

伊犁河谷地下水盐运动规律研究

海米提·依米提¹, 吐尔逊江·伊布拉尹^{1,2}, 米日姑·买买提^{1,2},
古丽娜尔·托合提^{1,2}, 黄志方^{1,2}

(1. 教育部绿洲生态重点实验室, 新疆 乌鲁木齐 830046; 2. 新疆大学资源与环境科学学院, 新疆 乌鲁木齐 830046)

摘 要: 根据研究区地质地貌, 将整个研究区划分为三层阶地, 通过对三层阶地的地下水盐动态进行实时监测, 运用双因子方差分析方法, 详细论述了地下水电导率随地下水位在不同时期及不同分布条件下的变化情况。结果表明, 地下水电导率变化与水位变化有很大关系, 且表现出很强的区域特征: 各阶地电导率(EC)值均随水位的上升而增加, 高 EC 值出现在高水位区, 第二阶地高水位电导率存在显著变异。另外微地域环境、气候、生物、人类活动等外界因素也会影响地下水盐的动态过程。因此, 有效降低该灌区地下水位是控制土壤盐化的重要措施。

关键词: 地下水盐; 动态规律; 地下水位; 地下水电导率; 空间变异

中图分类号: TV213.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2011)04-0168-06

水是自然环境综合体中最活跃的因素, 是自然物质和能量的主要介质, 因此水分要素同样是生态系统的生命线^[1]。干旱半干旱地区地下水盐化是影响和控制地下水环境的重要因素, 已在全球范围内引起了广泛的关注和重视。地下水盐化是指地下水总溶解固体增加, 沿着地下水流方向从补给区到排泄区发生相应的变化^[2]。地下水总溶解固体是地下水各组分浓度的总指标, 是地下水水化学长期演变的最终结果, 也是表征水文地球化学作用过程的重要参数, 可集中反映区域水文地球化学特征。在地下水水质特征参数中, 地下水电导率与土壤盐渍化的形成和发展关系十分密切^[2]。国内外研究表明: 在潜埋深小于返盐临界深度的相同条件下, 潜水的 EC 愈大, 土壤盐渍化愈重, 反之愈轻^[3,4]。为了更好地控制研究区盐碱化的复发, 本文从揭示灌区地下水盐特性出发, 依据实地采集到的数据深入研究地下水盐动态特征, 对分析整个灌区水盐运移及土壤盐化进程有重要的作用, 以期为研究区水盐管理、作物需水量的动态调节提供科学依据^[5,6]。

1 研究区概况

本研究区位于新疆西天山支脉——包孙山北麓, 伊犁河以南辽阔的河谷盆地。其地势南高北低, 南部为山区、丘陵, 中部为倾斜平原, 北部为伊犁河冲积平原。北部隔着伊犁河与伊犁哈萨克自治州首府伊宁市及伊宁县, 霍城县相望, 南部以山为界和昭苏

县、特克斯毗连, 东邻巩留县, 西部与哈萨克斯坦接壤。

研究区气候属温带亚干旱气候区, 年均气温 7.9℃, 年均降水小于 200 mm, 冬季寒冷, 夏季炎热, 降水少, 蒸发量大, 蒸发与降水之比约为 6~15:1。温度的日较差、年较差和年际变化大。最高处海拔为 739 m, 最低处为 558 m。因地形地貌的不同, 水热再分配及土壤垂直差异明显, 土壤以草甸土和灰钙土为主。年径流量 $9.566 \times 10^6 \text{ m}^3$ (不含地下水)^[7]。研究区水、土、光、热等自然资源丰富, 但其植被稀少且分布不均, 因此生态环境较为脆弱。研究区地下水主要为空隙潜水, 接受农田灌溉、大气降水的补给, 最终排泄在伊犁河内。地形坡度陡, 坡降 1/40~1/180 左右。平原中部地形较平缓, 地质构造上为上更新统一全新统冲洪积沉积层, 上覆 1~5 m 厚亚砂土, 中为 30~100 m 厚卵砾石层, 再往下是含砾亚粘土和粘土层。地下水和土壤 pH 平均值分别为 8.22 和 8.18, 都表现为偏碱性。

2 研究方法

本研究主要采用观测井网来分析地下水盐动态特征^[8,9], 针对每个地下水样点, 实地测定地下水埋深、水温、总盐分、矿化度、电导率、pH 值。研究区地形南高北低, 根据所布设的各井点地理位置及海拔, 将整个区域分为三级阶地: 第一阶地高程在 550~600 m; 第二阶地 600~650 m; 第三阶地 650~730 m

收稿日期: 2010-11-23
基金项目: 国家科技支撑计划项目(2007BAC15B02); 国家自然科学基金面上项目(40971020)
作者简介: 海米提·依米提(1960—), 男, 维吾尔族, 新疆喀什人, 教授, 博士生导师, 从事干旱区水资源开发利用及其环境效应研究。
E-mail: hyimit@yahoo.com.cn.

(如图 1)。在实验室对地下水盐分和各盐分组成离子进行测定。以 2008~2009 年为例,根据水文地质及当地开采情况在研究区共布设了 61 个观测井点,首先对地下水进行了一年时空分析,然后重点分析

了地下水位的不同时期及不同分布条件下电导率的变化情况,深入研究了地下水位变化对地下水电导率的影响,从而总结出研究区地下水盐动态变化规律。

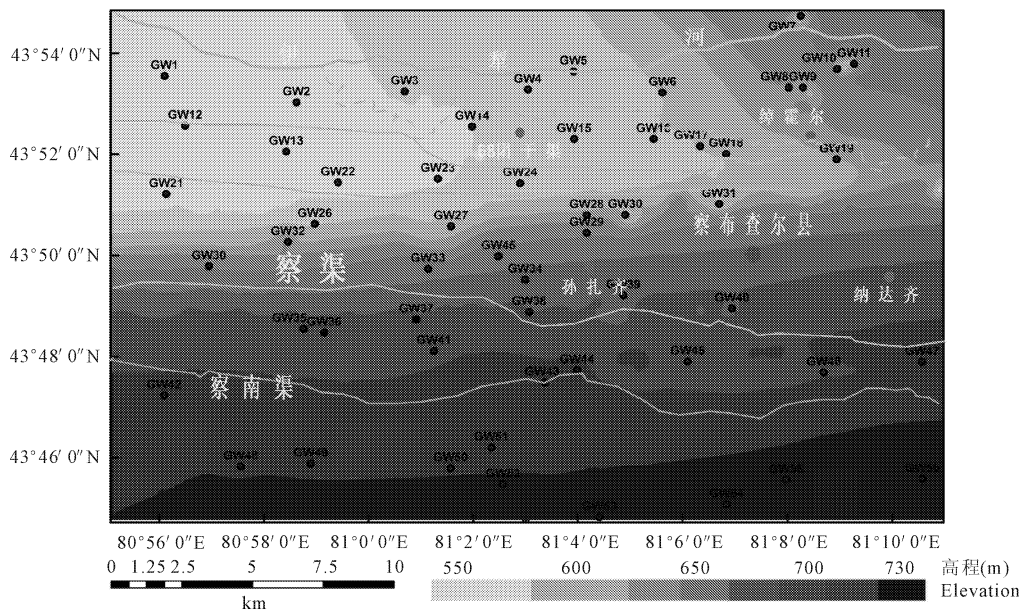


图 1 研究区井位分布

Fig.1 The well location distribution of the study area

3 结果与分析

3.1 地下水埋深年变化情况

地下水动态是指地下水的数量和质量(包括地下水位、水量、水化学成分、水温等水文要素)随时间的变化过程^[10]。影响地下水动态的因素很多,如气候、水文、地质、生物及人为因素等,从区域地下水动态的形成来说,气候起主导作用,其他因素在一定范围内的影响也很重要,我国西北地区地形复杂,气候多变,形成了多种地下水动态特征。

按照本研究的要求在整个研究区内共安装了 6 台地下水位自动观测仪。6 台观测仪得到的地下水位数据有高度的一致性。通过一年的观测和研究区实际情况可以得出这样一个埋深变化规律:地下水埋深从 4 月中旬开始一直升到 5 月中旬,5 月下旬开始稍微下降,但变化不大。从 6 月中旬到 9 月下旬基本上保持稳定状态。从 10 月上旬开始下降,一直下降到 3 月下旬。一年内埋深最小的时段是 4 月中旬到 5 月,最大为 2 月到 3 月下旬。

图 2 反映了整个研究区 2008~2009 年不同时期地下水埋深的变化情况,可以看出埋深最浅的是 6 月份,其次是 9、10、3 月份。对样本的埋深数据进行描述性统计分析后得出的结果表明,各月埋深变

异系数(各观测值变异程度的一个统计量)分别为 162.57%,150.1%,175.9%,165.2%,变异系数都大于 100%。地下水埋深受地形地貌岩性结构及灌溉排水的影响,都具有很强的时空变异性。在空间尺度上,地下水埋深从南到北越来越变浅,第二阶梯地下水埋深 1.5~3 m 之间,往北更小。

3.2 地下水电导率(EC)年变化情况

经统计分析,EC 值的变异系数分别为 172.4%,159.0%,155.2%,187.8%,均属很强的变异性,说明存在较大样本值。图 3 可直观看出,6 月份 EC 值变异性最大,变异点较分散,其中第二阶地的 GW41,GW39,GW37,GW2,GW37 等观测点凸处较明显,这是由于 6 月地下水埋深最小,受气候及春灌影响,入渗水将土壤中大量盐分溶入地下水所致;9 月 EC 值最大的是 GW37,GW43,GW44 观测点,其它观测点 EC 值少有下降的趋势;11 月整个研究区中部变化较明显,起伏不均,GW36 观测点开始凸起,GW44 观测点向东与 GW43,GW45,GW48 和 GW51 观测点形成了较大范围高 EC 值区域,其它零散的较高值区域均有不同程度地扩张,使整个研究区 EC 平均值增高;3 月 GW37 观测点的大范围高值区和其它较高值区域已经收缩,平均 EC 值有所下降。

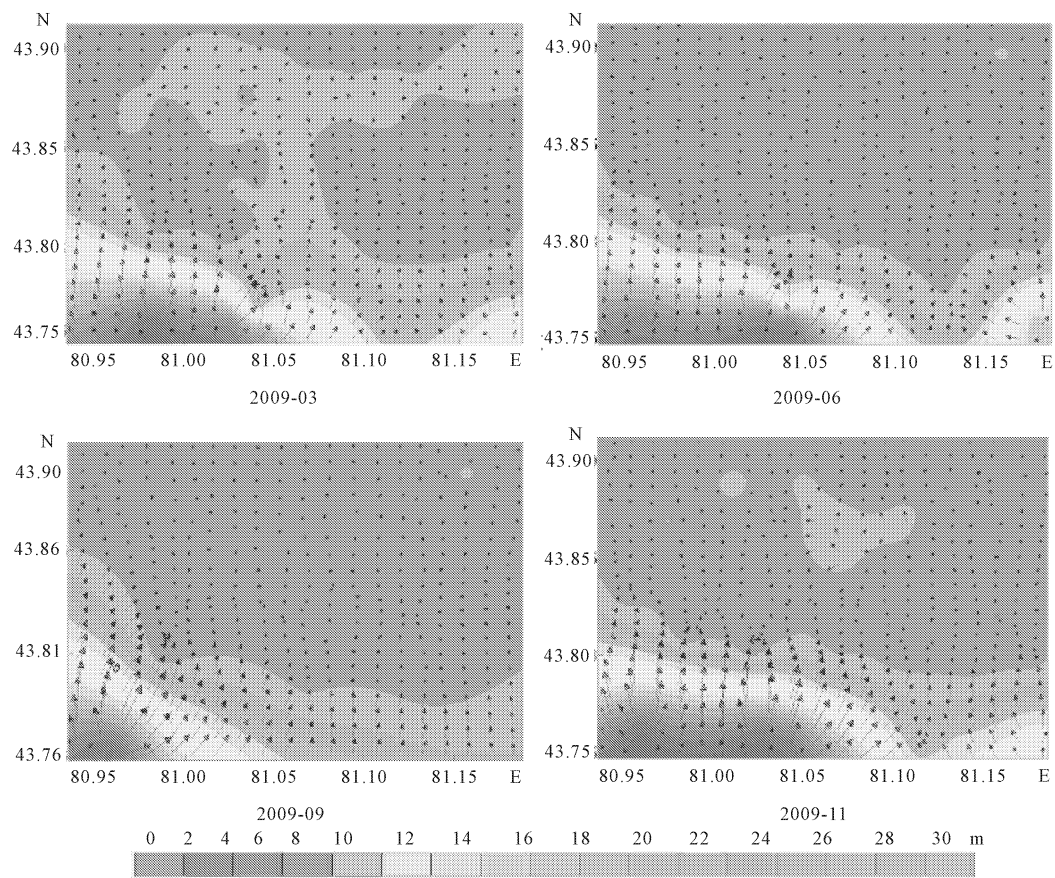


图 2 研究区 2008~2009 年不同时期地下水埋深等值线图

Fig.2 The isogram of groundwater level in the study area during different periods of 2008~2009

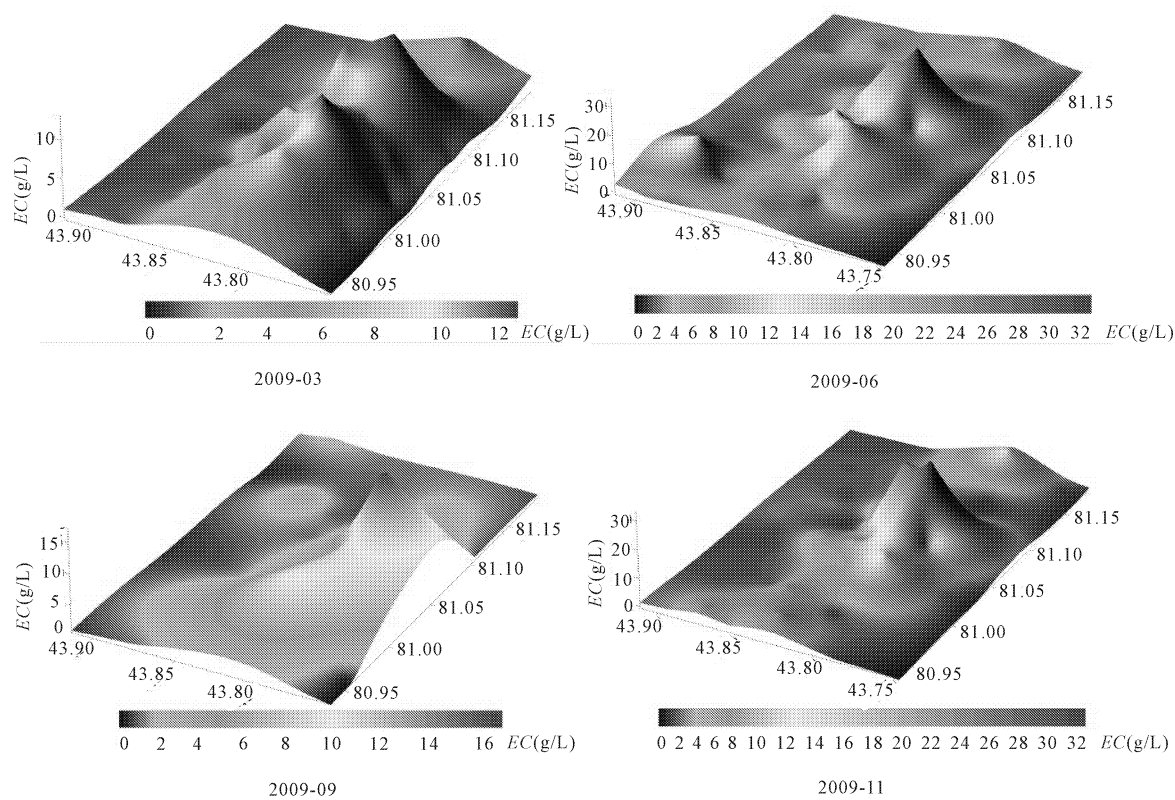


图 3 研究区 2008~2009 年不同时期地下水电导率分布图

Fig.3 The distribution of groundwater conductivity in the study area during different periods of 2008~2009

综上,地下水 EC 分布与埋深分布有很大的一致性,即高 EC 值分布与埋深浅区分布基本相同,因此可以判断地下水 EC 变化与埋深变化有很大关系,并且 EC 变异性较大的区域大多分布在研究区的第二阶地,表现出很强的区域特征。

3.3 地下水电导率与地下水埋深变化规律

前已论述地下水电导率与地下水埋深有很大相关性,且具有明显的区域特征,以下将对不同埋深条件下电导率变化情况进行具体分析。图 4 为不同时间 EC 观测值与埋深的关系,表明各时段 EC 值均随埋深的变浅而增大,变化趋势基本一致。

图 4 表明各月 EC 值均随埋深变浅而增加,当地下水埋深大于 10 m 时,各月 EC 观测值变化不

大,埋深 5~10 m 时, EC 值略有差异,埋深小于 5 m 时, EC 值变化更大,高 EC 值区域主要集中在埋深小于 5 m 的第二阶地中。随埋深的增大 EC 值变得越来越小。且由中水位上升到高水位时电导率变化速率明显大于低水位上升到中水位时的变化速率,因此可以确定高水位 EC 值存在显著的区域变异性。从地形上来看,第一阶地地势最低,第一阶地黄土层厚度大于 1 m,一般厚度在 1~7 m。也就是土壤耕作层之所在,由于下部为粗颗粒地层并且地下水位埋深较深,排水措施良好,一般不存在因灌溉引起的地下水位上升及次生盐渍化问题^[11],水质 EC 小于 2 g/L。

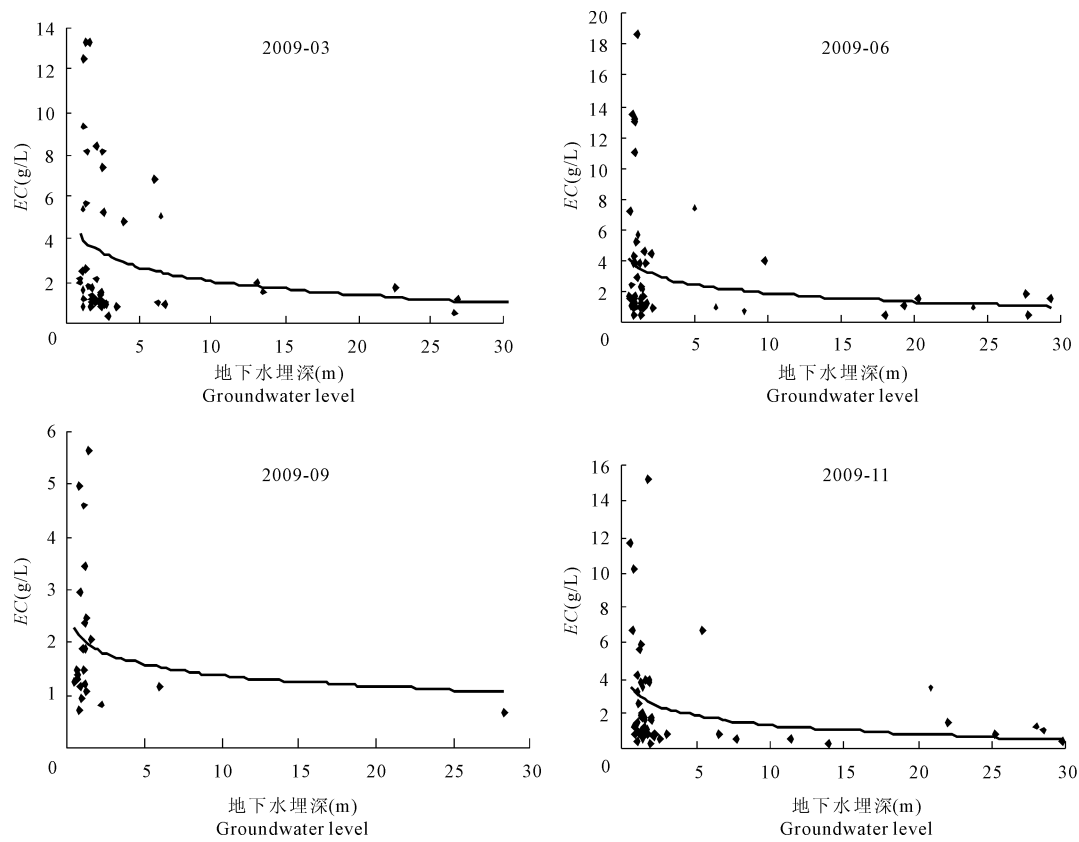


图 4 地下水电导率随水位变化趋势

Fig.4 The variation tendency of groundwater conductivity along with groundwater level

第二阶地(察渠和察南渠之间的部分)是整个研究区内盐渍化比较严重的部分。阶地阶面地形平坦,分布着古老的灌区,引水干渠近东-西走向分布,对接收山前冲洪积排泄出的地下水十分有利,冲洪积平原出露的泉水除直接灌溉外大部分水量汇入察布查尔南干渠及察布查尔干渠中间的部分,是第三阶地的地下水排泄聚积地。地下水大量积于第二

阶地,导致该区域高水位区电导率不断增高。再次,第二阶地大部分以抽取地下水为主,地下水人为扰动较大,使得地下深层水上升,并携带大量盐分,导致高水位区电导率值偏高。第三阶地属于山前冲洪积平原区^①。浅层地下水埋深 10~35 m 之间。地下水水质良好, EC 小于 1.5 g/L。

^① 察布查尔县水利局. 察布查尔县水资源概况. 2008.
(C)1994-2025 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

综合考虑,灌区不同分布、不同时期水位变化较大,最高最低水位相差达 33.92 m,据此将水位分为高水位($H<5\text{ m}$)、中水位($5\text{ m}<H<20\text{ m}$)、低水位($H>20\text{ m}$),以便于对 EC 值进行双因子方差分

析^[11]。由 EC 值双因子方差分析(表 1)可以看出,高水位的 EC 值与中、低水位 EC 值差异显著性水平远远小于 0.05,说明高水位 EC 值与中、低水位 EC 值存在显著差异。

表 1 不同水位分布下 EC 值多重比较						
Table 1 The multiple comparison of EC value under different groundwater level distributions						
(I) H	(J) H	平均差值 (I-J)	标准误差 STD	显著性水平 Sig	95%置信区间	
					下限 Lower	上线 Upper
高水位 High	中水位 Mid	2.039826	1.743276	0.029	-5.46499	9.54464
	低水位 Low	4.161898	1.913303	0.000	-1.67892	1.00027
中水位 Mid	高水位 High	-2.039826	1.743276	0.029	-9.54464	5.46499
	低水位 Low	2.122071	1.500834	0.039	-6.90156	1.11457
低水位 Low	高水位 High	-4.161898	1.913303	0.000	-1.00027	1.67892
	中水位 Mid	-2.122071	1.500834	0.039	-1.11457	6.90156

4 结 论

本文利用观测井网来分析研究区地下水盐年动态以及空间分布特征,重点研究了地下水电导率随地下水位在不同时期及不同分布条件下的变化情况。结果表明,地下水电导率变化与水位变化有很大关系,且表现出很强的区域特征;各阶地 EC 值均随水位的上升而增加,高 EC 值出现在高水位区,第一阶地高水位电导率存在显著变异。由于气候因素、生物因素和人为因素的影响,会使该动态特征产生偏差,但总体来说始终遵循上述规律。

次生盐渍化问题和土壤干旱植被衰败问题与地下水的关系非常密切。土壤次生盐渍化是由于地下水位埋深浅,支持毛细水带上缘接近地表,在蒸发作用下,地下水不断地补给土壤水,水分蒸发进入大气,盐分在土壤表层积累导致盐渍化;而土壤干旱植被衰败是由于地下水位埋深太深,毛细上升高度达不到植物根系层发育深度,植被根系吸收不到水分而导致凋萎枯死。无疑,地下水的生态环境效应十分明显,同时也反映出地下水具有重要的生态环境调控作用^[12~14]。对于该研究区而言,确立地下水盐动态变化规律对地下水盐区域评价及预测预报奠定了基础,在生产实践上具有重要的意义,因此需要更进一步探索多方面因素与地下水盐的关系,提出更合理、更科学、更适用于该灌区的开发利用及保护水资源的有效途径,实现地下水资源的可持续利用,保持人与自然的协调发展。

参 考 文 献:

[1] 王让会. 遥感及 GIS 的理论与实践——干旱内陆河流域脆弱生态环境研究[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2004.

[2] Richter B C, Kreidler W C. Geochemical Techniques for Identifying Sources of Groundwater Salinization [M]. New York: CRC Press, 1993: 14—26.

[3] 李加宏, 俞仁培. 水—土壤—植物系统中盐分的迁移和植物耐盐性研究[J]. 土壤学进展, 1995, 23(6): 9—20.

[4] Ramsis B, Salama, Claus J, et al. Contributions of groundwater conditions to soil and water salinization[J]. Hydrogeology Journal, 1999, 7: 46—64.

[5] 赵雁冰. 地下水监测研究工作现状分析及对策[J]. 地下水, 2005, 27(4): 272—273.

[6] 张 勃, 丁文晖, 孟 宝. 干旱区土地利用的地下水水文效应分析[J]. 干旱区地理, 2005, 28(6): 764—769.

[7] 颜 亮, 高敏华, 刘光宇. 基于 RS/GIS 的新疆察布查尔县绿洲动态变化研究[J]. 研究与开发, 2007, (11): 25—29.

[8] MARIOSS, OLEARA. Groundwater net work design for north west Kansas using the theory of regionalized variables [J]. Groundwater, 1982, 20(1): 95—99.

[9] ZHOU Yangxiao. Design and Analysis on the Groundwater Level Monitoring Net Work for Zhengzhou City, China[M]. 北京: 科学出版社, 1990: 27—31.

[10] 张元禧, 施鑫源. 地下水水文学[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 1998.

[11] 王伍军, 杨根兰, 陈溪华, 等. 溶质运移的空间信息统计组合分析[J]. 环境科学与技术, 2006, 29(5): 50—51, 58.

[12] 关志华, 齐文虎, 张红旗. 渭干河灌区水盐平衡及盐分运移[J]. 资源科学, 2004, 26(2): 74—79.

[13] 樊自立, 马英杰. 塔里木河流域生态地下水位及其合理深度确定[J]. 干旱区地理, 2004, 27(1): 813.

[14] 付爱红, 陈亚宁. 新疆塔里木河下游不同地下水位的胡杨水势变化分析[J]. 干旱区地理, 2004, 27(2): 207—211.

Investigation on dynamical laws of salt in groundwater in Yili River Basin of Xinjiang

Hamid·Yimit¹, Tursunjan·Ibrahim^{1,2}, Mihrigul·Mamat^{1,2}, Gulnar·Tohti^{1,2}, HUANG Zhi-fang^{1,2}

(1. Key Lab of Oasis Ecology, Ministry of Education, Urumqi 830046, China;

2. College of Resources & Environment Sciences, Xinjiang University, Urumqi 830046, China)

Abstract: The entire irrigation district is divided into three terraces based on the geology and geomorphology of the study area in this research. The water-salt in soil dynamic behavior on the three terraces is real-time monitored on the spot, and the paper analyzes detailedly the change situation of groundwater conductivity along with groundwater depth at different stages and in different distribution conditions using the method of double-factor variance analysis. The results indicate that groundwater conductivity has close relation with water level, and this situation exhibits strong regional characteristics that the increase of *EC* value on each terrace is along with the rise of the water level, the high *EC* value always appears in the high water level district, and there exists significant variation of conductivity on the second terrace. In addition, the outside factors such as the micro-region environment, the human activity, the climate etc., can also affect the dynamical process of groundwater and salt. Therefore, the reduction of the water level in this irrigation district is an important measure to control the soil salinification and is a key to realizing the sustainable development of agriculture.

Keywords: groundwater salt; dynamic law; groundwater level; groundwater conductivity; spatial variability

(上接第 167 页)

Contrastive study on soil water content characters of *Artemisia arenaria* and *Calligonum mongolicum* shrubs in artificial sand-fixation area in Gurbantunggut Desert of Northwest China

HOU Jian-xiu¹, ZHANG Yuan-ming², TAO Ye^{2,3},

QUAN Yong-wei¹, LI Ming-jie¹, DU Xiao-hu¹

(1. Engineering Construction Management Bureau for Ertix River Basin Development in Xinjiang, Urumqi 830000, China;

2. Key Laboratory of Biogeography and Bioresource in Arid Land, Xinjiang Institute of Ecology and Geography,

Chinese Academy of Science, Urumqi 830011, China; 3. Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: The natural *Artemisia arenaria* and *Calligonum mongolicum* shrubs were selected in five-year sand fixation area beside the desert canal in Gurbantunggut Desert, Northwest China. According to shrub crown size, five horizontal distance levels and four vertical depth levels were chosen to contrastively study the soil water content (SWC) of the two shrubs. The result showed that the SWC values increased with the soil layer depth, the AWC values of two lower layers (20~40 cm, 40~60 cm) were significantly ($P<0.05$) more than the two upper layers (0~10 cm, 10~20 cm), while the other AWC were not markedly different. There were no clear differences at every distance at the soil layers of the two upper levels of *A. arenaria* shrub and total four of *C. mongolicum* shrub. While the RWC of mid-shrub (50 cm) at the two lower layers of *A. arenaria* were the most, and it was significantly ($P<0.05$) different from the shrub edge (80 cm). The soil bulk density values at the upper layers of the two shrubs were slightly higher than those at the two lower layers, but there were no evident differences between the two shrubs, different distances and different layers. It was found that *A. arenaria* shrub with dense branches had a certain "fertile island effect" of water, compared to *C. mongolicum* shrub which had sparse branches. This effect was beneficial to the growth and diffusion of *A. arenaria* population, maybe it was one of the important factors to cause the distribution difference of the two shrubs and to widely distribute in the artificial sand-fixation area for *A. arenaria* population.

Keywords: artificial sand-fixation area; *Artemisia arenaria*; *Calligonum mongolicum*; soil water content; bulk density; fertile island effect; Gurbantunggut Desert