

# 土地开发影响下的内陆河流水质演变研究 ——以塔里木河干流区上游为例

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>, 汪玉磊<sup>1</sup>

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

**摘要:**针对内陆灌区次生盐碱化扩张和河流盐化等问题,本文以塔里木盆地土地开发为例,首先,阐述了阿拉尔段河流水质的演化过程和特点,通过对新老绿洲灌区土壤盐分状况和盐分运移特征的比较,初步揭示了垦荒导致次生盐碱化扩张和河流矿化度的机制;其次,通过对荒地冲洗盐分定额的计算与比较,初步评估了垦荒可能对塔里木河水质造成的影响;最后,基于灌区次生盐碱化控制和河流水质改善的目的,提出以水定地和多途径排水是达到上述目的的关键措施。此外,对干排盐的作用也做了初步分析。

**关键词:**荒地开发;次生盐碱化;农田排水;河流盐化;塔里木河

中图分类号:X522 文献标识码:A 文章编号:1672-2043(2008)01-0327-06

## Influence of Wasteland Development on Tarim River Quality and Primary Countermeasure ——A Case Study from Alar Hydrometric Station

CHEN Xiao-bing<sup>1,2</sup>, YANG Jin-song<sup>1</sup>, YANG Zhao-hui<sup>3</sup>, HU Shun-jun<sup>4</sup>, LIU Guang-ming<sup>1</sup>, WANG Yu-lei<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 264003, China; 3. Shandong Pesticide Institute, Jinan 250100, China; 4. Xinjiang Institute of Ecology and Geography, Chinese Academy of Sciences, Urumuqi 830011, China)

**Abstract:** In order to prevent soil secondary salinization in inland irrigated area and improve inland rivers quality, wasteland development and its effects were analyzed deeply. Taking land reclamation in upper reaches of Tarim River as a case, the interaction process and mechanism between land reclamation and salinization of Tarim River were revealed and discussed. Firstly, water quality evolution process and characteristics at Alar hydrometric station of Tarim River were analyzed, and the mechanism leading to soil secondary salinization expansion and river salinization was preliminarily revealed based on the comparisons of soil salt status and movement characteristics between the old oasis irrigation districts and new oasis districts; secondly, the influence of wasteland development on river quality was assessed by the calculation and comparison of leaching requirements for different soil salt contents of wasteland at two stages; finally, some practical and effective countermeasures to improve water quality of Tarim River and to control soil secondary salinization were put forward. Feasible cultivated area scale based on water resources and diversifications of agricultural drainage were the key points to attain the aims above. In addition, dry drainage as a viable alternative was preliminarily discussed. In circumstances where irrigation water is limited and convention drainage is costly, dry drainage will be an attractive choice in the near future.

**Keywords:** wasteland development; secondary salinization; farmland drainage; salinization of river; Tarim River

在干旱与半干旱地区,水是自然—社会—经济复合巨系统中最重要、最活跃的因子之一,具有资源与

环境的双重属性;土地资源则作为干旱地区农业生产的基本资料和主要的劳动对象起着无可替代的作用。干旱区的经济活动、生态过程和景观形成与演变均与水土资源的开发规模与利用方式有着密切的关系。以人工绿洲拓展为基础,特别是以绿洲灌溉农田的扩张为主要特征,由水库、井群和渠道等要素构成的用水系统,对自然条件下的水循环转化过程形成了强有力的干预。随着水资源开发强度和规模的进一步加大,受干扰的水文尺度越来越大,对水源具有高度依赖性

收稿日期:2007-01-31

基金项目:国家自然科学基金(40771097);国家 863 计划重点项目(2006 AA100207);中国科学院知识创新工程重要方向项目(KZCX2-yw-406-3);国家科技支撑计划课题(2006BAD05B02);国家 973 项目课题(2005CB121108);国家自然科学基金项目(40771097)

作者简介:陈小兵(1974—),男,山西人,博士,研究方向为农业水土资源管理及环境影响评价。E-mail: xbchen@yic.ac.cn

通讯作者:杨劲松 E-mail:jsyang@issas.ac.cn

的绿洲景观产生了深刻而广泛的环境影响,大体可归结为两个问题:其一,中上游的人工绿洲扩展以下游天然绿洲的荒漠化为代价,上游开荒、下游撂荒的现象日趋普遍;其二,上中游绿洲灌区大量引水灌溉,引起地下水位区域上升,产生区域次生盐碱化,同时,大量的农田排水直接排入河道,导致河流水质恶化<sup>[1-3]</sup>。由此可见,河流上中游水土资源的开发处于整个流域开发与生态环境建设的核心地位,其开发规模和水平足以对整个流域产生全局性的影响,这在干旱区具有普遍意义,在塔里木河流域尤其明显。但当前的研究重点多集中于下游的植被退化与恢复研究<sup>[4,5]</sup>,对上中游土地开发所产生影响及其潜在的次生盐碱化风险关注不够,已有的研究也多限于定性描述<sup>[6-8]</sup>。

本文则着重以塔里木河干流上游肖夹克至阿拉尔区间的水土资源开发为例,分析土地开发对塔里木河水质盐化的影响及其对阿拉尔灌区本身的影响,揭示垦荒屡禁不止的驱动机制,提出遏制水质恶化的初步方案,以期推动塔里木河流域的全面治理。

## 1 塔里木河水质演化分析

### 1.1 研究区概况

塔里木河干流是指从其三源流——叶尔羌河、和田河和阿克苏河三河的汇合处——肖夹克到其尾间湖台特玛湖,全长 1 321 km,肖夹克——阿拉尔一段主要分布着自上个世纪 50 年代末沙井子灌区和阿拉尔灌区。灌区的耕地规模、灌排系统的完善程度与排水的出路直接影响着河流水质。在上个世纪 50 年代末,土地开发刚刚起步,塔里木干流上游上段的矿化度小于  $1 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ ,水质较好,以此水质作为研究的背景。随着上个世纪 50 年代中期干流区上游的土地开发不断加大,农田排水直接排入塔里木河,水质逐渐恶化,主要表现为矿化度、总硬度、氯离子严重超标,基本尚

无工业污染,利用矿化度及其常规离子组成的变化可基本反映其水质演变过程。

### 1.2 干流区阿拉尔段水质演化过程与特点

塔里木河阿拉尔站不同历史时期的河水矿化度见图 1。河流水质演变具有以下几个显著的特点:①河水的矿化度在年内呈现出明显的双峰双谷现象,第一个峰值出现在 5、6 月,第 2 个峰值一般在 10、11 月,第一个谷值出现在 1、2 月,第 2 个谷值一般在 6、7 月。②河水的矿化度随着时间的推移有逐年升高现象,90 年代近 10 年内河流的矿化度增高趋势显著,90 年代末的峰值约为 90 年代初的 2 倍;③从上个世纪 70 年代中期至 90 年代末期,年内淡水所占的月份比例逐年降低,在近 30 年的时间段里,小于  $1 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$  的淡水比例由 50% 下降到 25%, $1 \sim 3 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$  的微咸水月比例由 83.3% 降至 58%,大于  $3 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$  的比例则由 25% 上升到 58%。④河水的矿化度与其流量的变化有密切联系,随着流量的增大,矿化度减小,1964—1998 年月平均流量与月平均矿化度的关系见图 2。7—8 月洪水期,月平均流量  $400 \sim 620 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ,河水的矿化度  $0.72 \sim 1.17 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ ,在 8 月份,河流流量超过  $600 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ,矿化度低于  $1.0 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 。9—11 月份为  $50 \sim 200 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ,矿化度升高到  $2.0 \sim 3.2 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 。12 月—翌年 2 月,河流流量为  $70 \sim 90 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ,矿化度为  $1.2 \sim 1.7 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ ,水质较好。3—5 月流量减少了  $15 \sim 50 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ,该阶段河道天然来水较少,河道中大部分为上游的灌溉回归水和农田排水,使矿化度升高到  $3.0 \sim 5.0 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 。⑤从水化学的离子组成来看,随着矿化度的升高,各离子含量均有明显的变化(见图 3),但水化学类型变化不大。在矿化度  $< 1 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$  时,多形成  $\text{Cl} \cdot \text{SO}_4 \cdot \text{HCO}_3 - \text{Na} \cdot \text{Mg}$  型水;当矿化度为  $1 \sim 2 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$  外,水化学类型为  $\text{Cl} \cdot \text{SO}_4 - \text{Na} \cdot \text{Mg}$ ;当矿化度  $> 2 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$  时,水化学类型演变为  $\text{Cl} \cdot \text{SO}_4 - \text{Na}$  型水。

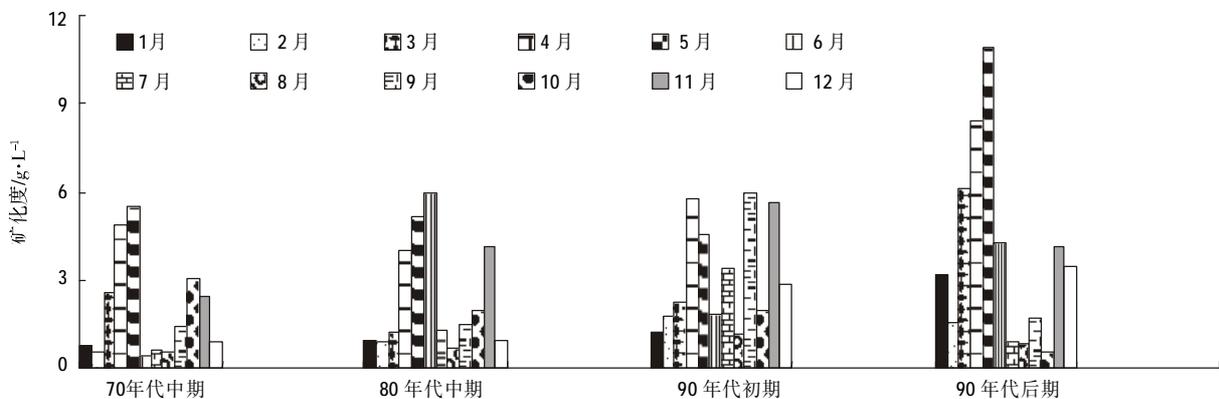


图 1 塔里木河阿拉尔站河水矿化度动态

Figure 1 Change of degree of mineralization in the river water at Alar Hydrological Station of Tarim River

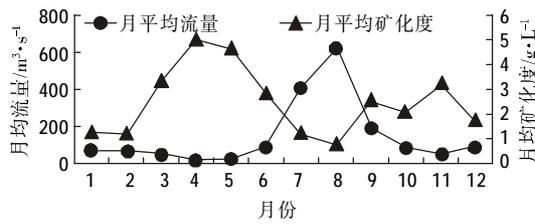


图 2 塔里木河阿拉尔站矿化度与流量关系图  
Figure 2 Relationship between salinity and monthly average discharges at Alar Hydrometric Station of Tarim River

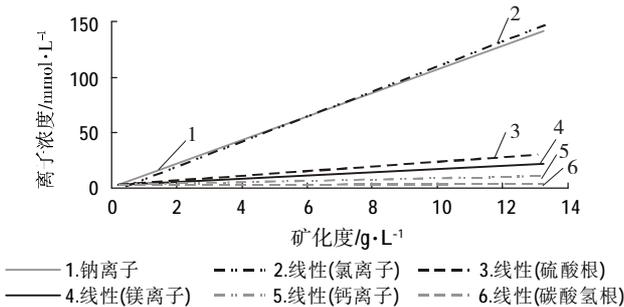


图 3 塔里木河矿化度与离子组成关系  
Figure 3 Relationship between ion component and salinity of Tarim River water

## 2 水质盐化机制分析与未来水质预测

干旱区河流普遍不断盐化现象有其深刻的自然根源和人文驱动机制<sup>[9, 10]</sup>。从自然条件来看,塔里木河是一条耗散性河流,其径流形成于山区,进入平原区后,基本无其他补给,流量不断减小,自净能力弱,沿途又不断溶解流经岩层的可溶盐分,在天然条件下,塔里木河的矿化度也随着流程的加大呈现出缓慢增加的趋势。但以土地开发为代表的人类活动则大大加剧了塔里木河盐化的进程,已经直接威胁到河流所必须具有的生态功能。因此,须重点评估土地开发与河流盐化的现状关系,并对塔里木河阿拉尔段的水质进行预测。

### 2.1 土地开发与河水盐化的关系

塔里木河流域光热资源充足,在其上游水资源相对丰富,使得该地区农业开发较早,具有上千年的引

水灌溉历史,耕地多处于阿克苏河三角洲的上部,一般称为“老绿洲”,多隶属于地方当局管辖,土地整体利用率较低,一般小于 30%~40%,耕地与荒地、弃耕地呈插花状分布。事实上,在老绿洲灌区,荒地及弃耕地成为耕地盐分的溶泄区,在一定程度上维持了耕地生产力的稳定,耕地土壤含盐量较低,从排水的矿化度可以看出这一点(见表 1)。自上个世纪 50 年代以来,地处阿克苏河三角洲下部与塔里木河冲积平原土地被视作重要的垦殖资源并逐步得到开发,隶属于新疆生产建设兵团农一师的沙井子和塔里木灌区在此地先后建立,这些新垦灌区一般被称为“新绿洲”。受地质沉积环境、所在地貌单元水文地质条件影响,土壤含盐量普遍较高,新绿洲开垦前 1 m 土层平均含盐量多在 20~100 g·kg<sup>-1</sup>,土壤盐分类型以氯化物-硫酸盐为主,须将盐分冲洗至 10~5 g·kg<sup>-1</sup> 后以下才能种植。虽经过近 50 年的引水垦殖,新垦区近 60%~70% 的耕地处于不稳定的脱盐状态,耕地土壤中的大部分盐分随排水转移到河流中,致使河流矿化度日趋升高,部分盐分则转移到相对洼地;同时,大量引水和渠道渗透严重,造成区域地下水位上升,导致耕地次生盐碱化严重,其面积约占到耕地总面积的 1/3 强。新绿洲灌区土地利用率整体比较高,一般大于 60% 以上,其“干排盐”作用远比“老绿洲”弱,耕地盐分的降低通过排水来实现。由于土地开垦时间较短,土壤中的盐分尚高,排水的平均矿化度一般大于 6 g·kg<sup>-1</sup>。由此,对灌排工程配套、完善与管理水平有较高的要求。

据不完全统计,近年来在阿拉尔灌区以上,各主要排水渠累积排入塔里木河的水量约为 6.54×10<sup>8</sup> m<sup>3</sup>·a<sup>-1</sup>,排水的矿化度变异较大,在 2.28~9.57 g·L<sup>-1</sup> 之间波动,其大小主要与灌区开垦的年限和所在地貌单元有关,开垦时间越长,则排水的矿化度越小(见表 1)。

自开垦以来,受春季水资源不足或次生盐碱化等因素影响,间有弃耕或撂荒现象,塔里木河干流区上游段的耕地总面积呈波浪式稳定增长,因盐碱化而造成的中低产田占耕地总面积的 2/3 强。特别是近 10

表 1 塔里木河干流区上游主要灌区排盐状况  
Table 1 Agricultural drainage and salts from the main irrigation areas at the upper reaches of Tarim River

灌区	绿洲类型	地貌单元	排水渠	排水量/×10 <sup>8</sup> m <sup>3</sup> ·a <sup>-1</sup>	排水平均矿化度/g·L <sup>-1</sup>	总排盐量/×10 <sup>4</sup> t·a <sup>-1</sup>
阿瓦提灌区上部	老绿洲	阿克苏河三角洲上部	老大河巴吾托拉克排水渠	2.00	2.28	45.6
阿瓦提灌区下部		阿克苏河三角洲下部	阿瓦提哈塔排水渠	0.78	4.57	35.6
沙井子灌区	新绿洲	阿克苏河三角洲下部	叶尔羌干排	1.67	9.57	159.8
塔里木灌区		冲积平原	塔北干排	1.13	6.68	75.5
			塔南干排	0.96	8.89	85.3

多年来,无论是老绿洲,还是新绿洲,在棉花经济利益的驱动下,耕地面积均在较快的扩张。因新垦耕地多是含盐量很高的荒地或弃耕地,又多采取无排水压盐的措施,加大了将来引发次生盐碱化的风险。

## 2.2 塔里木河阿拉尔段的水质预测

地表水与地球上的其他圈层的交互作用最为直接、显著,具有明显的地带性和节律性。前述研究已初步表明农田排水是影响塔里木河上游段水质的关键因素,以矿化度为变量可刻画河流水质的演变情况。因此,可忽略其他因素,主要评估土地开垦与其盐分冲洗对河流水质的影响。下面采取确定性模型和回归模型对阿拉尔段的未来水质进行预测。

### 2.2.1 确定性水质预测模型

确定性模型主要是假定未来开垦荒地的排盐直接进入塔里木河后对其产生的影响。可分为3个步骤:①计算荒地的盐分蓄积量和所需排盐量;②计算冲洗排盐废水量和冲洗定额;③预测排入废水量对河流水质的影响。

#### 2.2.1.1 荒地盐分蓄积量与排盐量计算

脱盐标准主要有两方面:一是土壤含盐量,由作物耐盐极限值决定;二是土壤脱盐的深度。在本区,选定土壤的脱盐深度为1 m,土壤脱盐标准选定为5 g·kg<sup>-1</sup>。

##### (1) 盐分蓄积量计算

荒地的盐分蓄积量可用下式来计算:

$$T_{\text{蓄}} = 10\,000\,HrS_1 \quad (1)$$

式中: $T_{\text{蓄}}$ 为盐分蓄积量,kg·hm<sup>-2</sup>;H为计算土层厚度,在本次计算中取1 m; $r$ 为土层干容重,g·cm<sup>-3</sup>;S<sub>1</sub>为冲洗计划层冲洗前土壤含盐量,g·kg<sup>-1</sup>。

##### (2) 荒地排盐量的计算

荒地的排盐量可用下式来计算:

$$T_{\text{排}} = 10\,000\,Hr(S_1 - S_2) \quad (2)$$

式中: $T_{\text{排}}$ 为盐分排出量 kg;S<sub>2</sub>为冲洗计划层冲洗后土壤含盐量 g·kg<sup>-1</sup>;荒地的积盐量与所需排盐量计算结果见表2。

#### 2.2.1.2 冲洗定额和冲洗排盐废水量的计算

##### (1) 冲洗公式的选取

在缺乏田间实测资料的情况下,一般多采用下式来确定冲洗定额<sup>[11,12]</sup>:

$$Q = W_1 + W_2 + n_1 + n_2 - O \quad (3)$$

$$W_1 = 10\,000\,Hr(B_1 - B_2) \quad (4)$$

$$W_2 = \frac{10\,000\,Hr(S_1 - S_2)}{K} \quad (5)$$

式中:Q为冲洗定额,m<sup>3</sup>·hm<sup>-2</sup>;W<sub>1</sub>为冲洗前灌至田间最大持水量时所需水量,m<sup>3</sup>·hm<sup>-2</sup>;W<sub>2</sub>为冲洗盐分所需要的水量,该水量也是冲洗排盐产生的废水量,一般须通过水平排水系统排走,m<sup>3</sup>·hm<sup>-2</sup>;n<sub>1</sub>为冲洗期间蒸发损失水量,m<sup>3</sup>·hm<sup>-2</sup>;n<sub>2</sub>为冲洗期间无益下渗水量,m<sup>3</sup>·hm<sup>-2</sup>;O为冲洗期间降水量,m<sup>3</sup>·hm<sup>-2</sup>;H为冲洗计划层深度,m; $r$ 为冲洗计划层土壤容重,g·cm<sup>-3</sup>;B<sub>1</sub>为冲洗计划层最大持水量,g·kg<sup>-1</sup>;B<sub>2</sub>为冲洗计划层冲洗前土壤自然含水量,g·kg<sup>-1</sup>;K为排盐系数,g·cm<sup>-3</sup>。

在本区,平均多年年降水量为47.2 mm,故冲积期间的降水量O可忽略不计,通过非毛细管渗入地层的损失水量(n<sub>2</sub>)也可在洗盐前的翻地中消除,因此,对将公式(1)~(3)可整理为下式,

$$Q = 10\,000\,Hr[(B_1 - B_2) + \frac{S_1 - S_2}{K}] + n_1 \quad (6)$$

##### (2) 冲洗有关参数的确定与冲洗定额计算

在计算冲洗定额时,确定脱盐标准和排盐系数是关键。土地脱盐的标准的选取同前所述,由于本区的土壤初始含盐量很高,很难一步冲洗到位,因此,采取分两个阶段进行:第一阶段将土壤含盐量由52.9 g·kg<sup>-1</sup>降至10.0 g·kg<sup>-1</sup>;第二阶段由10 g·kg<sup>-1</sup>降至5 g·kg<sup>-1</sup>。排盐系数(K)是指每单位水量从冲洗计划层土壤中所能带走的盐量,其主要影响因素为:冲洗前的土壤含盐量、土壤盐分组成、土壤质地和排水沟间距等,根据文献<sup>[13,14]</sup>可确定不同含盐量的经验值。有关参数的选取和计算结果见表3。

从表3可以看出,要是新垦荒地达到可以耕种标准,在第一阶段,淋洗定额为17 164.0 m<sup>3</sup>·hm<sup>-2</sup>,所要排走的废水量也高达13 845.0 m<sup>3</sup>·hm<sup>-2</sup>,在如此高的冲洗定额下,如没有完善的排水系统,必然会对地下水产生显著的影响,引起区域水位抬升,加剧土壤次

表2 荒地盐分蓄积量与所需排盐量计算结果  
Table 2 Accumulated salts and leaching salts in wasted land

盐分蓄积量计算				排盐量计算				
H/m	r/g·cm <sup>-3</sup>	S <sub>1</sub> /g·kg <sup>-1</sup>	T <sub>蓄</sub> /kg·hm <sup>-2</sup>	H/m	r/g·cm <sup>-3</sup>	S <sub>1</sub> /g·kg <sup>-1</sup>	S <sub>2</sub> /g·kg <sup>-1</sup>	T <sub>排</sub> /kg·hm <sup>-2</sup>
1.00	1.42	52.90	751 180.0	1.00	1.42	52.90	5.00	680 180.0

表 3 盐分冲洗相关参数与冲洗定额  
Table 3 The related parameters of soil salt leaching and leaching requirement

冲洗阶段	有关参数								
	$S_1/g \cdot kg^{-1}$	$S_2/g \cdot kg^{-1}$	$B_1/g \cdot kg^{-1}$	$B_2/g \cdot kg^{-1}$	$K/g \cdot cm^{-3}$	$r/g \cdot cm^{-3}$	$n_1/m^3 \cdot hm^2$	$Q/m^3 \cdot hm^2$	$W_2/m^3 \cdot hm^2$
1	52.9	10	310	120	0.044	1.42	620.87	17 164.0	13 845.0
2	10	5	310	120	0.033	1.42	620.87	5 470.4	1 613.64

生盐碱化的风险。从冲洗的第二阶段来看,淋洗定额仅相当于第一阶段的 1/3,需要的排走的废水量也仅为  $1\ 613.64\ m^3 \cdot hm^{-2}$ 。

### 2.2.1.3 水质预测与结果分析

根据《制定地方水污染物排放标准的技术原则与方法》(GB3839—83),对难以降解的有机污染物、可溶性盐类、悬浮固体等仅考虑水体稀释作用。由于在本预测中主要影响因子为可溶性盐,属持久性污染物,故预测模型选用完全混合模式<sup>[9]</sup>,见式(7)。本地区计划在 5 年内垦荒  $5 \times 10^4\ hm^2$ ,洗盐一般安排再夏秋两个季节,大致约 50% 的农田排水进入塔里木河,则可预测在阿拉尔断面夏季的矿化度达到  $2.34\ g \cdot L^{-1}$ ,该值约升高为当前矿化度的 2 倍;在枯水期河流断面的矿化度将升至  $4.56\ mg \cdot L^{-1}$ 。

$$C = \frac{Q_0 C_0 + q C_i}{Q_0 + q} \quad (7)$$

式中:  $C$  为预测断面的矿化度,  $mg \cdot L^{-1}$ ;  $C_0$  为上断面的矿化度,  $mg \cdot L^{-1}$ ;  $Q_0$  为上断面流量,  $m^3 \cdot s^{-1}$ ;  $q$  为农田盐分冲洗的排入河流的流量,  $m^3 \cdot s^{-1}$ ;  $C_i$  为农田排水的矿化度,  $mg \cdot L^{-1}$ 。

由此可看到在垦荒后,势必会引起河流水质显著劣化。从长远来看,即使在荒地 1 m 土层的盐分下降至  $5\ g \cdot kg^{-1}$  后,为保证耕作层的土壤盐分平衡,还必须维持一定的排灌比,一般约在 5%~8%,在当前的高灌溉定额情况下,农田排水量已经很大。若垦荒后的排水直接排入塔里木河,则势必会导致塔里木河水质

的进一步劣化。

### 2.2.2 阿拉尔段水质的回归预测

限于水质监测的资料匮乏,利用塔里木河阿拉尔站的从上个 50 年代至 20 世纪末的离散监测资料来进行回归预测,可发现河水的年平均矿化度以指数形式增加。实际监测资料表明,约在上个世纪 70 年代初期阿拉尔段河流年平均矿化度超过  $1\ g \cdot L^{-1}$  的国家生活标准,2000 年后则略超过农田灌溉水质标准。据拟和方程可以预测到在 2010 年阿拉尔年平均矿化度达到  $2.67\ g \cdot L^{-1}$ ,2015 年则达到  $3.01\ g \cdot L^{-1}$ ,2020 年则高达  $3.40\ g \cdot L^{-1}$ 。从 2015 以后水质完全盐化,基本失去饮用水和农田供水的基本功能。

## 3 塔里木水质调控目标与方法

### 3.1 水质调控目标

水质决定了水的用途和利用价值,给定地区的水质要求应与其所承担的功能相适应。阿拉尔段位于塔里木河干流区的上游,承担着向河流中下游进行输水的功能。如前所述,矿化度是表征水质的主要参数。因此,应使水质在该监测站点全年的矿化度小于  $2\ g \cdot L^{-1}$ ,以满足向中下游输水的需要。

### 3.2 调控方法探讨

如前所述,在塔里木河流域,农业生产是影响河流水质与流量的最关键因素,水质的改善主要取决于耕地开发的规模和布局以及农田排水的处理方式。限于资料的有限性和可靠性,作者所提出的措施侧重于宏观策略。

#### 3.2.1 以水定地,确定塔里木河干流区上游上段区域适宜的耕地规模

在塔里木河流域水资源的统一管理框架下,干流区上游上段区的地表用水量是一定的。在本区,农业是用水大户,约 90% 以上的水资源均配置给农业用水。因此,对当前的农业用水的合理性进行科学评估。首先,比较准确地计算作物需水量和盐分淋洗需水量,由此确定综合需水量。在此基础上,根据农业用水总量,确定出适宜的耕地规模,并与现有的耕地总量

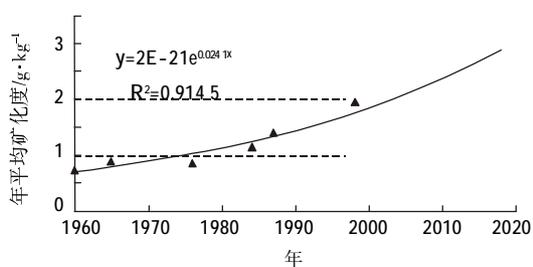


图 5 阿拉尔站年平均矿化度变化趋势  
Figure 5 Change of annually average degree of mineralization at Alar station

对比,对之进行调整。把农业增产的主攻放在中低产田的改造上,这是在灌溉规模一定的情况下提高农业产量基本的、必须的措施。冲洗定额的计算也充分证实了改造低产田比新垦荒地远为经济。

3.2.2 通过提高渠道防渗率和改进地面灌溉技术,适度排水,提高水资源利用效率

本灌区,渠系的综合利用系数约在 0.42~0.45,田间水利用系数 0.7~0.75,灌溉水利用系数在 0.3~0.34,造成了水资源极大浪费。渠系水综合利用效率低,造成这部分水不但未参与盐分淋洗,而且造成了区域水位的抬升,易导致次生土壤盐碱化;灌溉水定额 10 000~15 000 m<sup>3</sup>·hm<sup>-2</sup>,远超过当地作物需水量和盐分淋洗需水量,虽具有冲洗土壤盐分的作用,但同时抬高了地下水位,在当地强烈的蒸发作用下,容易把土壤深层的盐分带入作物根层,造成作物严重减产。

从灌排管理上看,提高灌溉水利用系数,不仅可以节约极为宝贵的水资源,而且有利于在源头上减少排水成本,还可以由于排水的减少,从而减少排到中下游的盐分<sup>[16,17]</sup>。因此,灌区水盐平衡的前提应建立在节水灌溉基础上。

3.2.3 采取多途径排水,实现排水资源资源化

从大尺度的地理格局来看,本区人工绿洲灌区多与沙漠相邻接,可通过排水渠道的适度延拓,将之部分引入故河道,用以恢复故河道两岸衰败的植被。从表 1 可以看出,老绿洲的农田排水水质明显好于新绿洲灌区,可直接用来灌溉耐盐植物,如胡杨、怪柳等,以期能恢复绿洲荒漠过渡带的植被。

在灌区内部土地利用格局下,灌区土地利用系数约为 25%~30%,耕地中广泛夹杂着荒地、弃耕地与洼地是本灌区的显著特点之一。荒地(包括弃耕地、洼地)盐分的分布特征表明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,荒地在一定程度上成为容纳土壤盐分的“库”,也在一定程度上减轻了耕地排盐的压力。因此,可把灌区中矿化度较低的排水与淡水按一定比例混合来灌溉耐盐性较强的作物或盐生植物,以发展畜牧业;对于高矿化的排水则可以引入洼地,让其不断蒸发浓缩,最后提取有用的矿产资源。

总之,根据土壤初始含盐量和水文地质条件对灌区内部土地进行功能分区,确定出适宜排盐的地段与面积,探索排水在灌区内部部分消耗的可行性,从而有效减小农田排水对塔里木河的压力,也减小农田排水系统修建与维护费用。

## 4 结语

土壤盐碱化与次生盐碱化是威胁干旱与半干旱地区灌溉农业持续发展的最关键因素,对其改良和治理的不当往往造成区域环境质量的退化。对退化环境的修复的难度与成本往往远大于预防的成本,因此,必须引起人们深切的关注。水土资源的开发规模过大与水土开发布局不合理是造成上游开荒、下游撂荒和塔里木河水质盐化的根本原因。切实以塔里木河流域为单位,对水土资源的开发布局与模式进行有效的调整,则有望实现塔里木河流域农业经济发展与生态环境保护的双赢。

### 参考文献:

- [1] 范锡朋. 西北干旱区地下水资源特征及水资源开发引起的环境问题(上)[J]. 水文地质工程地质, 1990, 1: 3-7.
- [2] 范锡朋. 西北干旱区地下水资源特征及水资源开发引起的环境问题(下)[J]. 水文地质工程地质, 1990, 1: 12-16.
- [3] 宋郁东, 樊自立, 雷志栋. 中国塔里木河水资源与生态问题研究[M]. 乌鲁木齐: 新疆人民出版社, 2000. 256-260.
- [4] 徐海量, 宋郁东, 陈亚宁. 塔里木河下游生态输水后地下水变化规律研究[J]. 水科学进展, 2004, 15(2): 223-226.
- [5] 刘加珍, 陈亚宁, 李卫红, 等. 塔里木河下游植物群落分布与衰退演替趋势分析[J]. 2004, 15(2): 379-383.
- [6] 何文勤, 章曙明. 合理开发利用新疆水资源发展绿洲生态农业[J]. 干旱区地理, 2001, 1: 42-46.
- [7] 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.
- [8] 季方, 樊自立, 马英杰. 农田排水对塔里木河水质盐化的影响研究[J]. 灌溉排水, 1998, 17(3): 32-35.
- [9] 杨永春, 李吉均, 陈发虎, 等. 石羊河下游民勤绿洲变化的人文机制研究[J]. 地理研究, 2002, 21(4): 449-457.
- [10] Kevin C Urama. Land-use intensification and environmental degradation: empirical evidence from irrigated and rain-fed farms in south eastern Nigeria[J]. Journal of Environmental Management. 2005, 75, 199-217.
- [11] 郭元裕. 农田水利学[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2001. 280-289.
- [12] 杨学良. 柴达木盆地内陆盐渍土的冲洗技术[J]. 水利水电技术, 1999, 30(2): 35-38.
- [13] 罗家雄, 等. 新疆垦区盐碱地改良[M]. 北京: 水利水电出版社, 1985.
- [14] 魏新平, 舒仲英, 贾恢先. 用对流弥散方程确定脱盐系数[J]. 甘肃农业大学学报, 2004, 4: 463-466.
- [15] 陆雍森. 环境评价[M]. 上海: 同济大学出版社, 1999.
- [16] 杨劲松, 陈小兵, 周宏飞. 塔里木灌区水盐平衡研究[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2007, 18(2): 69-73, 77.
- [17] Konukcu F, Gowing J W, Rose D A. Dry drainage: A sustainable solution to waterlogging and salinity problems in irrigation areas? [J]. Agriculture Water Management, 2006, 83 (1-2): 1-12.