

新疆阿瓦提灌区土壤盐渍化现状及特征分析

王水献¹, 董新光^{1*}, 杜卫东²

(1. 新疆农业大学水利与土木工程学院, 新疆 乌鲁木齐 830052; 2. 新疆阿瓦提县丰收灌区供水有限责任公司, 新疆 阿瓦提 843200)

摘 要: 运用统计特征值、对应分析等方法, 探讨了研究新疆阿瓦提土壤含盐量、盐分化学组成及其空间分布特征。结果发现: 区内有 50% 的土地处于中强盐渍化和盐土状态, 且主要为氯化物—硫酸盐型盐渍化; 在灌区内土壤盐分随灌溉和排水而呈现季节性变化, 但整体上处于脱盐状态。区内土壤盐渍化是在自然和人类活动共同作用下形成的, 通过节水灌溉、合理开发地下水、完善灌排系统等措施可有效地改良盐渍土。

关键词: 土壤盐渍化; 含盐量; 盐分化学组成; 土壤变化特征; 阿瓦提灌区

中图分类号: S156.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2006)05-0170-06

土壤盐渍化是目前世界农业面临的主要环境问题之一。因此, 世界各国都在积极研究和探讨土壤盐渍化的形成原因和改良措施。我国盐渍土资源面积之大, 分布之广, 是世界之最^[1]。据统计, 全国约有 3 693 万 hm^2 现代(活化)盐渍土^[2]。盐渍土是一种重要的土地资源, 科学合理地开发利用, 具有重大的经济价值和社会意义。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、脱盐过程存在差异, 对植物和农作物生长发育的影响也不尽相同。由此, 不同地区盐渍化程度判定的标准也不完全相同, 切实查明该地区土壤盐渍化的程度和分布范围及其组成特征, 对指导地区盐渍化土壤的合理利用和改良, 显得十分重要。

1 研究区自然地理条件

阿瓦提灌区位于欧亚大陆腹心地区, 北邻天山山脉, 塔里木盆地北缘的阿克苏冲洪积平原南部、阿克苏、叶儿羌、和田三河冲湖积平原和沙漠平原北部地区; 介于东经 $79^{\circ}45'53''\sim 81^{\circ}05'18''$ 与北纬 $39^{\circ}29'54''\sim 40^{\circ}53'37''$, 南北长 152 km、东西宽 113 km, 总面积 13 233.6 km^2 ; 具有极端干旱的气候特点。年平均降水量仅 25~80 mm, 蒸发量却高达 1 700~2 900 mm, 蒸降比在 40:1 以上。

研究区内土壤盐渍化严重, 分布有大面积的草甸盐土、普通盐土和沼泽盐土。严酷的荒漠气候使平原地区几乎不产生径流。区内土壤母质普遍含有不同的盐分, 对于新开垦荒地首先要采取洗盐措施,

使土壤达到脱盐标准后才能投入生产。根据阿瓦提最新(2005 年 5 月)的盐渍化普查(EM38)结果, 目前研究区内轻度盐渍化土壤占 45.1%, 中度盐渍化占 47.8%, 重度、极重度盐渍化占 2.8%。

2 研究方法

2.1 样品采集与测试

本研究结合最近的盐渍化调查(EM38), 在研究区不同地貌位置按照矩形网格调查取样, 其中 EM38 调查取样点数 1576 个, 在典型断面化学取样点数 55 个, 按照 0~30、30~60、60~90、90~120 mm 不同深度取土样, 取样时间为 2005 年 5 月。并利用水质简分析方法测定 1:5 土壤水浸出液的易溶盐的含量(即土壤含盐量, 文中用 S_s 表示)、主要离子($\text{Na}^+ + \text{K}^+$, Mg^{2+} , Ca^{2+} , Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- , CO_3^{2-})含量。

2.2 对应分析

为了更加深入地对阿瓦提土壤盐渍化状况及组成进行分析, 我们利用对应分析方法对所得分析数据进行研究。对应分析(Correspondence Analysis)又称 $R-Q$ 型因子分析, 是由法国巴黎科学院统计研究室本泽西(Benzeci)教授于 1970 年首次提出的, 这种方法是在 R 型和 Q 型因子分析的基础上发展起来的, 它联接着 R 型和 Q 型因子分析, 所以有时被称为双重因子分析。由于在变量空间(R^P)的 N 个样品点的各个主成分与样品空间(R^N)的 P 个变量点的各个主成分在各自的总方差中的贡献是相同的, 因此可用同样的主成分轴同时去表示变量和样

收稿日期: 2006-04-25
基金项目: 国家 863 计划项目(2002AA2Z4201)
作者简介: 王水献(1975—), 男, 河南临颍人, 博士, 主要从事干旱区水资源利用与环境保护研究。E-mail: wsxj2005@163.com。
* 通讯作者: 董新光(1957—), 男, 教授, 博士生导师, 主要从事水资源利用与保护研究。E-mail: dong@xj.cninfo.net。

品,并可由 R 型分析(对变量(盐分离子)进行分析结果很容易地获得 Q 型分析(对样品进行变换)的结果,将变量和样品的关系表征在同一空间中,从而使各个主成分的物理意义得到明确^[3]。

3 结果与讨论

3.1 土壤盐分的组成

从表 1 中可知,0~30 cm 土层盐分含量平均值为 1.223%,耕作层(0~30 cm)含盐量在 0.5%~4.0%之间,属于中重度盐渍土,盐分含量呈 T 型分

布,不同深度的全盐量依次为 0~30 cm>30~60 cm>60~90 cm,盐分表聚强烈。根据盐分上下运动的规律,以氯化物最为活跃,硫酸盐次之,碳酸盐较稳定。由此可推出,在易溶性盐类上行过程中,氯化物表聚性最为强烈,硫酸盐次之;而对于土壤脱盐过程,硫酸盐类较氯化物的淋溶速度慢。由表 1 可看出,各类可溶性盐按其溶解度大小在土壤剖面中自上而下的地球化学垂直分异特点,Cl⁻在表层(0~30 cm)的含量明显低于 SO₄²⁻的含量,可初步得出,绿洲灌区内盐分离子的运动趋势以淋洗为主。

表 1 土壤离子含量(%)特征值计算表
Table 1 The statistical value of soil salt components

取样深度(cm) Sample depth	统计值 Statistical value	全盐量 Total salt	CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺ +Na ⁺
0~30	最大值 Max	16.9610	0.0050	0.0570	2.8765	8.6865	0.8350	0.8475	3.9685
	最小值 Min	0.0870	0.0030	0.0010	0.0080	0.0120	0.0135	0.0010	0.0020
	均值 Average	1.2228	0.0043	0.0338	0.1704	0.6535	0.1357	0.0570	0.1866
	标准差 SD	1.2389	0.0009	0.0149	0.2399	0.6637	0.1290	0.0749	0.2626
	变异系数 CV	101.3165	20.5128	44.1520	140.7903	101.5719	95.0602	131.5079	140.6968
30~60	最大值 Max	4.7270	0.0020	0.0660	1.2150	1.9580	0.4070	0.1480	0.9840
	最小值 Min	0.0840	0.0010	0.0130	0.0050	0.0030	0.0130	0.0010	0.0009
	均值 Average	0.5999	0.0013	0.0439	0.0774	0.2885	0.0979	0.0213	0.0714
	标准差 SD	0.5584	0.0004	0.0063	0.0857	0.3149	0.1008	0.0175	0.0923
	变异系数 CV	93.0956	33.3333	14.3229	110.7934	109.1645	102.9339	81.9889	129.2439
60~90	最大值 Max	3.5680	0.0020	0.0590	0.5740	1.7940	0.3170	0.0780	1.0280
	最小值 Min	0.0820	0.0009	0.0320	0.0070	0.0030	0.0135	0.0010	0.0001
	均值 Average	0.4226	0.0015	0.0452	0.0538	0.1878	0.0666	0.0131	0.0579
	标准差 SD	0.3708	0.0006	0.0049	0.0491	0.2153	0.0610	0.0071	0.0750
	变异系数 CV	87.7450	37.9310	10.8292	91.2501	114.6251	91.6154	54.2067	129.6247
90~120	最大值 Max	1.1530	0.0020	0.0540	0.1210	0.6380	0.2930	0.1100	0.0580
	最小值 Min	0.1050	0.0020	0.0320	0.0130	0.0300	0.0100	0.0020	0.0020
	均值 Average	0.5167	0.0020	0.0423	0.0433	0.2815	0.1071	0.0237	0.0198
	标准差 SD	0.3308	0.0000	0.0052	0.0253	0.2328	0.0873	0.0217	0.0128
	变异系数 CV	64.0215	0.0000	12.2047	58.5742	82.6821	81.4916	91.7840	64.4258

3.2 土壤盐渍化类型

目前,土壤盐渍化的分类标准多种多样,不同地区的分类标准不同,本文采用《新疆农业技术手册》的土壤盐渍化类型区分表(按阴离子毫克当量百分数比值)和土壤盐渍化程度分级标准(表 2),根据表层 0~30 cm 土壤盐分中 Cl⁻/(2SO₄²⁻)mmol 比值及土壤含盐量进行分类和分级,并分类别和级别进行统计(表 3)。由统计结果可知,盆地土壤盐渍化主要为氯化物—硫酸盐型,占 47.27%。其次为硫酸盐型,占 40%。区内土壤盐渍化严重,近 28%的样点已处于中强、极强盐渍化程度,占 50.91%,其中 12.73%为盐土, 25.45%为强盐渍化,这和采用

EM38 调查结果基本上是一致的。

3.3 土壤盐渍化对应分析

利用多元统计的方法对土壤盐渍化状况进行分析,前人已有很多研究^[4~8]。其中,主成分分析(Principal Component Analysis, PCA)方法应用较好^[6,7]。但主成分分析方法只考虑了各个变量(盐分组成)间的关系,并没有考虑各个变量与分析样品之间的关系,因而各个主成分的物理意义不太明确。而对应分析方法克服了这一缺点。

把研究区盐渍化土中的 HCO₃⁻、Cl⁻、SO₄²⁻、Ca²⁺、Mg²⁺、K⁺+Na⁺、全盐量作为变量,对这些变量进行对应分析。实际中,我们把累计贡献率大于

80%作为标准,选取前两个因子作为主因子,这两个因子代表了全部信息量的 84%,损失的信息量仅为 16%,这两个主因子特征值: R 一型因子载荷量和 Q 一型因子载荷量见表 4~6。

表 2 新疆盐渍化分类和分级标准

Table 2 Types and classification criterion of soil salinization in Xinjiang

$\text{Cl}^-/(2\text{SO}_4^{2-})$	盐渍化类型 Type of salinization	极轻盐渍化 Extreme light salinization	轻盐渍化 Light salinization	中度盐渍化 Medium salinizatin	强盐渍化 Strong salinization	盐土 Salt soil
>2.00	氯化物型 Chloride	<0.15	0.15~0.30	0.30~0.50	0.50~0.80	>0.80
1.00~2.00	硫酸盐—氯化物型 Sulfate—chloride	<0.20	0.20~0.30	0.30~0.60	0.60~1.00	>1.00
0.20~2.00	氯化物—硫酸盐型 Chloride—sulfate	<0.25	0.25~0.40	0.40~0.70	0.70~1.20	>1.20
<0.20	硫酸盐型 Sulfate	<0.30	0.30~0.60	0.60~1.00	1.00~2.00	>2.00

表 3 阿瓦提盐渍化分级统计特征

Table 3 Statistical characteristics of soil salization classification in Awati

盐渍化类型 Type of salinization	样点数(个) Number of samples					占总样点数比例 Percent of total (%)
	极轻盐渍化 Extreme light salinization	轻盐渍化 Light salinization	中度盐渍化 Medium salinizatin	强盐渍化 Strong salinization	盐土 Salt soil	
氯化物型 Chloride	0	0	0	0	0	0.00
硫酸盐—氯化物型 Sulfate—chloride	6	0	0	0	1	12.73
氯化物—硫酸盐型 Chloride—sulfate	16	2	2	0	6	47.27
硫酸盐型 Sulfate	2	1	5	14	0	40.00
占总样点数比例(%) Percent of total	43.64	5.45	12.73	25.45	12.73	100

表 4 主因子特征值及贡献率

Table 4 Characteristic value and contribution rate of primary factors

变量因子 Variable factors	特征值 Characteristic value	贡献率(%) Contribution rate	累计贡献率(%) Accumulated contribution rate
第一主因子 F1 First primary factor(F1)	0.09335	51.89	51.89
第二主因子 F2 Second primary factor(F2)	0.05765	32.05	83.94
第三主因子 F3 Third primary factor(F3)	0.02044	11.36	95.3

表 5 主因子的 R 一型因子载荷量

Table 5 R-type load capacity of primary factors

变量因子 Variable factors	X1(salt)	X2(HCO ₃ ⁻)	X3(Cl ⁻)	X4(SO ₄ ²⁻)	X5(Ca ²⁺)	X6(Mg ²⁺)	X7(K ⁺ +Na ⁺)
第一主因子 F1 First primary factor(F1)	0.00053	0.25251	-0.06863	-0.00885	0.11945	-0.01913	-0.10083
第二主因子 F2 Second primary factor(F2)	-0.0002	0.12089	0.10883	-0.08813	-0.12032	0.03793	0.08667

表 6 主因子的 Q 一型因子载荷量

Table 6 Q-type load capacity of primary factors

变量因子 Variable factors	样本 Sample						
	1	2	3	4	5	6	7
第一主因子 F1 First primary factor(F1)	0.05631	0.05844	0.06039	0.05212	0.0325	0.03229	0.01875
第二主因子 F2 Second primary factor(F2)	0.02966	0.03156	0.03725	0.03405	−0.03456	−0.03064	0.02854
变量因子 Variable factors	样本 Sample						
	8	9	10	11	12	13	14
第一主因子 F1 First primary factor(F1)	−0.06868	−0.00822	−0.02298	0.00656	0.04493	0.04956	0.05639
第二主因子 F2 Second primary factor(F2)	0.05448	−0.0198	0.04575	0.02094	0.01582	0.032	0.0222
变量因子 Variable factors	样本 Sample						
	15	16	17	18	19	20	21
第一主因子 F1 First primary factor(F1)	0.05002	0.05544	0.05526	0.03923	0.05003	0.02499	0.03901
第二主因子 F2 Second primary factor(F2)	0.03268	0.0274	0.02915	0.03494	0.02894	−0.03784	−0.04748
变量因子 Variable factors	样本 Sample						
	22	23	24	25	26	27	28
第一主因子 F1 First primary factor(F1)	−0.08913	−0.07543	0.03619	0.01771	0.02782	0.04032	0.03729
第二主因子 F2 Second primary factor(F2)	0.04224	0.02184	−0.04285	0.01114	0.01444	0.02289	0.02762
变量因子 Variable factors	样本 Sample						
	29	30	31	32	33	34	35
第一主因子 F1 First primary factor(F1)	0.05175	0.02955	0.02765	0.03569	0.03575	0.05239	0.00209
第二主因子 F2 Second primary factor(F2)	0.02119	0.02065	−0.04121	−0.04131	−0.04603	0.02861	−0.00223
变量因子 Variable factors	样本 Sample						
	36	37	38	39	40	41	42
第一主因子 F1 First primary factor(F1)	0.02755	0.03751	0.0395	0.05748	0.02104	0.05097	0.04823
第二主因子 F2 Second primary factor(F2)	−0.02809	−0.04402	−0.03351	0.0218	0.01816	0.02901	0.03581
变量因子 Variable factors	样本 Sample						
	43	44	45	46	47	48	49
第一主因子 F1 First primary factor(F1)	0.0405	0.02231	0.02716	0.05518	0.02792	−0.02571	0.00342
第二主因子 F2 Second primary factor(F2)	−0.04533	−0.00748	0.0129	0.02388	−0.03871	0.01453	−0.02831
变量因子 Variable factors	样本 Sample						
	50	51	52	53	54	55	56
第一主因子 F1 First primary factor(F1)	−0.02137	0.01536	0.00771	0.01378	0.02529	0.0103	
第二主因子 F2 Second primary factor(F2)	0.01258	−0.0514	−0.01857	−0.04302	−0.05633	−0.03111	

因此,可以根据表 4 和表 5 的计算结果,我们可以做出各个采样点和离子变量在因子平面上的的投影图,取横坐标为第一主成分,纵坐标为第二主成分,见图 1。

由图 1 可见, Cl^- 和 $\text{K}^+ + \text{Na}^+$ 在第一主成分上为负高载荷, 实际上代表了土壤盐化状, 而 HCO_3^- 、 Ca^{2+} 的正载荷则代表了土壤的碱化状, 表明第一主成分反映土壤盐渍化状况的综合指标。 HCO_3^- 和 Ca^{2+} 对第一主成分的贡献大于 Cl^- 和 Na^+ , 说明土壤碱化过程占优势, 样品在第一主成分上值越大, 表示其碱化程度越严重。 Cl^- 、 Na^+ 和 Mg^{2+} 、 HCO_3^- 在第二主成分上为正高载荷, SO_4^{2-} 和 Ca^{2+} 为负载荷, 实际上代表了土壤盐化的另一种类型, 即

硫酸盐型盐渍化土。 不同程度盐渍化土在平面图上的分布部位明显不同。 盐土是以第一主成分负载荷为特征的, 其特征是: 盐分组成以 Cl^- 、 Mg^{2+} 、 Na^+ 为主, 阳离子 Na^+ 占绝对优势, 阴离子 Cl^- 、 SO_4^{2-} 占绝对优势, 其中 Cl^- 更胜一筹。 中强盐渍土表现第一主成分为正, 第二主成分为负, 其特征是阳离子以 Ca^{2+} 为主, 阴离子以 SO_4^{2-} 为主。 而轻盐渍化和极轻盐渍化土表现为两个主成分上均为正载荷, 其特征是盐分组成以 Ca^{2+} 和 HCO_3^- 为主。

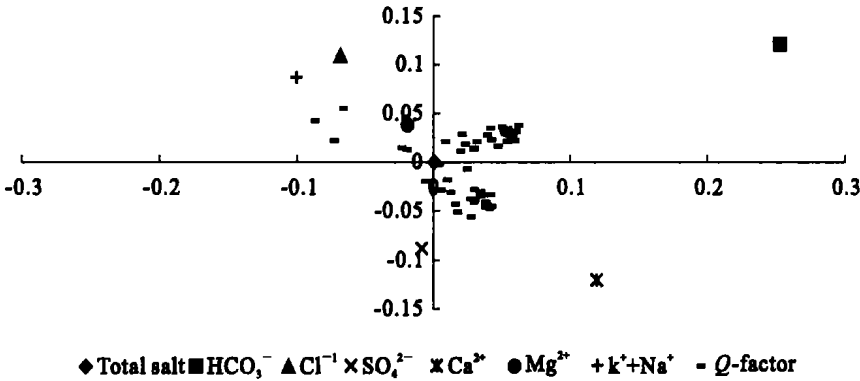


图 1 对应分析因子与因子二载荷平面聚点图

Fig. 1 A diagram for two load capacities of primary factors

4 典型灌区内土壤盐分变化规律

研究区内由于降水稀少, 农田灌区主要依靠引水灌溉, 由于灌溉和排水的作用, 土壤盐分也呈现季节性波动变化(图 2), 具体表现为: (1) 灌溉季节(6 月初~8 月底)洗盐脱盐, 尤其在根层(100 cm)范围内, 积盐脱盐频繁, 在持续规律的灌溉状态下, 可保持根层土壤盐分含量在一个安全的范围内变化, 满

足农业生产; (2) 冬灌时, 地下水位急剧上升至土壤浅层, 土壤深层的母质盐分和高盐量的地下水, 通过地下水的上升被带到土壤浅层, 第二年春季至头水前, 随着气温升高, 蒸发日渐加强, 地下水埋深下降, 盐分滞留在土壤浅层, 表现为积盐。但在土壤 100 cm 土层范围内, 积盐脱盐交替频繁, 交替周期同灌水周期, 总体表现为脱盐状态。

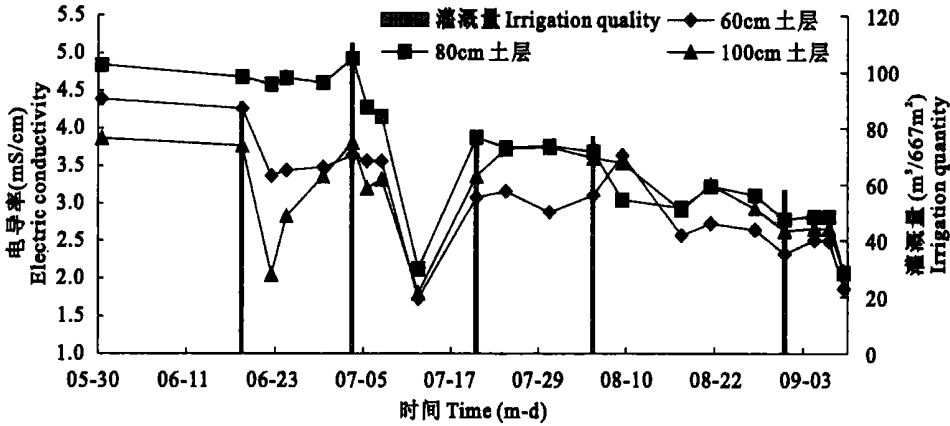


图 2 典型灌区土壤盐分的变化曲线(2004 年)

Fig. 2 Variation curve of soil salt in representative irrigation areas

5 土壤盐渍化成因分析及防治措施

土壤母质含盐是土壤盐碱化的根源。地形也是产生土壤盐碱化的一个重要因素,研究区处于阿克苏河、喀什噶尔河和叶尔羌河三河交汇处,地形低洼、坡度平缓,潜水埋藏浅,排水出路不畅,为土壤盐碱化的形成创造了地形条件。潜水蒸发是土壤盐分积累的主要动力,地下水位越高矿化度越大,土壤盐碱化越重。在阿瓦提丰收灌区地下水矿化度多大于 3 g/L,因水位埋藏较浅和灌溉不当,多发生土壤次生盐渍化,且中强盐渍化面积分布较大。

不合理的灌溉方式以及不完善的排水系统导致了严重的土壤盐渍化^[5,9]。目前灌溉定额高达 11 115 m³/hm²,导致大量地表水入渗补给地下水,使地下水位不断抬升,加速了土壤盐渍化。同时,灌区排水系统不完善,灌排比逐年上升,而且引水渠很多没有防渗,导致渠道两侧地下水位大幅上升,土壤盐渍化严重。由此可见,自然和人类活动的双重作用导致了研究区内严重的土壤盐渍化问题^[9,10]。

由于灌区不仅有因灌溉不当等而产生的“次生盐碱化土壤”,还有这类“原生盐碱化土壤”^[9]。因此,土壤盐渍化的治理必须从系统的观点出发,将研究区地表引水—地下水开采—灌溉排水—环境保护作为一个统一的整体来对待^[5],所采取的措施既要能治理盐渍化,又不会产生荒漠化等一系列环境问题。因此,针对当地情况制定以下防治措施:

- (1) 完善灌区内部排水系统和渠道防渗
- (2) 减少地表水的引水量,合理开采地下水,适当降低地下水位。
- (3) 大力推广节水灌溉,减少灌溉定额,从而减小因灌溉水大量入渗造成潜水位上升及肥料流失。
- (4) 优化调控灌区水盐动态,使盐分不在灌区累积,在考虑水资源优化配置的同时,注意盐分平衡^[9,10]。

参 考 文 献:

[1] 俞仁培.对盐渍土资源开发利用的思考[J].土壤通报,2001,32(专辑):138~140.

[2] 王遵亲.中国盐渍土[M].北京:科学出版社,1993.

[3] 刘庆生,王志刚,荆林海.岩石实验室光谱对应分析研究.遥感学报[J],1999,3(2):151-156.

[4] 刘庆生,刘高焕,励惠国.辽河三角洲土壤盐渍化现状及特征分析[J].土壤学报,2004,41(2):190-195.

[5] 刘延锋,靳孟贵,金英春,等.新疆焉耆盆地土壤盐渍化特征分析[J].水土保持通报,2004,24(1):49-52.

[6] 刘延锋,靳孟贵,金英春.焉耆盆地土壤盐渍化状况的主成分分析[J].干旱地区农业研究,2004,22(1):165-171.

[7] 牛东玲,彭宏春,王启基,等.柴达木盆地弃耕地盐渍状况的主分量分析[J].草业学报,2001,10(2):39-46.

[8] 李韵珠.区域土壤盐渍化状况分析[J].土壤肥料,1993,(5):8-11.

[9] 董新光,邓铭江,周金龙,等.论新疆平原灌区土壤盐碱化与水资源开发[J].灌溉排水学报,2005,24(5):14-17.

[10] 董新光,姜卉芳,邓铭江,等.内陆盆地的盐分布与平衡分析研究[J].水科学进展,2005,16(5):638-642.

Principal component analysis of soil salinization
in Awati irrigation areas of Xinjiang

WANG Shui-xian¹, DONG Xin-guang¹, DU Wei-dong²

(1. College of Water Conservancy and Civil Engineering, Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830052, China; 2. Water Supply Corporation of Fengshou Irrigation Areas, Awati, Xinjiang 843200, China)

Abstract: The content, chemical components and spatial distribution characteristics of soil salt in Awati irrigation areas of Xinjiang were investigated by using statistical characteristic value and correspondence analysis. The results showed that about 50% of land is middle-strong salinized or salt soil, and the primary salt type is chlorinate-sulfate. In the irrigated areas, the soil salinity changes seasonally and decreases as a whole along with the process of irrigation and drainage. The reasons for soil salinization include natural factors and human activities. Water-saving irrigation, rational groundwater exploitation and improved irrigation and drainage systems are effective measures to control soil salinization.

Keywords: soil salinization; salt content; chemical components of salt; variation characteristics; Awati irrigation areas