

北方滨海盐碱地冬季咸水结冰灌溉对菊芋生长及离子分布的影响

隆小华, 倪 妮, 金善钊, 刘兆普*

(南京农业大学资源与环境科学学院, 南京 210095)

摘 要:为探讨冬季咸水结冰灌溉对河北省滨海平原区盐碱土的土壤盐分变化以及对菊芋生长的影响,在冬季利用地下苦咸水对河北海兴盐碱地进行咸水结冰灌溉试验,设冬灌覆膜处理,其中包括膜上挖孔直接播种处理(T1)和揭膜播种再覆膜处理(T2),以无冬灌+覆膜处理作为第一对照(CK1),不冰灌和不覆膜的小区作为第二对照(CK2)。结果表明,冬季灌溉咸水结冰、春季咸水冰融化入渗后土壤各层次脱盐效果明显,播种期 T1 和 T2 处理的 0~5 cm、5~20 cm 表层土壤含盐量较 CK1 和 CK2 分别降低了 41.9%、65.0%、46.5%、67.7%、29.9%、47.1%、40.8%和 55.3%,在菊芋播种期耕层土壤含盐量降低到 0.6%左右,T1 和 T2 单位产量分别较 CK1 和 CK2 高 54%、115%、97%和 175%,T1 和 T2 处理下 Na⁺和 Cl⁻含量较 CK1 和 CK2 显著降低,而 K⁺含量和 K⁺/Na⁺较 CK1 和 CK2 显著增高。通过冬季咸水结冰灌溉和覆膜措施可以确保土壤盐分下降,从而降低了盐分对菊芋生长的毒害作用,使菊芋产量得到显著提高。

关键词:滨海盐土;土壤盐渍化;咸水结冰灌溉;菊芋

中图分类号:S156.4 **文献标志码:**A **文章编号:**1672-2043(2012)01-0161-05

Effect of Freezing Saline Water Irrigation in Winter on Growth and Ion Distribution of *Helianthus tuberosus* L. in North Coastal Saline Soil

LONG Xiao-hua, NI Ni, JIN Shan-zhao, LIU Zhao-pu*

(College of Resources and Environmental Sciences of NAU, Nanjing 210095, China)

Abstract: Soil salinization and fresh water shortages are major limiting factors for crop productions and environmental rehabilitation in coastal plains around the Bohai Sea. Improving saline soils in such areas can greatly benefit agricultural productions and environmental protection in the context of fast economic development across the coastal zones of the Bohai Sea. Based on the mechanism of water desalinization by freezing and thawing processes, a field experiment was designed and conducted to investigate the water and salt dynamic of coastal saline soil with freezing saline water irrigation in winter over coastal saline soils in Haixing County, Hebei Province. A total of 160 mm saline water was applied to experimental plots in January in year 2010, which was frozen well after irrigation under the condition of a lower temperature of -9.5°C. The soil surface was mulched with plastic film after the infiltration of melted saline ice water in order to prevent salt accumulation induced by high evaporation in spring. The plots were designed as follows: irrigation and plant directly with digging into plastic film mulching plots as T1, irrigation and plastic film mulching plots as T2, no irrigation and mulching plots as CK1, no irrigation and no mulching plots as CK2. In this experiment the *H. Tuberosus* was planted. Results showed that with infiltration of melted saline ice water, the surface soil was significantly desalinized. Compared to CK1 and CK2, the salt content in the surface soil (0~5 cm and 5~20 cm) of T1 and T2 was decreased 41.9%, 65.0%, 46.5%, 67.7%, 29.9%, 47.1%, 40.8% and 55.3%, respectively. The surface soil (0~5cm and 5~20cm) salt content was about 0.6% in the seedtime. The yields of *H. Tuberosus* of the T1 and T2 treatments were higher 54%, 115%, 97% and 175% than the treatments of CK1 and CK2. Under the T1 and T2 treatments, the Na⁺ and Cl⁻ contents in root, stem and leaf were decreased and the K⁺ content and the ratio of K⁺/Na⁺ increased significantly. The results obtained in the study indicated that the approach of freezing saline water irrigation in winter

收稿日期:2011-05-14

基金项目:国家科技支撑项目(2009BADA3B04-8);公益性行业(农业)科研专项经费项目(200903001-05)。

作者简介:隆小华(1979—),江苏丹阳人,博士,副教授。

* 通讯作者:刘兆普 E-mail:sea@njau.edu.cn

may benefit the use of local saline groundwater and improve coastal saline soil to some degree, then increase the yield of *H. Tuberosus*. The ultimate effect depends on many natural and human factors, such as soil chemical and physical properties, water quality and irrigation time and quantity. Further field experiments are required to formulate reasonable irrigation scheduling and related management methods.

Keywords: coastal saline soil; soil salinization; freezing saline water irrigation; *Helianthus tuberosus* L.

我国是农用耕地资源严重缺乏的国家之一,人均耕地 0.11 hm², 土地资源将成为制约我国 21 世纪经济发展的关键因子。盐碱土作为我国重要的后备耕地资源,其合理开发对保障我国耕地安全具有重要的意义^[1]。河北省滨海平原区土壤盐渍化严重,利用北方滨海平原地下咸水与冬季冷资源并存的特点,充分利用季节温度的变化规律,在冬季低温条件下,以地下咸水对盐碱地进行结冰灌溉,使盐碱地表覆盖冰层,从而影响土体内部的冻融过程,减缓土体内因冻融作用而产生的潜在积盐过程,并利用春季冰层融化时发生水盐分离产生的淡水对土壤的淋洗作用,从而可以达到改良盐碱地的目的^[2-3]。大田试验表明,冬季采用地下咸水结冰灌溉滨海盐碱土,春季融冰时土壤含盐量显著降低^[4-5]。

菊芋作为生物能源、保健食品及功能饲料植物有其独特的优势,在全球的热带、温带、寒带以及干旱、半干旱地区都有分布和栽培,菊芋对生态的适应性较强,耐盐碱,适于非耕地粗放种植,且生物产量及产糖量具有显著的优势^[6-7]。本试验在河北省海兴县盐碱地进行,探讨冬季咸水结冰灌溉盐碱土的盐分变化及对菊芋生长的影响,为在北方盐碱地示范推广种植菊芋提供技术支持。

1 材料和方法

1.1 试验区概况

本试验设在河北省海兴县。海兴县位于河北省东南部,为滨海平原,地势低洼平坦,土壤多为滨海盐土,中度以上盐渍化土壤或盐土分布面积较广,盐荒地较多,该县属暖温带半湿润大陆性季风气候,年平

均气温 12.1 ℃,1 月份平均气温-4.5 ℃, 极端最低气温-19.9 ℃,初霜冻多出现在 10 月下旬,终霜冻多出现在 4 月中旬。海兴县年降水量为 582.3 mm,四季分布不均,主要集中在 6—8 月,降水量为 430.4 mm,占年降水量的 74%,冬季降水量极少,占全年降水量的 5%~7%。该地区代表重度盐渍化区(滨海盐土区),土壤盐分在组成上主要以氯化物为主,Cl⁻占阴离子总量的 70%~80%,Na⁺是主要的阳离子之一,盐分组成在剖面上垂直变异明显,试验区土壤含盐量情况如表 1 所示。

1.2 试验设计与管理

本试验于 2010 年 1 月开始对试验地进行咸水结冰灌溉,灌水时气温-9.5 ℃,灌水量为 160 mm,灌水后在处理小区地表形成冰层,3 月 2 日土壤表面冰层融化且入渗完成,为防止土壤春季返盐,在地表覆盖地膜。试验设置冬灌覆膜处理,包括膜上挖孔直接播种处理(T1)和揭膜播种再覆膜处理(T2),以无冬灌+覆膜处理作为第一对照(CK1),不冰灌和不覆膜的小区作为第二对照(CK2)。每个处理设 3 次重复,随机区组设计。小区长 4 m、宽 3 m,相互之间设置宽 1 m、高 0.5 m 的田垄,以防测渗和互溢。

3 月 25 日播种菊芋,播种前平整小区,品种为南菊芋 1 号,播种密度 40 cm×60 cm,每小区施复合肥(15-15-15)0.75 kg。试验用水含盐量为 9.43 g·L⁻¹,其中 HCO₃⁻、Cl⁻、SO₄²⁻、Ca²⁺、Mg²⁺和 K⁺+Na⁺含量分别为 0.14、2.74、3.25、0.09、0.19 g·L⁻¹ 和 2.91 g·L⁻¹,为保证灌水均匀结冰,采用分次灌水,即每日灌少量水,3 d 后完成灌水量的试验设计要求。在苗期、块茎膨大初期、块茎膨大盛期和成熟期分别采植株样品进行考

表 1 试验地土壤盐分状况(%)

Table 1 Ions contents of the tested soil(%)

深度 Depth/cm	全盐量 Salt content	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺ +Na ⁺
0~5	1.395	0.012	0.724	0.110	0.033	0.040	0.412
5~20	1.136	0.029	0.513	0.072	0.020	0.022	0.312
20~40	0.910	0.041	0.408	0.100	0.012	0.015	0.285
40~60	0.781	0.029	0.400	0.051	0.013	0.015	0.253
60~80	0.821	0.026	0.426	0.054	0.015	0.018	0.262
80~100	0.800	0.026	0.442	0.060	0.017	0.018	0.202

苗,每小区中间一行为采样区,菊芋成熟时,按小区单打单收,计算产量。

2009 年 12 月 10 日用土钻在各个小区分 0~5 cm、5~20 cm、20~40 cm、40~60 cm、60~80 cm、80~100 cm 6 个层次取得初始土样。在苗期(5 月 1 日)、块茎膨大初期(7 月 5 日)、块茎膨大盛期(9 月 18 日)和成熟期(11 月 23 日)分别按 0~5 cm、5~20 cm、20~40 cm 和 40~60 cm 取土 1 次。

1.3 测定方法

1.3.1 土壤盐分和离子含量测定

用电导仪测定土壤含盐量(1:5 土水比),火焰光度法测定 K^+ 、 Na^+ , 常规化学方法测定土壤中的 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Cl^- 、 HCO_3^- 等。

1.3.2 菊芋糖含量的测定

菊芋烘干后称重,100 °C 灭酶 5 min,然后破碎加水萃取,榨汁过滤并榨汁,测定萃取液体积,备用。菊芋汁经适当稀释后过滤,取滤液 1 mL,加入 1 mL 的 DNS (3,5-二硝基水杨酸)试剂,混匀后于沸水浴中加热 5 min,然后迅速冷却并定容至 10 mL,于 540 nm 比色测定吸光值,最后根据标准曲线计算还原糖的含量。取 5 mL 菊芋汁加 2.15 mL 的浓 HCl 溶液,用蒸馏水定容至 25 mL,然后采用沸水浴杀菌 30 min,冷却后用 $6\text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 的 NaOH 溶液调节 pH 值至中性,用蒸

馏水定容至 50 mL 并过滤,最后取滤液测定还原糖含量:总糖含量=还原糖含量 $\times 0.9$,菊糖含量=总糖含量-还原糖含量。

1.3.3 植株 Na^+ 、 K^+ 和 Cl^- 的测定

收获时,各小区分别随机取植株根、茎和叶统一部位,烘干磨细过 30 目筛,用 TAS-986 火焰原子吸收分光光度计测定 Na^+ 和 K^+ ,滴定法测定 Cl^- 含量。

1.3.4 数据分析

数据用 SPSS 与 Excel 系统处理,显著性检验采用 Duncan 新复极差法。

2 结果与分析

2.1 不同处理下土壤盐分的变化

在 5 月 1 日,T1 和 T2 处理的 0~5 cm 和 5~20 cm 表层土壤含盐量较 CK1 和 CK2 降低,分别降低了 41.9%、65.0%、46.5%、67.7%、29.9%、47.1%、40.8% 和 55.3%,而 20~40 cm 和 40~60 cm 土壤含盐量较 CK1 和 CK2 降低幅度小些,只有 2.7%、12.3%、14.5%、22.9%、20.6%、23.5%、23.9% 和 26.8%,说明在咸水结冰融水入渗后,采用地膜覆盖,减少了土壤水分的蒸发,可抑制土壤的返盐,同时由于地膜覆盖,使得凝结在膜上水分回流到土壤当中,对土壤盐分也起到了淋洗的作用。在 7 月 5 日和 9 月 18 日各处理土壤盐分

表 2 不同处理土壤盐分变化(%)

Table 2 Changes of soil salt in different treatments(%)

取样时间	处理	土壤深度			
		0~5 cm	5~20 cm	20~40 cm	40~60 cm
2010-05-01	T1	0.68 $\pm$ 0.17b	0.61 $\pm$ 0.14c	0.71 $\pm$ 0.17b	0.54 $\pm$ 0.13b
	T2	0.41 $\pm$ 0.10c	0.46 $\pm$ 0.12d	0.64 $\pm$ 0.16b	0.52 $\pm$ 0.14b
	CK1	1.17 $\pm$ 0.30a	0.87 $\pm$ 0.22b	0.73 $\pm$ 0.19abb	0.68 $\pm$ 0.17a
	CK2	1.27 $\pm$ 0.32a	1.03 $\pm$ 0.26a	0.83 $\pm$ 0.20a	0.71 $\pm$ 0.17a
2010-07-05	T1	0.53 $\pm$ 0.13b	0.57 $\pm$ 0.14b	0.68 $\pm$ 0.17ab	0.56 $\pm$ 0.15ab
	T2	0.47 $\pm$ 0.12b	0.51 $\pm$ 0.15b	0.60 $\pm$ 0.14b	0.49 $\pm$ 0.12b
	CK1	0.93 $\pm$ 0.23a	0.86 $\pm$ 0.22a	0.70 $\pm$ 0.19ab	0.65 $\pm$ 0.16a
	CK2	1.02 $\pm$ 0.28a	0.93 $\pm$ 0.22a	0.76 $\pm$ 0.19a	0.66 $\pm$ 0.17a
2010-09-18	T1	0.50 $\pm$ 0.14b	0.46 $\pm$ 0.12b	0.64 $\pm$ 0.16a	0.58 $\pm$ 0.14b
	T2	0.36 $\pm$ 0.08c	0.41 $\pm$ 0.10b	0.59 $\pm$ 0.15a	0.52 $\pm$ 0.13b
	CK1	0.75 $\pm$ 0.20a	0.69 $\pm$ 0.17a	0.62 $\pm$ 0.16a	0.55 $\pm$ 0.14b
	CK2	0.81 $\pm$ 0.21a	0.75 $\pm$ 0.20a	0.67 $\pm$ 0.17a	0.69 $\pm$ 0.18a
2010-11-23	T1	0.63 $\pm$ 0.16c	0.61 $\pm$ 0.15b	0.77 $\pm$ 0.21ab	0.62 $\pm$ 0.17ab
	T2	0.58 $\pm$ 0.15c	0.56 $\pm$ 0.14b	0.69 $\pm$ 0.19b	0.54 $\pm$ 0.16b
	CK1	0.89 $\pm$ 0.23b	0.84 $\pm$ 0.21a	0.78 $\pm$ 0.19ab	0.71 $\pm$ 0.18a
	CK2	1.02 $\pm$ 0.23a	0.91 $\pm$ 0.20a	0.81 $\pm$ 0.19a	0.72 $\pm$ 0.16a

注:同列不同字母表示差异显著($P<0.05$)。下同。

变化与5月1日土壤盐分变化情况类似,T1和T2处理盐分较CK1和CK2处理显著下降,且T2处理较T1处理盐分低。

在11月23日,T1和T2处理的0~5 cm和5~20 cm表层土壤含盐量较CK1和CK2低,分别低了29.2%、34.8%、38.2%、43.1%、27.4%、33.3%、33.0%和38.5%,而20~40 cm和40~60 cm土壤含盐量较CK1和CK2降低幅度小,只有1.3%、11.5%、4.9%、14.8%、12.7%、23.9%、13.9%和25.0%,说明随着地表菊芋枯萎,植被覆盖度的降低,较前3次采样土壤盐分含量有所增加。

2.2 不同处理下菊芋产量及离子含量的变化

菊芋是相对耐盐碱的作物,但是菊芋块茎发芽和苗期生长对盐分比较敏感。咸水结冰灌溉结合融水入渗后地膜覆盖,为菊芋播种出苗提供了适宜的土壤水分和低盐环境,在菊芋播种期耕层土壤含盐量降低到0.6%左右,T1和T2块茎大小分别较CK1和CK2高63%、149%、151%和283%,T1和T2主茎高度分别较CK1和CK2高15%、31%、31%和48%,T1和T2产量达20.1 t·hm⁻²和25.7 t·hm⁻²,分别较CK1和CK2高54%、115%、97%和175%,而总糖和菊粉单位块茎干重含量CK2最高(表3)。根据菊芋产量结果,结合滨海盐碱区土壤水盐运移规律,可以发现,菊芋播种出苗期的土壤低盐环境是保证盐碱区作物生产的必要条件,冬季咸水结冰灌溉为实现这一条件提供了必要保证。

如表4所示,T1和T2根部Na⁺含量分别较CK1和CK2低21%、33%、26%和37%,而T1和T2根部

K⁺含量分别较CK1和CK2高42%、36%、49%和43%;同Na⁺类似,T1和T2根部Cl⁻含量分别较CK1和CK2低3%、17%、30%和39%;同K⁺类似,T1和T2根部K⁺/Na⁺分别较CK1和CK2高77%、103%、95%和124%。茎部和叶部的Na⁺、K⁺、Cl⁻含量和K⁺/Na⁺变化趋势均与根部相似。T2处理较T1更能降低菊芋各部位的Na⁺和Cl⁻含量,增加K⁺含量和K⁺/Na⁺。根据Na⁺、K⁺、Cl⁻含量和K⁺/Na⁺结果可以发现,确保土壤低盐环境是保证菊芋降低离子毒害的必要条件,而冬季咸水结冰灌溉和覆膜措施为实现这一条件提供了必要保证。

3 讨论

盐碱区适应性农作制度是建立在适应盐碱区水土资源条件基础上的,其不同于传统的盐碱地改造所形成的农作制度,必须有相应的创新技术体系做支撑。在为此建立的技术体系中,重点应围绕春季防止返盐和咸水资源的利用,并辅以相应的土壤培肥与管理技术,以保证作物生长。目前,国内已开展了相应技术的探讨。“两相耕作”就是盐碱区适应性农作制度比较成功的例子,采用该项技术,在春季返盐期,土壤耕层盐分可控制在3 g·kg⁻¹左右,而无秸秆对照达6 g·kg⁻¹以上,冬小麦产量可提高15%~100%^[8]。本研究利用盐渍区地下咸水资源,利用咸水结冰冻融咸淡分离原理,在冬季采用小于15 g·L⁻¹的地下咸水结冰灌溉,在春季咸水冰融化时,先融化的咸水先入渗,后融化的微咸水和淡水起到洗盐作用,从而在春季创造一个淡化的耕层,保证作物的播种出苗,再其与后来临的

表3 不同处理对菊芋产量的影响

Table 3 Effect of different treatments on yields of *Helianthus tuberosus* L.

处理	块茎大小/g·个 ⁻¹	主茎高度/cm	单株块茎重/g	产量/t·hm ⁻²	总糖含量/mg·g ⁻¹	菊粉含量/mg·g ⁻¹
T1	23.2b	158b	465.4b	20.1b	531.0b	491.6b
T2	35.6a	179a	595.1a	25.7a	538.2b	499.0b
CK1	14.2c	137c	302.7c	13.1c	572.4a	543.4a
CK2	9.3d	121d	216.5d	9.4d	587.2a	555.5a

表4 不同处理对菊芋Na⁺、K⁺、Cl⁻含量和K⁺/Na⁺的影响

Table 4 Effect of different treatments on Na⁺, K⁺ and Cl⁻ contents and K⁺/Na⁺ in roots, stem and leaf of *Helianthus tuberosus* L.

处理	Na ⁺ /mmol·g ⁻¹ DW			K ⁺ /mmol·g ⁻¹ DW			Cl ⁻ /mmol·g ⁻¹ DW			K ⁺ /Na ⁺		
	根	茎	叶	根	茎	叶	根	茎	叶	根	茎	叶
T1	2.88c	1.92c	1.15c	1.01a	1.56a	1.99a	1.44b	0.86b	0.57b	0.69a	0.81b	0.62ab
T2	2.71c	1.57c	1.02c	1.06a	1.63a	2.06a	1.05c	0.76b	0.49b	0.76a	1.04a	0.73a
CK1	3.66b	2.99b	1.87b	0.71b	1.09b	1.43b	1.49b	1.39a	0.96a	0.39b	0.36c	0.54bc
CK2	4.28a	3.65a	2.38a	0.74b	1.14b	1.45b	1.73a	1.48a	0.90a	0.34b	0.31c	0.45c

雨季接续,可保证作物的周年正常生长^[3,9]。本试验表明冬季咸水结冰灌溉,耕层土壤含盐量降低到0.6%左右,为春季菊芋播种出苗创造了适宜的土壤水分和低盐环境,地膜覆盖可以抑制土壤返盐并有集水淋盐作用,降低了土壤盐分对菊芋的毒害作用,创造了在从未种植农作物的重盐碱地上生长农作物的奇迹。

耐盐经济特色植物的开发利用是盐碱区最具潜力的适应性农作制度,这一制度的建立尚在起步阶段,与之相联系的技术问题亟待解决,涉及到品种、种植、加工等诸多方面^[10]。本研究所利用的材料菊芋抗性强,适应性广,利用冬季咸水结冰灌溉能够达到可观的产量,有可能作为带动盐碱区新型农业产业的发展的突破口之一。但是,河北海兴滨海盐碱地区的盐碱土水盐变化与周围的水、热条件密切相关,咸水结冰灌溉与土壤质地、潜水深度、咸水离子组成及冬季温度变化有密切的关系,必须按照农作制度设计的基本原则,充分协调盐碱区资源、环境及社会经济发展需求,建立起盐碱地区域适生农作制度和技术体系,盐碱区农业才将获得高效持续发展。

4 结论

(1)在河北海兴滨海盐碱地区,冬季咸水结冰灌溉后,春季融水入渗后可以降低土壤含盐量,为春季菊芋播种出苗创造了适宜的土壤水分和低盐环境;地膜覆盖可以抑制土壤返盐并有集水淋盐作用;咸水冬季结冰灌溉结合融水入渗后地膜覆盖可降低土壤盐分对菊芋的毒害作用,保证了菊芋的正常生长,使菊芋产量得到显著提高。

(2)河北海兴滨海盐碱地区的盐碱土水盐变化与周围的水、热条件密切相关,咸水结冰灌溉与土壤质地、潜水深度、咸水离子组成及冬季温度变化有密切的关系,以及咸水结冰灌溉生态环境效应等相关的研究还有待进一步探讨。

参考文献:

- [1] 黄遵亲. 中国盐渍土[M]. 北京: 科学出版社, 1993.
HUANG Zun-qin. Saline soil of China[M]. Beijing: Science Press, 1993.
- [2] 车升国, 左余宝, 林治安, 等. 黄淮海地区地下微咸水资源农业灌溉模拟研究[J]. 农业环境科学学报, 2011, 30(3): 611-612.
CHE Sheng-guo, ZUO Yu-bao, LIN Zhi-an, et al. Simulation study of agricultural irrigation with saline groundwater in the Huang-Huai-Hai Region, China[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2011, 30(3): 611-612.
- [3] 李志刚, 刘小京, 张秀梅, 等. 冬季咸水结冰灌溉对土壤水盐运移规律的初步研究[J]. 华北农学报, 2008, 23(增刊): 187-192.
LI Zhi-gang, LIU Xiao-jing, ZHANG Xiu-mei, et al. A primary study on the reclamation of coastal saline soil with freezing irrigation of saline water in winter[J]. *Acta Agricultural Boreali-Sinica*, 2008, 23(Suppl): 187-192.
- [4] 郭凯, 张秀梅, 李向军, 等. 冬季咸水结冰灌溉对滨海盐碱地的改良效果研究[J]. 资源科学, 2010, 32(3): 431-435.
GUO Kai, ZHANG Xiu-mei, LI Xiang-jun, et al. Effect of freezing saline water irrigation in winter on the reclamation of coastal saline soil[J]. *Resources Science*, 2010, 32(3): 431-435.
- [5] 肖辉, 潘洁, 程文娟, 等. 咸水结冰灌溉与覆膜对滨海盐土水盐动态的影响[J]. 水土保持学报, 2011(1): 180-183.
XIAO Hui, PAN Jie, CHENG Wen-juan, et al. Effect of freezing irrigation with saline water and covering on the water and salt dynamic of coastal saline soil[J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2011(1): 180-183.
- [6] Saengthongpinit W, Sajjanantakul T. Influence of harvest time and storage temperature on characteristics of inulin from Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) tubers[J]. *Postharvest Biology and Technology*, 2005, 37(1): 93-100.
- [7] 隆小华, 刘兆普, 王琳, 等. 半干旱地区海涂海水灌溉对不同品系菊芋产量构成及离子分布的影响[J]. 土壤学报, 2007, 44(2): 300-306.
LONG Xiao-hua, LIU Zhao-pu, WANG Lin, et al. Effects of seawater irrigation on yield composition and ion distribution of different varieties of *Helianthus tuberosus* in coastal mudflat of semiarid region[J]. *Acta Pedologica Sinica*, 2007, 44(2): 300-306.
- [8] 乔海龙, 刘小京, 李伟强, 等. 秸秆深层覆盖对土壤水盐运移及小麦生长的影响[J]. 土壤通报, 2006, 37(5): 885-889.
QIAO Hai-long, LIU Xiao-jing, LI Wei-qiang, et al. Effect of deep straw mulching on soil water and salt movement and wheat growth[J]. *Chinese Journal of Soil Science*, 2006, 37(5): 885-889.
- [9] Li Z G, Liu X J, Zhang X M, et al. Infiltration of melting saline ice water in soil columns: Consequences on soil moisture and salt content[J]. *Agricultural Water Management*, 2008, 95: 498-502.
- [10] 刘小京, 李向军, 陈丽娜, 等. 盐碱区适应性农作制度与技术探讨: 以河北省滨海平原盐碱区为例[J]. 中国生态农业学报, 2010, 18(4): 911-913.
LIU Xiao-jing, LI Xiang-jun, CHEN Li-na, et al. Study on the adaptive farming system in saline soils: A case study in saline area of strand plain in Hebei Province[J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2010, 18(4): 911-913.