doi：10.11838/sfsc.1673-6257.19219

博斯腾湖西岸湖滨绿洲土壤盐分特征

牛芳鹏，李新国*，靳万贵，麦麦提吐尔逊·艾则孜

（新疆师范大学地理科学与旅游学院，新疆干旱区湖泊环境与资源实验室，新疆　乌鲁木齐　830054）

摘　要：以博斯腾湖西岸湖滨绿洲为研究区，采用Pearson相关分析与主成分分析方法，探究研究区土壤盐分特征。研究结果表明：（1）土壤表层盐分类型主要为氯化物－硫酸盐类型，其占比大于60.00%；土壤全盐量、Na^++K^+、Ca^{2+}、SO_4^{2-}和$C1^-$的变异系数均大于100.00%，呈强变异性，HCO_3^-的变异系数大于90.00%，小于100.00%，呈中等变异性；Mg^{2+}在0 ~ 10与10 ~ 30 cm土壤层中分别呈强变异性与中等变异性，变异系数分别为132.85%与93.30%；（2）土壤全盐量与主要土壤盐分离子均存在极显著正相关（P<0.01），与土壤全盐量相关性最强的土壤盐分离子为Na^++K^+，相关系数为0.99，相关性最低的土壤盐分离子为Mg^{2+}，相关系数为0.37；（3）在不同土地利用类型中，土壤全盐量由高至低依次为未利用地（11.82 g·kg^{-1}）>林地（5.98 g·kg^{-1}）>草地（4.89 g·kg^{-1}）>耕地（2.50 g·kg^{-1}），土壤全盐量变异系数依次为耕地>草地>林地>未利用地，变异系数最大为176.31%，变异系数最小为87.97%；（4）土壤盐分状况的特征因子为Na^++K^+、HCO_3^-、SO_4^{2-}，其主成分综合得分模型Y=0.09（HCO_3^-）+0.30（Cl^-）+0.10（SO_4^{2-}）+0.17（Ca^{2+}）+0.18（Mg^{2+}）+0.09（Na^++K^+），综合得分的平均值为0.58，变异系数为122.00%，呈强变异性。

关键词：土壤盐分特征；土地利用类型；主成分分析；综合得分模型；湖滨绿洲

土壤盐分特征研究是土壤开发利用和土壤盐渍化防治的基础，土壤盐分含量是衡量土壤盐渍化程度和状态的重要指标[1-2]。土壤盐分离子比例分布规律及其运移过程随地形、母质、水文地质及生物等因素的不同影响而存在较大差异[3-5]。西北地区干旱少雨，蒸散强烈，土壤中易溶性盐分积累在土壤表层，形成大面积盐渍化区域，加剧了土壤荒漠化的进程，影响着绿洲农业发展与生态环境的稳定性[6-8]。在土壤盐渍化现象日益突出的情况下，对土壤盐分特征的研究尤为重要。Zhang等[9]探讨了覆膜滴灌作用下土壤盐分沿水平方向和垂直方向的分布规律，分析表明MDI对土壤表层盐分分布的影响随着离地表向下距离的增加而减小。Gao等[10]对河套灌区上、中、下游农田土壤盐分和地下水深度变化进行了研究，发现灌区土壤盐分含量波动较大，而未开垦地土壤盐分则表现为地表累积现象。贡璐等[11]结合经典统计分析和通径分析方法，定量分析了于田绿洲不同土壤类型的盐分含量特征及其影响因子，研究显示绿洲内部的撂荒地与外围的未利用地全盐含量最高，影响绿洲土壤表层全盐含量的主要因素是地下水埋深。董环等[12]利用灰色关联分析法对设施农业区土壤盐分指标进行分析，探讨了土壤全盐量和各盐分指标间的灰度关系及影响全盐量的主次因素，分析了土壤盐分的发展过程与相互关系。刘迁迁等[13]对察南灌区土壤盐分特征进行分析，并运用主成分分析法对土壤盐分离子的区域影响因子进行了探讨。董正武等[14]研究了塔克拉玛沙漠不同区域柽柳沙包的土壤盐分分布特征及其影响因素，主成分分析可知，土壤盐分含量变化与柽柳的生物积盐效应、沙漠地区强烈的蒸发作用、地下水埋深及地表风蚀强度等因素紧密相关。

以博斯腾湖西岸湖滨绿洲为研究区，在野外土壤调查采样和室内试验的基础上，运用Pearson相关性分析与主成分分析，探究研究区土壤盐分特征以及与主要土壤盐分离子之间的关系，为区域土壤盐渍化防治、耕地改良、农业生产及土地资源可持续利用提供重要的理论和实践依据。

收稿日期：2019-05-21；**录用日期：**2019-08-04

基金项目：国家自然科学基金（41661047，41561073）。

作者简介：牛芳鹏（1995-），男，甘肃庄浪人，在读硕士，研究方向为干旱区土壤资源变化及其遥感应用研究。E-mail：niufp0225@163.com。

通讯作者：李新国，E-mail：onlinelxg@sina.com。

1　材料与方法

1.1　研究区概况

博斯腾湖西岸湖滨绿洲位于新疆焉耆盆地东南面博湖县境内，介于东经 86° 15′ ~ 86° 55′，北纬 41° 45′ ~ 42° 10′，是典型的人工绿洲和自然绿洲混合的山前湖泊绿洲，地形北高南低，高程在 1 048 ~ 1 200 m；属于南北疆过渡的典型大陆性荒漠气候，表现为干旱少雨，蒸发强烈，气温年差较大，日照时间长，光热资源丰富；年平均气温 8.2 ~ 11.5 ℃，7 月平均气温 22.9 ~ 26.0 ℃，1 月平均气温 −7.8 ~ −12.3 ℃，无霜期 175.8 ~ 211.3 d，年蒸发量 1 880.0 ~ 2 785.8 mm，年降水量 47.7 ~ 68.1 mm，其蒸降比高达 40∶1[15]；研究区土地利用类型主要为耕地、林地、草地与未利用地，土壤类型主要有绿洲潮土、沼泽土、棕钙土、棕漠土、盐土、龟裂土、荒漠林土等，土壤盐渍化较为普遍[16]。

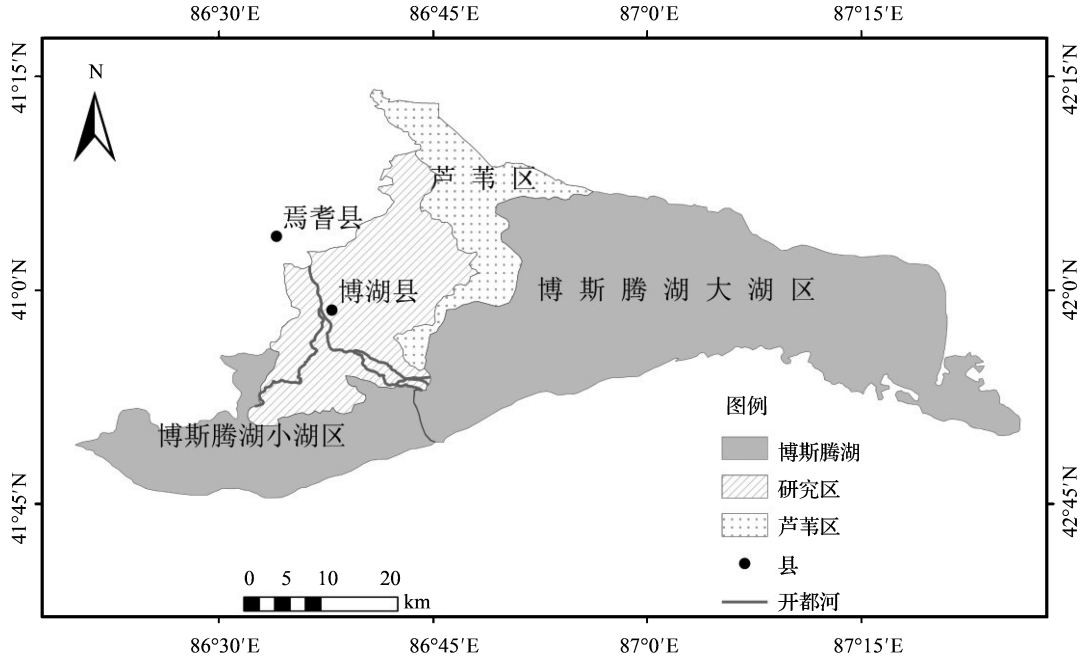

图 1　研究区地理位置示意图

1.2　土壤样品采集

采用 GPS 定位技术，结合博湖县土壤类型图、遥感影像解译图和地形图，同时考虑研究区的土壤质地、土地利用现状、植被类型和微地形等因素，按照“S”型线路进行设点取样，布点时尽可能遍及研究区范围内的主要土地利用类型。采样时间为 2017 年 8 月 15 日至 8 月 19 日，分别对每一样区土壤表层（0 ~ 30 cm）分两层（0 ~ 10、10 ~ 30 cm）随机均匀取样，去除杂物后采用四分法选取 200 g 土装袋，采集样点 50 个，共计样品 100 份；并实地记录每一样点经纬度坐标与高程数据、植被、地形与地貌类型。

1.3　样品处理与分析

将采集的土壤样品带回实验室内，经过自然风干后物理研磨，通过 1 mm 孔径网筛后装入新的采样袋，贴好标签以备用；称取 50 g 土样加入 250 mL 蒸馏水混合振荡，过滤后浸提液按常规实验方法进行主要土壤盐分离子的测定[17]。土壤全盐量采用电导仪法；SO_4^{2-} 用比浊法；Ca^{2+} 与 Mg^{2+} 用 EDTA 滴定法；HCO_3^- 用标准 H_2SO_4 双指示剂—中和滴定法；Cl^- 使用 $AgNO_3$ 滴定法；Na^++K^+ 使用火焰光度法。

1.4　数据处理与分析

试验数据采用 WPS 2016 进行初步处理，采用 SPSS 22.0 统计软件进行相关性分析、正态性检验与主成分分析等数据统计分析。

2　结果与分析

2.1　土壤盐分统计特征

2.1.1　土壤全盐量特征

由表 1 可知，研究区 0 ~ 10 cm 土层土壤全盐量变化范围在 0.25 ~ 32.09 g · kg^{-1}，平均值为

4.92 g·kg^{-1}，10 ~ 30 cm 土层土壤全盐量变化范围在 0.54 ~ 31.42 g·kg^{-1}，平均值为 5.75 g·kg^{-1}，两层土壤含盐量平均值均大于其众数与中位数，表现为重盐土类型（含盐量大于 4.00 g·kg^{-1}），土壤盐分表聚强烈。0 ~ 10 cm 土层土壤全盐量通过对数转化后，利用 K–S（P<0.05）正态分布检验，符合对数正态分布，10 ~ 30 cm 土层土壤全盐量符合正态分布，两层土壤全盐量偏度系数、峰度系数均大于 0，均呈右偏尖峰态。变异系数（CV）反映土壤特性的空间分布离散程度，当 CV ≤ 10% 时属于弱变异性，10%<CV ≤ 100% 为中等变异性；CV>100% 则呈强变异性[18]。研究区 0 ~ 10 与 10 ~ 30 cm 土层土壤全盐量变异系数分别为 137.58% 与 143.45%，均表现为强变异性。

表 1　主要土壤盐分离子统计特征参数

土层深度（cm）	指标	最小值（g·kg^{-1}）	最大值（g·kg^{-1}）	平均值（g·kg^{-1}）	中位数（g·kg^{-1}）	众数（g·kg^{-1}）	标准差	偏度	峰度	变异系数（%）	分布
0 ~ 10	HCO_3^-	0.03	0.52	0.14	0.08	0.08	0.13	1.62	1.35	91.79	正态分布
	Cl^-	0.01	1.88	0.36	0.21	0.15	0.44	2.49	5.65	121.33	对数正态
	SO_4^{2-}	0.02	5.52	1.21	0.60	0.05[a]	1.38	1.48	1.25	114.51	对数正态
	Ca^{2+}	0.01	0.80	0.10	0.07	0.02[a]	0.12	3.87	20.01	122.26	对数正态
	Mg^{2+}	0.00	0.31	0.05	0.02	0.01	0.06	2.27	6.40	132.85	对数正态
	Na^++K^+	0.03	24.96	3.12	0.84	0.03[a]	5.33	2.44	5.88	170.47	对数正态
	全盐量	0.25	32.09	4.92	1.84	0.25[a]	6.77	2.21	4.95	137.58	对数正态
10 ~ 30	HCO_3^-	0.05	0.63	0.16	0.09	0.06[a]	0.15	1.63	1.42	93.22	正态分布
	Cl^-	0.02	1.75	0.27	0.14	0.07[a]	0.32	3.05	11.93	118.30	对数正态
	SO_4^{2-}	0.12	6.00	1.31	0.65	0.19[a]	1.50	1.55	1.42	116.34	对数正态
	Ca^{2+}	0.01	0.46	0.08	0.05	0.02	0.08	2.82	10.44	108.08	对数正态
	Mg^{2+}	0.00	0.10	0.03	0.02	0.00	0.02	1.49	1.81	93.30	对数正态
	Na^++K^+	0.24	24.80	3.97	0.82	0.24[a]	6.58	1.92	2.73	165.62	正态分布
	全盐量	0.54	31.42	5.75	1.78	0.54[a]	8.25	1.76	1.99	143.45	正态分布

注：a：存在多个众数，显示了最小的值。

2.1.2　土壤盐分离子特征

从表 1 可知，不同土层各主要盐分离子中位数基本小于平均值，且偏度系数与峰度系数均大于 0，这表明主要土壤盐分离子的分布属于右偏态，具有比正态分布曲线更陡峭的锋态，数据分布的峰值越高，数据的正态分布越差。通过 K–S 法检验可知，0 ~ 10 cm 土层中主要盐分离子只有 HCO_3^- 服从正态分布，其它主要盐分离子符合对数正态分布，10 ~ 30 cm 土层中 Cl^-、SO_4^{2-}、Ca^{2+} 与 Mg^{2+} 服从对数正态分布，HCO_3^- 与 Na^++K^+ 服从正态分布。从图 2 可知，土壤表层（0 ~ 30 cm）土壤盐分的阳离子主要以 Na^++K^+ 为主，在 0 ~ 10 与 10 ~ 30 cm 土层中分别占总阳离子含量的 95.38%、97.54%，Ca^{2+} 与 Ma^{2+} 普遍缺乏；土壤表层（0 ~ 30 cm）土壤盐分的阴离子以 SO_4^{2-}、Cl^- 为主，在 0 ~ 10 cm 土层中其含量分别占总阴离子含量的 70.54% 和 21.18%，HCO_3^- 含量最小，只占 8.27%，在 10 ~ 30 cm 土层中 SO_4^{2-} 与 Cl^- 含量分别占总阴离子含量的 75.16% 和 15.35%，HCO_3^- 含量占 9.49%。

按照盐分组成划分盐渍土类型，0 ~ 10 cm 土层土壤类型 18.37% 属硫酸盐型，61.22% 属氯化物–硫酸盐类型，8.16% 属硫酸盐–氯化物型，12.24% 属氯化物型；10 ~ 30 cm 土层土壤类型 28.57% 属硫酸盐型，63.27% 属氯化物–硫酸盐类型，4.08% 属硫酸盐–氯化物型，4.08% 属氯化物型。从两个不同土层土壤盐分离子的空间变异性可知，Cl^-、SO_4^{2-}、Ca^{2+} 和 Na^++K^+ 均呈强变异性，变异系数均大于 100.00%，表明氯化物、硫酸盐、钙盐以及钾钠盐在区域土壤盐分积聚过程中分布极不稳定，与土壤全盐量的空间变异程度具有一致性；HCO_3^- 在 0 ~ 10 与 10 ~ 30 cm 土层中变异系数分别为 91.79% 和 93.22%，表明重碳酸盐在表层土壤

中含量变化相对稳定，呈中等变异性；Mg^{2+} 在 0 ~ 10 cm 土层中变异系数为 132.85%，在 10 ~ 30 cm 土层中变异系数为 93.30%，说明镁盐在不同土层中分布相对不均匀，变异性较强。

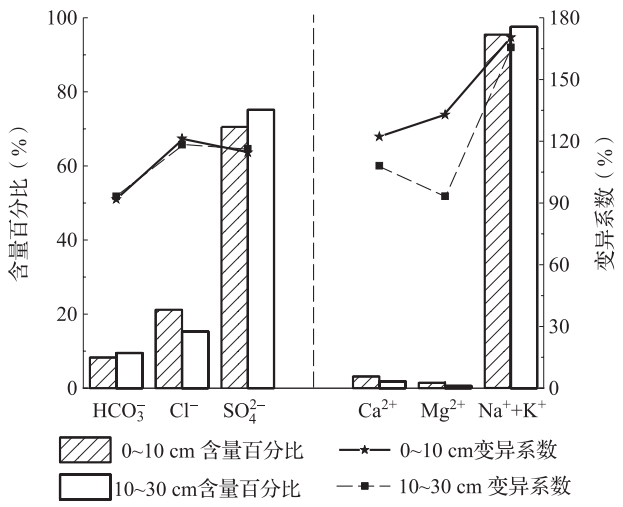

图 2　土壤各主要盐分离子含量百分比与变异系数

2.2　土壤盐分离子相关性分析

土壤主要盐分离子间的相关性分析可以反映出盐分在土体中的存在状态以及与各主要盐分离子间的相关性，并能在一定程度上揭示土壤盐分的运动趋势和形成原因[19]。由表 2 可知，土壤表层（0 ~ 30 cm）土壤全盐量与主要盐分离子均存在极显著正相关（$P<0.01$），且主要盐分离子间存在不同的正相关性，其中土壤全盐量与 HCO_3^-、SO_4^{2-}、Na^++K^+ 显著性极强，相关系数分别为 0.90、0.93、0.99，均大于 0.90，说明全盐量的变化主要受控于 HCO_3^-、SO_4^{2-}、Na^++K^+ 含量；HCO_3^- 与 SO_4^{2-}、Na^++K^+ 的相关系数均为 0.89，存在极显著正相关（$P<0.01$）；Cl^- 与其它主要盐分离子呈极显著正相关性（$P<0.01$），同 Ca^{2+} 相关性最强，相关系数为 0.46，与 SO_4^{2-} 相关性最弱，相关系数为 0.37；Ca^{2+} 与 Mg^{2+}、SO_4^{2-} 之间相关性最强，相关系数均大于 0.71，存在极显著正相关（$P<0.01$）。

表 2　主要土壤盐分离子相关分析矩阵（n=100）

变量	HCO_3^-	Cl^-	SO_4^{2-}	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^++K^+	全盐量
HCO_3^-	1.00						
Cl^-	0.38**	1.00					
SO_4^{2-}	0.89**	0.37**	1.00				
Ca^{2+}	0.57**	0.46**	0.71**	1.00			
Mg^{2+}	0.33*	0.44**	0.48**	0.73**	1.00		
Na^++K^+	0.89**	0.39**	0.90**	0.43**	0.31*	1.00	
全盐量	0.90**	0.43**	0.93**	0.52**	0.37**	0.99**	1.00

注：* 和 ** 分别表示在 0.05 和 0.01 水平上的差异显著性。

2.3　不同土地利用类型对土壤盐分的影响

选取研究区的草地、耕地、林地和未利用地 4 种主要土地利用类型，分析土地利用对土壤盐分含量变化的影响。由图 3 可知，在 4 种不同土地利用方式下表层（0 ~ 30 cm）土壤全盐量分布规律为未利用地（11.82 g·kg^{-1}）> 林地（5.98 g·kg^{-1}）> 草地（4.89 g·kg^{-1}）> 耕地（2.50 g·kg^{-1}），且未利用地和草地的表层含盐量均值远高于其它土地利用类型。4 种土地利用类型上土壤盐分含量变异系数呈耕地 > 草地 > 林地 > 未利用地，耕地、草地和林地全盐量呈强变异性，变异系数分别为 176.31%、123.71% 和 121.39%，未利用地土壤盐分含量呈中等变异性，变异系数为 87.97%。4 种土地利用类型中，Na^++K^+ 与 SO_4^{2-} 的含量均大于其它主要土壤盐分离子，在耕地土壤中，Na^++K^+ 与 SO_4^{2-} 变异性最强，变异系数分别为 228.37%、133.69%，未利用地中 Na^++K^+ 与 SO_4^{2-} 变异性弱于耕地，但未利用地中这两种离子含量明显高于其它 3 种土地利用类型，平均含量分别达 8.14、2.65 g·kg^{-1}。

2.4　土壤盐分离子主成分分析

将主要土壤盐分离子 Mg^{2+}、Na^++K^+、Ca^{2+}、Cl^-、HCO_3^- 和 SO_4^{2-} 作为统计指标，通过 KMO 与 Bartlett 球型检验得到 KMO=0.64>0.50，Bartlett 球型检验 $P<0.05$，且 F=281.97，F 值显著，可以进行因子分析。以方差累积贡献率大于 85.00% 作为依据来确定因子个数，并计算主成分与各主要盐分离子的相关系数，结合研究区西北地区干旱成因

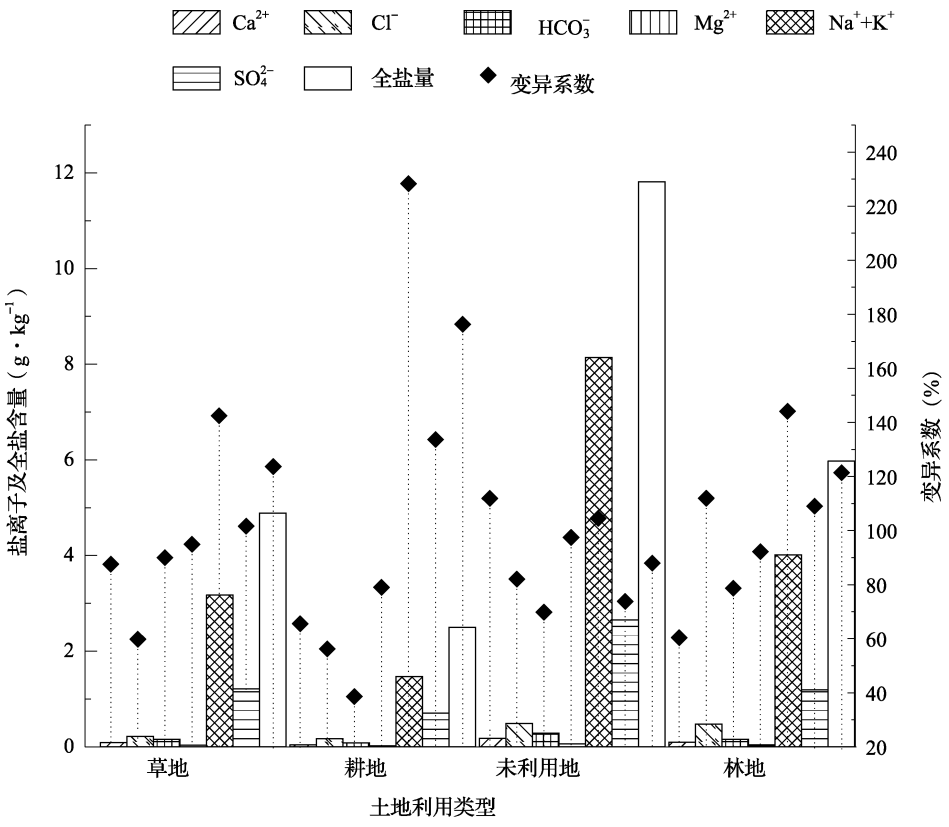

图 3　不同土地利用类型土壤盐分及其离子组成

及特点，最终确定本研究区域中最主要的影响因子，能够对区域土壤盐化防治和土壤改良提供理论依据[20]。

2.4.1　特征值及贡献率

由表 3 可知，第一、第二、第三主成分方差累计贡献率达到 93.27%，信息损失量 6.73%，表明前 3 个主成分对大多数指标已进行了概括。第一主成分的特征值为 3.82，代表引入第一主成分后可以反映平均至少 3 个指标的信息；第二主成分特征值为 1.11，可以反映平均至少 1 个指标的信息。第一主成分解释了 63.70% 的方差，远大于第二、第三主成分方差贡献率，说明第一主成分包含的信息最多、最丰富，对土壤盐分含量的影响最大。

表 3　主要土壤盐分离子主成分特征值及贡献率

主成分	HCO_3^-	Cl^-	SO_4^{2-}	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^++K^+	特征值	贡献率（%）	累积（%）
Z1	0.88	0.59	0.94	0.81	0.66	0.85	3.82	63.70	63.70
Z2	−0.39	0.38	−0.25	0.40	0.63	−0.45	1.11	18.53	82.23
Z3	0.01	0.71	−0.14	−0.26	−0.25	0.09	0.66	11.04	93.27

2.4.2　主成分因子载荷

载荷值反映了各要素在相应的主成分中的相对重要性。在第一主成分中，主成分与所有要素均呈正相关，Na^++K^+、HCO_3^- 与 SO_4^{2-} 的得分最大，载荷值分别为 0.85、0.88、0.94，Cl^-、Ca^{2+} 与 Mg^{2+} 次之，说明第一主成分与 Na^++K^+、HCO_3^-、SO_4^{2-} 的相关性较高。从图 4 可知，研究区土壤主要盐分离子存在明显的聚类现象，Na^++K^+、HCO_3^-、SO_4^{2-} 聚成一簇，三者均位于第一主成分正端，根据盐分离子之间的离散程度，进一步验证可将其作为反映研究区土壤盐分状况的特征因子。在第二主成分中 Cl^-、Ca^{2+} 与 Mg^{2+} 因子载荷值较大且呈正相关，相关系数分别为 0.38、0.40、0.63，均位于第二主成分正端并聚为一簇，说明该主成分代表研究区土壤碱性

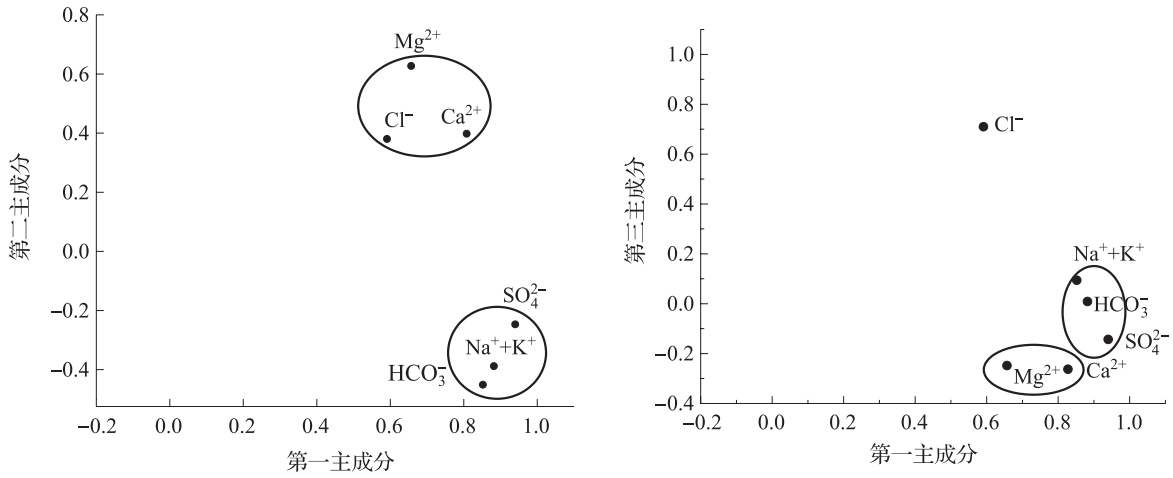

图 4　主要土壤盐分离子二维因子图

特征；Cl^- 位于第三主成分正端，且表现出较高的相关性，因子载荷量为 0.71，说明第三主成分是土壤氯化物含量的表现。

2.4.3　主成分综合得分

建立主成分表达式，有利于更清楚的表达各公因子与主成分之间的线性关系。通过计算因子得分系数，提取出 3 个主成分表达式，主要土壤盐分离子系数的大小反映了该离子在各主成分中的贡献程度。

$$F_1=0.23x_1+0.16x_2+0.25x_3+0.21x_4+0.17x_5+0.22x_6$$

$$F_2=-0.35x_1+0.34x_2-0.22x_3+0.36x_4+0.56x_5-0.41x_6$$

$$F_3=0.01x_1+1.07x_2-0.22x_3-0.39x_4-0.38x_5+0.14x_6$$

在描述研究区土壤盐分特征时，设表达式 F_1、F_2 与 F_3 为综合新变量，以每个主成分的特征值占总特征值之和的份额为权重系数，进一步可得出研究区盐分离子指标综合得分模型 Y，计算评价对象的综合得分，对研究区土壤盐分空间分布特征进行综合分析与评价。

$$Y=0.68F_1+0.20F_2+0.12F_3=0.09x_1+0.30x_2+0.10x_3+0.17x_4+0.18x_5+0.09x_6$$

式中 F_1、F_2 与 F_3 分别代表第一、第二、第三主成分量，x_1、x_2、x_3、x_4、x_5、x_6 表示标准化后的 HCO_3^-、Cl^-、SO_4^{2-}、Ca^{2+}、Mg^{2+}、Na^++K^+。在综合得分模型中 Cl^-、Ca^{2+} 与 Mg^{2+} 的系数权重大于平均值 0.15，故在得分起关键作用。根据该模型计算出每个样本点的综合分值，可对区域内土壤盐分特征进行综合评价。研究区综合分值范围在 0.06 ~ 2.34，平均值为 0.58，变异系数为 122.00%，整体呈强变异性。

3　讨论

博斯腾湖西岸湖滨绿洲土壤盐分变化已有大量研究，涉及到土壤盐分动态变化[21]、土壤盐渍化影响因子[22]、土壤盐分与不同植被生长的关系[15]、不同季节土壤盐分特征[16]等方面。本文主要探讨土壤表层（0 ~ 30 cm）盐分特征，研究结果表明土壤表层的土壤全盐量呈强变异性；土壤盐分阴离子以 SO_4^{2-} 与 Cl^- 为主，在 0 ~ 10 cm 土层中分别占总阴离子含量的 70.54% 和 21.18%，在 10 ~ 30 cm 土层中分别占总阴离子含量的 75.16% 和 15.35%，这与王战等[23]、吕真真等[24]对区域盐渍化土壤相关研究的结果基本一致；研究区土壤盐分的阳离子主要以 Na^++K^+ 为主，在 0 ~ 10 与 10 ~ 30 cm 土层中分别占总阳离子含量的 95.38%、97.54%，这与王巧焕等[20]对干旱区绿洲土壤盐分特征的研究结果基本一致；在不同土地利用类型下，研究区表层土壤盐分含量从高到低依次为未利用地、林地、草地、耕地，4 种土地利用类型中 Na^++K^+、SO_4^{2-} 与 Cl^- 的含量均大于其它主要土壤盐分离子，研究区耕地土壤全盐量相对较低，这是由于在灌溉时耕层土壤会发生脱盐现象，土壤盐分随水分下渗或流向未利用地，导致未利用地盐分含量增加；土壤盐分类型主要为硫酸盐型和氯化物型，且已受到 Na^++K^+ 的严重影响。Wang 等[25]通过了解农业用地扩张过程及其对土壤性质的影响，表明过度开发利用土地资源对土壤盐化有较大而持久的影响，这是干旱区类似生态区土地综合管理的经验教训。针对研究区土壤表层盐分状况，不仅要注重降低主要土壤盐分 SO_4^{2-} 的含量，也要加强

Na^++K^+、HCO_3^- 和 Cl^- 等土壤盐分离子含量的控制。

4　结论

土壤表层土壤全盐量表现为强变异性，在0 ~ 10与10 ~ 30 cm两个不同深度的土层变异系数分别为137.58%与143.45%，主要土壤盐分离子整体呈强、中变异性，变异系数在91.79% ~ 170.47%之间。

土壤表层土壤盐分类型属氯化物—硫酸盐类型，在0 ~ 10与10 ~ 30 cm土壤层占比均大于60.00%；土壤全盐量与主要土壤盐分离子均存在极显著性正相关（P<0.01），相关性最强的为Na^++K^+，相关系数为0.99，与Mg^{2+}相关性最弱，相关系数为0.37。

不同土地利用方式下土壤表层的土壤全盐量从高到低依次为未利用地 > 林地 > 草地 > 耕地，未利用地的平均土壤盐分含量为11.82 g·kg^{-1}，耕地的平均土壤盐分含量为2.50 g·kg^{-1}；4种土地利用类型土壤盐分含量变异系数呈耕地 > 草地 > 林地 > 未利用地，变异系数最大为176.31%，最小为87.97%。

土壤盐分状况的特征因子为Na^++K^+、HCO_3^-、SO_4^{2-}，主成分综合得分模型 Y=0.09（HCO_3^-）+0.30（Cl^-）+0.10（SO_4^{2-}）+0.17（Ca^{2+}）+0.18（Mg^{2+}）+0.09（Na^++K^+），综合得分的平均值为0.58，变异系数为122.00%，呈强变异性。

参考文献：

[1] Ma L，Yang S，Simayi Z，et al. Modeling variations in soil salinity in the oasis of Junggar Basin，China［J］. Land Degradation & Development，2018，29（3）：551–562.

[2] 古丽克孜·吐拉克，李新国，阿斯耶姆·图尔迪，等. 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.

[3] 丁建丽，王飞. 干旱区大尺度土壤盐度信息环境建模——以新疆天山南北中低海拔冲积平原为例［J］. 地理学报，2017，72（1）：64–78.

[4] Llyas N，Abduwasit G，Tashpolat T，et al. Monitoring soil salinization in Keriya River basin，northwestern China using passive reflective and active microwave remote sensing data［J］. Remote Sensing，2015，7（7）：8803–8829.

[5] 景宇鹏，段玉，妥德宝，等. 河套平原弃耕地土壤盐碱化特征［J］. 土壤学报，2016，53（6）：1410–1420.

[6] 罗毅. 干旱区绿洲滴灌对土壤盐碱化的长期影响［J］. 中国科学（地球科学），2014，44（8）：1679–1688.

[7] Wang Y，Deng C，Liu Y，et al. Identifying change in spatial accumulation of soil salinity in an inland river watershed，China［J］. Science of The Total Environment，2018，621：177–185.

[8] 刘丽娟，李小玉. 干旱区土壤盐分积累过程研究进展［J］. 生态学杂志，2019，（3）：891–898.

[9] Zhang Z，Hu H，Tian F，et al. Soil salt distribution under mulched drip irrigation in an arid area of northwestern China［J］. Journal of Arid Environments，2014，104：23–33.

[10] Gao X Y，Huo Z L，Bai Y N，et al. Soil salt and groundwater change in flood irrigation field and uncultivated land：a case study based on 4–year field observations［J］. Environ Earth Sci，2015，73：2127–2139.

[11] 贡璐，冉启洋，张雪妮，等. 塔里木河上游绿洲土壤表层盐分特征及其影响因子分析［J］. 环境科学研究，2013，26（6）：631–636.

[12] 董环，娄春荣，袁兴福，等. 北方设施草甸土土壤盐分组成分析［J］. 浙江农业学报，2016，28（12）：2076–2081.

[13] 刘迁迁，苏里坦，刘广明，等. 新疆伊犁察南灌区土壤盐分特征［J］. 土壤，2017，49（5）：1001–1006.

[14] 董正武，赵英，雷加强，等. 塔克拉玛干沙漠不同区域柽柳沙包土壤盐分分布特征及其影响因素［J］. 植物生态学报，2018，42（8）：873–884.

[15] 李志，李新国，毛东雷，等. 博斯腾湖西岸湖滨带不同植被类型土壤剖面盐分特征分析［J］. 西北农业学报，2018，27（2）：260–268.

[16] 梁东，李新国，阿斯耶姆·图尔迪，等. 博斯腾湖西岸湖滨带土壤剖面盐分特征分析［J］. 干旱地区农业研究，2014，32（4）：151–158.

[17] 鲍士旦. 土壤农化分析［M］. 北京：中国农业出版社，2000.

[18] 吕真真，刘广明，杨劲松. 新疆玛纳斯河流域土壤盐分特征研究［J］. 土壤学报，2013，50（2）：289–295.

[19] 李新国，樊自立，李会志，等. 开都河下游灌区土壤盐渍化特征分析［J］. 干旱地区农业研究，2011，29（2）：147–151，158.

[20] 王巧焕，卢玉东，赛佳美，等. 干旱区绿洲土壤盐分特征［J］. 干旱区研究，2018，35（3）：503–509.

[21] 王金龙，李艳红，李发东. 博斯腾湖人工和天然芦苇湿地土壤呼吸动态变化规律及其影响因素［J］. 农业环境科学学报，2017，36（1）：167–175.

[22] 阿斯耶姆·图尔迪，李新国，靳万贵，等. 开都河流域下游绿洲土壤盐渍化影响因子分析［J］. 水土保持研究，2014，21（2）：82–86.

[23] 王战，李向全，王振兴，等. 青海省鱼卡–大柴旦盆地土壤盐分特征［J］. 土壤，2015，47（4）：819–822.

[24] 吕真真，杨劲松，刘广明，等. 黄河三角洲土壤盐渍化与地下水特征关系研究［J］. 土壤学报，2017，54（6）：1377–1385.

[25] Wang Y G，Li Y. Land exploitation resulting in soil salinization in a desert—Oasis ecotone［J］. Catena，2013，100：50–56.

Characteristics of soil salinity in the western lakeside oasis of Bosten Lake

NIU Fang-peng，LI Xin-guo*，JIN Wan-gui，Mamattursun·Eziz（College of Geographic Sciences and Tourism，Xinjiang Normal University，Xinjiang Laboratory of Lake Environment and Resources in Arid Zone，Urumqi Xinjiang 830054）

Abstract：Taking the lakeside oasis in the western lakeside of Bosten Lake as the research area，the characteristics of soil salinity in the study area were analyzed using the Pearson correlation analysis and principal component analysis. Results of the study showed that：（1）The salt type of the surface soil was mainly chloride-sulfate，which accounted for more than 60.00%. The coefficients of variation for the soil salinity，$Na^{+}+K^{+}$，Ca^{2+}，SO_4^{2-}，and $C1^{-}$ were all higher than 100.00% and were strong，and the coefficient of variation for HCO_3^{-} was higher than 90.00% and less than 100%，and was moderate；Mg^{2+} showed strong variability and medium variability in 0 ~ 10 cm soil layer and 10 ~ 30 cm soil layer，respectively，with the coefficient of variation of 132.85% and 93.30%，respectively；（2）There was a very significant positive correlation between the soil salinity and main ions in the soil（$P<0.01$）. The soil salinity showed the strongest correlation for $Na^{+}+K^{+}$ with the correlation coefficient of 0.99，whereas the soil salinity showed the lowest correlation for Mg^{2+} with the correlation coefficient of 0.37.（3）Among of the different land use types，the soil salinity was ranked as：the unused land（11.82 g·kg^{-1}）> forest land（5.98 g·kg^{-1}）> grassland（4.89 g·kg^{-1}）>cultivated land（2.50 g·kg^{-1}），the coefficient of variation of the soil salinity was ranked as：cultivated land>grass land>forest land>unused land，the maximum value of the coefficient of variation was 176.31%，whereas the minimum value of was 87.97%.（4）The characteristic factors of soil salinity were $Na^{+}+K^{+}$，HCO_3^{-}，and SO_4^{2-}，the integrated score model of principal component was Y=0.09（HCO_3^{-}）+0.30（Cl^{-}）+0.10（SO_4^{2-}）+0.17（Ca^{2+}）+0.18（Mg^{2+}）+0.09（$Na^{+}+K^{+}$），the average score of the composite score was 0.58，and the coefficient of variation was 122.00%，which belonged to the strong variability.

Key words：characteristics of soil salinity；land use types；principal component analysis；integrated score model；lakeside oasis