

半干旱地区海涂海水灌溉菊芋盐肥耦合效应的研究*

隆小华¹ 刘兆普¹ 陈铭达¹ 綦长海² 刘玲¹

(1 南京农业大学资源与环境科学学院, 南京 210095)

(2 南京农业大学山东莱州 863 中试基地, 山东莱州 261400)

摘要 在山东莱州海涂采用正交试验设计进行田间试验, 研究了不同浓度海水灌溉下菊芋盐肥耦合效应。结果表明: (1) 综合肥水情况下, 在 25% 海水(W₂)灌溉下菊芋块茎和地上部分生物产量与淡水处理(W₁)没有显著差异, 在 50% (W₃) 和 75% (W₄) 海水灌溉下产量均显著下降, 与淡水比较, 下降幅度达 32%、76% 和 25%、60%; N₃(150 kg hm⁻²) 水平与 N₁(0 kg hm⁻²) 水平相比, 菊芋块茎产量可以显著提高 77%, 同样地上部分生物产量也提高了 37%, 而 N₄(225 kg hm⁻²) 处理比在 N₃ 情况下低, 但仍高于 N₂(75 kg hm⁻²) 处理; P₃(60 kg hm⁻²) 水平与 P₁(0 kg hm⁻²) 水平相比, 菊芋块茎产量可以显著提高 97%, 同样地上部分生物产量也提高了 39%, 在 P₄(90 kg hm⁻²) 处理下, 菊芋块茎和地上部分生物产量分别比在 P₃ 处理下低 19% 和 11%。(2) 各浓度海水浇灌下, 随着施氮、磷量的增加菊芋主茎普遍增长和增粗。(3) 经过对海水与 N 肥及 P 肥的交互作用分析, 可以看出 W₂N₃ 和 W₂P₃ 是优化组合; 处理因子分析表明, 影响菊芋产量的主要因素是不同浓度海水灌溉, N 肥和 P 肥次之, 其优化组合为 W₂N₃P₃。

关键词 海水灌溉; 盐肥耦合; 菊芋; 产量; 块茎

中图分类号 S157.7 文献标识码 A

海水灌溉农业(Seawater irrigating agriculture) 是以海水资源、沿海滩涂资源和耐盐植物为劳动生产对象的特殊农业, 它是大农业的一个新分支^[1]。中国拥有 18 000 km 漫长海岸线和 20 779 km² 沿海滩涂, 这些地区淡水资源缺乏, 淡水供需矛盾十分尖锐, 而农业用水又占很大比例, 如何减轻农业用水对淡水资源需求的压力, 是一项十分迫切的任务^[2]。以山东莱州为例, 自 1979 年以来连续干旱, 年降雨量仅 500~600 mm 左右, 且降雨时间集中在 6~9 月份, 由于地下水资源长期超量开采, 1995 年海水地下入侵面积已达到 3×10^4 hm², 且每年以 50 m 的速度向内陆推进。而一些比较耐盐的经济植物直接用海水灌溉也可以获得比较满意的经济产量, 且对一些经济植物的品质产生有益的影响, 可以取得显著的经济效益^[3]。发展海水灌溉农业对当地经济、社会和生态环境具有重要作用, 同时对于加快我国农业经济可持续发展、拓展农业发展空间具有重要的战略意义^[4]。但目前关于海水灌溉农业的研究鲜有报道, 尤其是海水灌溉下盐肥耦合效应的研究更少,

因此进行农田尺度的海水灌溉对耐盐植物盐肥耦合效应的研究很有必要。

菊芋(*Helianthus tuberosus*) 为耐寒、耐旱、耐贫瘠、耐盐碱植物, 其地上茎叶和地下块茎都是优良的饲料, 块茎富含菊糖, 可作蔬菜, 是重要能源植物之一^[5-7], 宜在我国沿海地区海涂大面积种植。本研究试图通过盆栽与田间小区试验的方法研究在海涂不同浓度海水灌溉下氮(N) 磷(P) 肥对菊芋产量的影响及盐肥耦合效应, 揭示菊芋在一定浓度海水灌溉下的需肥规律, 为在海涂大面积推广菊芋提供技术指导, 并为海水灌溉农业提供科学理论依据。本文仅就田间试验产量结构进行田间盐肥耦合效应的初步探索。

1 材料与方法

1.1 试验地点与供试土壤

试验于 2003 年在南京农业大学山东莱州 863 中试基地进行。土壤性质见表 1。

* 国家 863 节水农业重大专项计划(2002AA2Z6041)、国家 863 海洋生物技术计划(2003AA 627040)

- 通讯作者, Tel: 025-84396678; Fax: 025-84396678; E-mail: sea@njau.edu.cn

作者简介: 隆小华(1979~), 男, 江苏丹阳人, 硕士研究生, 主要从事海水灌溉农业方面的研究

收稿日期: 2004-02-25; 收到修改稿日期: 2004-04-24

表1 试验地土壤性质

Table 1 Soil properties of experimental field

剖面深度 Depth (cm)	pH	含盐量 Salt content (g kg ⁻¹)	有机质 Organic matter (g kg ⁻¹)	砂粒 Sand (g kg ⁻¹)	粉粒 Silt (g kg ⁻¹)	粘粒 Clay (g kg ⁻¹)	容重 Bulk density (g cm ⁻³)
0~20	7.55	0.379	10.52	817.0	98.4	84.6	1.27
20~40	7.50	0.401	4.42	826.3	80.7	93.0	1.58
40~60	8.17	0.480	2.84	826.1	80.5	93.4	1.50
60~80	7.71	0.647	—	859.9	69.1	71.0	1.48
80~100	7.94	0.731	—	855.6	70.3	74.1	1.50
100~135	8.12	0.724	—	806.3	111.4	82.3	1.48

1.2 试验设计

本试验共三个因素: 因素1为不同海淡水配比, 设CK、25%、50%和75%四个水平, 分别以W₁、W₂、W₃和W₄表示(莱州湾海水基本理化性质见表2); 因素2为氮肥(尿素, 含N 46%), 设N为0、75、150和225 kg hm⁻²四个水平, 以N₁、N₂、N₃和N₄表示; 因素3为磷肥(过磷酸钙, 含P₂O₅ 12%), 设P₂O₅为0、30、60和90 kg hm⁻²四个水平, 以P₁、P₂、P₃和P₄表示。选

用L₃₂4⁹正交设计, 共计32个处理(W_iN_jP_k) (表3), 重复3次, 共96个小区, 随机区组排列。小区长4.0 m、宽2.5 m, 各小区之间用宽0.5 m、厚0.12 mm的塑料膜隔开, 下埋0.4 m, 地表0.1 m, 小区间覆垄0.15 m, 以防侧渗和互溢。平整小区, 起垄栽培, 菊芋块茎膨大前期根部培土, 播种密度30 cm × 60 cm。N肥和P肥均在6月上旬块茎膨大初期以深3~6 cm条施。分别在块茎膨大初期和开花期初期灌溉两次, 灌溉总定额为1 000 m³ hm⁻²。

表2 莱州湾海水基本性质

Table 2 Basic properties of Laizhou Bay seawater

样品 Sample	pH	阴离子 Anion(g L ⁻¹)				阳离子 Cation(g L ⁻¹)				含盐量 Salinity(g L ⁻¹)
		CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	
海水 Seawater	8.30	—	0.132	17.52	3.867	0.785	1.027	0.596	9.480	33.33

表3 试验处理

Table 3 Treatments of the experiment

处理编号 Treatment No.	处理代号 Treatment code	灌溉 Irrigation	N (kg hm ⁻²)	P (kg hm ⁻²)	处理编号 Treatment No.	处理代号 Treatment code	灌溉 Irrigation	N (kg hm ⁻²)	P (kg hm ⁻²)
1	W ₁ N ₂ P ₂	CK	75	30	11	W ₃ N ₃ P ₃	25%	150	60
2	W ₁ N ₃ P ₄	CK	150	90	12	W ₃ N ₂ P ₁	25%	75	0
3	W ₁ N ₁ P ₃	CK	0	60	13	W ₃ N ₄ P ₄	25%	225	90
4	W ₁ N ₄ P ₁	CK	225	0	14	W ₃ N ₁ P ₂	25%	0	30
5	W ₁ N ₂ P ₄	CK	75	90	15	W ₃ N ₃ P ₁	25%	150	0
6	W ₁ N ₃ P ₂	CK	150	30	16	W ₃ N ₂ P ₃	25%	75	60
7	W ₁ N ₁ P ₁	CK	0	0	17	W ₂ N ₄ P ₃	50%	225	60
8	W ₁ N ₄ P ₃	CK	225	60	18	W ₂ N ₁ P ₁	50%	0	0
9	W ₃ N ₄ P ₂	25%	225	30	19	W ₂ N ₃ P ₂	50%	150	30
10	W ₃ N ₁ P ₄	25%	0	90	20	W ₂ N ₂ P ₄	50%	75	90

续表

处理编号	处理代号	灌溉	N	P	处理编号	处理代号	灌溉	N	P
Treatment No	Treatment code	Irrigation	(kg hm ⁻²)	(kg hm ⁻²)	Treatment No	Treatment code	Irrigation	(kg hm ⁻²)	(kg hm ⁻²)
21	W ₂ N ₄ P ₁	50%	225	0	27	W ₄ N ₁ P ₂	75%	0	30
22	W ₂ N ₁ P ₃	50%	0	60	28	W ₄ N ₄ P ₄	75%	225	90
23	W ₂ N ₃ P ₄	50%	150	90	29	W ₄ N ₂ P ₁	75%	75	0
24	W ₂ N ₂ P ₂	50%	75	30	30	W ₄ N ₃ P ₃	75%	150	60
25	W ₄ N ₂ P ₃	75%	75	60	31	W ₄ N ₁ P ₄	75%	0	90
26	W ₄ N ₃ P ₁	75%	150	0	32	W ₄ N ₄ P ₂	75%	225	30

1.3 试验管理

本试验于 2003 年 3 月下旬播种, 10 月下旬收获, 定期观测菊芋的生长指标, 记录其生长期病虫害等发生情况, 用 SM₁ 雨量器准确量得菊芋整个生育期的降雨量为 515 mm。收获时按小区单刨、单收、称鲜重, 将已采植株样及占用面积扣除后计算单位面积产量。主茎统一测离地面 5 cm 处的粗度。试验结束后, 进行带重复试验的方差分析, 并对结果进行综合评价。

2 结果与分析

2.1 盐肥对菊芋产量及其结构的影响

2.1.1 不同浓度海水灌溉对菊芋产量的影响

从图 1 和图 2 可以看出, 25% 海水灌溉块茎产量高于淡水处理, 为 4.0%, 地上部分没有差异。但是随着海水浓度增加, 在 50% 和 75% 海水灌溉下菊芋块茎和地上部分生物产量均显著下降, 与淡水比较, 下降幅度分别达 32%、76% 和 25%、60%。表明低浓度海水胁迫对菊芋生长发育甚至有一定促进作用; 而在 N、P 综合水平条件下高浓度海水灌溉对菊芋生长发育具有明显影响, 表现在茎秆伸长增粗受到抑制, 这可能是由于高浓度盐分胁迫而引起的。

2.1.2 不同水平氮肥处理对菊芋产量的影响

如图 1 和图 2 所示, 施用 N 肥可显著提高菊芋产量。N₃ 水平与 N₁ 水平相比, 菊芋块茎产量可以显著提高 77%, 同样地上部分生物产量也提高了 40%。而随着 N 肥用量增加, 块茎和地上部分生物产量不再增加, N₄ 处理块茎和地上部分生物产量比在 N₃ 情况下低, 但仍高于 N₂ 处理。表明在海涂盐土上, 适当施用氮肥可明显提高菊芋的产量。

2.1.3 不同水平磷肥处理对菊芋产量的影响

如图 1 和图 2 所示, P₃ 水平与 P₁ 水平相比, 菊芋块茎产量可以显著提高 97%, 同样地上部分生物产

量也提高了 37%, 表明在海水灌溉条件下施用 P 肥对提高菊芋产量也是非常明显的。而随着 P 肥用量增加, 块茎和地上部分生物产量不再增加, 在 P₄ 处理下, 菊芋块茎和地上部分生物产量分别比在 P₃ 处理下低 19% 和 11%。

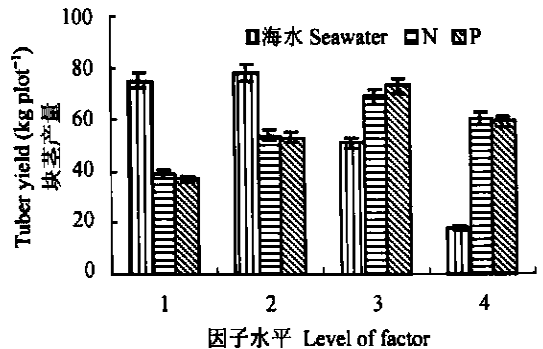


图 1 不同因子对菊芋块茎产量的影响

Fig. 1 Effect of different factors on tuber yield of *Hedihanthus tuberosus*

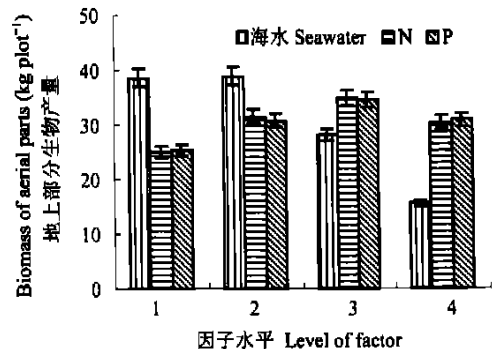


图 2 不同因子对菊芋地上部分生物产量的影响

Fig. 2 Effect of different factors on biomass of aerial parts of *Hedihanthus tuberosus*

2.2 海水与氮肥及磷肥的交互效应对菊芋主茎的影响

如表 4 所示, 随着施氮、磷量的增加, 在各浓度海水浇灌下主茎普遍长高。然而, 在 N₃、P₃ 水平上

继续增加 N、P 肥用量, 主茎都出现了不同程度的缩短。在 W₃N₃ 情况下主茎比 W₁N₁ 和 W₂N₁ 长, 表明在 50% 海水灌溉下适当施 N 肥能够缓解高浓度海水的抑制作用。同样 W₃P₂ 处理下主茎比 W₁P₁ 和 W₂P₁ 长, 表明在 W₃ 海水灌溉下适当施 P 肥能够缓解高浓度海水对主茎生长的抑制作用。但在 W₄ 处理下, 菊芋主茎长均低于 W₁ 和 W₂ 处理, 说明在较高海水处理下, 施肥虽能缓解一定的抑制作用, 但盐胁迫仍占

主导地位。

从表 4 可以看出, 随着施氮、磷量的增加, 在各浓度海水浇灌下主茎普遍增粗。在 W₄ 处理下, 随着 N 肥和 P 肥用量增加, W₄N₄ 和 W₄P₄ 主茎粗分别比 W₄N₁ 及 W₄P₁ 增粗 32% 和 23%, 而 W₁N₄ 和 W₁P₄ 主茎粗分别比 W₁N₁ 及 W₁P₁ 增粗 14.6% 和 12%, 说明随着海水浓度的增高, 海水胁迫阻碍了养分向主茎上部的运输而积累在下部, 使主茎增粗而伸长受到了抑制。

表 4 海水与氮肥、磷肥的交互作用对菊芋主茎生长的影响

Table 4 Effects of different combinations of seawater, nitrogen and phosphorus on growth of the stem of *Helianthus tuberosus* (cm)

处理代号 Treatment code	茎长 Length	茎粗 Thickness	处理代号 Treatment code	茎长 Length	茎粗 Thickness	处理代号 Treatment code	茎长 Length	茎粗 Thickness	处理代号 Treatment code	茎长 Length	茎粗 Thickness
W ₁ N ₁	215	2.06	W ₂ N ₁	220	2.08	W ₃ N ₁	192	2.04	W ₄ N ₁	173	1.92
W ₁ N ₂	226	2.10	W ₂ N ₂	228	2.19	W ₃ N ₂	202	2.11	W ₄ N ₂	181	2.16
W ₁ N ₃	239	2.23	W ₂ N ₃	243	2.25	W ₃ N ₃	221	2.21	W ₄ N ₃	198	2.38
W ₁ N ₄	231	2.36	W ₂ N ₄	232	2.39	W ₃ N ₄	206	2.31	W ₄ N ₄	192	2.53
W ₁ P ₁	219	2.06	W ₂ P ₁	223	2.10	W ₃ P ₁	196	2.03	W ₄ P ₁	171	2.01
W ₁ P ₂	234	2.12	W ₂ P ₂	229	2.17	W ₃ P ₂	225	2.14	W ₄ P ₂	184	2.19
W ₁ P ₃	241	2.25	W ₂ P ₃	238	2.30	W ₃ P ₃	209	2.22	W ₄ P ₃	194	2.32
W ₁ P ₄	224	2.31	W ₂ P ₄	234	2.41	W ₃ P ₄	210	2.28	W ₄ P ₄	192	2.47

2.3 各处理因子的优化调控组合

试验结果表明, 各处理措施均能影响菊芋块茎产量, 经方差分析, 除海水灌溉和 N 肥的交互作用、N 肥和 P 肥的交互作用以及海水灌溉和 P 肥的交互作用呈显著相关外, 其他均呈极显著相关关系 ($p <$

0.01)。经过对海水与 N 肥及 P 肥的交互作用分析 (表 5), 可以看出 W₂N₃ 和 W₂P₃ 是优化的组合。如图 3 所示, 不同水平处理组合对菊芋块茎产量的影响很不相同。其中, 图中所示的第一峰值为 5 号处理, 此处理的各项因素的水平是 W₁N₂P₄, 即淡水、N 用

表 5 海水与 N 肥、P 肥的交互作用对块茎和地上部分生物产量的影响

Table 5 Effect of different combinations of seawater, nitrogen and phosphorus on yields of tubers (kg plot⁻¹) and the aerial parts (kg plot⁻¹) of *Helianthus tuberosus*

处理代号 Treatment code	块茎产量 Tuber yield	地上部 生物产量 Biomass of aerial parts	处理代号 Treatment code	块茎产量 Tuber yield	地上部 生物产量 Biomass of aerial parts	处理代号 Treatment code	块茎产量 Tuber yield	地上部 生物产量 Biomass of aerial parts	处理代号 Treatment code	块茎产量 Tuber yield	地上部 生物产量 Biomass of aerial parts
W ₁ N ₁	70.6	31.7	W ₂ N ₁	75.9	32.6	W ₃ N ₁	32.6	21.9	W ₄ N ₁	13.8	13.4
W ₁ N ₂	79.8	39.3	W ₂ N ₂	82.2	41.8	W ₃ N ₂	43.1	29.7	W ₄ N ₂	17.6	15.5
W ₁ N ₃	86.1	43.6	W ₂ N ₃	88.8	44.4	W ₃ N ₃	49.6	32.5	W ₄ N ₃	23.0	19.9
W ₁ N ₄	81.7	40.2	W ₂ N ₄	84.8	37.3	W ₃ N ₄	36.7	29.0	W ₄ N ₄	17.9	14.9
W ₁ P ₁	72.1	32.1	W ₂ P ₁	73.4	33.4	W ₃ P ₁	31.9	21.3	W ₄ P ₁	14.1	14.2
W ₁ P ₂	78.6	37.1	W ₂ P ₂	83.4	40.4	W ₃ P ₂	42.4	31.0	W ₄ P ₂	18.1	15.1
W ₁ P ₃	87.2	42.7	W ₂ P ₃	89.3	43.6	W ₃ P ₃	52.5	31.9	W ₄ P ₃	22.5	20.5
W ₁ P ₄	80.3	42.9	W ₂ P ₄	85.6	38.7	W ₃ P ₄	35.2	28.9	W ₄ P ₄	17.6	13.2

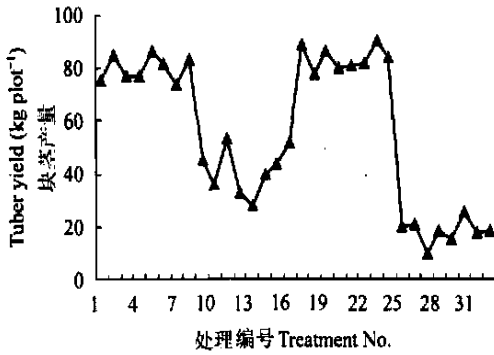


图3 不同处理组合对块茎产量的影响

Fig. 3 Effect of different combinations on tuber yield of *Helianthus tuberosus*

量为 75 kg hm^{-2} 、P 用量为 90 kg hm^{-2} 。第 2 号处理所获得的产量也较高, 随着海水浓度增高从 9 号到 16 号块茎产量均下降, 直到第 17 号处理, 此处理是 $W_2N_4P_3$, 即 25% 海水、N 用量为 225 kg hm^{-2} 、P 用量为 60 kg hm^{-2} , 此处理与 5 号相比, 略增加 1.0%。 $W_2N_3P_4$ 可以达到最大的块茎产量, 即 25% 海水、N 用量为 150 kg hm^{-2} 、P 用量为 90 kg hm^{-2} , 其比 17 号处理增加了 2.5%。在 75% 海水处理下, 菊芋块茎产量基本达不到淡水处理的 25%。从处理间差异看, 影响菊芋块茎产量的主要因素是不同浓度海水灌溉, N 肥和 P 肥次之, 这一点在方差表中也可以看出, 结合海水与 N 肥及 P 肥的交互作用分析, 其优化组合为 $W_2N_3P_3$ 。

同样从表 5 可以看出, 海水、N 肥、P 肥及其交互作用均对菊芋地上部分生物产量有显著的影响, 经 F 检验, 呈极显著相关。通过进一步分析可知, 海水与 N 肥对菊芋地上部分生长最优组合为 W_2N_3 , 海水与 P 肥对菊芋地上部分生长的最优组合为 W_2P_3 。此外, N 肥与 P 肥的交互作用也是显著的。如图 4 所示, 不同水平处理组合对菊芋地上部分生物产量的影响也很不相同。其中, 图中所示的第一峰值为 2 号处理, 此处理的各项因素的水平是 $W_1N_3P_4$, 即淡水、N 用量为 150 kg hm^{-2} 、P 用量为 90 kg hm^{-2} 。第 8 号处理所获得的产量也较高, 随着海水浓度增高, 从 9 号到 16 号处理块茎产量均下降, 直到第 17 号处理, 此处理是 $W_2N_4P_3$, 即 25% 海水、N 用量为 225 kg hm^{-2} 、P 用量为 60 kg hm^{-2} , 此处理与 2 号处理相比, 略有增加。在 23 号处理 ($W_2N_3P_4$, 即 25% 海水、N 用量为 150 kg hm^{-2} 、P 用量为 90 kg hm^{-2}) 可以达到最大的块茎产量, 23 号处理效果比 17 号

处理增加了 5.0%。在 75% 海水处理下, 菊芋地上部分生物产量基本达不到淡水处理的 30%。从处理间的差异看, 影响菊芋地上部分生物产量的主要因素是不同浓度海水灌溉, N 肥和 P 肥次之, 这一点在方差表中也可以看出, 结合它们的交互作用分析, 对菊芋地上部分生长优化组合为 $W_2N_3P_3$ 。

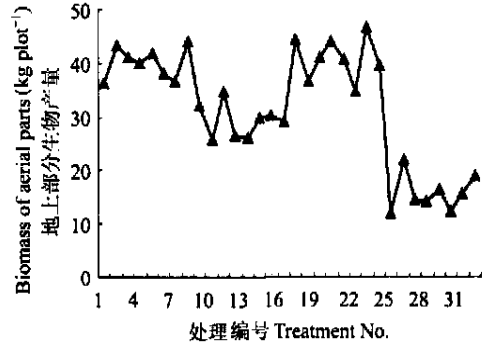


图4 不同处理组合对地上部分生物产量的影响

Fig. 4 Effect of different combinations on aerial parts of *Helianthus tuberosus*

3 讨论

试验结果表明, 25% 海水灌溉未对菊芋生长发育产生抑制作用, 所以在海涂用适当浓度海水对特殊经济作物进行灌溉是安全有效的, 而 50% 及 75% 海水处理对菊芋生长发育产生不同程度的抑制作用。海涂土壤一般含养分较少, 尤其 N、P 元素缺乏, 在海水灌溉下, 施 N 肥和 P 肥均能增加块茎和地上部分生物产量, 达到“以肥阻盐”、“以肥增水”的效果。因为施氮能明显提高植株体内离子向上运输的 K^+ 、 Na^+ 选择性比率 $SR_{K,Na}$, 降低盐分尤其是钠离子对功能器官的伤害^[8,9], 而施过磷酸钙既为植物生长提供磷素营养, 还可通过 Ca^{2+} 的施入缓解植株的盐分胁迫^[10], 阻止细胞内 K^+ 的外流和 Na^+ 的大量进入^[11,12], 增强植株的耐盐性。但随着 N、P 肥用量增加, 其报酬递减率越来越严重。海水与 N 肥及 P 肥的交互效应对菊芋主茎的影响说明在高浓度海水处理下, 一方面海水胁迫阻碍了菊芋的生长发育, 另一方面由于海水胁迫进而影响了养分离子向菊芋地上部分的运输, 整体表现为地上部分生物产量的降低。同时, 在海水灌溉下, 通过施 N 肥及 P 肥均能缓解海水对菊芋的抑制作用, 在 50% 海水灌溉下, 施一定量的 N、P 肥, 块茎和地上部分的产量均与淡水不施肥处理的产量无显著差异。由于盐分、水分和肥料之间存在着协同、顺序加和及表观拮

抗作用等,通过海水及 N、P 肥优化调控组合分析表明,在 $W_2N_3P_3$ 即 25% 海水灌溉, N 用量为 150 kg hm^{-2} 、P 用量为 60 kg hm^{-2} 情况下块茎和地上部分的产量能达到最大。

海涂农田生态系统是一个复杂的生态体系,在海水灌溉下,由于盐分、水分及肥料的有效性影响着土壤微生物的活动、物理化学作用及植物体的生理生化过程,使得土壤盐分、水分及养分密切而又复杂地联系在一起。如何在适合浓度海水灌溉下科学地使用肥料,充分发挥肥料及海水的激励机制和协同效应,对提高资源的利用效率、降低成本、增加耐海水灌溉作物产量及提高其品质极为关键,其机理将通过室内盆栽试验进行研究。

参 考 文 献

- [1] 徐质斌. 山东海水灌溉农业的发展前景. 发展论坛, 2000, 8(1): 24~ 25. Xu Z B. Development prospect of seawater irrigating agriculture in Shandong Province (In Chinese). Development Forum, 2000, 8(1): 24~ 25
- [2] 徐质斌. 海水灌溉农业的展望与对策. 农业现代化研究, 2002, 23(2): 89~ 92. Xu Z B. Perspective and countmeasure of seawater irrigating agriculture (In Chinese). Research of Modern Agriculture, 2002, 23(2): 89~ 92
- [3] 刘兆普, 刘玲, 陈铭达, 等. 利用海水资源直接农业灌溉的研究. 自然资源学报, 2003, 18(4): 423~ 429. Liu Z P, Liu L, Chen M D, *et al.* Study on the irrigation systems in agriculture by seawater (In Chinese). Journal of Natural Resources, 2003, 18(4): 423~ 429
- [4] 中国产业经济技术研究联合会. 加快我国海水灌溉农业发展的建议. 宏观经济研究, 2000, 3(9): 15~ 16. Research Consociation Agency of Technology of Chinese Industrial Economy. The suggestion to speed up the development of our country seawater irrigating agriculture (In Chinese). Research of Macroscopic Economy, 2000, 3(9): 15~ 16
- [5] 隆小华, 刘兆普. 耐寒抗旱治沙之星菊芋. 植物杂志, 2003, (3): 23~ 24. The *Helianthus tuberosus* resisting cold and drought and being used to control sand (In Chinese). Flora Magazine, 2003, (3): 23~ 24
- [6] Rawson H M, Long M J. Growth and development in NaCl-stress plant. Aust. J. Plant Physi., 1988, 15(4): 519~ 540
- [7] 张邦定. 菊芋的开发与栽培. 四川农业科技, 1997, 6(5): 35~ 37. Zhang B D. The development and planting of *Helianthus tuberosus* (In Chinese). Science and Tenedology of Agriculture in Sichuan, 1997, 6(5): 35~ 37
- [8] 沈振国, 沈其荣, 管红英, 等. NaCl 胁迫下氮素营养与大麦幼苗生长和离子平衡的关系. 南京农业大学学报, 1994, 17(1): 22~ 26. Shen Z G, Shen Q R, Guan H Y, *et al.* Relationship between nitrogen nutrition and growth of barley seedlings as well as ion balance under NaCl stressed (In Chinese). Journal of Nanjing Agricultural University, 1994, 17(1): 22~ 26
- [9] Legha P K, Giri Gajndra, Potegal M, *et al.* Influence of nitrogen and sulphur on growth, yield and oil content of sunflower grown in spring season. Indian Journal of Agronomy, 1999, (6): 408~ 412
- [10] 邓力群, 刘兆普, 陈铭达, 等. 不同盐分滨海盐土上油葵(G101-B)的氮磷肥效应研究. 中国油料作物学报, 2002, 24(4): 61~ 64. Deng L Q, Liu Z P, Chen M D, *et al.* Influence of N and P fertilizers on sunflower grown in different saline soils on coast (In Chinese). Chinese Journal of Oil Crop Sciences, 2002, 24(4): 61~ 64
- [11] Cramer G. R. Displacement of Ca^{2+} and Na^+ from the plasmalemma of root cells. Plant Physiology, 1985, 79: 207~ 211
- [12] 赵可夫. 植物抗盐生理. 北京: 中国农业科技出版社, 1993. Zhao K F. Plant Anti-salt Physiology (In Chinese). Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, 1993

COUPLING EFFECT OF SALT AND FERTILIZER APPLICATION ON *HELIANTHUS TUBEROSUS* IRRIGATED WITH SEAWATER IN SEMIARID REGION

Long Xiaohua¹ Liu Zhaopu¹ Chen Mingda¹ Qi Changhai² Liu Ling¹

(1 College of Natural Resources and Environmental Sciences, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China)

(2 Experiment Base of "863" of Laizhou, Laizhou, Shandong 261400, China)

Abstract Based on the orthogonal test design, a field experiment was carried out in mudflat along the coast of Laizhou, Shandong Province to study coupling effect of salt and fertilizer application on *Helianthus tuberosus* irrigated with seawater different in concentration. The results show: (1) When the fertilization rate remained the same, no significant difference in yield of tuber and aerial parts of the plant between Treatment W₂(25% seawater) and Treatment W₁(fresh water). Their yields, however, significantly declined by 32% and 76% and by 25% and 60% respectively when the irrigation water contained higher percentage of seawater, 50% in Treatment W₃ and 75% in Treatment W₄. In the trials of N fertilization, comparison of Treatment N₃(150 kg hm⁻²) with Treatment N₁(0 kg hm⁻²) showed that the yields of the former were 77% and 37% higher than that of the latter, respectively, and the yields in Treatment N₄(225 kg hm⁻²) were lower than in Treatment N₃, but higher than in Treatment N₂(75 kg hm⁻²). In the tests on P fertilization, the yields of tuber and aerial parts were respectively higher 97% and 39% in Treatment P₃(60 kg hm⁻²) than in Treatment P₁(0 kg hm⁻²), and they were lower 19% and 11% lower, respectively, in Treatment P₄(90 kg hm⁻²) than in Treatment P₃(60 kg hm⁻²). (2) In all seawater treatments the *Helianthus tuberosus*' main stem got longer and thicker with the increase in N and P. (3) Analysis of the interactions of seawater, N and P showed that Treatments W₂N₃ and W₂P₃ were the optimal combinations. The main factor that affected the yields was seawater, and followed by fertilizers of N and P. And the best combination was W₂N₃P₃.

Key words Seawater irrigation; Coupling of salt and fertilizer; *Helianthus tuberosus*; Yields; Tuber