

叶尔羌河流域土壤盐分特征研究 ——以喀什地区叶城县为例

古丽格娜·哈力木拉提, 买合木提江·买木提孜

(喀什师范学院 生命与环境科学系, 新疆 喀什 844006)

摘要:土壤盐渍化问题是干旱区可持续发展和改善环境质量的战略问题之一。分析土壤盐分特征,对治理土壤盐渍化和农业可持续发展至关重要。采用统计分析法与主成分分析法研究了喀什地区叶城县土壤盐分的变化规律。结果表明,土壤盐渍化类型以硫酸盐渍土为主;盐分组成中,阳离子以 K^+ 和 Na^+ 为主,阴离子以 SO_4^{2-} 离子为主;表层的总盐、各盐离子含量均高于其余土层,即土壤盐剖面垂直分布呈现表聚性;8 月份土壤剖面各土层含盐量均高于 2 月份;主成分分析结果表明, SO_4^{2-} , K^+ , Na^+ 为研究区土壤盐渍化状况的特征因子。不同土地利用类型条件下,耕层土壤盐分平均值从高到低依次为旱地、盐渍地、耕地、核桃林、大棚。

关键词:土壤盐分;叶尔羌河流域;不同土地利用

中图分类号:S155.2⁺93

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2012)05-0143-05

Study on Characteristics of Soil Salinity in Zarapxan River Basin

—A Case Study of Yecheng County of Kashar in Xinjiang

GULGINE · Halmurat, MAIHEMUTIJIAN · Maimutizi

(Department of Biology and Geography Sciences, Kashgar Teachers College, Kashgar, Xinjiang 844006, China)

Abstract: Soil salinization is a main problem limiting the sustainable development and quality of environment in arid area. The characteristics of saline soil on Yecheng County, Kashgar Prefecture, was analyzed by the methods of statistical and principle component analysis. Results showed that the main soil salinity type was sulphate saline soil; among the components of soil salinity, cations were mainly K^+ and Na^+ , while anions were dominated by SO_4^{2-} ; the amounts of total salt content and different ions were higher on surface soil than other soil layers which indicated salt mainly concentrated on surface of soil. In August, the total contents of salt in each soil layer were higher than that in February. Principal component analysis showed that SO_4^{2-} , K^+ , Na^+ ions were Eigen factors of soil salinization in study area. The abundance of salinity of the root zone soil layer for different land use types was in the following order: glebe field > salinity soil > cultivated land > forest land > green house.

Key words: soil salinity; Zarapxan River Basin; different land use

干旱、半干旱区土壤盐渍化是一个世界性的环境问题。全世界约有 10 亿 hm^2 的盐渍土,约占世界陆地面积的 7.6%。我国盐渍土面积为 3 665.8 万 hm^2 ,相当于我国耕地面积的 30.2%^[1]。占新疆土地总面积 4.27%的绿洲承载着全疆 95%以上的人口,新疆盐渍土面积 1.05 万 km^2 ,占现有耕地面积的 33.4%,且土壤盐渍化有继续恶化的趋势^[2]。近年来,新疆土壤盐渍化在一定程度上得到了治理,但由

于部分地区新开荒地以及大水漫灌等原因又形成了新的次生盐渍化土地^[3]。土壤盐渍化不仅严重损害土壤生产力,给农业生产带来严重的损失,而且盐分的积聚也改变了植物的生长环境,促进植物类型向盐生、荒漠类型转变,最终导致生态环境恶化。因此,土壤盐渍化的过程和特征是改善和恢复生态环境的重要内容之一^[4]。分析土壤盐分空间分布特征,对治理土壤盐渍化和农业可持续发展至关重要。目前,新疆

收稿日期:2011-11-16

修回日期:2011-12-03

资助项目:新疆维吾尔自治区教育厅青年基金项目(XJEDU2009S88)

作者简介:古丽格娜·哈力木拉提(1982—),女,新疆喀什人,硕士,讲师,主要从事干旱区水资源与环境研究。E-mail: gulgine901@yahoo.com.cn

有关土壤盐渍化方面的研究主要集中在南疆的塔里木河流域、克里雅河流域、渭干河—库车河三角洲绿洲、焉耆盆地等区域^[5-10],有关喀什地区土壤盐渍化方面的研究很少,尤其是叶尔羌河流域。

位于叶尔羌河流域的叶城县盐渍化问题较为严重,弃耕地面积逐年扩大,地带性植被呈现出不同程度的退化。受干旱气候的影响,土质结构松散,加之地表植被稀疏,土壤有机质含量较低,河滩地与低洼地盐碱较重,地表水和地下水的利用不合理、排水系统不健全、在强烈的蒸发下易产生土壤次生盐渍化。叶城县处于内陆干旱地区,生态系统脆弱,一般难以承受由于人口剧增、强度经济压力,在无序开发情况下,生态系统结构的破坏在所难免。结合 2010 年以来对叶尔羌河流域土壤盐分以及地下水监测资料的分析,探讨了喀什地区叶城县土壤盐分分布情况与离子组成之间的关系,并定量分析不同时期,不同土地利用类型土壤盐分分布特征,以期为叶尔羌河流域水土资源可持续开发利用提供参考。

1 材料与方法

1.1 研究区域概况

喀什地区叶城县位于喀拉昆仑山北麓,塔里木盆地西南缘,地理坐标为:76°08′—78°31′E,35°28′—38°34′N。地处提孜那甫河、乌鲁克吾斯塘河及柯克亚吾斯塘河的冲积扇上,山地面积占 76.39%。地形南高北低,南北长 326 km,东西最宽 120 km,呈新月形。属温带大陆性干旱气候,干旱少雨,蒸发强烈,四季分明,昼夜温差变化较大,日照时间长,多风沙浮尘天气,北部平原年平均气温 11.3℃,年平均降水量 54 mm,年平均无霜期 228 d。

1.2 样地设置及样品采集

在研究区内共设置了 5 个样地,分别为耕地(小麦地、玉米地)耕作 12 a、盐渍地、旱地、大棚耕作 5 a,核桃林种植 8 a。每个样地设置了 10 个样点,每两个取样点之间相隔 50 m。由 GPS 定位,选取标准的土壤剖面,采用人工坑探法,分 6 层取样(表层、0—20, 20—40, 40—60, 60—80, 80—100 cm),样品使用自封袋封装,共采集了 300 个土壤样品。人工坑探至地下水位处,待坑中潜水面静止且澄清后,再采地下水样,共采集了 20 个潜水样品。采样时间分别为 2010 年 2 月份和 8 月份,分两次取样。

1.3 样品分析测试

将采集的土样带回实验室,风干,磨碎,过 1 mm 筛后备用,然后以 5:1 的水土比进行过滤浸提,并测定其 8 大离子(Cl^- , CO_3^{2-} , HCO_3^- , SO_4^{2-} , K^+ , Na^+ ,

Ca^{2+} , Mg^{2+})的质量分数。其中 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 用原子吸收分光光度法, K^+ 、 Na^+ 用火焰光度法来测定; HCO_3^- 、 CO_3^{2-} 用双指示剂滴定法;接着用滴定碳酸盐和重碳酸盐以后的溶液用 0.025 mol/L 的 AgNO_3 标准溶液来继续滴 Cl^- ; SO_4^{2-} 用 EDTA 间接络合滴定^[11]; pH 用酸度计测定;导电率用电导仪来测定。

1.4 数据处理方法

利用 SPSS 12.0 统计软件及 Excel 对数据进行分析处理。

2 结果与分析

2.1 土壤盐渍化类型和程度分析

土壤盐渍化类型直接影响排盐的难易程度和土壤盐分的动态变化特征。因此,选取 50 个采样点的耕层土壤盐分数据,分析研究区的土壤盐渍化类型,土壤盐渍化类型的确定参照 $[\text{Cl}^-]/[\text{SO}_4^{2-}]$ 浓度之比^[11]。结果表明,研究区域土壤盐渍化类型为硫酸盐渍土,即土壤中盐类主要为硫化物。 $\text{HCO}_3^-/([\text{Cl}^-]+[\text{SO}_4^{2-}])$ 均小于 1,说明重碳酸盐是土壤盐分的次要成分。

将土样按照土壤盐渍化程度分级标准^[11]分为 5 个等级,即非盐渍化、轻度盐渍化、中度盐渍化、重度盐渍化和盐土。由表 1 可知,研究区土壤次生盐渍化比较严重。研究表明,无论采用何种方式使用农药,都将使大部分农药进入土壤,使土壤成为农药的蓄积库和耗散地。由此可见,研究区不合理的农业生产过程中,一些未被作物吸收利用的肥料残留于土壤中,成为其土壤盐分的主要来源。

表 1 土壤盐渍化程度

土地利用类型	2 月份土壤含盐量/(g·kg ⁻¹)	8 月份土壤含盐量/(g·kg ⁻¹)	盐渍化程度
大棚	0.783	0.952	非盐渍化土
耕地	1.514	1.819	轻度盐渍化土
核桃林	1.445	1.625	轻度盐渍化土
盐渍地	3.948	5.118	重度盐渍化土
光板地	5.359	5.810	重度盐渍化土

2.2 土壤剖面不同深度的盐分特点

对表层、0—20, 20—40, 40—60, 60—80, 80—100 cm 土层的盐分含量进行比较,可以清楚地显示研究区土壤盐分的垂直分布状况。对 2 月份与 8 月份不同土层各盐离子平均值进行比较,可以揭示研究区土壤盐分季节性运移的规律(表 2—3),可以为盐渍化土壤的预防和改良措施提供科学依据。

由表2—3可知,各土层 CO_3^{2-} 含量为0,实验结果表明地下水中的 CO_3^{2-} 含量也为0。表层的总盐、 Cl^- 、 HCO_3^- 、 SO_4^{2-} 、 K^+ 、 Na^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 离子含量均高于其余土层。2月份,表层的总盐平均值分别高

出0—20,20—40,40—60,60—80,80—100 cm 土层1.20,1.52,1.55,1.67,1.65 g/kg,8月份分别高出1.89,2.17,2.40,2.73,2.72 g/kg,土壤盐剖面垂直分布呈现表聚性。

表2 研究区土壤盐分及离子组成描述统计结果(2月份)

土层深度/cm	项目	CO_3^{2-}	HCO_3^-	SO_4^{2-}	Cl^-	K^+	Na^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	总盐
表层	最小值	0	0.12	0.69	0	0.05	0.70	0.03	0.03	1.71
	最大值	0	0.71	3.18	0.21	2.15	1.54	0.32	0.28	8.19
	平均值	0	0.27	1.61	0.56	0.67	1.05	0.11	0.99	3.87
	标准差	0	0.25	1.06	0.09	0.85	0.44	0.12	0.10	3.73
0—20	最小值	0	0.12	0.17	0	0.03	0.31	0.02	0.02	0.78
	最大值	0	0.23	2.42	0.06	0.79	1.52	0.31	0.12	5.36
	平均值	0	0.19	1.12	0.26	0.29	0.90	0.09	0.05	2.67
	标准差	0	0.45	0.94	0.26	0.31	0.52	0.12	0.44	1.91
20—40	最小值	0	0.14	0.12	0	0.03	0.22	0.01	0.02	0.70
	最大值	0	0.24	2.70	0.04	1.02	1.52	0.31	0.08	5.77
	平均值	0	0.18	0.98	0.15	0.30	0.75	0.13	0.03	2.35
	标准差	0	0.42	1.12	0.18	0.41	0.62	0.13	0.03	2.23
40—60	最小值	0	0.12	0.06	0	0.04	0.12	0.02	0.02	0.51
	最大值	0	0.25	2.38	0.04	0.79	1.51	0.28	0.07	5.21
	平均值	0	0.18	0.99	0.11	0.29	0.74	0.09	0.03	2.32
	标准差	0	0.60	1.10	0.18	0.34	0.70	0.13	0.02	2.25
60—80	最小值	0	0.08	0.06	0	0.04	0.12	0.02	0.01	0.53
	最大值	0	0.26	2.03	0.03	0.56	1.46	0.22	0.10	4.53
	平均值	0	0.18	0.91	0.02	0.24	0.73	0.08	0.04	2.20
	标准差	0	0.68	0.90	0.13	0.25	0.62	0.08	0.32	1.86
80—100	最小值	0	0.07	0.26	0	0.03	0.35	0.02	0.02	0.83
	最大值	0	0.19	2.21	0.05	0.66	1.43	0.21	0.08	4.70
	平均值	0	0.14	0.95	0.02	0.23	0.77	0.74	0.03	2.22
	标准差	0	0.04	0.87	0.19	0.28	0.52	0.76	0.27	1.76

8月份土壤剖面各土层总盐含量均高于2月份,即8月份表层,0—20,20—40,40—60 cm 总盐含量分别占2月份的27.9%,14.6%,18.3%,9.9%。60—80,80—100 cm 土层含盐量变化很小。8月份温度升高,蒸发量增大,强烈的蒸发把盐分带到地表的作用远大于周围灌溉水和降水对土壤盐分的淋洗作用。因此,盐分随水分向上移动,导致地表积盐。

盐分离子按质量分数大小在土壤剖面基本上呈自上而下的垂直分布特点。各阴离子在表层土壤中的质量分数为 $\text{SO}_4^{2-} > \text{Cl}^- > \text{HCO}_3^-$,说明了表层中硫化物,氯化物占优势。0—20,20—40,40—60,60—80,80—100 cm 土层阴离子质量分数大小依次为 $\text{SO}_4^{2-} > \text{HCO}_3^- > \text{Cl}^-$,进一步说明了硫酸盐渍土是叶尔羌河流域土壤盐渍化类型的主要成分。

研究表明^[12-13],植物吸收过量的 SO_4^{2-} 和 Cl^- 造成离子毒害,影响植物正常生长,此外, Cl^- 对 NO_3^-

和 HPO_4^- 吸收有一定的抑制作用。阳离子的质量分数为 $\text{Na}^+ > \text{K}^+ > \text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+}$,研究区各层土壤阳离子以 Na^+ 和 K^+ 为主,其次为 Ca^{2+} 和 Mg^{2+} 。与阴离子相比,阳离子的累积虽然不会对环境产生直接的危害,但某些离子的大量累积却会影响其他离子在土壤中的迁移和转化,或导致某些养分的有效性降低。如 Na^+ 对 Ca^{2+} 和 Mg^{2+} , K^+ 对 Mg^{2+} 和 Mn^{2+} 的吸收都有一定的抑制作用; Ca^{2+} 对 P 有固定作用, Ca^{2+} 的累积降低土壤 P 的有效性^[14]; Na^+ 会增加土壤交换性钠水解作用,增加土壤碱性,腐蚀作物根系,并会降低 Fe,Mn,Ca 和 P 等营养元素的溶解度,不能满足作物营养吸收。高浓度 Na^+ 会使土壤胶体高度分散,恶化土壤物理性状,抑制作物正常的生理生化代谢过程,使作物体内蛋白质的合成,叶绿素的代谢,以及光合作用和呼吸作用等均受到损害^[15]。因此,加强对阴离子积累控制的同时也应加强对阳离子积累的控制。

表 3 研究区土壤盐分及离子组成描述统计结果(8 月份)

g/kg

土层深度/cm	项目	CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	总盐
表层	最小值	0	0.10	0.28	0	0.04	0.31	0.03	0.03	0.92
	最大值	0	0.39	3.69	0.07	2.04	1.66	0.31	0.21	8.30
	平均值	0	0.22	1.59	0.41	0.65	0.96	0.15	0.08	4.95
	标准差	0	0.11	1.43	0.03	0.83	0.60	0.12	0.07	3.08
0—20	最小值	0	0.12	0.19	0	0.04	0.32	0.03	0.03	0.91
	最大值	0	0.31	2.52	0.08	0.97	1.63	0.32	0.14	5.81
	平均值	0	0.21	1.29	0.03	0.41	0.93	0.11	0.06	3.06
	标准差	0	0.67	1.06	0.03	0.46	0.57	0.12	0.05	2.24
20—40	最小值	0	0.08	0.12	0	0.03	0.27	0.02	0.02	0.70
	最大值	0	0.24	2.71	0.04	1.02	1.52	0.31	0.12	5.79
	平均值	0	0.17	1.20	0.02	0.40	0.83	0.10	0.05	2.78
	标准差	0	0.60	1.13	0.02	0.44	0.57	0.12	0.04	2.67
40—60	最小值	0	0.08	0.25	0	0.03	0.34	0.03	0.02	0.81
	最大值	0	0.19	2.38	0.04	0.79	1.53	0.30	0.10	5.26
	平均值	0	0.15	1.10	0.02	0.32	0.82	0.99	0.42	2.55
	标准差	0	0.42	0.98	0.16	0.35	0.58	0.11	0.33	2.06
60—80	最小值	0	0.08	0.06	0	0.04	0.12	0.02	0.01	0.53
	最大值	0	0.26	2.03	0.03	0.56	1.46	0.22	0.10	4.53
	平均值	0	0.18	0.91	0.02	0.24	0.73	0.08	0.04	2.22
	标准差	0	0.68	0.90	0.13	0.25	0.62	0.08	0.32	1.86
80—100	最小值	0	0.07	0.26	0	0.03	0.35	0.02	0.02	0.83
	最大值	0	0.19	2.21	0.05	0.66	1.43	0.21	0.08	4.70
	平均值	0	0.14	0.95	0.02	0.23	0.77	0.07	0.06	2.23
	标准差	0	0.04	0.87	0.19	0.28	0.52	0.76	0.27	1.76

2.3 离子间主成分分析

由于研究区域的土壤盐分空间变异大,难以定量描述土壤盐分及离子的分布特征。因此选择盐分、Cl⁻、HCO₃⁻、SO₄²⁻、K⁺、Na⁺、Ca²⁺、Mg²⁺共 8 个变量进行主成分分析。各主成分中各项指标系数、特征值及贡献率(表 4—5),按照累计贡献率达到 85%确定主成分个数,并计算主成分与各项指标的相关系数。分析结果表明,2 月份,第一、二主成分的方差贡献率分别为 73.137%,15.077%,其累计贡献率达到了 88.213%;8 月份,第一、二主成分的方差贡献率分别为 78.415%,13.302%,其累计贡献率达到了 91.717%,说明它们基本包含了以上 8 个指标的大部分信息。其中,第一主成分是最重要的,包含的信息最多,其对土壤盐渍化影响最大。从主成分载荷来

看,第一主成分除 HCO₃⁻外,与其他指标均为正向负荷,进一步说明第一主成分能较全面地反映各项指标,在实际意义上代表了土壤的盐化状况。各指标系数的大小反映该指标对各主成分的贡献程度,从主成分载荷来看,2 月份,与第一主成分密切相关的是总盐、SO₄²⁻、K⁺、Na⁺、Ca²⁺,它们与第一主成分的相关系数绝对值都超过了 0.91。8 月份,与第一主成分密切相关的是总盐、SO₄²⁻、K⁺、Na⁺,它们与第一主成分的相关系数绝对值都超过了 0.92。在第二主成分中 HCO₃⁻的载荷较高,说明该主成分是在第一主成分的基础上进一步反映了土壤盐渍化在一定程度上受到 HCO₃⁻的影响。根据各指标与第一主成分间的相关性显著程度,可将盐分、SO₄²⁻、K⁺、Na⁺作为研究区盐渍化状况的特征因子。

表 4 主成分的因子载荷矩阵(特征向量)、特征值及贡献率(2 月份表层)

主成分	总盐	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	特征值	贡献率/%
Z ₁	0.996	-0.020	0.990	0.800	0.985	0.972	0.905	0.760	5.851	73.137
Z ₂	-0.078	0.816	-0.137	0.439	0.055	-0.196	0.113	-0.143	1.206	15.077

表 5 主成分的因子载荷矩阵(特征向量)、特征值及贡献率(8 月份表层)

主成分	总盐	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	特征值	贡献率/%
Z ₁	0.998	-0.168	0.994	0.924	0.991	0.986	0.883	0.820	6.273	78.415
Z ₂	-0.025	0.980	-0.088	0.188	0.052	-0.150	0.179	0.051	1.064	13.302

2.4 不同土地利用类型土壤盐分变化规律

不同土地利用方式下因抽取地下水、灌水入渗、蒸发等引起地下水位在时间和空间上变化的同时,由于地下水中溶质被移走或带入,地下水发生淡化或浓缩,浅层地下水矿化度必然会发生时空变化,并引起区域土壤盐分浓度与运移规律不同^[16]。因此,分盐渍地、耕地、大棚、核桃林和旱地5个土地利用类型,对耕层土壤盐分进行分析。

由图1可知,旱地的耕层土壤盐分平均值最高,其含量为5.585 g/kg,原因在于旱地植被稀疏,降水量少,蒸发强烈,淋洗作用极差。其次是盐渍地,盐分含量为4.533 g/kg。大棚盐分平均值最低,为0.848 g/kg,原因在于大棚开垦年限较短,一般不超过5 a,土壤温度、水分、养分情况良好。其次是核桃林与耕地,盐分含量分别为1.535,1.819 g/kg,说明部分核桃林、农田出现轻度次生盐渍化。这与该区农田、核桃林长期处于高集约化、高复种指数、高肥料施用量的生产状态,并缺乏科学的管理措施有关。

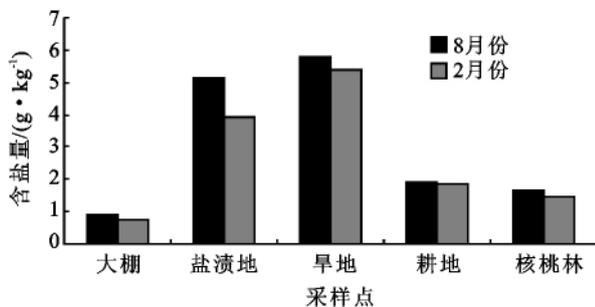


图1 不同土地利用类型土壤盐分变化

3 结论

(1) 按照土壤盐化类型分级标准,叶尔羌河流域土壤盐渍化类型主要以硫酸盐渍土为主,即土壤中盐类主要为硫酸盐。研究区土壤次生盐渍化比较严重。

(2) 土壤盐分离子按质量分数大小在土壤剖面基本上呈自上而下的垂直分异特点。盐分组成中,阳离子以 K^+ 和 Na^+ 为主,阴离子以 SO_4^{2-} 离子为主;表层的总盐、各盐分离子含量均高于其余土层,即土壤盐分垂直分布呈现强烈表聚性。8月份土壤剖面各土层含盐量均高于2月份。

(3) 主成分分析结果表明,盐分、 SO_4^{2-} 、 K^+ 、 Na^+ 为研究区盐渍化状况的特征因子。

(4) 不同土地利用类型条件下,耕层土壤盐分从高到低依次为旱地、盐渍地、耕地、核桃林、大棚。主

要离子组成分布特征与土壤盐分基本相同。

参考文献:

- [1] 张建锋. 中国盐碱地造林绿化的理论与实践, 盐生植物利用与区域农业可持续发展[M]. 北京: 气象出版社, 2002: 221-225.
- [2] 中国学术期刊(光盘版)电子杂志社, 中国科学文献计量平价研究中心. 中国学术期刊综合引证年度报告[M]. 北京: 科学出版社, 2007.
- [3] 高吉喜. 西部生态环境问题及对策建议[J]. 环境科学研究, 2005, 18(3): 49-53.
- [4] 黄昌勇. 土壤学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [5] 张飞, 塔西南拉提·特依拜, 丁建丽, 等. 渭干河一库车河三角洲绿洲土壤盐渍化现状特征及其与光谱的关系[J]. 环境科学研究, 2009, 22(2): 227-235.
- [6] 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.
- [7] 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.
- [8] 江红南, 塔西南拉提·特依拜, 丁建丽, 等. 新疆渭干河灌区土地盐渍化时空变化影响因子分析[J]. 干旱区地理, 2008, 31(6): 885-891.
- [9] 江红南, 塔西南拉提·依拜, 徐佑成, 等. 于田绿洲土壤盐渍化遥感监测研究[J]. 干旱区研究, 2007, 24(2): 168-173.
- [10] 塔西南拉提·特依拜, 张飞, 丁建丽, 等. 干旱区典型绿洲盐渍化土壤空间信息研究[J]. 干旱区地理, 2007, 30(4): 544-551.
- [11] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 3版. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [12] Grattan S R, Grieve C M. Salinity-mineral nutrient relations in horticultural crops[J]. Scientia Hortieuhurae, 1999, 78: 127-157.
- [13] 郭文忠, 刘声锋, 李丁仁, 等. 设施蔬菜土壤次生盐渍化发生机理的研究现状与展望[J]. 土壤, 2004, 36(1): 25-29.
- [14] 杨业凤, 徐阳春, 姚致, 等. 上海市浦东新区设施菜地土壤盐分变化规律研究[J]. 土壤, 2009, 41(6): 1009-1013.
- [15] 余海英, 李廷轩, 周健民. 典型设施栽培土壤盐分变化规律及潜在的环境效应研究[J]. 土壤学报, 2006, 43(4): 571-576.
- [16] 马兴旺, 朱靖蓉, 李保国. 绿洲土地利用对地下水矿化度时空变化影响的定量评估[J]. 自然资源学报, 2009, 24(3): 466-475.