

海冰水灌溉对土壤盐分和玉米产量的影响

吴之正¹, 顾卫¹, 许映军¹, 林叶彬¹, 张国明²

(1. 地表过程与资源生态国家重点实验室, 北京 100875; 2. 北京师范大学地理学与遥感科学学院, 北京 100875)

摘 要: 渤海海冰盐度一般在 4~11 g/kg 之间, 经处理可以作为农业灌溉用水。采用不同盐度(1、3、5 g/kg), 不同灌溉水量(450、900、1 350 m³/hm²)的海冰水进行农田微区试验。结果表明:(1) 灌溉处理的试验终期的土壤盐度没有显著的增加, 在降水的淋溶下可以保持在较低水平; 在第二年返盐高峰时土壤盐分也保持在较低水平。(2) 玉米籽粒产量随灌溉海冰水的盐度增加而轻微下降, 在低盐度(1 g/kg)的处理时, 随灌溉水量的增加而增加, 在高盐度(3.5 g/kg)时则相反。玉米秆的产量也呈现出和籽粒相似的规律。

关键词: 海冰水; 灌溉; 盐度; 玉米产量

中图分类号: S274 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2010)05-0166-05

渤海是北半球纬度最低的结冰海域, 冻结后的海冰盐度在 4‰~11‰之间。我国科学工作者首先提出了将海冰作为淡水资源开发利用的设想, 以增加我国北方淡水资源的储备, 解决环渤海地区淡水资源紧缺问题^[1]。据估算, 渤海海冰年开采量可达 4×10^{10} m³^[2]。

环渤海地区(辽宁、河北、山东、北京、天津)是我国水资源负荷最大和供需矛盾最为尖锐的地区^[3]。由于上游地区降水减少和用水量激增, 多条河流出现断流现象, 严重影响了下游沿海地区的水资源供给^[4]。地下水资源严重超采, 造成大面积的地下水漏斗, 仅沧州的漏斗面积就超过 10 000 km², 中心水位埋深达 92.4 m^[5]。水污染问题也非常严峻, 严重影响了人们的健康, 并造成河口海岸生态环境退化, 生物多样性衰减等恶果^[6]。

由于气候和水文地质原因, 在滨海地区, 存在大量的盐碱荒地^[7]。在缺乏浅层地下淡水资源的这些地区, 灌溉水短缺是农业发展的限制性因素。由于本地区为季风气候, 降水集中于夏季, 在春秋季节的作物需水关键时期水更显珍贵。开发利用海冰水资源, 可以解决该地区播种等关键期的用水, 使大量耕地得到有效利用。为此, 作者在进行作物萌发试验^[8]基础上, 在滨海平原区进行了利用海冰水作为灌溉水源的农田微区试验研究, 旨在为安全高效地开发利用海冰水资源发展灌溉农业提供理论和技术储备。

1 材料和方法

本研究在河北省黄骅市中捷农场北京师范大学试验田中进行, 其地理坐标为东经 117° 21', 北纬 38° 22', 东北方距离渤海湾约 10 km。地区多年平均降水量 590.6 mm, 降水集中于夏季, 年际变化大; 全年多风, 蒸发旺盛, 多年平均水面蒸发量为 2117.4 mm。农田土壤属脱盐滨海盐渍土, 耕作层上层为中黏土, 下层为重黏土, 其它主要理化性质见表 1。全年地下水位在 0.5~1.5 m 浮动, 地下水、排沟水和深井水的化学成分见表 2。

试验微区面积为 2 m × 2.5 m。为防止地下水和灌溉水侧向渗漏, 周围用沥青防水材料分隔至距地表 0.8 m 深度, 并在周边起 0.2 m 高的土垄, 下不封底。

供试作物为玉米, 品种为粮饲兼用的津 259, 由天津农作物研究所提供。

供试海冰(表 3)为在当地水库采集的平整冰, 存放于储冰池内供试验用。盐度约为 5~7 g/kg, 融化后和当地深井水以及净化水调配试验所用盐度的海冰水, 并控制 pH 值在 7~7.7。灌溉用海冰水盐度分别设为 1 g/kg(S1)、3 g/kg(S3)、5 g/kg(S5), 灌溉水量分别设为 450 m³/hm²(W1)、900 m³/hm²(W2)、1 350 m³/hm²(W3); 另设全旱处理(CK)做对照, 共计 10 种处理。微区随机排列, 重复 3 次。2004 年 5 月 4 日播种。灌溉于土壤含水量低于田间

收稿日期: 2010-05-21

基金项目: 国家 863 计划重点项目课题(2006AA100206); 国家自然科学基金项目(40801230, 40335048, 30870467); 国家科技支撑计划重大项目课题(2006BAB03A03)

作者简介: 吴之正(1978—), 男, 博士研究生, 主要从事海冰资源利用研究。E-mail: fifawzz@sina.com。

通讯作者: 许映军(1977—), 男, 博士, 讲师, 主要从事海洋资源开发利用研究。E-mail: xyj@bnu.edu.cn。

持水量的 50% 时进行,分别于 5 月 3 日,6 月 7 日,6 月 28 日分 3 次平均灌溉。生长期降水 627.1 mm。田间管理参照当地相同作物生产技术实施。分别于 2004 年 4 月(播种前)和 9 月(收获后)

各取土一次,取土深度为 0~5、5~25、25~55、55~85 cm,用质量法测定土壤全盐含量^[9]。土体盐分平衡用辛德惠等^[10]的方法。玉米分区采收计算产量,并考种。

表 1 试验地土壤主要基础理化性状

Table 1 Basic soil physical and chemical properties of the experiment fields

土层 Soil layer (cm)	速效 N、P、K Readily available N, P and K(mg/kg)			全量 N、P、K Total N, P and K(g/kg)			盐度 Salinity (g/kg)	pH	cmol (+)/kg	容重 Bulk density (g/cm ³)
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O				
0~5	114.6	14.0	537.5	1.539	1.629	32.85	3.71	7.95	15.23	1.49
5~10	86.7	15.1	475.0	1.456	1.719	33.46	2.64	8.15	16.57	
10~15	94.0	8.6	400.0	1.293	1.690	33.74	2.66	8.27	15.77	
15~20	88.8	8.6	337.5	1.271	1.471	32.55	2.65	8.37	16.04	
20~30	58.8	8.6	425.0	1.067	1.049	36.57	2.78	8.35	17.64	1.60
30~40	50.6	7.3	650.0	0.920	1.323	37.18	3.14	8.28	21.38	
40~50	31.0	6.5	612.5	0.729	1.315	34.87	2.90	8.46	17.64	1.64
50~60	22.7	6.5	512.5	0.467	1.325	30.64	2.85	8.66	14.16	
60~70	19.6	6.5	425.0	0.365	1.399	29.92	3.12	8.78	11.22	1.64
70~80	18.6	8.6	525.0	0.358	1.456	29.57	3.63	8.68	10.69	

表 2 试验地地下水、排沟水、深井水水质

Table 2 Water quality analysis of groundwater, ditch water and deep well water of the experimental fields

项目 Item	CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺ + Na ⁺	盐度 Salinity	pH
地下水 Groundwater	0	0.3815	0.3974	5.2836	0.4624	0.4060	2.4603	12.300	7.10
排沟水 Ditch water	0	0.2051	0.3140	1.9185	0.1328	0.1288	1.0756	4.418	7.45
深井水 Deep well water	0	0.3833	0.2054	0.4309	0.0224	0.0234	0.4522	1.292	8.33

注:各种离子和盐度的单位是 g/kg。

Note: The unit of all kinds of ions and the salinity is g/kg.

2 结果分析

2.1 海冰水灌溉对土壤盐分的影响

2.1.1 海冰水灌溉对土壤盐分垂直分布的影响

从海冰水灌溉后不同处理玉米收获时的土壤全盐分析结果(表 4)看出,不同处理的土体中各层盐度彼此差异不明显。在试验结束的 9 月份,不同处理的不同深度土体盐度均保持在 1.20~2.68 g/kg,土体平均盐度在 1.98~2.23 g/kg 之间,可见在一季作物中使用海冰水灌溉并未造成土壤盐分状况的恶化。除表层由于受气象条件的影响剧烈外,其它层次出现盐度随土层深度增加而增加的趋势,是由地下水位较高,并且地下水具有高的盐度所致。

2.1.2 海冰水灌溉对土体盐分平衡的影响 对海冰水灌溉后土体可溶性盐的盈亏分析,是了解土壤

盐分变化的趋势、评价海冰水灌溉效果的重要方法。海冰水灌溉后土壤的盐分积累与试验初始盐度、灌溉水带入的盐量、试验终期盐量有关。土体土壤易溶盐绝对量盈亏变化可用如公式表示:

$$SAS = SSE - (SSB + SFW) \tag{1}$$

式中,SAS 为试验期间土体土壤盐储量变化,SSE 为试验终期盐量,SSB 为试验初始盐量,SFW 为灌溉水带入盐量(10³ kg/hm²)。当 SAS 为正值时表示积盐,负值表示脱盐。

从计算的结果(表 5)看,在 10 种处理中,试验后与试验前相比,0.85 m 土体含盐量的减少量均超过 10 000 kg/hm²,根系密集的表层 0.25 m 土体的含盐量均减少 4 000 kg/hm²;在整个试验期内,各种处理的脱盐均超过 11 900 kg/hm²,表明在有充分降水的情况下,海冰水灌溉不会引起土壤盐度的增加。

表 3 海冰融水水质^[11]

Table 3 Water quality of sea ice melt water

项目 Item	海冰 Sea ice	灌溉水 Irrigation water	二类地表水 II surface water
硫酸盐 Sulphate	588	—	250
Cl	4133	250	250
Fe	0.20	—	0.3
Mn	0.10	—	0.1
Cu	0.10	1	1
Zn	0.05	2	1
硝酸盐 Nitrate	3.2		10
亚硝酸盐 Nitrite	0.001	凯氏氮:	0.1
氨氮 NH ₃	0.01	30	0.1
磷酸盐 Phosphate	0.01	10	0.1
COD	1.18	150	15
氟化物 Fluoride	0.20	2	1
Se	0.008	0.02	0.01
As	0.01	0.05	0.05
Hg	0.00004	0.001	0.00005
Cd	0.001	0.005	0.005
Cr	0.01	0.1	0.05
Pb	0.001	0.1	0.05
氰化物 Cyanide	0.02	0.5	0.05
挥发酚 Volatile phenol	0.001	1	0.002
石油类 Oil	0.03	5	0.05
LAS	0.20	8.0	0.2
总大肠杆菌菌群(个/L) Total E. coli bacteria	2.5	10000	1000
总硬度 Total hardness	253	—	—
全盐量 Salinity	7650	1000 ~ 2000	—
pH	7.35	5.5 ~ 8.5	6.5 ~ 8.5

注:冰样为 2002 ~ 2003 年长兴岛北岸采集的平整冰;单位:mg/L;除大量离子超标外,其它指标均符合国家农田灌溉水标准(GB5084 - 1992)和国家二类地表水环境质量标准(GB3838 - 2002)。

Note: The ice sample is smooth ice which were collected from the north shore of Changxing Island from 2002 ~ 2003; unit: mg/L; In addition to some macronutrient ions beyond standards, other indicators conformed to national standards for irrigation water (GB5084 - 1992) and national II surface water quality standards GB3838 - 2002).

表 4 海冰水灌溉对土壤全盐的影响(g/kg)

Table 4 Effect of sea ice water irrigation on soil salinity

处理 Treatment	土层深度 The depth of soil layers(cm)				
	0 ~ 5	5 ~ 25	25 ~ 55	55 ~ 85	0 ~ 85
CK	1.84	1.49	2.05	2.45	2.05
S1W1	2.01	1.61	2.25	2.37	2.13
S1W2	1.50	1.88	2.13	2.68	2.23
S1W3	2.41	1.78	1.86	2.44	2.08
S3W1	1.54	1.20	2.09	2.68	2.06
S3W2	2.16	1.43	2.16	2.21	2.01
S3W3	1.72	1.40	2.01	2.37	1.98
S5W1	1.98	1.53	2.08	2.36	2.04
S5W2	1.82	1.65	2.28	2.37	2.14
S5W3	2.03	1.97	1.98	2.26	2.08

表 5 海冰水灌溉对土体盐分平衡的影响 (kg/hm²)

Table 5 Effect of sea ice water irrigation on soil salinity balance within 0.25 m and 0.85 m soil layer

处理 Treatment	0.85 m 土体 Soil body					0.25 m 土体 Soil body				
	SSB	SSE	SSE - SSB	SFW	SAS	SSB	SSE	SSE - SSB	SFW	SAS
CK	41344	27840	- 13504	0	- 13504	11552	5850	- 5702	0	- 5702
S1W1	41344	28936	- 12408	450	- 12858	11552	6338	- 5214	450	- 5664
S1W2	41344	30304	- 11040	900	- 11940	11552	6765	- 4787	900	- 5687
S1W3	41344	28264	- 13080	1350	- 14430	11552	7148	- 4404	1350	- 5754
S3W1	41344	27968	- 13376	1350	- 14726	11552	4755	- 6797	1350	- 8147
S3W2	41344	27280	- 14064	2700	- 16764	11552	5910	- 5642	2700	- 8342
S3W3	41344	26880	- 14464	4050	- 18514	11552	5490	- 6062	4050	- 10112
S5W1	41344	27792	- 13552	2250	- 15802	11552	6075	- 5477	2250	- 7727
S5W2	41344	29056	- 12288	4500	- 16788	11552	6315	- 5237	4500	- 9737
S5W3	41344	28280	- 13064	6750	- 19814	11552	7432	- 4120	6750	- 10870

2.2 海冰水灌溉对玉米产量因子的影响

表 6 为不同处理的玉米产量结果。从玉米产量看,三种灌溉水质的处理组分别比对照增产 36.51%、22.19% 和 14.92%,方差分析结果表明差异不显著。三种不同的灌溉水量组分别比对照增产 26.17%、23.99% 和 23.46%,方差分析结果差异不显著。各种不同处理间的方差分析显著,表明不同的灌溉水水质不要求有不同的灌溉水量。具体来看,和全旱处理相比,海冰水盐度为 1 g/kg 的 3 种处理,籽粒分别增产 27.20%、36.44% 和 45.88%;盐度为 3 g/kg 的 3 种处理,籽粒产量增加 31.89%、17.86% 和 16.83%;盐度为 5 g/kg 的 3 种处理,籽粒产量增加 19.41%、17.67% 和 7.68%。玉米产量呈现随灌溉水盐度增加而降低的趋势。不同灌溉水量的处理,在低盐度灌溉 (1 g/kg) 处理时出现籽粒产量随水量增加而增加的趋势;而随灌溉水盐度增加,产量出现随灌溉水量增加而又减小的趋势。这说明,在灌溉水盐度较高时,应该控制灌溉的水量,才可以取得较高产量。

表 6 不同处理玉米产量

Table 6 Yield of corn under different treatments

水量处理 Water treatment (m ³ /hm ²)	CK	1 g/kg	3 g/kg	5 g/kg	平均 Average
450	—	8535.8 a	8850.4 d	8013.0 c	8466.4
900	—	9155.7 b	7908.6 b	7896.4 a	8320.2
1350	—	9788.8 c	7840.0 a	7225.6 b	8284.8
平均 Average	6710.4	9160.1	8199.7	7711.7	8357.2

注:不同字母表示不同处理间差异显著性 ($P \leq 0.05$) 水平。
Note: Different letters mean significant difference at the level of $P \leq 0.05$ among different treatments.

玉米为粮、饲兼用型,青饲营养体旺盛生长为籽

粒高产打下基础。其秸秆产量也随灌溉水盐度增加而减小。在灌溉水盐度为 1 g/kg 时,秸秆产量随水量增加而增大;而在灌溉水盐度增大时,秸秆产量则随灌溉水量增加而递减。全旱处理的秸秆产量仅比 S1W3 小,这说明在干旱胁迫下,作物更倾向于营养器官的生长,而造成以籽粒为主要产品的作物减产。

玉米的产量与其单位面积穗数、穗粒数和千粒重 (表 7) 相关。三者之间协调发展可以达到较高产量。除全旱外,各种处理的千粒重彼此差异不大,产量的差异主要由单穗粒数的大小决定。而全旱处理,这两项指标均低于其它处理,从而造成了较低的产量。

表 7 不同处理作物产量构成因子分析

Table 7 Crop yield component under different treatments

处理 Treatment	穗数 The number of the ear	穗粒数 The grains per ear	千粒重 (g) Weight of 1000 seeds
CK	6400	421.7	276.3
S1W1	6400	435.8	312.5
S1W2	6400	467.5	314.1
S1W3	6400	481.3	317.8
S3W1	6400	457.4	309.8
S3W2	6400	473.4	306.3
S3W3	6400	421.0	291.0
S5W1	6400	437.3	310.4
S5W2	6400	403.5	312.0
S5W3	6400	434.4	309.8

3 结论和讨论

海冰水作为一种新形式的水资源,在水资源短缺的今后具有良好的应用前景。海冰水用于农田灌溉,还只是一个全新的尝试。在研究区域内短期使

用海冰水灌溉并未引起农田的土壤盐分明显增长,使用盐度较小的海冰水还具有一定的淋洗排盐效应。在试验中,玉米籽粒产量随灌溉海冰水盐度增加而轻微下降。玉米籽粒产量在低盐度(1 g/kg)处理时随灌溉水量增加而增加,在高盐度(3 g/kg、5 g/kg)时则相反;玉米秆的产量也呈现出和玉米籽粒对应灌溉处理相似的规律。

试验完成后,又种植了一茬冬小麦,灌溉处理与玉米基本相同。小麦生长期降水稀少,灌溉对作物的生长的意义更加显著。在试验结束时的 2005 年 6 月(近返盐高峰期),各试验处理的各土层盐度均在 3 g/kg 以下,说明海冰水灌溉没有对土壤盐度的增加造成较大影响。

本试验的作物生长期内的降水量多于地区多年降水量,属于偏丰年份,对土壤中的盐分淋溶有一定的积极意义;在干旱年份,土壤的盐分积累可能对作物的生长影响更大。故试验应该在本地进行长年的试验观测,才可以更好地指导当地的海冰水农田灌溉事业。

海冰水具有一定盐度,在开展海冰水灌溉时必须具有良好的排水条件以达到可持续发展的要求。海冰水灌溉需要考虑合适的时机,采用节水的灌溉方式和制度。此外,还需调整种植业结构,发展更具价值的经济作物或耐盐作物。

致谢:本文得到中科院遗传所刘小京老师悉心指导,特表谢忱。

参考文献:

- [1] 史培军,哈 斯,袁 艺,等.渤海海冰作为淡水资源:脱盐机理与可利用价值[J].自然资源学报,2002,17(3):353—360.
- [2] 史培军,范一大,哈 斯,等.利用 AVHRR 和 MODIS 数据测算海冰资源量:以渤海海冰资源测算为例[J].自然资源学报,2002,17(2):138—143.
- [3] 王静爱,苏 筠,刘目兴.渤海海冰作为淡水资源的开发利用与区域可持续发展[J].北京师范大学学报(社会科学版),2003,(3):85—92.
- [4] 林学钰,廖资生,苏小四,等.黄河流域地下水资源及其开发利用对策[J].吉林大学学报(地球科学版),2006,36(5):677—684.
- [5] 吴 凯,唐登银,谢贤群.黄淮海平原典型区域的水问题和水管理[J].地理科学进展,2006,19(2):136—141.
- [6] 夏 军,黄 浩.海河流域水污染及水资源短缺对经济发展的影响[J].资源科学,2006,128(2):2—7.
- [7] 龚金港,王玉珍,穆跃军,等.沧州市近海盐碱地开发利用初步构想[A].刘小京,刘孟雨.盐生植物利用与区域农业可持续发展[C].北京:气象出版社,2002:313—316.
- [8] 张国明,顾 卫,吴之正,等.海冰水不同盐含量处理对棉花、小麦和玉米种子萌发影响[J].北京师范大学学报(自然科学版),2006,42(2):209—212.
- [9] 中国科学院南京土壤研究所.土壤理化分析[M].上海:上海科学技术出版社,1981:196—200.
- [10] 辛德惠,李维炯.浅层咸水型盐渍土低产地区综合治理与发展[M].北京:北京农业大学出版社,1990:47—56.
- [11] 徐学仁,陈伟斌,刘现明,等.长兴岛沿岸海域海冰融化水质状况[J].海洋环境科学,2003,22(2):33—36.

Effect of irrigation with sea ice water on soil salinity and corn yield

WU Zhi-zheng¹, GU Wei¹, XU Ying-jun¹, LIN Ye-bin¹, ZHANG Guo-ming²

(1. State Key Laboratory of Earth Surface Process and Resources Ecology, Beijing 100875, China;

2. College of Geography and Remote Sensing, Beijing Normal University, Beijing 100875, China)

Abstract: The salinity of Bohai sea ice is usually 4 to 11 g/kg and sea ice can be used for irrigation after desalination. Farmland experiment was carried out with different irrigation water salinity (1 g/kg, 3 g/kg and 5 g/kg) and different irrigation water quantity (450 m³/hm², 900 m³/hm², 1 350 m³/hm²). The results showed that (1) At the end of the experiment, the soil salinity of 10 disposals didn't increase remarkably on account of the washing and leaching of precipitation; and the soil salinity was also maintained at a lower level in the second year of salt return peak. (2) The corn yield dropped lightly with the increasing of the irrigation salinity. When the irrigation water salinity was 1 g/kg, the corn yield would increase along with the increasing irrigation water quantity. When the irrigation water salinity was 3 g/kg or 5 g/kg, the corn yield would decrease along with the increasing irrigation water quantity. The corn stalk yet showed the similar law.

Keywords: sea ice water; irrigation; salinity; corn yield