

滨海半干旱地区海水灌溉对土壤安全 和作物产量的影响

赵耕毛, 刘兆普*, 夏天翔, 陈铭达

(南京农业大学资源与环境科学学院, 南京 210095)

摘要:2001 至 2003 年, 连续 3a 在山东莱州地区布置田间试验, 研究海水灌溉对土壤安全和作物产量的影响。试验共设 4 个处理, 即 CK(未灌溉处理)、25%、50%、75% 的海水灌溉处理。结果表明: 未灌溉处理土壤中的总盐量呈明显积累趋势, 2003 年较 2001 年增加了 1.3 倍; 25% 和 50% 的海水灌溉处理, 2001 年土壤盐分明显积累, 此后两年有逐年脱除的趋势。2003 与 2001 年相比, 脱盐率分别达到 34.9% 和 41.0%。连续 3a 海水灌溉后, 除 CK 外, 各处理耕层中的盐分较为稳定, 且处于较低水平; CK 和 50% 的海水灌溉处理, 60~100cm 的土层中的盐分明显积盐, 而其它处理均未表现出积盐趋势。25% 的海水灌溉处理土壤钠吸附比明显高于 50%、75% 的海水灌溉处理, 但仍然未达到 10mmol/L。2001 和 2002 年, 25% 和 50% 的海水灌溉处理, 较未灌溉处理增产效应显著。因此, 25% 和 50% 的海水灌溉耐盐作物菊芋, 能够保证土壤安全和作物高产高效。

关键词:海水灌溉; 钠吸附比; 总可溶盐; 菊芋

文章编号:1000-0933(2005)09-2446-04 **中图分类号:**P748, S154.1, S158.5 **文献标识码:**A

Effects of seawater irrigation on soil safety and crop yield in coastal semi-arid area

ZHAO Geng-Mao, LIU Zhao-Pu*, XIA Tian-Xiang, CHEN Ming-Da (College of Resources and Environmental Sciences, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China). *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25(9): 2446~2449.

Abstract: Seawater irrigation has recently emerged and plays important roles in saving freshwater resources and promoting agriculture production in the coastal semi-arid areas of North China Plain. From 2001 to 2003, field experiments were conducted to study the effects of seawater irrigation on soil safety and crop yield in Laizhou county, Shangdong province. There were four treatments in the experiments, i.e. CK (Non-irrigated), 25%, 50% and 75% seawater irrigation treatments. The results showed that total dissolved salts (TDS) in the soil of CK treatment significantly accumulated, and the accumulation in 2003 were 1.3 times higher than that in 2001. For 25% and 50% seawater irrigation treatments, although TDS in 2001 also significantly accumulated, a desalted trend in 2002 and 2003 was observed. The TDS of 25% and 50% seawater irrigation treatments in 2003 was decreased by 34.9% and 40.1% respectively, compared with that in 2001. After seawater irrigation for three years, TDS at the root zones did not accumulate for all the seawater treatments but for the CK. However, TDS for the CK and 50% seawater irrigation treatment significantly accumulated below the root zone (60~100 cm). Sodium adsorption ratio (SAR) of 25% seawater irrigation treatment was much higher than that of 50% and 75% seawater irrigation treatments but never exceeded 10 mmol/L, indicating that alkalization was small under seawater irrigation. In 2001 and 2002, the tuber yield of 25% and 50% seawater irrigation treatments was much higher than that of CK and 75% seawater irrigation treatment. However, there was a yield reduction in 2003 for all the treatments because Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus*. L.) suffered from typhoon damage during the growing season. This study suggests that using 25% and

基金项目:国家“863”资助项目(2002AA2Z4061、2003AA627040)

收稿日期:2005-02-24; **修订日期:**2005-05-28

作者简介:赵耕毛(1975~), 男, 江苏海门人, 博士生, 主要从事近海资源与生态研究。E-mail: sea@njau.edu.cn

通讯作者 Author for correspondence.

Foundation item: the National High-Tech 863 Project (No. 2002AA2Z4061 and 2003AA627040)

Received date: 2005-02-24; **Accepted date:** 2005-05-28

Biography: ZHAO Geng-Mao, Ph. D. candidate, mainly engaged in coastal resources and ecology. E-mail: sea@njau.edu.cn

50% seawater to irrigate Jerusalem artichoke was safe in terms of soil property and crop yield.

Key words: seawater irrigation; SAR; TDS; *Helianthus tuberosus* L.

长期以来,莱州地区遭受海水和咸水入侵的影响,土壤盐碱化成为制约该地区农业生产关键性因素^[1]。进入 20 世纪 90 年代,莱州市政府筑起拦海大坝,以抵抗海水和咸水入侵,取得了良好的效果。然而,随之而来的干旱缺水又成为影响该地区农业生产的主导因素。菊芋,又名洋姜,是一种耐干旱、抗盐碱生态型高密度能源作物,其块茎可用来酿造酒精,是 21 世纪有栽培前途的,能够缓减能源危机的经济作物之一。咸水灌溉条件下,有关土壤安全和作物高效方面的研究国内外均有报导^[2~5],但研究范围大多集中在地下微咸水的高效安全利用和常规农作物(如小麦、玉米等)的高产栽培上。本试验通过设置不同的海水灌溉处理,试图优选能够保证土壤安全和作物高产高效的海水灌溉处理,为该地区海水的高效安全利用,以及耐盐作物的合理开发,提供切实可行的指导意义。

1 材料与方法

1.1 试验设计

试验地点位于山东莱州市西由镇的南京农业大学“863”中试基地,距海岸线约 3km。该地区属暖温带东亚季风大陆性气候(半干旱),年平均降雨量 550mm,最少年份 334.5mm,且降雨多集中在 7、8 月份,年平均蒸发量 2116.2mm,2001~2003 年降雨情况见表 1。

供试作物为菊芋(*Helianthus tuberosus* L.),全生育期 210d 左右。其生物学特性表现为耐盐碱、耐贫瘠、耐旱、抗病虫,是一种适宜性广的高密度能源作物。

供试土壤属轻度盐渍化砂壤土,基本理化性质见表 2。试验设 6 个处理:分别为 CK(未灌溉处理),25%、50%、75%的海水灌溉处理(海淡水按体积比混合,比例分别为 1:3、1:1、3:1)。每处理重复 3 次,按随机区组排列设计。小区间用 0.12mm 的聚乙烯薄膜埋深 1m,以防侧渗。地表筑埂 20cm,以防互溢。小区面积为 3m×5m=15m²。每年 3 月底播种,播种行间距为 60cm×40cm。播种前深翻土壤,施有机肥(猪粪)2000kg/667m²。菊芋块茎初始膨大期(6 月 20 日)和块茎膨大盛期(9 月 11 日)海水灌溉两次。灌溉定额为 900t/hm²。供试水样的基本性质参见表 3。

表 1 试验期间降雨量(mm)
Table 1 Amounts of rainfall (mm) during experiments

年份 Year	4 月 Apr.	5 月 May	6 月 Jun.	7 月 Jul.	8 月 Aug.	9 月 Sep.	10 月 Oct.	总计 Total
2001	43.0	8.9	147.6	335.7	113.2	35.5	21.0	704.9
2002	23.7	64.0	41.2	105.1	64.5	27.0	39.1	364.6
2003	43.6	26.8	81.1	192.3	198.2	147.2	40.9	730.1
平均 Average	36.8	33.2	90.0	211.0	125.3	69.9	33.7	599.9

表 2 供试土壤基本理化性质
Table 2 Soil basic properties used in the experiments

土壤层次 Depth(cm)	pH	总可溶盐 TDS (g/kg)	容重 Bulk density (Mg/m ³)	颗粒组成 Particle composition(%)		
				砂粒 Sand (2~0.02mm)	粉粒 Silt (0.02~0.002mm)	黏粒 Clay (<0.002)
0~20	7.58	0.21	1.27	82.6	8.9	8.5
20~40	8.26	0.31	1.58	82.6	8.1	9.3
40~60	8.08	0.66	1.48	82.7	8.0	9.3

表 3 供试水样基本化学性质
Table 3 The basic chemical properties of irrigated water

样品 Water sample	离子组成(mmol/L) Ion composition							
	K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	CO ₃ ²⁻
海水 Seawater	9.92	456.52	10.33	53.92	545.16	28.25	3.07	—
淡水 Fresh water	0.95	1.39	1.05	0.75	1.32	0.75	1.34	—

1.2 样品采集与分析

2001~2003 年播种前(3 月底),采集原始土样,测定土壤基本理化性质;6 月初采集海水以及淡水样品,分析其离子组成。第 2 次海水灌溉前、收获前(10 月底)分别分层次采集土样,带回南京农业大学实验室分析(本文结果与分析部分均为收获时采样分析结果)。用 SDM6 型雨量器,测量降雨量。土壤样品经风干,过 20 目筛,5:1 水土比浸提,再离心过滤得到待测液。用 SY-2 型电导仪测定 EC 值,烘干残渣法测定土壤全盐含量(TDS)。K⁺、Na⁺、Ca⁺、Mg⁺、Cl⁻、SO₄²⁻、HCO₃³⁻按照常规农化分析方法

测定^[6]。SAR=Na/[(Ca+Mg)/2]^{1/2}。菊芋块茎产量用 AWH-30kg 型电子秤,称重计产。

1.3 数据统计

用 EXCEL 软件和 SPSS11.0(statistical analysis system),分析总盐、钠吸附比、产量等指标的平均值、标准差以及检验显著性差异(不同字母如 a,b,表示 $p=0.05$ 水平上具有显著性差异;相同字母则表示在 $p=0.05$ 水平上不显著)。

2 结果与分析

2.1 海水灌溉对土壤盐渍化的影响

不同海水浓度连续 3a 灌溉菊芋,土壤根系活动层(0~60cm)的总盐分发生了明显分异(见图 1)。对照处理土壤中的总盐分呈明显积累趋势,2003 年较 2001 年增加了 1.3 倍,说明在不灌溉的情况下,山东滨海脱盐土逐渐向盐渍化方向发展。25% 的海水灌溉处理,2001 年土壤中的盐分积累比较显著,然而在后续两年的灌溉中,土壤中的盐分保持相对稳定,且较 2001 年有明显地脱除,脱盐率分别达到了 43.7%和 34.9%。50% 的海水灌溉处理,土壤处于明显的脱盐状态,盐分随年份的变化为 2001>2002>2003,表明 50% 的海水灌溉仍能保证土壤发育安全。对于 75% 的海水灌溉处理,盐分随年份的变化为 2002>2003>2001。2002 年,土壤中的盐分高达 1.036g/kg。同一年份处理之间的比较结果表明:2001 年 25% 的海水灌溉处理土壤中的盐分较其它处理有明显的积累现象,而 2002 和 2003,耕层盐分积累最为严重的处理分别是 75% 的海水灌溉处理和对照处理。

土壤电导率通常可以反映土壤盐分的变化情况。本试验中,盐分割面分布也存在明显差异(见图 2)。土壤盐分割面分布最显著的特点是:各不同处理,0~40cm 土层中的盐分均相对稳定。25%和 75% 的海水灌溉处理,盐分在被研究的整体剖面层次(0~100cm)中的分布也相对较为一致。而对于 CK 处理,40~100cm 的土层有明显的积盐趋势;50% 的海水灌溉处理,60~100cm 的土层有明显的积盐趋势。以上结果表明,在丰水年与贫水年交替出现的情况下,25%和 50% 的海水灌溉耐盐作物-菊芋,能够保证耕层土壤发育安全,不会发生盐渍化。

2.2 海水灌溉对土壤碱化的影响

钠吸附比(SAR)是指土壤溶液中钠离子和钙、镁离子的相对含量,它的高低常作为土壤是否会发生碱化的重要指标。图 3 为山东滨海脱盐土耕层土壤 SAR 的变化。从图中可以看出:CK 处理土壤钠吸附比有逐年增加的趋势;25% 的海水灌溉处理使得土壤钠吸附比显著增加,但最大值仍未超过 10mmol/L。50%和 75% 的海水灌溉处理,SAR 明显小于 25% 的海水灌溉处理,且丰水年份较低,而贫水年份有增加趋势。因此,高矿化度的海水灌溉耐盐植物-菊芋土壤不会发生碱化现象,而低浓度的海水灌溉可能存在土壤碱化现象,但此结论有待进一步证实。

2.3 海水灌溉对耐盐作物产量的影响

海水连续灌溉 3a,菊芋块茎产量见表 4。结果表明:2001 年,25%海水灌溉处理菊芋块茎产量最高,50% 的海水灌溉处理次之,分别比未灌溉处理高 40.0%和 9.3%。75% 的海水灌溉处理,菊芋明显遭受盐分胁迫,产量最低。2002 年的情况与 2001 年大致相同,25%和 50% 的海水灌溉处理产量分别比未灌溉处理高 26.5%和 8.4%,75% 的海水灌溉处理,菊芋块茎产量仍然最低,仅为 25%海水灌溉处理的 58.5%。2003 年对照处理菊芋块茎产量最高,但与 25% 的海水灌溉处理没有明显差异。50%和

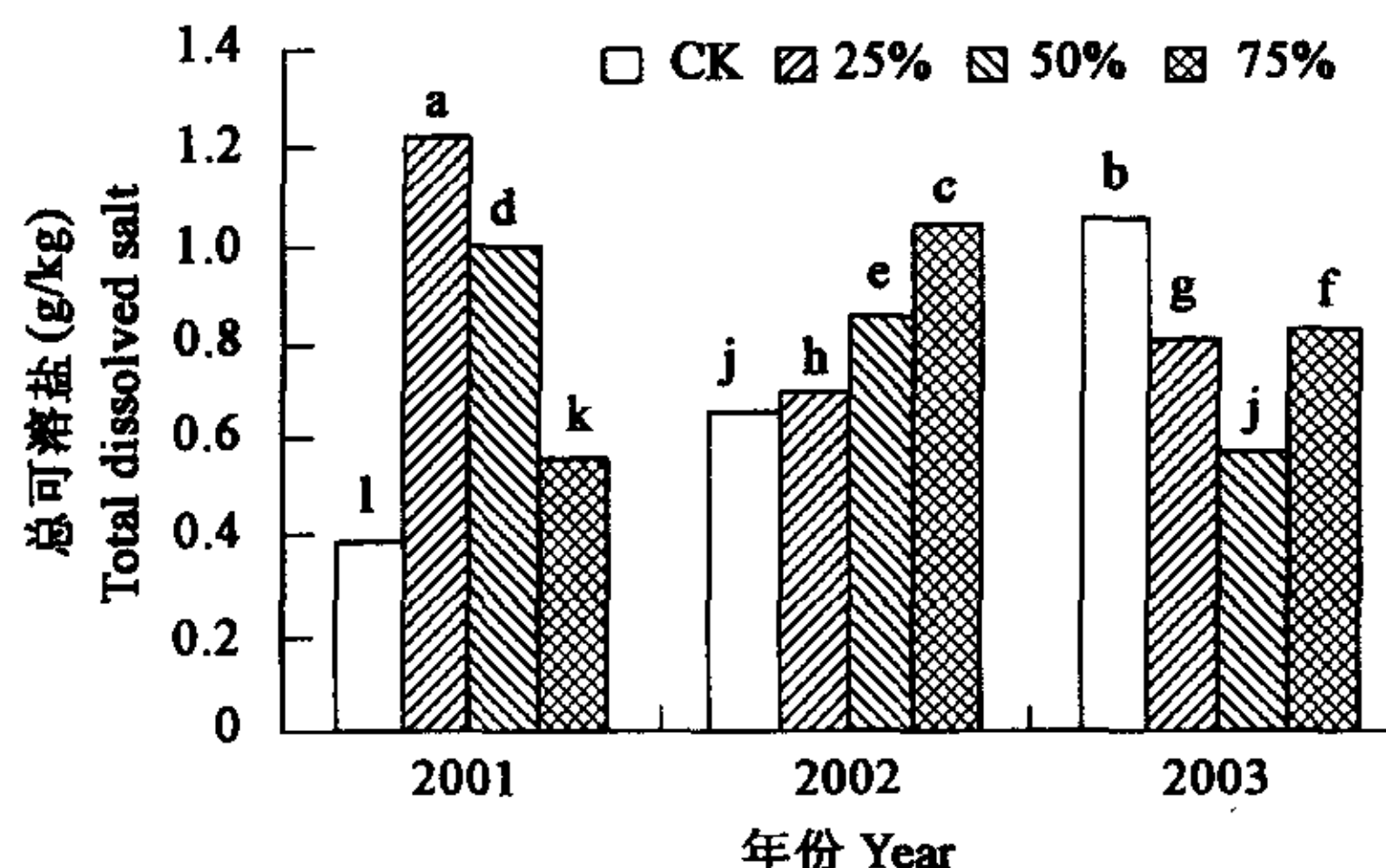


图 1 海水灌溉条件下土壤耕层盐分变化

Fig. 1 Total dissolved salts changed at the root zone under seawater irrigation

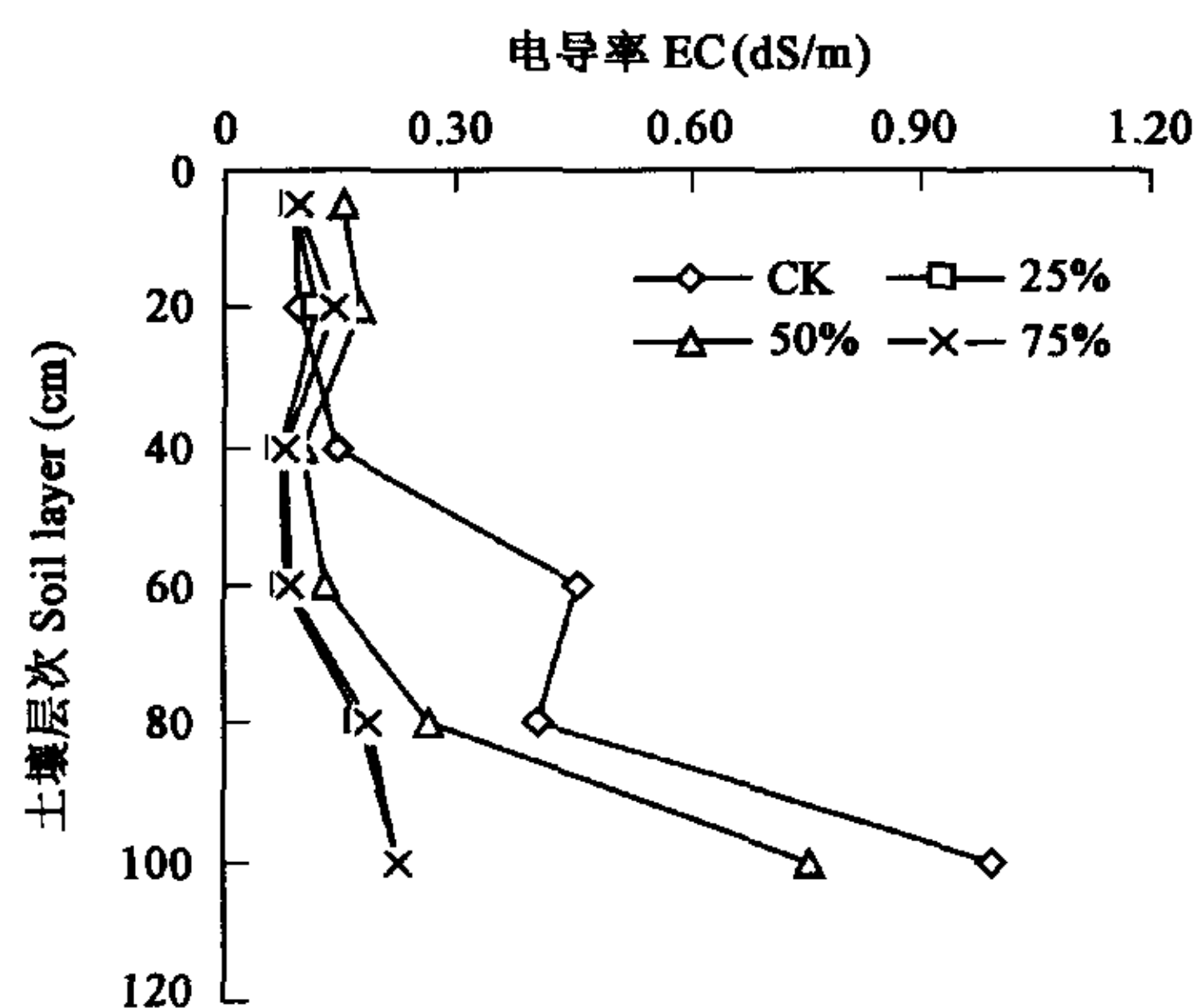


图 2 连续 3a 海水灌溉后 1m 土层内电导率变化

Fig. 2 Electrical conductivity changed in 1m soil layer under three year's seawater irrigation

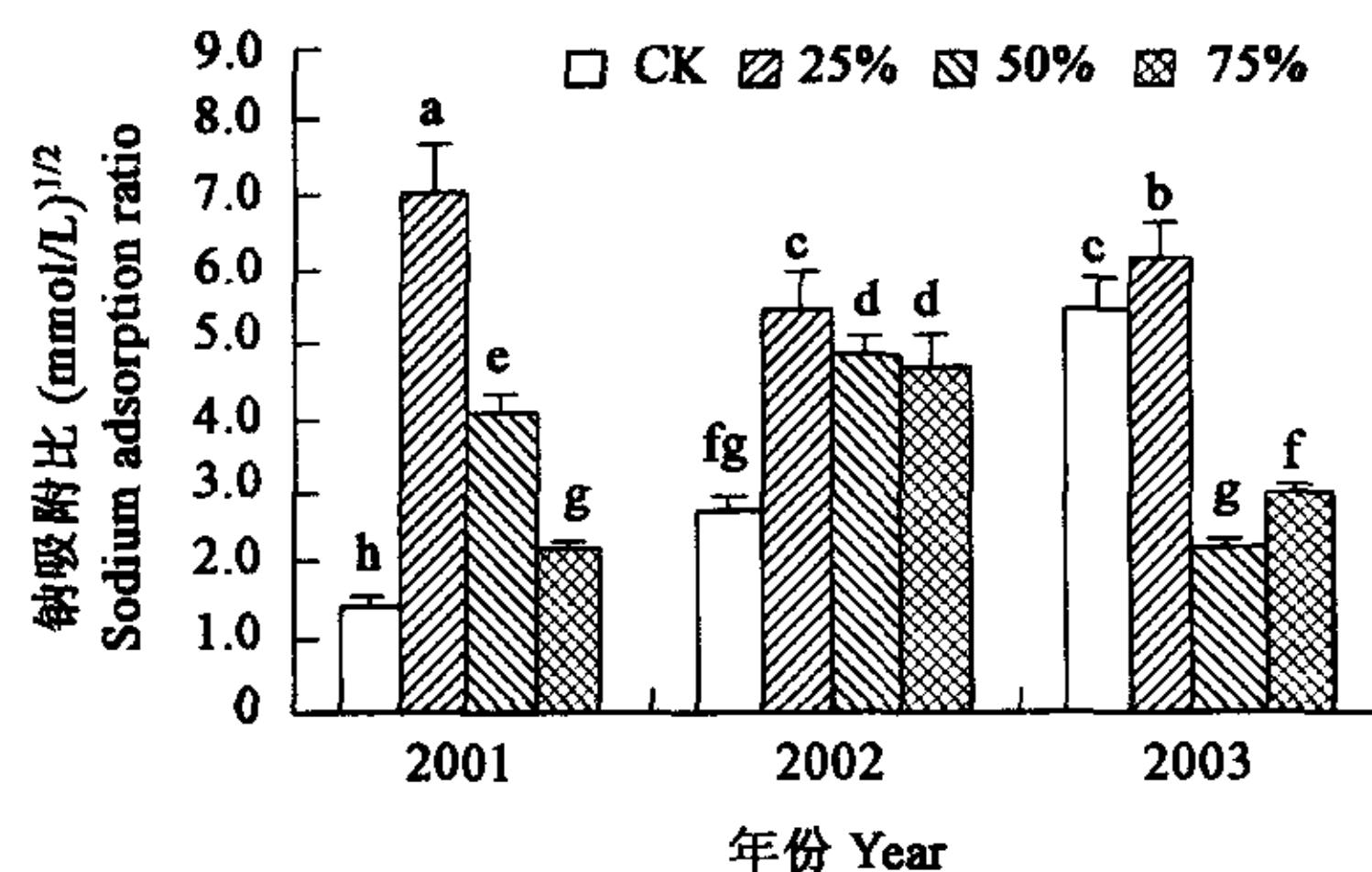


图 3 海水灌溉条件下耕层土壤钠吸附比的变化

Fig. 3 Sodium adsorption ratio changed at the root zone under seawater irrigation

75%的海水灌溉处理,产量受到明显影响,仅为对照处理的 58.0%和 29.0%。从连续 3a 的菊芋块茎产量之间的比较看出,2001 年产量最高,2002 年次之,2003 年产量最低。综上所述,可认为在山东滨海地区,用 25%和 50%的海水灌溉能够保证耐盐作物-菊芋取得较高产量,从而取得较高的经济效益。

3 讨论

山东滨海地区,由于土壤盐碱化等原因,栽培小麦、玉米等常规作物很难取得较高产量和较好的经济效益。结合当地的实际情况,大力发展海水灌溉农业,可望取得良好的社会、经济以及生态效益^[7,8]。连续 3 年大田试验结果表明:适宜的海水浓度(25%或 50%)灌溉,山东滨海脱盐土土壤耕层中的盐分没有积累,且始终保持较低水平。此结果进一步说明,利用适宜矿化度的海水灌溉耐盐作物-菊芋,土壤是安全的。这与先前的试验结果相一致^[9]。农田尺度上的水盐调控,利用咸水灌溉不同于淡水灌溉,它不仅要满足作物对水分的需求,而且要控制盐分的危害。咸水灌溉土壤盐分控制的原理是:(1)在土壤中盐分的积累不超过作物的耐盐极限;(2)因灌溉咸水而增加的土壤盐分经过降雨或灌溉的淋洗能够排出,保持土壤盐分周年或多年平衡;(3)根层土壤不发生盐分的积累。南京农业大学从 1999 年开始,进行咸水灌溉土壤相关参数的研究,发现在莱州即使用 14g/L 的咸水灌溉,定额为 1500t/(hm²·a),1m 土体盐分收支平衡,且咸水灌溉显著抑制了土壤水的蒸发^[10],表明即使在半干旱半湿润的沿海地区,滨海盐渍土可以忍受高矿化度的咸水灌溉。

海水灌溉条件下,土壤是否会发生碱化,一直是人们关注的焦点。试验结果表明:25%的海水灌溉菊芋,土壤钠吸附比较高,但仍然未达到中度碱化的水平。50%、75%的海水浓度灌溉菊芋,土壤钠吸附比显著下降,说明高浓度的海水灌溉条件下,土壤不存在碱化的可能。海水灌溉的前两年,25%和 50%的海水灌溉后,较未灌溉均有增产效应。而 2003 年,由于生长后期遇到台风等自然灾害,菊芋大面积倒伏,产量受到严重影响。因此,在山东滨海脱盐土上栽培耐盐作物——菊芋,要想取得较高的产量和经济效益,必须加强对菊芋高产、抗倒伏品种的选育,加强海水灌溉技术的研究,以确保土壤安全和作物高产高效。

References:

[1] Liu G Y. Cause and prevention countermeasures on the sea-salted water invasion in Laizhou Bay. *The Chinese Journal of Geological Hazard and Control*, 2000, **11**(2): 1~5.

[2] Zhang Y B, Wang X L. Salt water irrigation in area with a salinized surface soil horizon. *Acta Pedologica Sinica*, 1997, **34**(1): 53~59.

[3] Qiao Y H, Yu Z R. Effect of brackish water on soil environment in saline area of Quzhou of Hebei Province. *Transactions of the CSAE*, 2003, **19**(2): 75~79.

[4] Qiao Y H, Yu Z R. Simulation study on the effects of irrigation on soil salt and saline water exploration. *Acta Ecologica Sinica*, 2003, **23**(10): 2050~2056.

[5] Muhammad Akram Kahlown, Mulhammad Azam. Effect of saline drainage effluent on soil health and crop yield. *Agricultural Water Management*, 2003, **62**: 127~138.

[6] Yang D P. Measurement of soil soluble salts. In: Lu R K ed. *Analytical methods for soil and Agro-chemisty*. Beijing: Chinese Agricultural Scientific and Technological Press, 1999. 85~96.

[7] Ma G J. Proposals of fastening the development of seawater irrigation agriculture in China. *Outline Economic Research*, 2000, **9**(22): 15~16.

[8] Xu Z B. Development prospects of seawater irrigation agriculture in Shandong Province. *Development Forum*, 2000, (1): 24~25.

[9] Liu Z P, Zhao G M, Liu L, et al. Characteristics of hydrosalinity balance on three different type of coastal saline soils under seawater irrigation. *Journal of Soil and Water Condervation*, 2004, **18**(1): 43~50.

[10] Liu Z P, Deng L Q, Shen Q R, et al. Effects of seawater irrigation on the growth of rumex plant. *Acta Pedologica Sinica*, 2003, **34**(3): 791~794.

参考文献:

[1] 刘桂仪. 莱州湾南岸海咸水入侵的原因分析及防治对策. *中国地质灾害与防治学报*, 2000, **11**(2): 1~5.

[2] 张海波, 王秀兰. 表层盐化土壤区咸水灌溉试验研究. *土壤学报*, 1997, **34**(1): 53~59.

[3] 乔玉辉, 宇振荣. 河北省曲周地区微咸水灌溉对土壤环境效应的影响. *农业工程学报*, 2003, **19**(2): 75~79.

[4] 乔玉辉, 宇振荣. 灌溉对土壤盐分的影响及微咸水利用的模拟研究. *生态学报*, 2003, **23**(10): 2050~2056.

[6] 杨道平. 土壤可溶盐分析. 见: 鲁如坤主编. *土壤农业化学分析方法*. 北京: 中国农业科技出版社, 1999. 85~96.

[7] 马国钧. 加快我国海水灌溉农业发展的建议. *宏观经济研究*, 2000, **9**(22): 15~16.

[8] 徐质斌. 山东海水灌溉农业的发展前景. *发展论坛*, 2000, (1): 24~25.

[9] 刘兆普, 赵耕毛, 刘玲, 等. 不同气候带海水灌溉下滨海盐土水盐运动特征. *水土保持学报*, 2004, **14**(1): 43~50.

[10] 刘兆普, 邓力群, 沈其荣, 等. 海涂海水灌溉对鲁梅克斯植物生长的影响. *土壤学报*, 2003, **34**(3): 791~794.

表 4 海水灌溉对菊芋产量的影响

Table 4 Effect of continuous seawater irrigation on the yield of <i>Helianthus tuberosus</i> L.			
处理(%) Treatment	产量 Yields(kg/m ²)		
	2001	2002	2003
CK	2.30±0.13b	2.15±0.37ab	1.76±0.51a
25	3.22±0.25a	2.72±0.14a	1.44±0.23ab
50	2.51±0.19b	2.33±0.30ab	1.02±0.30b
75	1.68±0.24c	1.59±0.16c	0.51±0.44c