

西北干旱区典型绿洲盐渍土现状及特征分析

王雪梅^{1,2}, 柴仲平³, 塔西甫拉提·特依拜², 胡江玲¹, 龚爱谨¹

(1. 新疆师范大学 地理科学与旅游学院, 乌鲁木齐 830054; 2. 新疆大学 资源与环境科学学院, 乌鲁木齐 830046; 3. 新疆农业大学 草业与环境科学学院, 乌鲁木齐 830052)

摘要:以野外调查和实地测点为基础, 对新疆塔里木盆地北缘渭干河-库车河三角洲绿洲土壤特征进行研究。分析结果表明: 土壤含盐量、电导率和溶解性固体在三层呈T型分布 $0-10\text{ cm} > 10-30\text{ cm} > 30-50\text{ cm}$, 同时, 三者在各个土层均有较强的空间变异性; pH值和含水量在三层变化并不显著, pH值在各个土层为弱变异性, 而含水量则表现为中等变异性; 通过相关分析和主成分分析, 认为以 Cl^- 、 Na^+ 和 Ca^{2+} 为主的第一主成分代表了土壤的盐化状况, 以 Mg^{2+} 和 K^+ 为主的第二主成分则反映了土壤的结构状况, 而以 HCO_3^- 为主的第三主成分代表了土壤的碱化状况。

关键词: 渭干河-库车河三角洲绿洲; 盐渍化; 土壤特征

中图分类号: S156.4

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2009)02-0087-05

Analysis on the Characteristics of Soil Salinization in a Typical Oasis of the Northwest Arid Area

WANG Xue-mei^{1,2}, CHAI Zhong-ping³, Tashpolat · Tiyp², HU Jiang-ling¹, GONG Ai-jin¹

(1. College of Geography Science and Tourism, Xinjiang Normal University, Urumqi 830054, China;

2. College of Resources and Environment Science, Xinjiang University, Urumqi 830046, China; 3. College

of Pratacultural and Environmental Science, Xinjiang Agriculture University, Urumqi 830052, China)

Abstract: Through a large number of field investigation and measuring sample points in the Delta Oasis of Weigan and Kuqa Rivers of Tarim Basin northern margin in Xinjiang, the soil salinization characteristics are studied in different spatial changes. The results show that: the soil salt content, the conductivity and the soluble solid assume T' in three distribution, which is $0-10\text{ cm} > 10-30\text{ cm} > 30-50\text{ cm}$. Simultaneously, three characteristics have the strong spatial variability in each soil layer; pH and the water content are not remarkable in three layers, pH is the weak variability, while the water content is the medium variability. The correlation analysis and the principal components analysis indicated that the first principal component which is composed of Cl^- , Na^+ and Ca^{2+} has primarily represented the soil salinization characteristic, the second principal component which is composed of Mg^{2+} and K^+ has reflected soil structure condition, and the third principal components has represented the soil alkalize condition.

Key words: the delta oasis of Weigan and Kuqa rivers; soil salinization; soil characteristics

据联合国粮农组织的资料表明, 全世界盐渍土地的总面积约达 $9.5 \times 10^8\text{ hm}^2$, 占地球陆地面积的 7.26%, 其中, 我国盐渍土地的面积为 $9.913 \times 10^7\text{ hm}^2$, 约占世界盐渍土地的 1/10。新疆是盐渍化大区, 盐碱

土面积达 $2.181 \times 10^7\text{ hm}^2$, 现有耕地中 31.1% 的面积受到盐碱危害。土壤的盐渍化问题和灌溉引起的土壤次生盐渍化问题是新疆农业发展的主要障碍, 也是影响新疆绿洲生态环境稳定的重要因素^[1]。

* 收稿日期: 2008-05-15

基金项目: 国家自然科学基金项目(40261006); 教育厅重点项目(060008); 教育厅创新研究群体项目(060023); 新疆大学绿洲生态教育部重点实验室开放课题(XJDX0201)

作者简介: 王雪梅(1976-), 女, 江苏铜山人, 在读博士, 讲师, 主要从事干旱区资源环境及遥感应用研究。E-mail: wangxm_2006@yahoo.com.cn。

通信作者: 塔西甫拉提·特依拜(1958-), 男(维吾尔族), 教授, 博导, 现从事遥感技术及其应用研究。E-mail: tash@xju.edu.cn

盐渍土的发生受区域性因素的制约和影响,其盐分组成及离子比例呈现地域性特点,积盐、脱盐过程存在显著差异,对植物和农作物生长发育的影响也不尽相同。同时,盐渍化土壤积盐强度以及占优势盐类的组成随生物、气候、地带性土壤的发生过程不同差异很大^[2]。目前,已有多位研究者在不同地区对土壤含盐量、土壤电导率及土壤盐基离子的关系进行了研究^[3-7]。由于不同地区成土母质及盐渍化成因不同,土壤总体盐分状况、盐基离子组成及其相互作用机理不同,而且随季节的不同而发生变化^[8]。有鉴于此,通过对西北干旱地区渭干河-库车河三角洲绿洲盐渍土进行野外调查和采样分析,在了解该绿洲土壤电导率、含量盐等土壤盐分特征的基础上,探索研究区各盐分离子之间的相互关系。

1 研究区概况

渭干河-库车河三角洲绿洲位于新疆维吾尔自治区南部的塔里木盆地北缘,具有典型的干旱特征,辖区范围包括库车、沙雅和新和县三个县。该区光热资源丰富,降水少,蒸发量大,气温差异显著,日照期长,夏季干热、冬季干冷,无霜期长,风力强。该区年均气温为 10.5~11.4℃,年均降水量为 50~66 mm,年均蒸发量为 2 000~2 863 mm,干旱指数为 17.3~21.8,属大陆性暖温带极端干旱气候。本区灌溉水来源主要是渭干河和库车河,此外还有少量的水来自塔里木河、泉水。由于地下水位高,土地下层构成物颗粒细,透水性差,因而造成该区土壤盐渍化现象比较普遍,在古河道、河漫滩、泉水溢出带等地下水浅埋区,分布着大面积的盐渍化土和盐土^[9]。

2 材料和方法

2.1 土壤样品采集及土样预处理

本次采样首先利用 2001 年 8 月 1 日 Landsat ETM7、4、1 波段合成的遥感图像,在室内依据各种景观要素之间的相互关系,并辅助野外调查数据进行样点选取(图 1)。由于该区具有典型的干旱特征,降水稀少,蒸发强烈。故本次土壤样品采集时间定在 2007 年 7 月 24 日至 8 月 1 日之间进行,此时土壤表层处于积盐状态,盐渍化表征显著。采样点的选取以点位在空间分布的均匀性和各盐渍度等级的代表性为原则。采样时每个样点用 GPS 精确定位,获取点位经纬度,并实地记录样点土壤表面状况地貌类型等景观描述,同时用数码相机对样点区域进行景观拍照。样点土壤剖面分 3 层取样(0-10,10-30,30-50 cm),共采集样点 48 个(样点分布见图 1),土样 144 份。所

取土样在实验室自然风干后,剔出土壤以外的侵入体(如植物残茬、石粒、砖块等杂质),适当磨细,过 1 mm 孔径筛,充分混匀,装入容器待用。

2.2 土样化学分析

采集的土样按土壤农化分析要求^[10],将处理后土样按 5:1 水土比进行浸提,用 DDS-11A 型电导仪测定浸提液 25℃ 时的电导率(ms/cm)、含盐量(%)、TDS(Total Dissolved Solids 的缩写,即溶解性总固体,mg/L),pH 值的测定是按 2:1 水土比浸提,LP115PH Meter 酸度计测定。同时测定土壤八大盐基离子,CO₃²⁻ 和 HCO₃⁻ 采用双指示剂中和法测定;Cl⁻ 采用 AgNO₃ 滴定法测定;SO₄²⁻ 采用 EDTA 间接滴定法测定;Ca²⁺ 和 Mg²⁺ 采用 EDTA 络合滴定法测定;Na⁺ 和 K⁺ 采用差减法。

2.3 数据处理

针对研究区土样化学分析结果,利用 Excel 和 SPSS 统计软件进行数据处理。通过描述统计研究土壤总体盐分特征;通过主成分分析研究各盐分离子之间相关性,确定几个主要的盐分特征因子,揭示其所代表的土壤系统盐分特征。

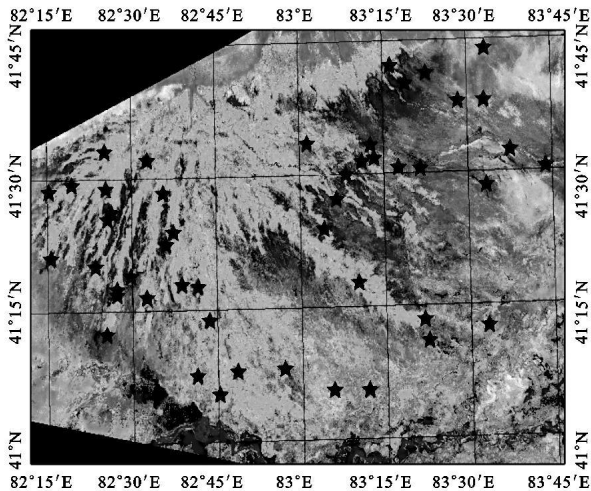


图 1 采样点分布图

3 结果分析

3.1 土壤盐渍化特征分析

土壤盐渍化程度的高低主要由土壤溶液中盐基离子含量的多少而确定。通常我们将土壤溶液中各盐基离子(八大离子)之和称为土壤总盐量,用以表示土壤含盐量的大小及盐渍化水平的高低。在国际上,土壤电导率以其测定可靠、经济、快速,成为评价土壤盐渍度的通用指标^[11-13]。在土壤溶液中,TDS 值的大小也影响着土壤盐渍化水平。在物理意义上来说,水中溶解物越多,水的 TDS 值就越大,水的导电性也越好,其电导率值也越大,土壤盐渍化愈重,

反之, 杂质含量小, 土壤盐渍化愈轻^[14-16]。除此之外, 土壤盐渍化还与土壤 pH 值和土壤水分有一定程度的关系^[17]。

通过对各个采样点 3 层土壤化学分析结果进行描述性统计分析, 如表 1 所示: 0– 10, 10– 30, 30–

50 cm 土层盐分平均含量分别为 2. 74%、0. 99% 和 0. 43%。土壤盐分含量在三层呈 T 型分布 0– 10 cm> 10– 30 cm> 30– 50 cm, 盐分表聚强烈, 而与含盐量密切相关的电导率、TDS 和 pH 值也呈现相同变化趋势, 但含水量在 3 层则呈相反变化趋势。

表 1 统计特征表

采样深度/cm	统计值	最大值	最小值	平均值	中位数	标准差	变异系数/%
0– 10	电导率/(ms·cm ⁻¹)	150. 50	0. 25	45. 66	21. 78	47. 10	1. 03
	含盐量/%	8. 27	0. 01	2. 74	1. 09	2. 91	1. 06
	TDS/(mg·L ⁻¹)	175782. 24	118. 00	30170. 38	10500. 00	38712. 38	1. 28
	pH 值	8. 70	7. 15	7. 76	7. 75	0. 40	0. 05
	含水量/%	18. 09	0. 11	6. 80	6. 94	4. 65	0. 68
10– 30	电导率/(ms·cm ⁻¹)	94. 50	0. 17	15. 73	10. 59	21. 37	1. 36
	含盐量/%	6. 75	0. 01	0. 99	0. 60	1. 51	1. 53
	TDS/(mg·L ⁻¹)	59264. 43	79. 00	9215. 40	5992. 50	13324. 29	1. 45
	pH 值	8. 45	6. 91	7. 70	7. 67	0. 34	0. 04
	含水量/%	19. 66	0. 56	12. 11	12. 21	4. 29	0. 35
30– 50	电导率/(ms·cm ⁻¹)	45. 70	0. 28	7. 54	5. 95	7. 69	1. 02
	含盐量/%	2. 94	0. 01	0. 43	0. 32	0. 48	1. 13
	TDS/(mg·L ⁻¹)	26763. 92	131. 00	4127. 12	3120. 00	4487. 86	1. 09
	pH 值	8. 20	7. 01	7. 61	7. 56	0. 27	0. 04
	含水量/%	20. 62	0. 65	13. 26	14. 24	4. 96	0. 37

在描述性统计特征值中, 变异系数能够反映随机变量的离散程度。一般认为 $CV \leq 10\%$ 为弱变异性; $10\% < CV < 100\%$ 为中等变异性; $CV \geq 100\%$ 为强变异性。所以从表 1 中可以看出各土壤特征值的空间变异性: 在不同取样深度, 土壤含盐量、电导率和矿化度均有较强的空间变异性, 而 pH 值在各个土层均为弱的空间变异性, 含水量则表现为中等变异性。

3.2 离子间的相关性分析

对土壤盐基离子进行相关分析, 揭示盐分在土体中的存在形态及运移规律, 可在一定程度上反映出盐分的运动趋势。由于 CO_3^{2-} 易挥发, 在实验中未检

出, 现对其它盐基离子进行分析, 结果表明(表 2): 在 0– 10 cm 土层, Cl^- 与 Na^+ 、 Ca^{2+} 正相关极显著 ($P \geq 0. 99$), Mg^{2+} 和 K^+ 的正相关性也极显著, 相关系数达到 0. 902 ($P \geq 0. 99$); 同时, Cl^- 与 K^+ 以及 Na^+ 与 Ca^{2+} 、 K^+ 也有一定的正相关性 ($P \geq 0. 95$), 而 SO_4^{2-} 与 Ca^{2+} 具有一定的负相关性 ($P \geq 0. 95$)。这一结果明显说明在灌区内硫酸盐、氯化物都在表层积聚强烈, 并历经多次脱盐和积盐过程。由以上分析可知, 在干旱荒漠性大陆气候的影响下, 土壤中的盐分随土壤水分的强烈蒸发而向上积聚, 耕作层中硫酸盐、氯化物占绝对优势。

表 2 表层(0– 10 cm) 盐基离子的相关分析矩阵

盐基离子	HCO_3^-	Ca^{2+}	Mg^{2+}	SO_4^{2-}	Cl^-	K^+	Na^+
HCO_3^-	1. 000						
Ca^{2+}	0. 285	1. 000					
Mg^{2+}	- 0. 114	- 0. 146	1. 000				
SO_4^{2-}	- 0. 373	- 0. 439*	0. 316	1. 000			
Cl^-	0. 162	0. 501**	0. 222	- 0. 219	1. 000		
K^+	- 0. 066	0. 000	0. 902**	0. 132	0. 468*	1. 000	
Na^+	0. 162	0. 490*	0. 174	- 0. 214	0. 998**	0. 426*	1. 000

注: * 表示在 0. 01 水平下相关显著(双尾检验); * 表示在 0. 05 水平下相关显著(双尾检验)。

3.3 主成分分析

在求算主成分因子时,通过采用方差最大正交旋转方法获取主成分因子的方差矩阵,通过此法可使得每个因子上的最高载荷的变量数最少,使得每个因子可独立表达各自的含义,同时还可以简化对因子的解释。通过表 3 分析各主成分因子的方差贡献率及其累积贡献率,发现主成分 1 具有最大的方差贡献率,即意味着主成分 1 能够代表所有盐基离子的大部分信息。主成分 2 则是次于主成分 1 以外最能反映盐基离子信息的因子。据此类推,其它主成分对盐基离子信息的表达依次减弱。通过分析主成分因子的方差累积贡献率,发现前三个主成分的方差累积贡献率已达到 83.935%,保持了原变量信息的绝大部分,信息损失仅为 16.065%,所以它们足以代替原始变量因子来表达因子所代表的主要信息。

主成分因子载荷是主成分因子与原始变量因子之间的相关系数。从主成分因子载荷矩阵可以看出 Ca^{2+} 、 Cl^- 、 Na^+ 与主成分 1 有较大的正相关。从地理系统分析的意义,上,可以明确判断出主成分 1 是土壤盐分的主成分,是反映土壤盐渍化状况的综合指标。同时,上述三个变量因子都与土壤盐分特征有关,土壤盐渍化类型倾向于氯化物型。

表 4 主成分的因子载荷矩阵与得分系数矩阵

离子名称	因子载荷矩阵			得分系数矩阵		
	主成分 1	主成分 2	主成分 3	主成分 1	主成分 2	主成分 3
HCO_3^-	0.027	0.050	0.911	- 0.223	0.215	0.782
Ca^{2+}	0.685	- 0.210	0.364	0.294	- 0.156	0.095
Mg^{2+}	0.011	0.963	- 0.118	- 0.125	0.518	0.098
SO_4^{2-}	- 0.308	0.294	- 0.665	- 0.040	0.078	- 0.429
Cl^-	0.937	0.265	0.071	0.417	0.009	- 0.119
K^+	0.273	0.929	- 0.053	- 0.001	0.469	0.081
Na^+	0.940	0.222	0.059	0.429	- 0.018	- 0.139

主成分得分系数可用于计算主成分得分值(表 4),也可用于分析土壤类型。通过分析主成分因子得分上的差异,可综合反映盐基离子空间结合上的差异,即土壤系统在空间上的差异。由此可见,利用主成分得分值进行土壤类型的划分,可把多要素地理系统简化为少数几个主成分上的分类。同时,利用主成分得分值编制土壤类型图,其效果也很好。

由主成分 1 和主成分 2、主成分 3 构成的二维判别平面图(图 2、图 3)可知:图中每个点都有原来 7 维空间的样本点降维映射而来,土壤样品的离子成分有明显的“类聚”现象, Na^+ 、 Cl^- 和 Ca^{2+} 聚成一簇, Mg^{2+} 和 K^+ 聚成一簇, HCO_3^- 和 SO_4^{2-} 各自聚

表 3 主成分因子的方差矩阵

主成分因子	特征值	贡献率/%	累积贡献率/%
1	2.401	34.301	34.301
2	2.044	29.202	63.503
3	1.430	20.432	83.935
4	0.593	8.467	92.402
5	0.478	6.824	99.227
6	0.054	0.773	100.000
7	1.63E- 7	2.33E- 6	100.000

主成分 2 与 Mg^{2+} 、 K^+ 有较大的正相关,而与 Ca^{2+} 有一定的负相关,因此,第二主成分是盐渍土结构状况的一个指标,是在第一主成分因子的基础上,对土壤结构和盐基离子毒害作用的反映。第二主成分越大,土壤结构越恶化,有害离子浓度越高,越易造成土壤结构分散,物理性状恶化。

主成分 3 与 HCO_3^- 具有较大的正相关($r=0.911$),而与 SO_4^{2-} 具有较大的负相关($r=-0.665$),从而可以判定第三主成分是土壤碱度的主成分。由此可看出盐碱土分类的两大趋势:盐土和碱土, HCO_3^- 代表了土壤碱化的方向,而 SO_4^{2-} 则代表了土壤盐化的方向。通过主成分 3 可揭示土壤碱化特征。

成一簇。这也进一步说明了第一主成分代表了土壤盐化状况,第二主成分反映了土壤的结构状况,而第三主成分则代表了土壤的碱化状况。

4 结 论

在野外测定数据和收集资料的基础上,对渭干河-库车河三角洲绿洲土壤盐渍化特征进行了分析,可得出以下主要结论:

(1)土壤盐分含量在 3 层呈 T 型分布 0- 10 cm > 10- 30 cm > 30- 50 cm,而与含盐量密切相关的电导率和 TDS 也呈现相同变化趋势,但 pH 值和含水量在 3 层变化并不显著。盐分表聚强烈,土壤盐

渍化类型以氯化物型为主。在不同取样深度, 土壤含盐量、电导率和矿化度均有较强的空间变异性, 而

pH 值在各个土层均为弱的空间变异性, 含水量则表现为中等变异性。

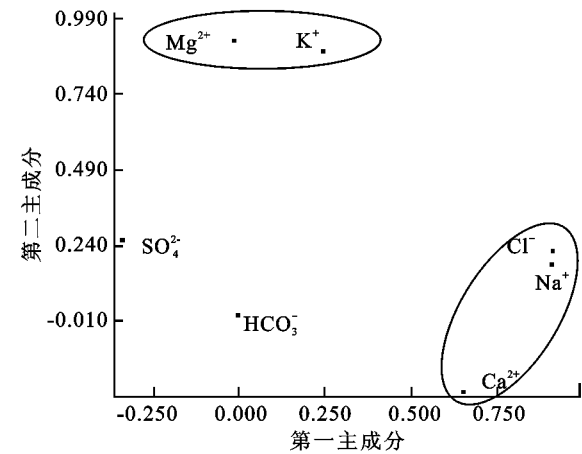


图 2 第一主成分与第二主成分关系

(2)通过对各盐基离子进行相关性分析, 在 0– 10 cm 土层, Cl^- 与 Na^+ 、 Ca^{2+} 正相关极显著 ($P \geq 0.99$), Mg^{2+} 和 K^+ 的正相关性也极显著, 相关系数达到 0.902 ($P \geq 0.99$); 同时, Cl^- 与 K^+ 以及 Na^+ 与 Ca^{2+} 、 K^+ 也有一定的正相关性 ($P \geq 0.95$), 而 SO_4^{2-} 与 Ca^{2+} 具有一定的负相关性 ($P \geq 0.95$)。

(3)通过主成分分析, 认为在该绿洲, 第一主成分代表了土壤盐化状况, 第二主成分反映了土壤的结构状况, 而第三主成分则代表了土壤的碱化状况。此外, 还认为利用主成分得分值进行土壤类型的划分, 编制土壤类型图也能取得较好的效果。

参考文献:

[1] 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): 178-181.

[2] 新疆维吾尔自治区农业厅, 新疆维吾尔自治区土壤普查办公室. 新疆土壤[M]. 北京: 科学出版社, 1996: 304-332.

[3] 张小由, 龚家栋, 周茂先. 额济纳三角洲土壤盐分特征分析[J]. 中国沙漠, 2004, 24(4): 442-447.

[4] 任加国, 郑西来, 许模等. 新疆叶尔羌河流域土壤盐渍化特征研究[J]. 土壤, 2005, 37(6): 635-639.

[5] 翁永玲, 宫鹏. 黄河三角洲盐渍土盐分特征研究[J]. 南京大学学报, 2006, 42(6): 602-610.

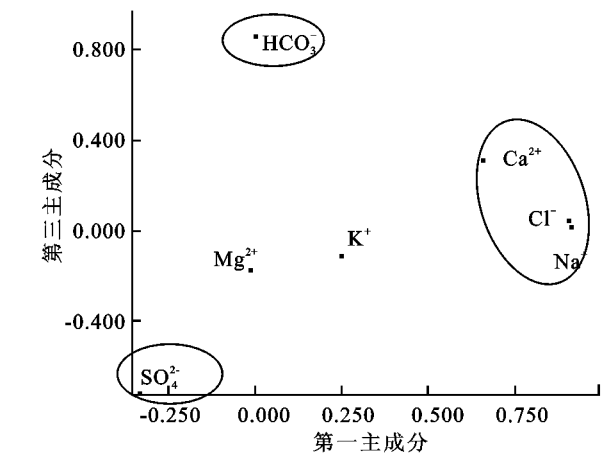


图 3 第一主成分与第三主成分关系

[6] 弋良朋, 马健, 李彦. 荒漠盐生植物根际土壤盐分和养分特征[J]. 生态学报, 2007, 27(9): 3565-3571.

[7] 刘庆生, 刘高焕, 赵军. 土壤类型、质地和土地类型对土壤盐渍化水平的指示[J]. 中国农学通报, 2008, 24(1): 297-300.

[8] 付秋萍, 张江辉, 王全九, 等. 塔里木盆地土壤盐分变化特征分析[J]. 自然科学进展, 2007, 17(8): 1091-1097.

[9] 新疆渭干河流域管理处. 渭干河流域水盐监测技术报告[R]. 2003: 1-32.

[10] 中国科学院南京土壤研究所. 土壤理化分析[M]. 上海: 上海科技出版社, 1978: 93-129.

[11] 毛任钊, 田魁祥, 松本聪, 等. 盐渍土盐分指标及其与化学组成的关系[J]. 土壤, 1997(6): 326-330.

[12] 季方. 塔里木盆地绿洲土壤水盐动态变化与调控[M]. 北京: 海洋出版社, 2001: 79-118.

[13] 王遵亲, 祝寿泉, 俞仁培, 等. 中国盐渍土[M]. 北京: 科学出版社, 1993, 83-95.

[14] 杨柳青. 新疆古老含盐地层与现代土壤盐分累积[J]. 土壤通报, 1998, 29(3): 99-115.

[15] 艾合买提·那由甫, 李卫红, 等. 塔里木河中游土壤分布规律及其特征研究[J]. 干旱区资源与环境, 2005, 19(1): 149-153.

[16] 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.

[17] 苏里坦, 宋郁东, 张展羽. 新疆渭干河流域地下水含盐量的时空变异特征[J]. 地理学报, 2003, 58(6): 854-855.