

微咸水灌溉对土壤盐分和作物产量的影响研究

杨军, 邵玉翠, 高伟, 任顺荣

(天津市农业资源与环境研究所, 天津 300192)

摘要: 为探讨微咸水灌溉利用模式, 在天津市静海县进行了微咸水灌溉试验, 研究了微咸水灌溉对土壤盐分动态与作物产量的影响。结果表明, 微咸水灌溉下, 施用改良剂能提高土壤渗透性, 降低土壤 pH 值和土壤电导率(EC), 降低了土壤含盐量, 同时在试验周期 0—60 cm 的土层内未出现积盐现象。此外, 微咸水灌溉时, 施用改良剂可显著增加小麦穗数和玉米穗粒数, 提高作物产量。采用 3.7 g/L 微咸水灌溉配合施用改良剂是该地区适宜的微咸水灌溉模式。

关键词: 咸水灌溉; 改良剂; 土壤理化性质; 土壤养分

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2013)02-0017-04

中图分类号: S156.4

Effects of Saline Water Irrigation on Soil Salinity and Crop Yield

YANG Jun, SHAO Yu-cui, GAO Wei, REN Shun-rong

(Tianjin Institute of Agricultural Resource and Environment Sciences, Tianjin 300192, China)

Abstract: To study the suitable strategies of saline water irrigation for crops, a field experiment was conducted in Jinghai County of Tianjin City. Data were collected to analyze the effects of saline water irrigation on salt dynamics and crop yield. The results showed that with saline water irrigation, the application of soil amendment increased soil permeability coefficient, reduced soil pH value and EC (electrical conductivity of soil solution), and decreased the salt content. No salt accumulation was found in 0—60 cm soil during the experiment. Meanwhile, the amendment increased wheat shoot number, grain number per shoot of maize and crop yields significantly. Using saline water with degree of mineralization at 3.7 g/L for irrigation with soil amendment is the recommended irrigation mode for crops in this region.

Keywords: saline water irrigation; soil amendment; soil physical and chemical property; soil nutrient

淡水资源短缺已成为制约中国尤其是华北平原经济社会发展的突出问题^[1], 寻找替代水资源(如微咸水)是该问题的重要缓解途径^[2]。天津水资源日趋紧张, 农业灌溉用水更是严重缺乏, 开发利用新水源与节水同等重要^[3]。另外, 天津市咸水资源面积近 9 000 km², 其中浅层地下咸水分布面积近 7 000 km²^[4]。目前许多地区已摸索出利用改造咸水的经验, 若利用得当, 咸水就成为可以利用的水资源^[5]。因此, 如何最大限度利用微咸水而又减少其对土壤和农作物的危害对缓解天津地区农业水资源短缺具有现实意义。

微咸水用于田间灌溉, 可以增加土壤湿度, 提供作物生长所需要的水分, 同时降低土壤溶液的浓度及渗透压, 从而有利于作物吸收水分。另外微咸水灌溉

也给土壤带入了盐分, 造成潜在盐渍化的危险^[6]。在利用微咸水进行灌溉时要考虑的因素包括: 作物耐盐性, 灌溉制度, 水资源管理策略, 灌溉频率以及土壤特性^[7]。国内外关于微咸水灌溉对土壤、作物等的影响方面, 开展了大量的研究工作^[8-11]。此外, 还有不少利用不同矿化度微咸水灌溉方面的研究, 如张妙仙等^[12]采用灌溉水矿化度临界方程模拟了灌溉入渗条件下农田土壤水盐动态; 邵玉翠等^[13]的研究表明, 利用矿化度 2.5 g/L 微咸水灌溉对小麦有增产效果, 而 3.0~6.0 g/L 则使小麦不同程度减产; 逢焕成等^[14]利用 3~5 g/L 微咸水对小麦进行补灌, 结果表明 1 m 土体内总盐量通过咸淡轮灌和雨季自然淋洗后可达到周年平衡。已有的研究表明, 2~5 g/L 的微咸水在特定情况下用于农田灌溉是可行的。但也有

收稿日期: 2012-03-23

修回日期: 2012-05-14

资助项目: 国家科技支撑计划项目“区域咸水灌溉条件下环境效应与土壤保育技术集成研究与示范”(2009BADA3B05)

作者简介: 杨军(1982—), 男(彝族), 云南省红河州人, 硕士研究生, 助理研究员, 主要从事盐碱地改良与无土栽培研究。E-mail: yangjun821104@163.com。

研究表明^[15],用 3~5 g/L 的微咸水直接灌溉,会造成土壤耕层盐碱化;长期使用 2~3 g/L 的微咸水直接灌溉,对土壤也有潜在影响。这些研究仅针对微咸水灌溉对作物和土壤盐分进行分析,没有涉及施用改良剂对其的影响。

施用土壤改良剂能够提高土壤向土体外或向深层排盐能力,改善作物生长的土壤环境,增加土壤孔隙度,提高土壤阳离子代换量。当前对改良剂改良盐渍土的研究报道较多,研究材料涉及脱硫石膏^[16]、石膏^[17]、酒糟^[18]、生物有机肥^[19]等,它们均对盐碱土有一定的改良效果。此外邵玉翠等^[20-21]研究了有机—无机土壤改良剂对土壤物理和化学环境的改良,同时指出适量施用可有效地降低土壤盐分含量。研究表明,微咸水灌溉的增产效益和环境影响效应对解决水资源危机,指导农业生产,防止土壤次生盐渍化有重要意义,但由于影响因素较多,必须根据不同土壤和气候地区进行微咸水灌溉研究。为此,在天津市静海县开展了结合施用改良剂的微咸水灌溉田间试验研究,旨在为进一步寻求合理的微咸水利用方式提供理论与技术储备。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

试验在天津市静海县进行,作物种植制度为小麦—玉米一年两熟。该地区属暖温带大陆性季风气候,四季变化明显,年平均气温 11.9 °C,多年平均降水量 566.7 mm,主要集中在 6—8 月。耕地土壤为潮土,耕层(0—20 cm)土壤有机质 14.87 g/kg,全盐含量为 4.44 g/kg,pH 值为 8.03。

1.2 试验设计

本试验在冬小麦、夏玉米种植方式、播种时间、种植密度、肥料施用量、田间管理等均相同的情况下,设 3 个处理:T₁ 浅井咸水(矿化度 4.5 g/L)灌溉;T₂ 浅井咸水与深井淡水混合(矿化度 3.7 g/L)灌溉;T₃ 混合水灌溉+改良剂,灌溉方式为漫灌。每个处理为约 1.67 hm² 的条田,改良剂为盆栽试验与小区试验筛选出的配方,醋渣、牛粪和石膏按一定比例混合后在耕地前撒在地面,然后随耕地翻入土壤。小麦品种为冀麦 22,玉米品种为郑单 958。

1.3 测定项目及方法

测定样品为各时期采集的土样。作物收获同时用环刀取土,参照《土壤物理性质测定法》测定土壤容重、毛管孔隙度和渗透系数。将过 1 mm 筛后的待测土样按 1:5 土水比与去 CO₂ 的蒸馏水混合,振荡、过滤,滤液为待测液。pH 值采用 pH 计(梅特勒

S30K)测定;EC 采用电导率仪(梅特勒 S30K)测定;全盐采用重量法测定。(1) 冬小麦产量及产量构成因素。各处理取均匀一致的 1 m 双行进行考种,测定穗数、穗粒数;选取均匀一致有代表性的 1 m² 进行实割测产,折算成单位面积产量。(2) 夏玉米产量及产量构成因素。各处理取均匀一致的 10 m 双行进行取样考种,平均行距 0.5 m,面积 10 m²,测定穗数、穗粒数,穗粒数为随机选取 10 穗的平均值;按相应面积折算相应产量。

采用 Microsoft Excel 2003 和 DPS 统计软件进行试验数据、图片的处理分析。

2 结果与分析

2.1 各处理对土壤理化性质的影响

微咸水灌溉带进土壤中的盐,将直接危害农作物的生长,影响土壤持续性发展。控制或减少土壤中盐的积累,提高有害盐分排出土壤耕层的能力,是实现微咸水农田安全灌溉的一个重要环节,也是目前利用微咸水进行农田灌溉中需要解决的难题。施用改良剂能够改善作物生长的土壤环境,增加土壤孔隙度,提高土壤向土体外或深层排盐的能力^[20]。由表 1 可以看出,两季作物收获时各处理的容重在 1.18~1.37 g/cm³,且处理间的差异不显著(5%水平,下同)。在小麦季,施用改良剂的处理 T₃ 的容重比未施改良剂的处理 T₂ 低了 11%,而在玉米季 T₃ 比 T₂ 高出 12%,表明改良剂对土壤容重的改良效果可能在施用当季较明显,而未施改良剂的玉米季则未见效果。从表 1 可见,各处理的毛管孔隙度差异不显著,说明改良剂对土壤毛管孔隙度的改良效果不明显。土壤渗透性是土壤重要的物理性能指标之一,渗透系数大的土壤更有利于盐分淋洗出土体。由表 1 可以看出,各处理对土壤渗透系数的影响较大,在小麦收获、玉米收获时,T₃ 处理的土壤渗透性显著高于其它 2 个处理,表明改良剂对提高土壤渗透性效果明显,同时,混灌处理(T₂)也优于浅井水灌溉(T₁)的处理。小麦收获和玉米收获时,土壤 pH 值均表现为:T₁>T₂>T₃ 的规律,表明施用改良剂有降低土壤 pH 值的效果,同时高矿化度水灌溉后的土壤 pH 值高于低矿化度水灌溉后的土壤 pH 值。由表 1 还可见,两种作物收获后,0—5 cm 土层的电导率均表现为:T₁>T₂>T₃ 的规律,电导率高,其对应的全盐含量也高,表明浅井水灌溉后的土壤表层含盐量高于深井水灌溉的处理。此外施用改良剂也能使土壤表层的电导率降低。

表 1 不同处理对土壤理化性质的影响

测定时间	处理	容重/ ($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$)	毛管孔隙度/ %	渗透系数/ ($\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}$)	pH 值	电导率/ ($\mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$)
小麦收获后	T ₁	1.25±0.06 ^a	39.51±1.98 ^a	0.14±0.11 ^b	7.84±0.21 ^a	824
	T ₂	1.37±0.15 ^a	34.24±6.13 ^a	0.17±0.04 ^b	7.74±0.14 ^a	640
	T ₃	1.22±0.03 ^a	38.81±1.33 ^a	0.31±0.10 ^a	7.73±0.13 ^a	567
玉米收获后	T ₁	1.28±0.06 ^a	37.53±2.00 ^a	0.22±0.14 ^c	7.95±0.47 ^a	316
	T ₂	1.18±0.10 ^a	43.03±3.12 ^a	0.34±0.05 ^b	7.73±0.14 ^a	189
	T ₃	1.32±0.09 ^a	37.29±4.21 ^a	0.56±0.05 ^a	7.67±0.14 ^a	136

注:同列中不同字母表示在 0.05 水平差异显著。下同。pH 值的待测液土水比为 1:5;电导率测定部位为 0—5 cm 土层。

2.2 土壤盐分分布的特征

2.2.1 土壤盐分随时间的变化规律

应用微咸水灌溉的关键在于能否控制盐分在根系土层的累积,因此有必要对土壤含盐量随时间的变化情况进行分析^[22]。图 1 为 0—60 cm 土层土壤平均含盐量随时间变化动态。从图 1 可以看出,在监测开始时,各处理 0—60 cm 土层土壤平均含盐量最高,约在 1.6 g/kg,属于轻度盐渍化土^[23]。该时期土壤含盐量最高,是因为自种植到该时期,该地区都处于干旱少雨的状况,其间进行的冬水灌溉也给土壤带入了一定量的盐分,强烈的蒸发作用造成土壤盐分随水分蒸发而累积在表层土壤中,0—5 cm 土层含盐量达到了 3.5~5.3 g/kg。到小麦收获时,T₁ 和 T₃ 处理平均含盐量有所下降,而 T₂ 处理略有升高。7—8 月为该区降雨比较集中的时期,较多的降水使表层土壤的盐分往下淋洗,所以到 9 月 22 日时,0—60 cm 土层土壤平均含盐量明显下降,T₃ 处理降到了 0.67 g/kg,表明施用改良剂后起到了降低土壤中盐分的作用。从这一时期到玉米收获土壤盐分变化比较平稳,3.7 g/L 灌溉的两个处理 T₂ 和 T₃ 在玉米收获时含盐量有所下降。不同处理之间基本上表现出 0—60 cm 土层土壤平均含盐量表现为:T₁>T₂>T₃ 的规律,并且各处理间的差异在玉米生长时期变大,表明改良剂在该时期的降盐效果更明显。

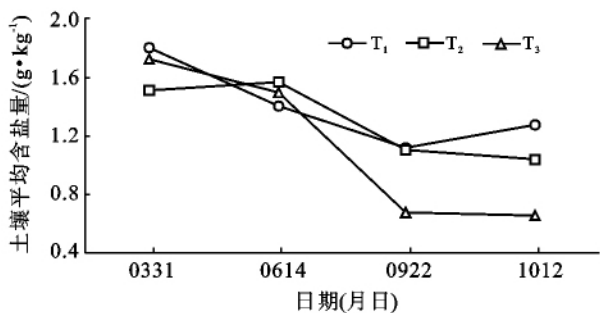


图 1 研究区不同处理 0—60 cm 土层含盐量变化

2.2.2 土壤剖面上盐分的分布特征

图 2 为作物生育期内各处理土壤含盐量在 4 个时期的垂直分布。从图 2 可知,3 种处理在不同时期有着相似的盐分分布特征。在小麦季(图 1a,图 1b),0—5 cm 土层盐分相对较高,显示出明显的盐分表聚现象,并且各处理间的含盐量变化较大,5—20 cm 土层含盐量急剧下降,到 20—40 cm 土层变平缓,随后 40—60 cm 土层含盐量又略有升高。在玉米生长期(图 1c),3 个处理大致表现出土壤盐分随土层深度升高的趋势,说明盐分有向深层土壤淋洗的趋势,T₃ 处理 40—60 cm 土层含盐量远大于上层土壤含盐量,表明上层土壤盐分已淋洗出 0—40 cm 土层,反映出施用改良剂后的土壤更利于盐分的淋洗。玉米收获后(图 2d),3 个处理均表现出土壤含盐量 0—5 cm 土层较高,5—20 cm 土层有所降低,20 cm 以下土层土壤含盐量则逐步升高的特征,表明浅层土壤盐分有开始向上移动的趋势。

2.3 对作物产量的影响

表 2 为不同处理小麦、玉米产量构成及产量结果。从产量来看,混合水灌溉与浅井水灌溉相比,小麦产量提高了 29.3%,玉米产量提高了 4.5%,方差分析显示,小麦产量差异显著($p<5\%$,下同),而玉米产量差异不显著;混合水灌溉施改良剂与未施改良剂相比,小麦产量提高了 12.0%,玉米产量提高了 13.1%,方差分析比较,玉米产量差异显著,而小麦产量差异不显著。由此可见,灌溉水矿化度对小麦产量影响较大,而改良剂对提高玉米产量的效果较明显。

对小麦、玉米产量构成因素分析表明,混合水灌溉的 2 个处理 T₂ 和 T₃ 冬小麦穗数显著高于浅井水灌溉处理,施用改良剂也增加了小麦穗数,但差异不显著;3 个处理间夏玉米穗数差异不显著。从穗粒数来看,各处理对小麦的影响不大,但对玉米穗粒数影响明显,且差异显著,表明施用改良剂和低矿化度水灌溉均能增加玉米的穗粒数。

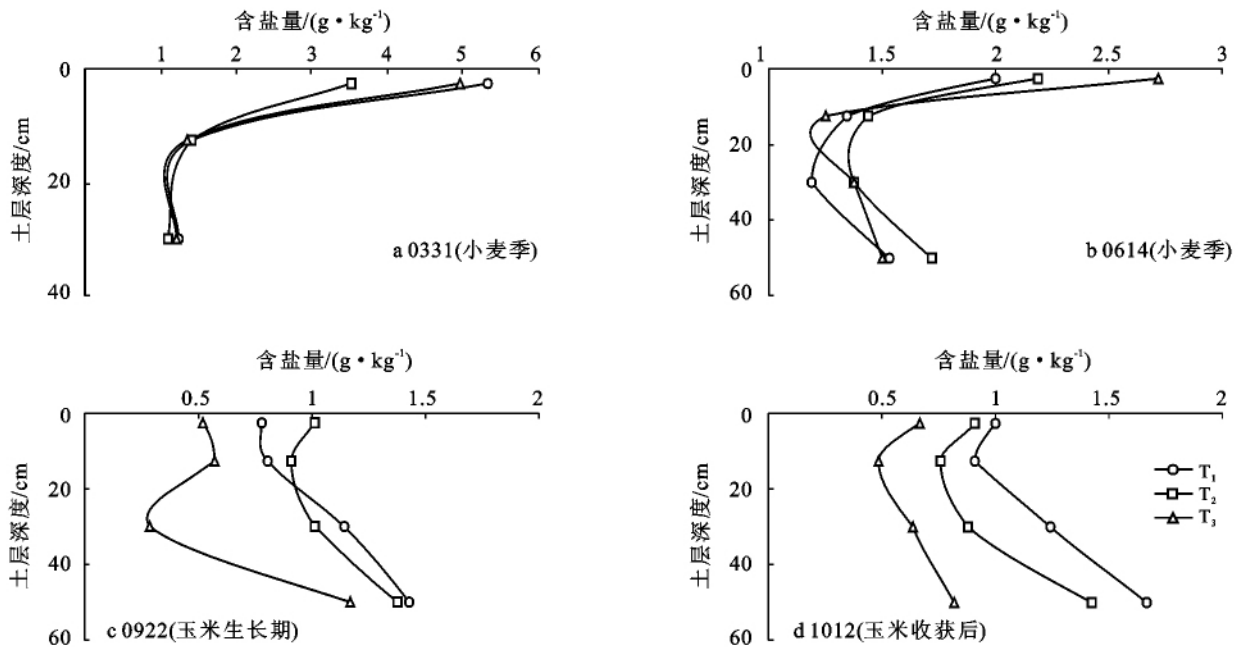


图 2 不同生育期各处理的土壤盐剖面分布

表 2 不同处理对作物产量的影响

处理	冬小麦			夏玉米		
	穗数/ 10^6	穗粒数	产量/ $(\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2})$	穗数/ 10^3	穗粒数	产量/ $(\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2})$
T ₁	3.1 ± 0.1^b	29.1 ± 3.1^a	$3\ 124.9 \pm 382.7^b$	492.1 ± 8.4^a	540.4 ± 10.3^c	$6\ 937.2 \pm 100.4^b$
T ₂	3.8 ± 0.2^a	30.9 ± 1.0^a	$4\ 039.9 \pm 247.3^a$	488.0 ± 37.7^a	569.1 ± 4.5^b	$7\ 246.5 \pm 546.9^b$
T ₃	4.0 ± 0.3^a	32.6 ± 3.3^a	$4\ 523.6 \pm 529.7^a$	490.0 ± 31.6^a	641.2 ± 13.1^a	$8\ 193.0 \pm 438.9^a$

3 结论

(1) 微咸水灌溉条件下,施用改良剂可显著提高土壤渗透性、降低土壤 pH 值和 EC 值,但对土壤容重和孔隙度的改良效果不明显。低矿化度水灌溉的土壤理化性状好于高矿化度水灌溉的土壤。

(2) 微咸水灌溉条件下,土壤盐分含量的变化受气候影响明显,施用改良剂可以降低土壤含盐量,在试验周期 0—60 cm 的土层内没有积盐现象出现,改良剂提高了灌溉水对土壤盐分淋洗的效果。

(3) 利用微咸水灌溉时,水中过高的盐分对作物生长及产量有限制作用,混合水灌溉处理小麦、玉米产量均高于浅井水灌溉,而施用改良剂能提高作物穗数和穗粒数,从而提高作物产量。该地区采用 3.7 g/L 微咸水灌溉配合施用改良剂是适宜的微咸水灌溉利用模式。

[参 考 文 献]

[1] 王菊翠, 仵彦卿, 党碧玲, 等. 陕西关中地区水资源的可持续发展支持能力[J]. 地球科学与环境学报, 2009, 31(2): 177-184.

[2] Ayars J E, Schoneman R A, Dale F, et al. Managing subsurface drip irrigation in the presence of shallow ground water [J]. Agricultural Water Management, 2001, 47(3): 243-264.

[3] 张余良, 陆文龙, 张伟, 等. 长期微咸水灌溉对耕地土壤理化性状的影响[J]. 农业环境科学学报, 2006, 25(4): 969-973.

[4] 李建华, 刘仲齐. 天津滨海地区可持续发展的生态建设策略[J]. 天津农业科学, 2008, 14(6): 1-5.

[5] 李庆朝. 微咸水灌溉对小麦、玉米等农作物的影响[J]. 安庆师范学院学报: 自然科学版, 2003, 9(2): 37-40.

[6] 逢焕成, 杨劲松, 严惠峻. 微咸水灌溉对土壤盐分和作物产量影响研究[J]. 植物营养与肥料学报, 2004, 10(6): 599-603.

[7] Malash N, Flowers T J, Ragab R. Effect of irrigation systems and water management practices using saline and non-saline water on tomato production[J]. Agricultural Water Management, 2005, 78(1): 25-38.

[8] Letey J. Guidelines for Irrigation Management of Saline Waters[M]. Netherlands: Wastewater Reuse-Risk Assessment, Decision-Making and Environmental Security, 2007: 205-218.

(下转第 25 页)

极显著正相关关系,土壤导水性能越强、土壤所保持水分越多。研究结论可为了解和研究旱地红壤土壤水分基本状况、改善旱地红壤的季节性干旱、增加保水保肥能力等提供科学依据。

[参 考 文 献]

- [1] Rattan L. Physical management of soils of the tropics: Priorities for the 21st century[J]. Soil Science, 2000,165(3):191-207.
- [2] 陈效民,潘根兴,沈其荣,等.太湖地区主要水稻土的土壤水分参数研究[J].水土保持学报,2001,15(4):96-96,125.
- [3] 徐绍辉,刘建立.土壤水力性质确定方法研究进展[J].水科学进展,2003,14(4):494-501.
- [4] 白冰,陈效民,秦淑平.黄河三角洲滨海盐渍土饱和导水率的研究[J].土壤通报,2005,36(3):321-323.
- [5] 姚贤良.华中丘陵红壤的水分问题: I. 低丘坡地红壤的求分状况[J].土壤学报,1996,33(3):249-256.
- [6] 鲍士旦.土壤农化分析[M]. 3版.北京:中国农业出版社,2008.
- [7] 吴华山,陈效民,叶民标,等.太湖地区主要水稻土水力特征及其影响因素[J].水土保持学报,2005,19(1):181-187.
- [8] Tompkins T M. Wetland Effects on Hydrological and Water Quality Characteristics of A Mid-Michigan River System[M]. Florida: Crc. Press,1997:273-283.
- [9] 李惠娣,杨琦,聂振龙,等.土壤结构变化对包气带土壤水分参数的影响及环境效应[J].水土保持学报,2002,16(6):100-102,106.
- [10] 党进谦,李靖.非饱和黄土含水量与基质吸力的关系关系[J].水土保持通报,1995,15(4):39-42.
- [11] 易军,尚三林,杨正礼.宁夏黄灌区灌淤土水力参数研究[J].灌溉排水学报,2011,30(2):46-49.
- [12] 吕殿青,潘云.南北方黏质土壤的水分特征研究[J].灌溉排水学报,2009,28(1):20-23.
- [13] 邓建才,陈效民,张佳宝,等.黄淮海平原主要土壤水力参数的研究[J].灌溉排水学报,2002,21(3):1-3,7.
- [14] 沃飞,蔡彦明,田颖,等.天津市不同种植年限蔬菜地土壤水分特征影响因素及其演变[J].干旱地区农业研究,2010,28(1):11-15.
- [15] 方堃,陈效民,杜臻杰,等.低山丘陵区红壤水分的动态变化及影响因素[J].农业工程学报,2010,26(1):67-72.
- [9] Katerji N, van Hoorn J W, Hamdy A, et al. Salinity effect on crop development and yield, analysis of salt tolerance according to several classification methods[J]. Agricultural Water Management, 2003,62(1):37-66.
- [10] Tedeschi A, Dell'Aquila R. Effects of irrigation with saline waters, at different concentrations, on soil physical and chemical characteristics[J]. Agricultural Water Management, 2005,77(1/3):308-322.
- [11] Karin. The effect of NaCl on growth, dry mater allocation and ion uptake in salt marsh and inland population of America Maritima[J]. New phytol., 1997,135(2):213-225.
- [12] 张妙仙,杨劲松.灌溉入渗条件下农田土壤水盐动态简化模型及应用[J].土壤学报,2002,39(1):81-88.
- [13] 邵玉翠,张余良,李悦,等.微咸水农田灌溉技术研究[J].天津农业科学,2003,9(4):25-27,35.
- [14] 逢焕成,杨劲松,严惠峻.微咸水灌溉对土壤盐分和作物产量影响研究[J].植物营养与肥料学报,2004,10(6):599-603.
- [15] 王洪彬.沧州地区利用地下微咸水灌溉分析[J].河北水利水电技术,1998(4):4-5.
- [16] 陈欢,王淑娟,陈昌和,等.烟气脱硫废弃物在碱性土壤改良中的应用及效果[J].干旱地区农业研究,2005,23(4):38-42.
- [17] 高玉山,朱知运,毕业莉,等.石膏改良苏打盐碱土田间定位试验研究[J].吉林农业科学,2003,28(6):6-31.
- [18] 潘保原,曹越.不同剂量的酒糟对盐碱土壤改良的作用[J].环境科学管理,2009,34(10):35-37.
- [19] 张金柱,郭春景,张兴,等.生物有机肥对中度盐碱土壤理化性质影响的研究[J].湖北农业科学,2008,47(12):1420-1422.
- [20] 邵玉翠,张余良,李悦,等.天然矿物改良剂在微咸水灌溉土壤中应用效果的研究[J].水土保持学报,2005,19(4):100-103.
- [21] 邵玉翠,任顺荣,廉晓娟,等.有机-无机土壤改良剂对滨海盐渍土降盐防碱的效果[J].生态环境学报,2009,18(4):1527-1532.
- [22] 叶海燕,王全九,刘小京.冬小麦微咸水灌溉制度的研究[J].农业工程学报,2005,21(9):27-32.
- [23] 李学垣.土壤化学[M].北京:高等教育出版社,2003.

(上接第 20 页)