

青海省鱼卡-大柴旦盆地土壤盐分特征^①

王 战, 李向全*, 王振兴, 韩双平

(中国地质科学院水文地质环境地质研究所, 石家庄 050061)

Characteristics of Soil Salinity in Yuka-Da Qaidam Basin in Qinghai Province

WANG Zhan, LI Xiang-quan*, WANG Zhen-xing, HAN Shuang-ping

(Institute of Hydrogeological and Environmental Geology, Chinese Academy of Geological Sciences, Shijiazhuang 050061, China)

摘 要: 通过野外调查、采样与室内分析, 采用相关分析和因子分析法研究鱼卡-大柴旦盆地土壤盐分特征。结果表明: 土壤盐分组成中, 阴离子以 Cl^- 和 SO_4^{2-} 为主, 阳离子以 Na^+ 和 Ca^{2+} 为主; 土壤全盐量与 Cl^- 和 SO_4^{2-} 的含量分别呈显著、极显著正相关关系; $0 \sim 20$ cm 土层土壤全盐量约占剖面土壤全盐量的 53%, 土壤盐分呈现表聚性; 土壤全盐量及各离子变异系数超过 100%, 土壤盐分含量空间变异大; 因子分析结果表明 Cl^- 、 SO_4^{2-} 、 K^+Na^+ 和 Mg^{2+} 可作为研究区土壤盐渍化状况的特征因子; 土壤盐分的物质来源是地下水中的化学物质, 土壤盐渍化程度的主导因素是地下水位埋深, 同时受到历史积盐影响。

关键词: 盐渍化; 土壤特性; 因子分析

中图分类号: S156.4+1

土壤盐渍化是干旱半干旱地区最突出的生态环境问题之一, 是干旱区可持续发展和改善环境质量的战略问题^[1]。国内针对干旱半干旱地区土壤盐渍化的研究主要集中在宁夏、内蒙、甘肃、新疆等地的河流三角洲绿洲或绿洲灌区^[2-8]。青海省柴达木盆地内部分布诸多山前洪积扇, 洪积扇缘绿洲土壤盐渍化威胁植被退化和生态恶化, 但研究不多。本文以柴北缘鱼卡-大柴旦盆地为靶区, 利用相关分析和因子分析研究土壤盐分特征, 为绿洲盐渍化土地改良和开发及生态保护提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

研究区位于青海省柴达木盆地北缘鱼卡-大柴旦盆地, 研究区面积约 380 km^2 , 地势由山前洪积扇到

洪积平原或湖积平原逐渐降低。洪积扇缘绿洲土壤盐渍化严重, 威胁天然植物类型向盐生、荒漠转变, 导致生态环境恶化。区内年均蒸发量 $2\ 020 \text{ mm}$, 降水量 82.9 mm , 蒸发量与降水量之比为 24.3。

1.2 样品采集

2013 年 8 月中下旬, 依据 TM8 遥感影像和 GPS 定位技术, 在灌木区、盐生草甸区和沼泽草甸区采集土样和水样, 取样时考虑样点在不同地貌单元的均匀性分布及泉水露头 and 地下水观测井的分布。设置 54 个土样采集点, 分 3 层采样, 采集 $0 \sim 20 \text{ cm}$ 样品 54 个, $20 \sim 40 \text{ cm}$ 样品 16 个, $40 \sim 60 \text{ cm}$ 样品 16 个, 并记录地下水位埋深; 采集泉水和水文观测井潜水水样 21 个。样点分布见图 1。

1.3 室内分析与数据处理

采集土样带回实验室, 经风干, 磨碎, 过 1 mm 筛

基金项目: 国家地质调查项目(G201505)和国家青年基金项目(41302190)资助。

* 通讯作者(lxqlm2003@aliyun.com)

作者简介: 王战(1989—), 男, 河北石家庄人, 硕士研究生, 研究方向为水环境地质。E-mail: 984414844@qq.com

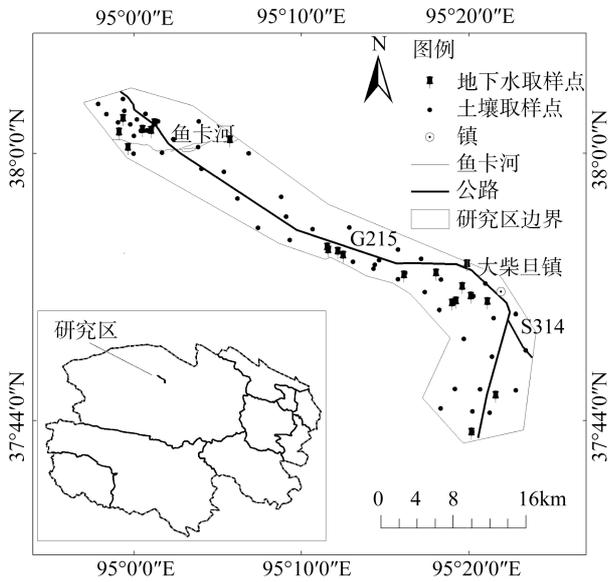


图 1 采样点位置

后备用。以 5 : 1 的水土比进行浸提,测定主要离子 (Cl^- 、 HCO_3^- 、 CO_3^{2-} 、 SO_4^{2-} 、 K^+ 、 Na^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+}) 的质量分数、土壤 pH。 K^+ 、 Na^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 利用 ICP 仪测定, Cl^- 、 HCO_3^- 、 CO_3^{2-} 采用容量法测定, SO_4^{2-}

采用离子色谱仪测定,pH 由 pH 仪测定。潜水水质全分析和土壤可溶盐由国土资源部地下水矿泉水及环境监测中心完成测试,毛细水上升高度由河北四达工程检测有限公司完成测试。数据处理采用 SPSS 19.0 软件完成。

2 结果与分析

2.1 土壤盐渍化化学成分

根据土壤盐分统计结果(表 1),0~20、20~40、40~60 cm 土层土壤全盐量均值分别为 7.86、4.29、2.75 g/kg;0~20 cm 土层土壤全盐量约占剖面总盐量的 53%,土壤盐分呈现表聚性。0~20 cm 土层阴离子含量 $\text{SO}_4^{2-} > \text{Cl}^- > \text{HCO}_3^- > \text{CO}_3^{2-}$,且 CO_3^{2-} 在实验中几乎无检出, SO_4^{2-} 和 Cl^- 是阴离子的主要成分;阳离子含量 $\text{K}^+ + \text{Na}^+ > \text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+}$, Na^+ 和 Ca^{2+} 是阳离子的主要成分。0~20、20~40、40~60 cm 土层土壤 pH 均值分别为 7.65、8.46、8.45,呈碱性,土壤存在碱化现象。除 pH 外,土壤全盐量及各离子含量的变异系数超过 100%,土壤盐分在不同水文地质条件和蒸发强度等因素影响下表现出显著的空间差异性。

表 1 不同层次土壤盐分的统计特征参数

取样深度 (cm)	统计值	pH	全盐量 (g/kg)	离子组成(cmol/kg)						
				HCO_3^-	CO_3^{2-}	Cl^-	SO_4^{2-}	Ca^{2+}	Mg^{2+}	$\text{K}^+ + \text{Na}^+$
0~20	平均值	7.65	7.86	0.56	0.10	5.30	6.29	4.15	1.40	6.91
	最大值	9.61	39.38	3.39	1.63	41.24	41.65	15.85	6.01	40.70
	最小值	5.39	0.20	0.00	0.00	0.00	0.06	0.15	0.00	0.04
	标准差	0.91	8.18	0.56	0.33	8.22	8.18	4.61	1.48	9.40
	变异系数(%)	12	440	100	333	155	130	111	106	136
20~40	平均值	8.46	4.29	0.44	0.27	1.46	4.65	2.45	0.97	5.52
	最大值	8.95	15.22	0.80	0.87	19.01	15.31	12.85	2.39	21.22
	最小值	7.99	0.18	0.11	0.00	0.11	0.19	2.55	0.00	0.04
	标准差	0.38	6.15	0.29	0.12	2.96	6.23	3.45	0.88	8.72
	变异系数(%)	4	143	67	150	203	134	141	91	158
40~60	平均值	8.45	2.75	0.15	0.07	1.95	3.04	3.95	0.74	1.39
	最大值	8.92	8.34	0.28	0.13	7.00	12.04	25.00	2.39	5.57
	最小值	7.92	0.07	0.08	0.03	0.11	0.19	1.70	0.00	0.04
	标准差	0.39	4.95	0.87	0.03	2.57	6.57	3.32	0.90	2.09
	变异系数(%)	5	180	578	45	132	216	84	122	150

2.2 土壤盐分离子相关性

研究土壤盐分中离子与离子之间的运移关系,可以为盐渍化土壤的预防和改良提供科学依据。选择耕层(0~20 cm)进行土壤盐分相关性分析,结果见表 2。耕层土壤全盐量与 $\text{K}^+ + \text{Na}^+$ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Cl^- 、 SO_4^{2-} 的含量均极显著正相关(r 分别为 0.908、0.680、0.802、0.756、0.829),表明 SO_4^{2-} 、 Cl^- 、 $\text{K}^+ + \text{Na}^+$ 和 Mg^{2+} 对

土壤全盐量贡献大;土壤全盐量与 HCO_3^- 和 CO_3^{2-} 的含量相关性不显著,表明 HCO_3^- 和 CO_3^{2-} 对土壤全盐量贡献小。在各离子中, Cl^- 与 $\text{K}^+ + \text{Na}^+$ 、 Mg^{2+} 极显著正相关(r 分别为 0.901、0.616), SO_4^{2-} 与 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 极显著正相关(r 分别为 0.881 和 0.641),表明 Cl^- 与 $\text{K}^+ + \text{Na}^+$ 、 Mg^{2+} 及 SO_4^{2-} 与 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 的运移过程较为一致。

表 2 耕层(0~20 cm)土壤盐分及其组成离子相关系数矩阵(n=54)

	K ⁺ +Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	CO ₃ ²⁻	全盐量
K ⁺ +Na ⁺	1							
Ca ²⁺	0.323**	1*						
Mg ²⁺	0.700**	0.507**	1					
Cl ⁻	0.901**	0.169	0.616**	1				
SO ₄ ²⁻	0.559**	0.881**	0.641**	0.268*	1			
HCO ₃ ⁻	-0.040	-0.231	0.190	-0.037	-0.186	1		
CO ₃ ²⁻	0.307*	-0.001	0.082	0.173	0.158	0.049	1	
全盐量	0.908**	0.680**	0.802**	0.756**	0.829**	-0.086	0.235	1

注：* 表示在 P<0.05 水平显著相关；** 表示在 P<0.01 水平极显著相关。

2.3 土壤和浅层地下水特征因子

通过因子分析对数据进行降维处理,用公因子的线性组合表示各离子的主要信息。因子分析结果表明(表 3),前 3 个公因子的特征值均大于 1,且累积方差贡献率超过 80%,可以利用前 3 个公因子反映土壤盐分信息。第一公因子反映的离子对总方差的贡献最大,为土壤盐渍化的主要因子。第一公因子与 K⁺+Na⁺、Mg²⁺、Cl⁻ 和 SO₄²⁻ 的含量相关系数>0.74,主要为中性离子;第二公因子与 Ca²⁺ 含量密切相关,为盐类离子;第三公因子与 CO₃²⁻ 和 HCO₃⁻ 含量密切相关,为碱性离子。可以看出,中性离子对土壤盐渍化的影响最大,碱性离子对土壤盐渍化的影响最小。与第一公因子因子载荷大于 0.7 的 K⁺+Na⁺、Mg²⁺、Cl⁻ 和 SO₄²⁻ 可以作为研究区盐渍化状况的特征因子。同理,对潜水样本进行因子分析,地下水水化学成分的特征因子为 K⁺+Na⁺、Mg²⁺、Cl⁻ 和 SO₄²⁻,与土壤样本的特征因子一致。

表 3 3 个公因子的因子载荷矩阵、特征值及贡献率

离子	主因子		
	1	2	3
K ⁺ +Na ⁺	0.885	0.348	-0.166
Ca ²⁺	0.592	-0.736	0.148
Mg ²⁺	0.853	0.134	0.352
Cl ⁻	0.743	0.479	-0.173
SO ₄ ²⁻	0.828	-0.460	0.084
HCO ₃ ⁻	-0.088	0.564	0.730
CO ₃ ²⁻	0.259	0.361	-0.513
特征值	3.302	1.433	1.007
贡献率(%)	47.177	20.471	14.389

表 4 因子得分

离子	主因子		
	1	2	3
K ⁺ +Na ⁺	0.268	0.243	-0.165
Ca ²⁺	0.210	-0.444	0.147
Mg ²⁺	0.258	0.093	0.350
Cl ⁻	0.225	0.334	-0.172
SO ₄ ²⁻	0.251	-0.321	0.083
HCO ₃ ⁻	-0.027	0.393	0.725
CO ₃ ²⁻	0.078	0.252	-0.509

2.4 不同地下水位埋深土壤盐渍化分级评价

通过线性回归将公因子表示为变量的线性组合(表 4),计算各样本的因子得分,对不同地下水位埋深范围土壤盐渍化程度分级评价,因子得分越高,包含的盐分信息就越多,土壤盐渍化程度就越高。公因子得分表达式为: Z₁ = 0.268[K⁺+Na⁺] + 0.210[Ca²⁺] + 0.258[Mg²⁺] + 0.225[Cl⁻] + 0.251[SO₄²⁻] - 0.027[HCO₃⁻] + 0.078 [CO₃²⁻]; Z₂ = 0.243[K⁺+Na⁺] - 0.444[Ca²⁺] + 0.093[Mg²⁺] + 0.334 [Cl⁻] - 0.321[SO₄²⁻] + 0.393[HCO₃⁻] + 0.252 [CO₃²⁻]; Z₃ = -0.165[K⁺+Na⁺] + 0.147[Ca²⁺] + 0.350[Mg²⁺] - 0.172 [Cl⁻] + 0.083[SO₄²⁻] + 0.725[HCO₃⁻] - 0.509 [CO₃²⁻].

获得 3 个公因子得分之后,将每一个公因子的方差贡献率作为权重值,计算因子综合得分 Z = 0.471 8 Z₁ + 0.204 7 Z₂ + 0.143 9 Z₃。结果表明(表 5):地下水位埋深为 1~2 m 时,土壤盐渍化程度最重,地下水位埋深位于 0~1 m 时,土壤盐渍化程度居中,地下水位埋深>3 m 时,土壤盐渍化程度最轻。

表 5 不同水位埋深土壤盐渍化程度综合得分与排名

地下水位埋深(m)	公因子 1 得分	公因子 2 得分	公因子 3 得分	总得分	排名
<1	-0.166	-0.022	0.763	-0.020	2
1~2	0.525	-0.166	0.069	0.290	1
2~3	-0.089	-0.082	-0.251	-0.090	3
>3	-0.205	-0.012	-0.202	-0.130	4

3 讨论与结论

3.1 讨论

青海省鱼卡-大柴旦盆地土壤盐分组成中,阴离子以 Cl^- 和 SO_4^{2-} 为主, CO_3^{2-} 含量极少,土壤盐分呈现表聚性,这与姜凌等^[3]、宋鹏等^[4]、缙倩倩等^[8]对干旱区盐渍化土壤相关研究得到的结果是一致的。这是由于研究区潜水化学成分阴离子以 Cl^- 和 SO_4^{2-} 为主且在强烈蒸发条件下向上运移,氯化物最为活跃,硫酸盐次之,碳酸盐较为稳定,长时间盐分向地表聚集形成的,没有人为灌溉或施肥等干预,土壤盐分与地下水化学成分特征因子一致。

通过因子得分得到的表层土壤盐渍化程度与地下水位埋深的关系与麦麦提吐尔逊·艾则孜等^[9]通过对数正态分布拟合得到的结果是一致的。研究区地下水位埋深 $<1\text{ m}$,排泄带溢出水冲洗土壤盐分,降低土壤盐渍化程度;地下水位埋深 $>3\text{ m}$,土壤以粉砂土和砾砂土为主,其最大毛细水上升高度分别为 0.82 m 和 0.65 m ,地下水蒸发强度减弱,土壤表层盐渍化程度轻,但受到历史积盐影响土壤全盐量空间变异大。

3.2 结论

1) 土壤盐分组成中,阴离子以 Cl^- 和 SO_4^{2-} 为主,阳离子以 Na^+ 和 Ca^{2+} 为主;土壤全盐量除 HCO_3^- 和 CO_3^{2-} 外,与其他离子含量均极显著正相关。

2) K^+ 、 Na^+ 、 Mg^{2+} 、 Cl^- 和 SO_4^{2-} 是研究区土壤盐渍化的特征因子,地下水中的化学物质是土壤盐渍化的物质来源。

3) 土壤盐分具有表聚性,表层土壤盐分占剖面

盐分含量的一半以上。各离子在不同深度表现出强空间变异性,影响土壤盐渍化的气象、水文地质条件较复杂。

4) 因子得分表明地下水位埋深为 $1\sim 2\text{ m}$ 土壤盐渍化程度最高,地下水位埋深 $<1\text{ m}$ 土壤盐渍化程度居中,地下水位埋深 $>3\text{ m}$ 土壤盐渍化程度较低。

参考文献:

- [1] Zhou SW, Zhang GY, Zhang XN. Exchange reaction between selenite and hydroxyl ion of variable charge soil surfaces(I): Electrolyte species and pH effects[J]. Pedosphere, 2003, 13(3): 227-232
- [2] 任加国, 郑西来, 许模, 李甲亮. 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
- [3] 姜凌, 李佩成, 胡安焱, 易秀. 干旱区绿洲土壤盐渍化分析与评价[J]. 干旱区地理, 2009, 32(2): 234-239
- [4] 宋鹏, 乔木, 周生斌, 徐薇薇. 塔里木盆地西南缘典型灌区土壤盐渍化特征分析——以塔吉克阿巴提镇为例[J]. 水土保持通报, 2013, 3(6): 264-268
- [5] 麦麦提吐尔逊·艾则孜, 海米提·依米提, 艾尼瓦尔·买买提, 王庆峰. 天山西部伊犁河流域土壤盐分特征[J]. 环境科学研究, 2010, 23(6): 774-781
- [6] 古丽克孜·吐拉克, 李新国, 阿斯耶姆·图尔迪, 赖宁. 开都河流域下游绿洲土壤盐分特征分析[J]. 干旱地区农业研究, 2014, 32(3): 220-224
- [7] 樊丽琴, 杨建国, 许兴, 孙兆军. 宁夏引黄灌区盐碱地土壤盐分特征及相关性[J]. 中国农学通报, 2012, 28(35): 221-225
- [8] 缙倩倩, 韩致文, 屈建军, 孙家欢, 肖建华. 秦王川灌区农田土壤盐分离子特征分析[J]. 土壤, 2014, 46(1): 100-106
- [9] 麦麦提吐尔逊·艾则孜, 海米提·依米提, 祖皮艳木·买买提, 许宁. 伊犁河流域土壤盐渍化对地下水特征的响应[J]. 水文, 2012, 32(2): 14-20