黄河三角洲滨海棉田土壤盐分特征研究

吴从稳[1,2],陈小兵[2],王松涛[3],蒋名亮[2,4],
颜　坤[2],付廷红[3],金海珠[1]

(1.烟台大学生命科学学院,山东 烟台 264005;2.中国科学院海岸带环境过程重点实验室,山东 烟台 264003;
3.山东省第四地质矿产勘查院,山东 潍坊 261021;4.长安大学环境科学与工程学院,陕西 西安 710064)

摘　要: 采用相关分析和主成分分析方法对黄河三角洲棉田试验区土壤盐分特征进行研究,结果表明,试验区土壤为中度盐渍化,且盐分呈现一定的表聚现象;土壤各层盐基离子中,阳离子以 Na^+ 为主,阴离子以 Cl^- 为主,这两种离子对棉花生长的毒害作用尤为突出;土壤盐分含量与 Na^+、SO_4^{2-}、Cl^-、Mg^{2+}、Ca^{2+}、NO_3^{2-}、HCO_3^{2-} 离子含量均呈极显著正相关;Na^+、Cl^- 及 SO_4^{2-} 是影响试验区棉田盐渍化的主要特征因子。本研究结果可为黄河三角洲地区盐渍化土地科学管理和农业可持续发展提供理论基础和实践依据。

关键词: 黄河三角洲;棉田;土壤盐渍化;主成分分析;盐分特征

中图分类号: 156.4　　**文献标志码:** A　　**文章编号:** 1000-7601(2014)05-0149-05

Characteristic research on the soil salinity in coastal cotton field of the Yellow River Delta

WU Cong-wen[1,2], CHEN Xiao-bing[2], WANG Song-tao[3], JIANG Ming-liang[2,4],
YAN Kun[2], FU Ting-hong[3], JIN Hai-zhu[1]

(1. *College of Life Science*, *Yantai University*, *Yantai*, *Shandong* 264005, *China*;
2. *Key Laboratory of Coastal Zone Environmental Processes*, *Chinese Academy of Sciences*, *Yantai*, *Shandong* 264003, *China*;
3. *Shandong Provincial NO*.4 *Institute of Geological and Mineral Survey*, *Weifang*, *Shandong* 261021, *China*;
4. *College of Environmental Science and Engineering*, *Chang'an University*, *Xi'an*, *Shaanxi* 710064, *China*)

Abstract: Using the correlation analysis and principal component analysis methods, the characteristics of soil salinity in the cotton experimental field of Yellow River Delta was carried out research. The results showed that: The soil of the experimental region was the moderate salinization, and salt appeared a certain surface aggregation phenomenon. The salt base ions in each soil layer, the Na^+ was the dominant cation and the Cl^- was the dominant anion. These two ions toxic for cotton growth were particularly prominent role. The soil salt content presented the significant positive correlation with the content of Na^+, SO_4^{2-}, Cl^-, Mg^{2+}, Ca^{2+}, NO_3^{2-} and HCO_3^{2-}. The Na^+, Cl^-, and SO_4^{2-} were the major characteristic factors affected the soil salinization of the experimental cotton field. This research results cran be provided the theoretical basis and practical basis for the scientific management of the saline land and sustainable agricultural development in the Yellow River Delta.

Keywords: Yellow River Delta; cotton field; soil salinization; principle component analysis; characteristics of soil salinity

黄河三角洲土壤类型主要包括潮土和盐土两大类型,潮土 3 769.41 km^2,占土壤总面积的 47.75%,盐土 3 733.74 km^2,占土壤总面积的 47.37%,盐土和盐碱化土高达 70%以上[1]。土壤盐碱化严重制约了"黄三角"地区的农、林、牧业发展和土地资源开发。棉花因具较强的耐盐性,故成为黄河三角洲地

收稿日期: 2013-10-05
基金项目: 海洋公益性行业科研专项(201105020);公益性行业(农业)科研专项经费项目(200903001);国家科技支撑计划项目(2009BADA3B04);中国科学院烟台海岸带所前沿项目"黄河三角洲陆海界面过程、生态演变与修复技术"
作者简介: 吴从稳(1987—),男,山东菏泽人,硕士研究生,主要从事土壤质量与农产品安全研究。E-mail: wucongwen@163.com。
通信作者: 陈小兵(1974—),男,山西万荣人,博士,副研究员,主要从事海岸带盐碱土水盐肥运移过程与农业可持续发展研究。E-mail: xbchen@yic.ac.cn。

区种植的主要经济作物之一。盐碱地区棉花生长除受品种、栽培管理、气候条件影响外,与土壤盐分、肥力有密切关系[2-3]。目前,已有学者利用不同方法研究了黄河三角洲地区土壤盐分含量、土壤电导率及土壤盐基离子之间关系[4-6],但是在阐明影响滨海棉田土壤盐渍化主导因子与不同盐基离子运移特征方面研究不足,很大程度上阻碍了三角洲盐渍化土壤修复体系生态调控模式的确立和完善,导致土壤盐渍化问题未能得到很好解决。本研究以中国科学院黄河三角洲滨海湿地生态试验站试验区棉田为研究区域,通过相关分析和主成分分析方法对试验区棉田土壤盐分特征进行研究,分析积盐影响因素与土壤盐分含量的关系,探索了土壤盐碱化的主要特征因子,并定性分析对棉花生长的影响,以期为农业生产和土地资源开发提供重要参考。

1 材料和方法

1.1 试验区概况

试验区为中国科学院黄河三角洲滨海湿地生态试验站(简称试验站)试验棉田。该区地处山东省垦利县,属暖温带季风气候区,具有明显的大陆性季风气候特点,年均气温 12.1℃,年均蒸发量 1 962 mm,年均降水量为 551.6 mm[7]。雨季集中在 7—8 月份,地下水埋深浅至 0.5 ~ 1.0 m,地下水平均矿化度为 30.1 $g \cdot L^{-1}$,最高可达 60.9 $g \cdot L^{-1}$[5,8]。土壤为海相沉积物经海水强烈浸渍而成,滨海潮化盐土为主要土壤类型[9]。该试验区由植物群落以茅草、芦苇、碱篷、柽柳为主的盐碱荒地开垦而成,并经过了多年棉花种植,具有一定的代表意义。

1.2 研究方法

1.2.1 样品采集 根据棉花长势、土壤质地等因素,采用均匀网格法的采样布局方式对约 90 m × 300 m 试验棉田进行采样,如图 1 所示。在南北方向每隔 20 m 依次选取 15 条纵线,东西方向每隔 18 m 选取 6 条横线,由此共确定 90 个交叉取样点,在每个采样点用土钻法进行 5 层分层取样,土壤层次设计为 0 ~ 20 cm、20 ~ 40 cm、40 ~ 60 cm、60 ~ 80 cm、80 ~ 100 cm。采样时间为 2012 年 7 月,为棉花生长最为旺盛的花铃期,同时也是决定棉花产量的关键时期。

1.2.2 样品处理与分析 采集的土壤样品带回实验室内自然风干、磨碎、过 2 mm 筛后备用。所有样品均制备 1:5 土水比浸提液,参照《土壤农业化学分析方法》[10]进行钠、钾、镁、钙、氯、硝酸根、硫酸根、碳酸氢根等土壤盐基离子含量的测定。其中 K^+、Na^+ 用火焰光度法测定;Ca^{2+}、Mg^{2+} 用 EDTA 络合滴定法测定;HCO_3^-、CO_3^{2-} 用双指示剂滴定法测定;Cl^- 用标准 $AgNO_3$ 滴定法测定;NO_3^{2-} 用紫外分光光度法测定;SO_4^{2-} 用 EDTA 络合滴定法测定。土壤盐分含量(S_t)采用离子总和法计算。研究区土壤中 CO_3^{2-} 浓度极低,以 HCO_3^- 代替两者总和。

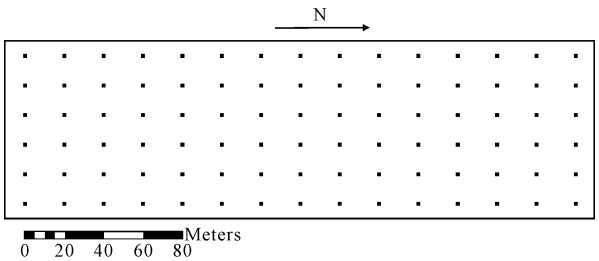

图 1 田间取样点平面分布图

Fig.1 The plane distribution chart of the field sampling points

1.3 数据处理

采用 Excel 进行基本统计特征分析;采用统计分析软件 SPSS 19.0 对滨海棉田土壤盐渍化影响因子进行相关性分析,并通过主成分分析方法确定其主要特征因子。

2 结果与分析

2.1 土壤盐分的统计特征分析

对 0 ~ 20 cm、20 ~ 40 cm、40 ~ 60 cm、60 ~ 80 cm 和 80 ~ 100 cm 各土层盐分含量进行统计分析,统计特征值如表 1 所示。根据滨海、半湿润、半干旱地区土壤盐碱化分级,表土含盐量小于 0.1% 为非盐化土,0.1% ~ 0.2% 为轻度盐化,0.2% ~ 0.4% 为中度盐化,0.4% ~ 0.6% 为强度盐化,大于 0.6% 为盐土,研究区域表层土壤含盐量为 0.397%,在 0.2% ~ 0.4% 之间属于中度盐化[11],在剖面各个层次的盐分含量差异不大;相对来说,深度土层位于 20 ~ 40 cm 盐分含量较低,0 ~ 20 cm 盐分含量较高。由于采样时间在大量降水前,棉花根部对其周围土壤水分强烈吸收,同时土壤深层受地下水矿化影响,盐分含量随深度呈现先降低后升高特点。盐分在耕作层的不断积累对于棉花根系生长发育和干物质的积累都有强烈的抑制作用[12-14]。

变异系数 CV 值反映样点的离散程度,按一般对 CV 值的评估[15](CV < 10% 为弱变异性;10% < CV ≤ 100% 为中等强度变异性;Cv > 100% 为强变异性)。由表 1 可知,不同分层含盐量的 CV 变化不大,均在 10% ~ 100% 之间,属于中等变异性。造成这种现象的原因可能是受到滨海潮化盐土物理结构影响,土壤入渗性能差,土粒絮散、透水性较弱。

表 1　试验棉田不同深度土壤盐分含量统计特征值

Table 1　The statistic characteristic values of the soil salt content in different soil depth of the test cotton field

土层 Soil layer /cm	最小值 Minimum /(g·kg^{-1})	最大值 Maximum /(g·kg^{-1})	平均值 Mean /(g·kg^{-1})	中数 Median /(g·kg^{-1})	标准差 Standard deviation /(g·kg^{-1})	偏度系数 Skewness	峰度系数 Kurtosis	变异系数 Coefficient of variation/%
0~20	1.167	7.224	3.970	4.093	2.113	0.093	-1.481	53.22
20~40	1.015	6.820	3.321	3.460	1.818	0.225	-1.173	54.74
40~60	1.058	6.957	3.770	3.624	2.097	0.212	-1.530	55.62
60~80	1.186	7.273	3.848	3.960	2.248	0.229	-1.590	58.41
80~100	1.368	8.146	3.875	3.665	2.203	0.440	-1.050	56.85

2.2　土壤盐基离子空间分布特征分析

不同土壤盐基离子对棉花生长的毒害作用有所差异。通过分析盐渍化土壤中不同盐基离子组成及空间变异,进一步讨论对土壤脱盐难易程度和棉花长势影响。由表 2 可知,试验棉田不同深度土壤阴离子主要以 Cl^- 为主,占相应土层盐分含量的 28.42%~33.82%,其次是 SO_4^{2-} 和 HCO_3^-,分别占相应土层的 14.72%~18.51% 和 15.01%~17.24%;阳离子主要以 Na^+ 为主,占相应土层盐分含量的 20.22%~23.99%,其次是 Ca^{2+},占相应土层的 2.17%~6.82%。随着土壤层深度逐渐增加,Cl^-、HCO_3^- 和 Na^+ 平均含量基本呈现先减少后增加的趋势,并在 20~40 cm 土层含量最低,这与土壤盐分含量变化规律基本一致。SO_4^{2-}、Mg^{2+} 和 Ca^{2+} 平均含量呈现出先减少后增加再减少的波浪式变化,NO_3^{2-} 则表现出逐渐减少趋势。在不同土壤层各盐基离子所占盐分含量百分比中,K^+ 的浓度最低,Cl^- 的浓度最高。由表 2 可以看出 Cl^-、SO_4^{2-} 的浓度较大,初步判断棉田土壤属性为氯化物-硫酸盐中度盐化土。

由表 2 可知,Na^+ 和 Cl^- 浓度之和在滨海棉田土壤盐分含量中所占比例在 50% 以上。研究表明[16-18],土壤中 NaCl 浓度过高能够破坏植物根系细胞分裂素生物合成,阻碍 Ca^{2+}、K^+ 和水分吸收,降低光合作用有关酶活性,从而抑制植株生长。同时 Na^+ 会增加土壤交换性钠水解作用,增加土壤碱性,腐蚀植物根系,降低 Fe、Mn、P 等营养元素吸收。所以在棉花播种期,应采取淋洗等措施控制土壤中可溶性盐基离子浓度,尤其是 Na^+ 和 Cl^- 对作物生长的毒害影响。

表 2　不同深度土壤各盐基离子平均含量及所占离子总量的百分比

Table 2　The mean content of each salt base ion in different soil depth and percentage to the total ion content contentdifferent in depth

土层/cm Soil layer	统计值 Statistic	Na^+	K^+	Mg^{2+}	Ca^{2+}	HCO_3^-	Cl^-	NO_3^{2-}	SO_4^{2-}
0~20	平均含量 Average content/(g·kg^{-1})	0.802	0.094	0.092	0.271	0.604	1.130	0.243	0.735
	浓度 Concentration/%	20.200	2.370	2.320	6.820	15.210	28.460	6.120	18.510
20~40	平均含量 Average content/(g·kg^{-1})	0.770	0.016	0.075	0.190	0.563	0.928	0.199	0.524
	浓度 Concentration/%	23.580	0.490	2.300	5.820	17.240	28.420	6.090	16.050
40~60	平均含量 Average content/(g·kg^{-1})	0.875	0.011	0.104	0.210	0.566	1.275	0.174	0.555
	浓度 Concentration/%	23.210	0.290	2.760	5.570	15.010	33.820	4.620	14.720
60~80	平均含量 Average content/(g·kg^{-1})	0.902	0.011	0.096	0.201	0.612	1.228	0.174	0.624
	浓度 Concentration/%	23.440	0.290	2.490	5.220	15.900	31.910	4.520	16.220
80~100	平均含量 Average content/(g·kg^{-1})	0.906	0.083	0.082	0.082	0.614	1.251	0.171	0.588
	浓度 Concentration/%	23.990	2.200	2.170	2.170	16.260	33.120	4.530	15.570

2.3　土壤各盐渍离子间的相关性分析

盐渍化土壤中,各盐渍离子之间及和土壤盐分含量的关联性不同,选择耕作层(0~20 cm)做 Pearson 相关分析,讨论盐分在土壤中的存在形态和累积特点及对棉花危害。由表 3 可知,土壤盐分含量(St)与 Na^+、SO_4^{2-}、Cl^-、Mg^{2+}、Ca^{2+}、NO_3^{2-}、HCO_3^{2-} 呈极显著正相关,其中与 Na^+ 的相关性最高,相关系数高达 0.969,其次为 SO_4^{2-} 和 Cl^-,相关系数分别为 0.928 和 0.927。研究表明,土壤盐基离子含量越高,与含盐量的相关系数越大。

土壤各盐基离子之间，Na^+ 与 HCO_3^{2-}、NO_3^{2-}、SO_4^{2-}、Mg^{2+} 和 Ca^{2+} 呈极显著正相关，其中与 SO_4^{2-} 相关性最强，相关系数为 0.924。Cl^- 与 Na^+、Mg^{2+}、Ca^{2+}、NO_3^{2-}、SO_4^{2-} 和 HCO_3^{2-} 均呈极显著正相关，尤其与 Mg^{2+}，相关系数为 0.947。所以推测土壤中可溶性盐分存在形式有 NaCl、Na_2SO_4、$Na_2Ca(SO_4)_2$ 等多种存在形式。K^+ 与其他各影响因素均表现为无相关性。同时，Na^+、Mg^{2+}、Ca^{2+} 三者之间均表现为极显著正相关；SO_4^{2-} 与 Na^+、Mg^{2+}、Ca^{2+} 呈极显著正相关。土壤中 SO_4^{2-} 易使 Mg^{2+} 和 Ca^{2+} 聚集沉淀，Na^+ 与胶体上吸附的其他阳离子进行置换反应的机率增加，从而发生土壤粘粒分散、物理性质恶化，进一步影响棉株根系生长和对水分的吸收。

表 3　0～20 cm 各土壤盐渍离子间及与盐分含量的相关分析矩阵

Table 3　Correlation Matrix of the various ions and salt content in 0～20 cm soil layer

项目 Item	HCO_3^{2-}	Cl^-	NO_3^{2-}	SO_4^{2-}	Na^+	K^+	Mg^{2+}	Ca^{2+}	St
HCO_3^{2-}	1								
Cl^-	0.603*	1							
NO_3^{2-}	0.889**	0.656**	1						
SO_4^{2-}	0.860**	0.745**	0.939**	1					
Na^+	0.837**	0.889**	0.870**	0.924**	1				
K^+	-0.010	0.137	-0.016	0.006	-0.077	1			
Mg^{2+}	0.630**	0.947**	0.718**	0.792**	0.901**	-0.10	1		
Ca^{2+}	0.615*	0.856**	0.784**	0.836*	0.832**	-0.044	0.928**	1	
St	0.824**	0.927**	0.871**	0.928**	0.969**	0.138	0.905**	0.874**	1

注：* 在 $P<0.05$ 水平下显著相关，** 在 $P<0.01$ 水平下极显著相关。

Note: * Significant at $P<0.05$ level, ** extremely significant at $P<0.01$ level.

2.4　土壤盐渍化的主导因子

本研究采取主成分分析法进一步描述土壤盐渍化状态，获取更具代表性和限制性的土壤盐渍化主导因子，以便为土壤盐渍化改良和农业生产提供更多针对性的可靠理论依据。在主成分因子计算时，采用方差最大正交旋转法获取主成分因子的方差矩阵，通过此方法可使每个因子上的最高载荷的变量数最少，各因子独立表达其含义，但每个因子变量的共同性不会改变，简化对因子载荷量的解释[19]。

对 HCO_3^{2-}、Cl^-、NO_3^{2-}、SO_4^{2-}、Na^+、K^+、Mg^{2+}、Ca^{2+} 进行主成分分析，获取各主成分特征值和贡献率，如表 4 所示。分析结果表明，只有前 2 个特征根大于 1，确定主成分个数为 2。前 2 个主成分的累积贡献率为 85.769%，其中第一、二主成分的贡献率分别为 69.006% 和 16.763%，信息损失率仅为14.231%，足以描述原始因子反映的土壤盐渍特征性状。

表 4　土壤盐渍化主成分的特征根与方差贡献率

Table 4　Characteristic value and variance contribution rate of the principal components of soil salinization

主成分 Component	相关矩阵的特征值 Characteristic value of the Correlation Matrix			提取因子载荷的平方和 Square summation of the extraction factor			旋转后提取因子载荷的平方和 Rotation sums of squared loadings		
	特征值 Characteristic value	各成分解释方差占总方差的百分比/% Total variance	累计方差百分比/% Cumulative variance	特征值 Characteristic value	贡献率/% Contribution rate	累计贡献率/% Cumulative rate	特征值 Characteristic value	贡献率/% Contribution rate	累计贡献率/% Cumulative rate
1	5.883	73.537	73.537	5.883	73.537	73.537	5.882	73.530	69.006
2	1.037	12.957	86.493	1.037	12.975	86.493	1.037	86.493	85.769
3	0.718	8.979	95.472						
4	0.219	2.740	98.212						
5	0.080	0.994	99.206						
6	0.046	0.580	99.786						
7	0.015	0.192	99.979						
8	0.002	0.021	100.000						

表 5　旋转后主成分因子载荷

Table 5 The principal component factor loads after rotation

指标 Index	主成分 Principal component	
	1	2
HCO_3^{2-}	0.805	-0.356
Cl^-	0.932	0.219
NO_3^{2-}	0.872	-0.348
SO_4^{2-}	0.925	-0.277
Na^+	0.959	-0.180
Mg^{2+}	0.924	-0.011
Ca^{2+}	0.908	-0.065
K^+	0.126	0.762

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[20]。由表 5 各主成分在原始变量上的载荷,可得出由主成分系数和标注化变量组成的前 2 个主成分的表达式:

$$F1 = 0.805ZX1 + 0.932ZX2 + 0.872ZX3 + 0.924ZX4 + 0.959ZX5 + 0.925ZX6 + 0.908ZX7 + 0.126ZX8$$

$$F2 = -0.356ZX1 + 0.219ZX2 - 0.348ZX3 - 0.277ZX4 - 0.180ZX5 - 0.011ZX6 - 0.065ZX7 + 0.762ZX8$$

其中 X1 ~ X8 分别代表 HCO_3^{2-}、Cl^-、NO_3^{2-}、SO_4^{2-}、Na^+、K^+、Mg^{2+}、Ca^{2+} 标准化变量。

第一主成分表达式中 X5、X2 和 X4 的系数较大,分别为 0.956、0.932 和 0.925,说明 Na^+、Cl^- 和 SO_4^{2-} 与第一主成分的相关性较高,即这五个指标与土壤盐渍化状态密切相关,是反映棉田土壤实际状态的综合指标,进一步说明土壤盐渍化受 NaCl 的影响较大。

3　结　论

本研究采用相关性分析和主成分分析方法对黄河三角洲试验棉田进行土壤盐渍化特征进行讨论,主要得出以下结论:

1) 棉田土壤平均含盐量为 3.321 ~ 3.970 $g \cdot kg^{-1}$,属中度盐渍化。土壤盐分表现一定的表聚现象,垂直空间盐分分布总体差异不大,20 ~ 40 cm 土层相对含量较低,盐分耕作层积累对棉花生长有明显的抑制作用。

2) 土壤阳离子以 Na^+ 为主,阴离子以 Cl^- 为主。土壤盐分含量(St)与 Na^+、SO_4^{2-}、Cl^-、Mg^{2+}、Ca^{2+}、NO_3^{2-}、HCO_3^{2-} 离子含量均呈极显著正相关,其中与 Na^+、SO_4^{2-} 和 Cl^- 的相关性尤为显著。阴、阳离子间相关性有所差异,主要以氯化物和硫酸盐为主要存在形式,对土壤结构特征和作物种植具有一定影响。

3) Na^+、Cl^- 及 SO_4^{2-} 是影响试验棉田盐渍化的主要特征因子,NaCl 和硫酸盐通过影响盐分含量和土壤结构进而对土壤盐渍化产生影响。所以棉花等农业作物种植应与土壤脱盐等改良措施紧密结合,才能实现农业可持续生产和土地资源合理利用。

参 考 文 献:

[1] 关元秀,刘高焕,王劲峰.基于 GIS 的黄河三角洲盐碱地改良分区[J].地理学报,2001,(2):198-205.

[2] 董合忠.滨海盐碱地棉花成苗的原理与技术[J].应用生态学报,2012,(2):566-572.

[3] 辛承松,董合忠.滨海盐碱地棉花施肥的原理与技术[J].中国棉花,2012,(2):6-11.

[4] 吴向东,陈小兵,吕真真,等.黄河三角洲农田灌溉前后土壤盐分时空变异特征研究[J].干旱地区农业研究,2013,31(3):194-199,243.

[5] 姚荣江,杨劲松,姜　龙.黄河下游三角洲盐渍区表层土壤积盐影响因子及其强度分析[J].土壤通报,2008,(5):1115-1119.

[6] 孙运朋,陈小兵,张振华,等.滨海棉田土壤盐分时空分布特征研究[J].土壤学报,2013,50(5):891-899.

[7] 孙凯宁,于君宝,宁　凯,等.棉秆还田和有机无机复混型肥料对蕾期棉花生长及氮肥利用率的影响[J].中国农学通报,2013,15:50-55.

[8] 杨劲松,姚荣江,刘广明,等.黄河三角洲地区土壤盐分的空间变异性及其 CoKriging 估值[J].干旱区研究,2006,(3):439-445.

[9] 东营市肥料工作站.东营市土壤[R].山东东营:东营市土壤肥料工作站,1988:69-76.

[10] 鲁如坤.土壤农业化学分析方法[M].北京:中国农业科技出版社,1999:85-96.

[11] 王遵亲.中国盐渍土[M].陕西西安:陕西人民出版社,1994:130-149.

[12] 龚　江,侯振安,杨振华,等.滴灌条件下不同盐水平对棉花根系生长的影响[J].灌溉排水报,2008,(4):41-43.

[13] 孙小芳,刘友良,陈　沁.棉花耐盐性研究进展[J].棉花学报,1998,(3):7-13.

[14] 孙肇君,李鲁华,张　伟,等.膜下滴灌棉花耐盐预警值的研究[J].干旱地区农业研究,2009,27(4):140-145.

[15] 张淑娟,何　勇,方　慧.基于 GPS 和 GIS 的田间土壤特性空间变异性的研究[J].农业工程学报,2003,19(2):39-44.

[16] Kuiper D J, Schuit. Actual cytokine in content rat ion in plant tissue as an indicator for salt resistance in cereals[J]. Plant Soil, 1990, 123:243-250.

[17] Stoeyr, Wal Kerr. Citrus and salinity[J]. Scientia Horticulturae, 1999,78:39-81.

[18] 郑国琦,马宏玮,许　兴.盐胁迫下枸杞盐分与甜菜碱积累及光合作用的关系[J].中国生态农业学报,2003,11(3):51-54.

[19] 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,(2):289-295.

[20] 郝黎仁,樊　元,郝哲欧,等.SPSS 使用统计与分析[M].北京:中国水利水电出版社,2003.