 16.25\%$  波动<sup>[7, 9, 10]</sup>；杨柳青则认为在塔里木盆地灌区排水量与引水量之比应达到  $1:4 \sim 1:3$ ，才能保持灌区灌排平衡和土壤水盐平衡，逐步稳定脱盐。为什么在研究区域大致相同的情况下，排灌比会出现如此大的差异？经对比分析认为，临界排灌与土地利用状况和耕地的初始含盐量有很大关系。从表 1 可以发现，农田、林地的面积以 21.2% 的幅度增长，新增地主要由荒地经开荒转化而来，而荒地多为历史上干排盐地，土壤含盐量很高（一般在  $20 \sim 50\text{ g/kg}$ ），要达到种植标准，必须对之进行充分淋洗。灌区排水系统运行时，高矿化度低洼地积水及其潜水被疏干，通过明沟排水被排走，地下水区域埋深逐渐变大，也增

加了排水的浓度。由表 2 可知, 尽管灌区持续脱盐 ( $DS < 0$ ), 但排水的浓度一直持续走高, 从侧面也验证了荒地的持续开垦, 灌区的盐碱化尚未从根本上得到控制, 潜在盐碱化的风险仍然较大。因此, 在确定干旱半干旱地区某灌区灌排比时, 必须把该区有效灌溉面积作为一个“有效的约束条件”来考虑, 只有在灌区的有效灌溉面积保持相对稳定时, 利用公式 (5) 计算出临界排灌比, 并经土壤含盐量校核后, 才有较高的可信度。

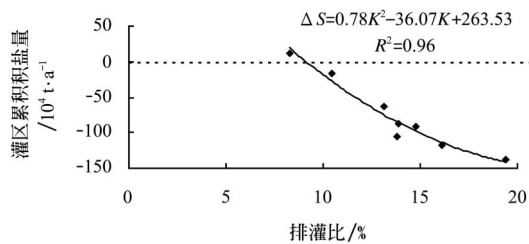


图 5 灌区土壤累积(脱)盐与排灌比关系

Fig.5 Relationship between salt accumulation (desalination) and ratio of drainage to irrigation

在当前绿洲灌区的灌排管理实践中, 排水不仅应保证排走灌溉本身带来的盐分, 而且应排走历史上残余盐分, 对新垦的荒地更应如此。因此, 排灌比应该是一个变量, 在灌区开发初期, 土壤含盐量较高, 应实施较大的排灌比; 随着土壤盐分含量的降低, 灌区盐碱化程度得到控制, 则应减小排灌比至临界。

### 3 灌区内部的盐分迁移转化与排水作用分析

天然条件下, 灌区内部的盐分一般在地表径流、地下径流和蒸发的作用下不断进行着再分配。在灌溉区域(农区)上, 由于经常受灌溉水的淋洗作用, 绝大部分土壤盐分被淋洗至土壤深层或进入浅层地下水中; 灌溉间歇期, 在潜水蒸发作用下输入土壤和地表, 经过下一次灌溉淋洗又回到土壤深层或浅层地下水, 上述过程反复进行。由于在灌溉区域上, 地下水不断得到灌溉的补充, 故地下水位往往高于周围不灌溉的、地势较低的荒地(非农区)地下水位, 形成局部地下径流。受地下径流的作用, 高地势区的农田盐分不断运移到荒地或地势较低处。因此, 灌区内大量的土壤盐分主要累积在地势较低处的荒地或中低产田上, 形成了高产田、中产田、低产田和盐碱荒地呈插花分布的景观。但随着时间的推移, 农区与非农区间的水力坡度变小, 荒地的排盐作用减小, 农区的次生盐碱化程度加重, 在农区修建排水系统十分必要。

#### 3.1 耕地与荒地的盐分动态比较

##### 3.1.1 耕地盐分动态

耕地类型可大致分为丰产田和中低产田两类。在灌溉季节, 丰产田含盐量一般在  $5 \text{ g/kg}$  以下, 低产田在  $5 \sim 10 \text{ g/kg}$ 。受灌溉、蒸腾蒸发和排水的作用,  $100 \text{ cm}$  土层

的盐分含量呈周期性变化, 丰产田的土壤盐分含量年内和年际变化幅度均小于低产田的。随着排水系统的运行, 耕地的土壤盐分有较明显的减小趋势, 以丰产田较为突出。但从整体上来看, 无论是丰产田还是低产田, 其土壤盐分的含量变化仍有较强的季节性规律(见图 6), 这在一定程度上反映了大部分耕地, 特别是低产田仍处于不稳定脱盐状态。

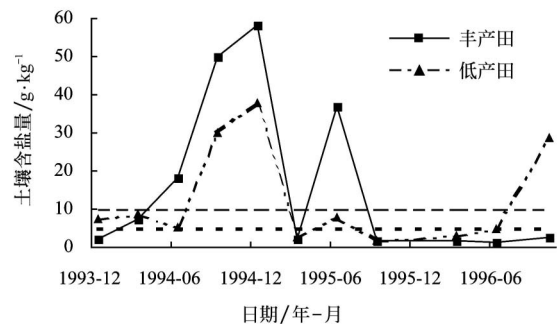


图 6 丰产田、低产田土壤盐分动态

Fig.6 Dynamics of soil salt of high-yield and low-yield farmland

##### 3.2.2 荒地土壤盐分动态

荒地的主要表现形式是灌区外围的洼地和农田间的夹荒地。 $0 \sim 100 \text{ cm}$  的土壤含盐量平均  $20 \sim 50 \text{ g/kg}$ , 盐分的主要组成  $\text{SO}_4^{2-}$ 、 $\text{Cl}^-$ 、 $\text{Na}^+$ 、 $\text{Ca}^{2+}$ , 含量变化幅度大;  $\text{HCO}_3^-$  和  $\text{CO}_3^{2-}$  的含量很低, 在空间上的分布也比较均匀。在垂直剖面上, 土壤盐分呈明显的 T 型分布,  $0 \sim 30 \text{ cm}$  的土壤盐分约占  $0 \sim 100 \text{ cm}$  盐分含量的  $50\%$ , 向下则迅速降低, 并趋于稳定。 $\text{Na}^+$  和  $\text{Cl}^-$  的含量随深度变化明显, 其他成分则随深度的变化不大。荒地盐分的分布特征反映了该地段土壤一直处于强蒸发状态, 且接受临近农田的地下水侧向补给, 土壤盐分以向地表聚集为主。荒地(非农区)的存在有效地缓解了耕地、林地(农区)区域的盐碱化进程, 起到了“干排盐”的作用。但近年来在棉花经济利益的驱动下, 耕地的扩展速度较快, 而且主要由原来的积盐荒地转化而来, 荒地固有的干排盐作用被削弱, 原有耕地次生盐碱化的风险被放大。

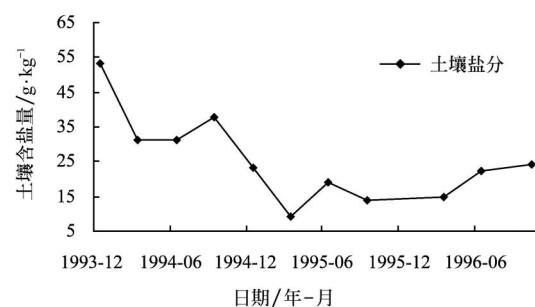


图 7 新垦荒地土壤盐分动态

Fig.7 Soil salt dynamics of soil-salt of newly-reclaimed wasteland

由于缺乏对荒地盐分的动态监测, 本文主要采用新垦荒地  $0 \sim 20 \text{ cm}$  土壤盐分监测资料(图 7)来揭示其变

化过程。由图7可知,经压盐排水后,新垦荒地的土壤盐分虽呈显著的降低趋势,但基本在15 g/kg左右波动,属于重度盐化,种植一般作物均会严重减产。若要长期种植,则必须进行长期改良,仅依靠播前大水灌溉压盐,若无相应的排水措施相配套,则势必会导致地下水埋深的进一步变浅,导致土壤盐碱化程度的进一步加剧。

### 3.3 灌区间的盐分迁移与转化及其作用

由前述分析可知,从1994年始,渭干河灌区已整体趋于脱盐,但灌区间由于水分交换,而存在着盐分迁移,即在农区和非农区之间存在着盐分迁移,有必要估算盐分在这两个亚区的转化,以期比较准确评估非农区对耕地的排盐作用。

虽有荒地存在着内排盐的作用,但仍需要在农区修建排水系统。其原因如下:①灌区土壤质地多黏重、导水性能弱,只有在明排系统的存在下,农区向非农区的水分迁移才有保障;②当前,本灌区地下水埋深较浅,地下水现代积盐作用强烈,在土壤强烈蒸发时,表土仍可能积盐,对作物生长构成较大的威胁,只有保证排水系统的稳健运行,才可能把地下水控制在一定埋深内;③在当前的耕地中,中低产田的存在尚占很大比例,而对有排水系统存在时进行洗盐改良,才有较好的效果。④即使以后实施节水灌溉后,每年必需的淋洗需水量在入渗至地下水后,必须经排水系统排走后,才可能保证耕作层稳定脱盐。

## 4 渭干河灌区适宜埋深与排水标准探讨

渭干河灌区排水的主要目的是控制土壤次生盐碱化,与之相关的是作物的耐盐性指标、土壤冲洗脱盐指标和盐分淋洗需水量指标等。棉花与小麦的种植面积占绝对优势,该两种作物又比较耐盐,一般在耕作层0~40 cm的土壤含盐量小于5 g/kg即视作脱盐。

### 4.1 基于土壤盐碱化控制的地下水埋深

在气候与土壤质地一定的条件下,耕作层的积盐强度与累积积盐量是地下水埋深与矿化度的函数,而此后两者主要与灌溉频率、灌溉定额和排水强度有关。对于某一确定灌区,灌区的灌溉制度相对稳定。因此,盐分运移影响的主要因素是地下水埋深及其矿化度。

根据灌区地下水蒸发强度与埋深的关系,刘海燕等人认为:在土壤积盐高峰期(3、9月份),地下水埋深应控制在安全深度,在其他季节,地下水埋深应控制在安全深度,并以灌区的监测井的平均判断埋深来判断灌区当前地下水埋深已满足抑制土壤次生盐碱化的要求<sup>[10]</sup>。该研究对确定地下水的适宜埋深有着积极意义,但事实上,受灌区监测井所处的水文地质单元差异较大的影响,以其平均深度来表征整个灌区的地下水埋深不切合灌区实际;再从最新调查结果来看,位于洪积扇上部的新和县和库车县灌区的地下水埋深变大、矿化度趋

于减小,而位于洪积扇下部的沙雅县灌区的地下水埋深则呈略微变大的趋势、地下水的矿化度也略有上升<sup>[11]</sup>,所建议的控制深度与土壤盐分的分布也不大吻合。因此,在确定适宜的控制埋深时,应首先考虑水文地质单元的分区的基础上,明确土壤盐分的空间分异规律,再计算相应的地下水埋深。库车和新和县灌区的地下水矿化度一般较小,埋深可控制在2.0~2.5 m;在沙雅县则应把地下水埋深控制在3.0 m以上。

### 4.2 排水及其途径讨论

在渭干河灌区,明沟排水是当前的排水的主要方式,干排盐也是灌区耕地脱盐的一种重要补充,灌区从1994整体上趋于脱盐。但在当前尚存在以下问题:①灌区的荒地被垦殖,其干排盐的作用将削弱甚至丧失;②位于沙雅县的总排干易塌方、淤积严重,维护成本大;③库车、新和、沙雅三县灌排管理趋同,但受所处地貌单元、水文地质条件和引水量的差异较大,各灌区的积盐也存在差异,对其应采取不同的措施;④当前,每年排出灌区外的地下水矿化大于6 g/L,排盐总量达到 $2 \times 10^6$  t以上,且大部分进入塔里木河,已对塔里木河的水质造成了严重。

在干旱地区灌区,限于通常排水成本的昂贵,利用荒地来储存耕地的盐分已作为一种替代性的技术逐渐实施<sup>[12,13]</sup>。“干排盐”究其实质是利用主要分布在大面积农业绿洲内部或边缘的夹荒低平地,以容纳、消化农田系统排出的较高浓度盐碱,成为农田生态系统排除大量盐碱的“天然汇库”。从渭干河的实际来看,低洼地、荒地以及不宜利用的土地面积所占比重较大,可作为理想场所;排水工程修建和维护成本巨大;都为干排盐的实施提供了可能。另一方面,在现状条件下,渭干河灌区的引水率超过90%,远大于国际上干旱地区河流引水率不能超过70%的警戒线,而新垦荒地与低产田改良均需大量的水来洗盐,无疑会进一步加大当前水资源紧缺趋势,必然限制耕地的扩张,为利用干排盐提供了动力;当前塔里木河水水质改善的要求也为实施干排盐提供了契机。

从水文地质的角度来看,本区具有发展竖井排灌的条件,通过竖井和明沟排水系统相结合,不但可达到缓解水资源紧缺、而且可降低地下水位和遏制土壤次生盐碱化的双重目的。特别是在地处冲积扇的下部沙雅县灌区应适当开采地下水,可有效地减少修建排水渠与其维护的压力。对于库车、新和、沙雅三县的3个子灌区的临界灌排比与实际运行中的排灌比也应分别计算和控制,并且根据耕地土壤含盐量的实际状况,对排灌比进行调整,使得排水能充分防止土壤次生盐碱化的发生、发展,又不排水过度,浪费宝贵的水资源。

## 5 节水条件下的灌排管理与土壤盐分控制

过量灌溉是土壤次生盐碱化发生、发展的主要因素。

因此,发展节水农业成为发展防治土壤次生盐碱化的必然选择。

但如何选择合理的节水技术体系,使得灌区的灌溉经济持续发展,又不对农田生态环境产生过度的有害影响,是当前的研究热点和生产实践中的难点问题。

### 5.1 盐碱地节水技术路线

对于现有的盐碱地的改良利用,应遵循先治理盐碱,后节水的原则。对已存在次生盐碱化的灌区,可采取洗盐的方法来解决盐碱地的治理,根据土质和初始含盐量的不同确定合理的洗盐定额,洗盐通常要在有完善的排水系统的条件下进行。

经过洗盐改良后的土壤,在耕作层土壤含盐量达到 5 g/kg (该值适合棉花、小麦等比较耐盐的作物;对盐分比较敏感的作物如玉米,则一般要控制在 3 g/kg 以下)时,则可逐渐推行节水灌溉。在推行节水灌溉后,依然要保持定的排水来淋洗灌溉水本身带来的盐分。对采用沟畦灌等常规节水方式,一般需 4~5 年进行一次洗盐;对滴灌等高效节水方式,则大致在 7~8 年进行一次盐分淋洗。具体的淋洗周期需根据土壤耕作层的盐分监测与作物的生长状况来确定<sup>[14]</sup>。

对渭干河灌区而言,因低产田占很大比例,水资源的综合利用系数也较低。因此,当前尚不宜推广膜下滴灌等高效节水方式,现阶段仍以改进沟畦、畦灌等常规灌溉技术为主;同时,可选择适当的地段,先进行高效节水技术的灌溉试验,为将来的大面积推广做好前期准备。

### 5.2 适宜节水技术体系的选择

农业节水措施是一个复杂的大系统,需要运用系统工程方法,根据灌区当地的实际情况,有针对性地开展,才可能取得较好的效果。但在生产实践中农业节水工作多限于渠道防渗、喷灌等工程性措施的建设,忽视田间防护林建设和土地平整等其他措施的作用,管理等“软措施”在生产实践中甚至被忽略。

渠道防渗可有效的解决渠系输水的损失,从而减少因地下水位上升而导致的土壤次生盐碱化的风险。但在新疆地区,一方面,地下水资源绝大多数是由地下水转化而成的,地表水的开发利用格局或方式改变,将深刻影响地下水补给、径流、排泄关系,并最终影响到地下水可开采量与开采方式;另一方面,在渠道防渗率提高的条件下,也对生态与环境产生不利影响:①防护林的生长受到影响,②渠道内生物生存的环境恶化,③较大渠道可能阻断野生动物的迁移<sup>[15]</sup>。因此,无论从农业生产用水还是生态系统的角度来看,渠系防渗也存在上限。曲耀光等人认为,在水资源转化条件较好的内陆河流域,渠系的利用率应为 0.5~0.6<sup>[16]</sup>。而在渭干河灌区,当前渠系的利用率已达 0.51 左右,因此,可把节水与防止盐碱化的主攻方向放在减少田间灌水工程中的损失,具体

可采用激光平整土地和完善防护林建设等措施。

## 6 结 论

1) 初步确定了渭干河灌区临界排灌比为 9.19%,并深入分析了确定排灌比的影响因子,强调了只有在灌区有效灌溉面积保持相对稳定时,该临界值对灌区的灌排管理才有较好的指导意义。

2) 排灌比是一个变量,在灌区开发初期,应实施较大的排灌比;随着土壤含盐量的降低,灌区的盐碱化得到控制,则应减小排灌比至临界值。

3) 中低产田和新垦荒地的土壤动态研究表明,在保证排水系统的稳健运行前提下,干排盐可以作为新疆灌区一种经济可行的盐分处置方式。在渭干河灌区采取此种方式,一方面可缓解该区水资源紧缺态势,另一方面也减轻因农田排水对塔里木河的压力。

4) 在以渭干河灌区为代表的塔里木河流域各灌区,在推行节水灌溉时,必须保持一定的淋洗比以保持盐分平衡。节水方式应以常规灌溉技术的改进为主。

### [参 考 文 献]

- [1] Sandra Postel. 张蔚榛译. 一项浮士德的交易[J]. 中国农村水利水电, 2000, (6): 8-13.
- [2] 罗家雄. 新疆垦区盐碱地改良[M]. 北京: 水利水电出版社, 1985.
- [3] 樊自立, 马英杰, 马映军. 中国西部地区耕地土壤盐碱化评估及发展趋势预测[J]. 干旱区地理, 2002, 25(2): 97-102.
- [4] 汪林, 甘泓, 于福亮. 西北地区盐碱土及其开发利用中存在问题的对策[J]. 水利学报, 2001, (6): 91-95.
- [5] 齐芳. 用科技保障农业用地安全[EB/OL]. <http://www.cas.ac.cn/html/Dir/2006/12/26/14/67/54.htm>, 2006-12-26.
- [6] 张蔚榛, 张瑜芳. 对控制灌区水盐平衡和控制土壤盐碱化的一些认识[J]. 中国农村水利水电, 2003, (8): 13-18.
- [7] 胡顺军, 艾尼瓦尔·吾买尔, 田长彦, 等. 渭干河平原绿洲灌区合理灌排比探讨[J]. 水土保持学报, 2001, 15 (1): 23-26.
- [8] 王韶华, 田园. 中国北方灌区水环境改善与管理[J]. 灌溉排水, 1996, 15(2): 1-6.
- [9] 杨柳青. 绿洲土壤次生盐渍化的发生与防治[J]. 土壤肥料, 1993 (5): 5-7.
- [10] 叶海燕, 王永平, 王金栋, 等. 渭干灌区水盐均衡特征分析[J]. 农业工程学报, 2003, 19(4): 92-96.
- [11] 王春得. 新疆渭干河灌区灌区水文地质条件变化及排水措施探讨[J]. 地下水, 2006, 12(6): 87-89.
- [12] Tanji K K, Kielen N C. Agricultural drainage water management in arid and semi-arid area[M]. Food and agriculture organization of the united nations Rome, 2002.
- [13] Konukcu F, Gowing J W, Rose D A. Dry drainage: a sustainable solution to waterlogging and salinity problems in irrigation areas?[J]. Agricultural water management, 2006,

- (83): 1-12.
- [14] 杨劲松, 陈小兵, 胡顺军, 等. 绿洲灌区土壤盐分平衡分析及其调控[J]. 农业环境科学学报, 2007, 26(4): 1438-1433.
- [15] 冯广志. 灌区可持续发展的几个问题[EB/OL]. <http://www.zysw.net/shuilixuehui/xsjl/0017.aspx>, 2006-10-05.
- [16] 曲耀光, 马世敏, 曲 玮. 西北干旱区水资源转化与利用模型[J]. 中国沙漠, 1998, 18(4): 299-307.

## Irrigation-drainage management and hydro-salinity balance in Weigan River Irrigation District

Chen Xiaobing<sup>1,2</sup>, Yang Jingsong<sup>1\*</sup>, Yang Zhaohui<sup>3</sup>, Hu Shunjun<sup>4</sup>, Liu Guangming<sup>1</sup>

(1. *Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China;*

2. *Yantai Institute of Coastal Zone Research for Sustainable Development, Chinese Academy of Sciences, Yantai 264000, China;*

3. *Shandong Pesticide Institute, Jinan 250100, China;*

4. *Xinjiang Institute of Ecology and Geography, Urumuqi 830011, China)*

**Abstract:** Mal-management of the irrigation and drainage has led to the occurrence and expansion of secondary salinization in arid and semi-arid area. Taking Weigan River Irrigation District as a case and utilizing the monitoring data of many years, the ratio of drainage to irrigation was calculated based on hydro-salinity balance principle and its influencing factors were discussed profoundly. The critical ratio of drainage to irrigation of Weigan River Irrigation area is 9.19%. Comparison results among high-yielding farm, low-yielding farm and newly reclamation farm show that dry drainage is a practical and necessary measure to dispose soil salt. Soil salt management under the condition of water-saving irrigation was discussed. Improving efficiency of farm water utilization and maintaining necessary leaching ratio is important to achieve salt balance of irrigation area for a given irrigation scale. This research provides academic and instructive meanings for sustainable development of agriculture in semi-arid or arid irrigation region.

**Key words:** hydro-salinity balance; ratio of drainage to irrigation; dry drainage; Weigan River Irrigation District