

苏北沿海滩涂盐土上油葵盐肥效应研究^①

洪立洲¹, 隆小华², 刘玲², 李青², 李洪燕², 孙磊², 刘兆普^{2*}

(1 江苏省盐城市农业科学院, 江苏盐城 224002; 2 南京农业大学江苏省海洋生物学重点实验室, 南京 225009)

摘要: 2008年在江苏沿海滩涂进行田间试验研究了不同盐分含量土壤上油葵盐肥耦合效应。结果表明: ①土壤盐分含量在 2.9~3.6 g/kg 时对油葵籽粒产量影响不大, 但随着土壤盐分含量的增加, 在 5.9~6.8 g/kg 时, 油葵籽粒产量显著下降。随土壤盐分含量的增加, 茎叶生物产量、根生物产量、株高与籽粒产量变化趋势相似。随着 N 肥和 P 肥使用量的增加, 油葵籽粒产量显著增加, 油葵茎叶和根生物产量与株高随着 N 肥和 P 肥使用量增加的变化趋势与籽粒产量变化相似。②随着土壤盐分含量的增加, N 和 P 效应越明显, 油葵茎粗、盘直径、盘重、茎叶重和根重在相同土壤盐分含量下, 随着施 N、P 量的增加, 其变化趋势与油葵主茎高度的变化趋势相似。③各处理措施均能影响油葵籽粒产量, 经方差分析, 土壤盐分含量、N 肥施用量、P 肥施用量、盐肥交互作用、NP 肥交互作用均呈极显著关系, 从处理间区别看, 影响油葵产量的主要因素是土壤盐分含量, N 肥和 P 肥次之。

关键词: 盐土; 盐肥耦合; 油葵

中图分类号: S157.7

苏北平原地处黄海之滨, 海岸线 744 km, 大多为淤泥质海岸, 有沿海滩涂面积约 65.3 万 hm^2 。目前滩涂仍在不断淤积, 全省年淤涨面积达 1334 hm^2 , 是江苏重要的后备土地资源。该区地处暖温带, 属于具有季风特点的海洋性气候, 全年无霜期约 201 d, 年平均气温 14 $^{\circ}\text{C}$, 夏季平均气温 26 $^{\circ}\text{C}$, 冬季平均气温 4 $^{\circ}\text{C}$, 年平均日照时数为 2400~2600 h, 年平均降雨量为 910~980 mm, 主导风向为东南风。

油葵是一种耐盐碱、耐瘠、耐旱、适应性广的油料植物, 在我国内蒙、新疆干旱盐渍地区广为种植^[1-3]。油葵油主要为甘油三酸酯, 高温醇解后可得到脂肪酸甲酯和甘油, 脂肪酸甲酯可以用作燃料即生物柴油^[4-5]。沿海岸盐碱地上种植油葵, 可以减少滩涂水土流失, 加速滩涂土壤的熟化, 充分利用海涂非耕地资源, 为人类提供更多的生物质资源。N、P 是限制生长和形成产量的重要元素^[6-8], 在滨海盐渍化土壤油葵引种试验研究的基础上^[9], 本试验通过在苏北滨海盐土上的肥料试验, 研究油葵盐肥效应, 探明油葵的需肥规律, 获得滨海盐土油葵合理施肥的依据, 以期集成苏北沿海滩涂油葵综合栽培技术以提高植物生物产量, 为沿海滩涂生物质能源产业发展提供技术平台。

1 材料与方法

1.1 试验设计

以 3 种不同含盐量 S1(1.3~1.6 g/kg)、S2(2.9~3.6 g/kg)、S3(5.9~6.8 g/kg) 的海涂盐土为试验用地, 其基本性状见表 1; 进行裂区设计, 油葵品种为 G101B(A1), 其生育期为 90~95 d; 设 N 肥(N: 0、60、120 kg/hm^2) 和 P 肥(P_2O_5 : 0、30、60 kg/hm^2) 各 3 个水平, 分别以 N1、N2、N3, P1、P2、P3 表示; 完全组合, 计 27 个处理, 各重复 3 次, 共计 81 个小区, 小区长 5.0 m, 宽 3.0 m, 按随机区组试验进行田间小区安排。

1.2 采样与测定

油葵种植前后在供试田块按对角线法分点采样, 剖面深度为 0~10 cm、10~20 cm 和 20~40 cm 3 个层次分别采样, 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^+ , 用常规化学方法测定土壤中的 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 SO_4^{2-} 、 Cl^- 、 HCO_3^- ; 油葵成熟时, 按小区单打单收, 计算产量; 数据用 SPSS 与 EXCEL 软件处理。

2 结果与分析

①基金项目: 国家“十一五”支撑项目(2006BAD09A08-03-01 和 2006BAD09A04-05) 和国家海洋 863 计划项目(2007AA091702) 资助。

*通讯作者(sea@njau.edu.cn)。

作者简介: 洪立洲(1968—), 男, 江苏盐城人, 副研究员, 主要从事土壤肥料与盐土农业工程研究。E-mail: ychonglz@163.com

表 1 供试土壤基本性状

Table 1 Soil properties of experimental field

土样编号	剖面深度 (cm)	pH	含盐量 (g/kg)	阳离子 (cmol/kg)				阴离子 (cmol/kg)		
				Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻
S1	0~10	8.01	1.6	0.25	0.23	0.17	2.43	0.59	0.77	1.68
	10~20	8.10	1.3	0.20	0.17	0.15	2.27	0.55	0.62	1.69
	20~40	8.05	1.4	0.29	0.22	0.12	2.22	0.51	0.65	1.59
S2	0~10	8.04	3.6	0.51	0.46	0.13	4.89	0.76	0.68	4.86
	10~20	8.00	2.9	0.35	0.38	0.11	4.58	0.72	0.64	3.91
	20~40	8.35	3.1	0.24	0.33	0.12	4.95	0.44	0.66	4.35
S3	0~10	8.07	6.8	1.42	1.62	0.23	9.79	0.31	2.02	9.48
	10~20	8.25	6.2	0.67	0.62	0.15	4.28	0.42	1.23	3.86
	20~40	8.23	5.9	0.26	0.18	0.12	2.43	0.53	0.68	1.96

2.1 盐肥对油葵生物产量结构的影响

从图 1 中可以看出,土壤盐分在S2 时对油葵籽粒产量影响不大,较土壤盐分在S1 时还有些增加,增幅为 2.8%,但随着土壤盐分的增加,在S3 时,油葵籽粒产量显著下降,只有S1 时的 68.9%。随土壤盐分

的增加,茎叶生物产量、根生物产量、株高与籽粒产量变化趋势相似,尤其在S3 时较S1 时均显著降低,较对照分别下降了 47.5%, 37.1% 和 21.9%,表明土壤盐分含量在一定范围内对油葵生长发育影响不大。

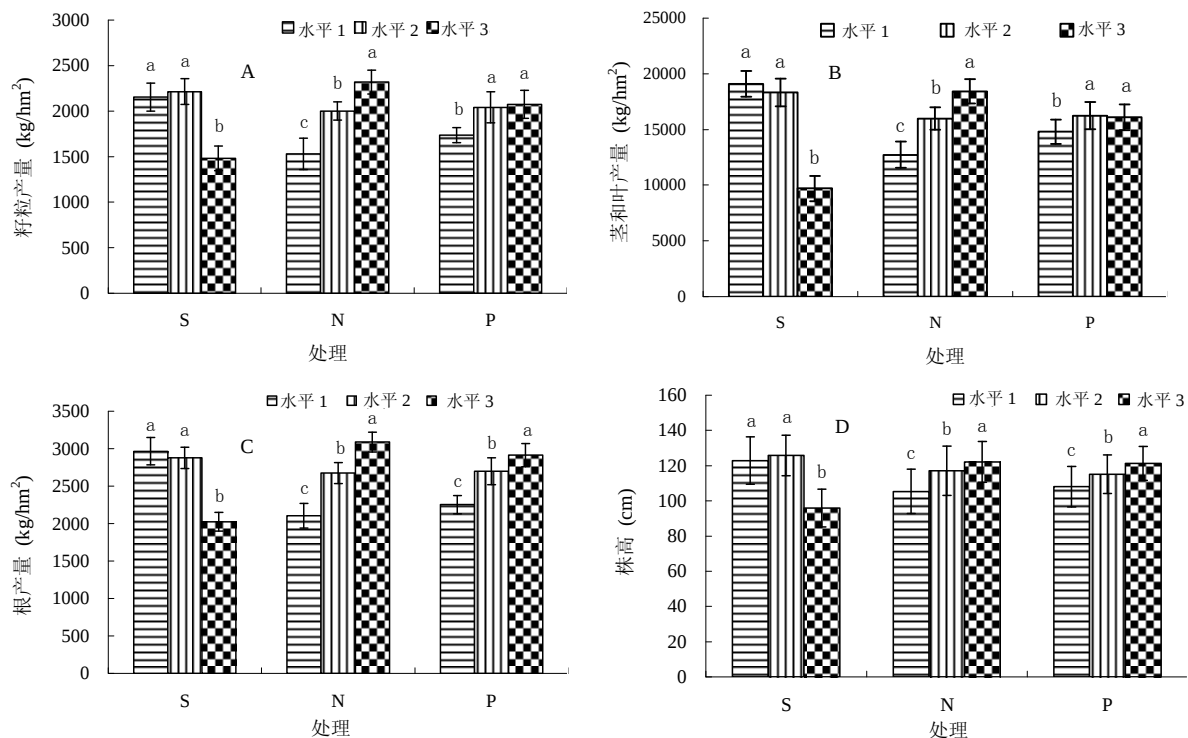


图 1 不同处理因子对油葵生物产量构成 (A: 籽粒; B: 茎叶; C: 根; D: 株高) 的影响

Fig. 1 Effects of different treatments of salt and fertilizer on biological compositions of oil sunflower yield

从图 1 中可以看出,随着 N 肥使用量的增加,油葵籽粒产量显著增加,N2 和 N3 较 N1 时分别增加 30.6%和 51.4%。油葵茎叶和根生物产量与株高随着 N

肥使用量增加的变化趋势与籽粒产量相似,在 N3 时较 N1 时均显著增加,较 N1 分别增加了 44.8%、46.7%和 16.2%。

同样从图 1 中可以看出,随着P肥使用量的增加,油葵籽粒产量显著增加,P2 较P1 时分别增加 17.6%,但P2 和P3 差异不显著。油葵茎叶和根生物产量与株高随着P肥使用量增加的变化趋势与籽粒产量相似,油葵茎叶生物产量在P2 和P3 处理下差异不显著,而根生物产量与株高在P2 和P3 处理下差异显著,P3 时较P2 时均显著增加了,较P2 分别增加了 8.1% 和 5.2%。

2.2 盐肥交互效应对油葵生物产量构成的影响

如表 2 所示,随着施 N、P 量的增加,在各土壤盐分含量下油葵主茎普遍长高,随着土壤盐分含量的增加,N 和 P 效应越明显,在 S1 时,N3 较 N1 增加

4.6%,P3 较 P1 增加 5.3%,而在 S3 时,N3 较 N1 增加 14.2%,P3 较 P1 增加 26.7%。油葵茎粗、盘直径、盘重、茎叶重和根重在不同土壤盐分含量下,随着施 N、P 量的增加,其变化趋势与油葵主茎高度的变化趋势相似。油葵籽粒产量随着施 N、P 量的增加,在各土壤盐分含量下普遍增加,随着土壤盐分含量的增加,N 和 P 效应与油葵主茎 N 和 P 效应不一致,在 S1 时,N3 较 N1 增加 89.8%,P3 较 P1 增加 36.1%;在 S2 时,N3 较 N1 增加 53.7%,P3 较 P1 增加 17.2%;而在 S3 时,N3 较 N1 增加 38.4%,P3 较 P1 增加 10.1% (表 2)。

表 2 盐肥的交互作用对油葵生物产量构成的影响

Table 2 Effects of different alternant effects of salt and fertilizer on biological compositions of oil sunflower yield

处理	株高 (cm)	茎粗 (mm)	盘径 (cm)	盘重 (kg/株)	茎叶重 (kg/株)	根重 (kg/株)	籽粒产量 (kg/hm ²)
S1N1	132.8	21.94	15.2	1.05	1.63	0.25	1485
S1N2	138.6	25.26	15.4	1.20	1.97	0.29	2156
S1N3	138.9	25.82	17.4	1.47	2.52	0.42	2819
S2N1	115.6	20.88	14.2	0.94	1.24	0.21	1767
S2N2	103.6	22.66	16.4	1.32	1.65	0.27	2158
S2N3	116.4	23.24	17.9	1.45	1.93	0.31	2715
S3N1	97.6	19.88	15.3	0.77	0.95	0.17	1340
S3N2	94.1	22.24	14.9	0.97	1.18	0.24	1688
S3N3	111.4	22.38	15.2	1.07	1.48	0.25	1854
S1P1	125.8	23.58	15.6	1.02	1.94	0.29	1564
S1P2	127.0	23.66	16.0	1.19	1.90	0.31	2270
S1P3	132.5	23.28	16.1	1.28	1.81	0.33	2128
S2P1	111.6	21.46	15.3	1.04	1.48	0.24	1964
S2P2	110.9	22.08	16.2	1.19	1.61	0.26	2150
S2P3	112.5	22.82	16.3	1.30	1.62	0.28	2302
S3P1	88.7	21.96	14.0	0.91	1.02	0.21	1679
S3P2	109.9	22.00	15.2	1.03	1.44	0.24	1788
S3P3	112.3	22.12	15.7	1.06	1.49	0.25	1848

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油葵籽粒产量,经方差分析(表 3),土壤盐分含量、N肥施用量、P肥施用量、盐肥交互作用、NP肥交互作用均呈极显著关系。经过对土壤盐分含量与N肥及P肥的交互作用分析(表 2),可以看出S1N3 和S2P3 是优化的组合(表 4)。不同水平处理组合对油葵籽粒产量的影响很不相同:其中S1N3P2 处理所获得的产量最高,此处理的各项因素的水平是土壤盐分含量 1.2 ~ 1.5 g/kg, N肥施用量为 120 kg/hm², P肥施用量为 30 kg/hm²,而S1N3P3

处理所获得的产量第二,此处理的各项因素的水平是土壤盐分含量 1.2 ~ 1.5 g/kg, N肥施用量为 120 kg/hm², P肥施用量为 60 kg/hm²,较S1N3P2 处理,产量降低 10.9%,在S1N1P1 处理下,油葵籽粒产量较S1N3P2 产量显著降低,只有S1N3P2 产量的 36.1%,说明在盐土上进行施肥能够显著缓解土壤盐分对油葵生长的影响;在S2 时,S2N3P2 处理所获得的产量最高,S2N1P1 油葵籽粒产量较S2N3P2 产量显著降低,只有S2N3P2 产量的 33.3%;在S3 时,S3N3P3 处理所获得的产量最高,S3N1P1 油葵籽粒产量最低,较

表 3 不同处理措施对籽粒产量影响的方差分析
Table 3 Variance analysis of seed yield of oil sunflower

方差来源	平方和	自由度	均方	F 值	F _{0.05}	F _{0.01}
S	8873932	2	4436966	25494.74	**	**
N	8481469	2	4240735	24367.2	**	**
P	1879131	2	939565.6	5398.73	**	**
S×N	4203371	4	1050843	6038.13	**	**
S×P	5330597	4	1332649	7657.38	**	**
N×P	2838717	4	709679.2	4077.81	**	**
S×N×P	2311935	8	288991.9	1660.54	**	**
e	9049.8	52	174.03	236.01	**	**

表 4 不同处理油葵籽产量新复极差分析
Table 4 Analysis of Duncan's multiple-range test on seed yields of oil sunflower under different treatments

处理	产量 (kg/hm ²)	P _{0.05}	P _{0.01}	处理	产量 (kg/hm ²)	P _{0.05}	P _{0.01}
S1N3P2	3424	a	A	S1N2P1	1950	m	L
S1N3P3	3052	b	B	S1N2P3	1728	n	M
S2N3P2	2821	c	C	S2N1P2	1709	n	M
S2N3P1	2787	d	D	S3N2P1	1656	o	N
S2N1P3	2652	e	E	S1N1P3	1626	p	O
S2N3P3	2536	f	F	S3N1P3	1439	q	P
S1N2P2	2416	g	G	S3N3P1	1320	r	Q
S2N2P3	2207	h	H	S3N1P2	1299	rs	QR
S2N2P2	2137	i	I	S3N3P2	1289	s	QR
S2N2P1	2129	i	IJ	S3N2P2	1282	s	R
S1N2P3	2099	j	JK	S1N1P1	1236	t	S
S3N3P3	2098	j	JK	S2N1P1	940	u	T
S1N1P2	2070	k	K	S3N1P1	759	v	U
S1N3P1	1980	l	L				

S3N3P3 产量显著降低, 只有 S3N3P3 产量的 36.2%。从处理间区别看, 影响油葵产量的主要因素是土壤盐分含量, N 肥和 P 肥次之, 这一点在表 3 中也可以看出。

3 讨论

试验结果表明随着土壤盐分含量的增加, 油葵生长发育受到抑制作用, 而海涂土壤一般含养分较少, 尤其N、P元素缺乏, 在盐土上种植油葵, 施N肥和P肥能达到“以肥调盐”、“以肥调水”的效果, 增加油葵生物产量, 因为施N能明显提高植株体内离子向上运输的K⁺、选择性比率SR_{K·Na}, 降低盐分尤其是Na⁺对功能器官的伤害^[10-11], 而施过磷酸钙既为植物生长提供P素营养, 还通过Ca²⁺的施入缓解了油葵的盐分胁迫^[12], 阻止细胞内K⁺的外流和Na⁺的大量进入^[13], 增强植株的耐盐性。但因土壤盐分的影响, 随着N、P肥用

量增加, 尽管与各土壤盐分下的对照相比, 油葵籽粒的增产幅度相差不大, 但因盐分含量高的土地成本低, 油葵籽粒增产而产生的效益将远高于肥料投入成本。盐肥交互效应对油葵株高、茎粗、盘径、盘重、茎叶重、根重和籽粒产量的影响说明在盐土下, 一方面, 盐分胁迫阻碍了油葵的生长发育, 另一方面, 由于盐分胁迫进而影响了养分离子向油葵地上部的运输, 整体表现为生物产量的降低, 而通过施肥能够缓解土壤盐分的抑制作用, 在 S2 下, 施一定量的 N、P 肥, 油葵株高、茎粗、盘径、盘重、茎叶重、根重和籽粒产量较 S1 下的对照均得到了显著增加。海涂盐土生态系统是一个复杂的生态体系, 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, 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, 如何在盐土上科学地使用肥料, 充分发挥肥料的激励机制和协

同效应, 提高资源的利用效率, 需进行进一步深入研究, 从而创建适用技术规程。

参考文献:

- [1] 郑青松, 陈刚, 刘玲, 刘兆普. 盐胁迫对油葵种子萌发和幼苗生长及离子吸收、分布的效应. 中国油料作物学报, 2005, 27(1): 60-65
- [2] 唐奇志, 刘兆普, 刘玲, 陈铭达. 海侵地区海水灌溉对油葵 G101 生长及离子分布的影响. 植物生态学报, 2005, 29(6): 1000-1006
- [3] 刘学彬, 范荣. 美国油葵高产栽培技术. 世界农业, 1997(2): 34-35
- [4] 闵恩泽. 以植物油为原料发展我国生物柴油炼油厂的探讨. 石油学报(石油加工), 2005, 21(3): 25-28
- [5] 梅德清, 袁银南, 孙平, 张文利. 植物油作为发动机燃料及生物柴油制备的研究. 小型内燃机与摩托车, 2005, 34(3): 24-27
- [6] 潘晓华, 刘水英, 李锋, 李木英. 低磷胁迫对不同水稻品种幼苗光合作用的影响. 作物学报, 2003, 29(5): 770-774
- [7] 张旺锋, 王振林, 余松烈, 李少昆, 曹连莆, 王登伟. 氮肥对新疆高产棉花群体光合性能和产量形成的影响. 作物学报, 2002, 28(6): 789-796
- [8] 彭长连, 林植芳, 林桂珠. 磷素利用效率不同小麦的光合作用和水分利用效率. 作物学报, 2000, 26(5): 543-548
- [9] 王景艳, 邓力群, 隆小华, 刘玲, 刘兆普. 滨海盐渍化土壤引种油葵的试验研究. 土壤, 2008, 40(1): 121-124
- [10] 沈振国, 沈其荣, 管红英, 王震宇, 沈康. NaCl 胁迫下氮素营养与小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
- [11] Legha PK, Giri G, Potegal M. 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
- [12] 邓力群, 刘兆普, 程爱武, 沈其荣, 陈铭达. 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 (4): 61-65
- [13] Cramer GR, Lauchli A, Polito VS. Displacement of Ca^{2+} and Na^{+} from the plasmalemma of root cells. Plant Physiology, 1985, 79: 207

Study on Coupling Effect of Salt and Fertilizer Application on Oil Sunflower in Salt Soil of Subei Coastal Mudflat

HONG Li-zhou¹, LONG Xiao-hua², LIU Ling², LI Qing², LI Hong-yan², SUN Lei², LIU Zhao-pu²

(1 Institute of Yancheng Agricultural Sciences, Yancheng, Jiangsu 224002, China;

2 Key Laboratory of Marine Biology, Jiangsu Province, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China)

Abstract: A field experiment was carried out in the coastal mudflat in Yancheng, Jiangsu Province to study the coupling effects of salt and fertilizer application on oil sunflower in different concentrations salt soil in 2008. The results were as follows: ① Compared to the S1 (the salt concentration of soil was 1.3-1.6 g/kg), there was no significant decrease of oil sunflower seed yield in S2 (the salt concentration of soil was 2.9-3.6 g/kg). The seed yield of oil sunflower decreased with the increase of salt concentration of soil (the salt concentration of soil was 5.9-6.8 g/kg). The biological yields of stem and leaf, root, height of stem changed similarly to seed yield with the change of salt concentration of soil. The biological yield and the height of stem increased with the increase of N and P additions. ② The effects of N and P additions increased with the increase of salt concentration of soil. The oil sunflower' main stem became longer and thicker with the increase of N and P. The changes of the diameter and weight of disc, shoot and root were similar to the stem with the increase of N and P in soil with different salt concentrations. ③ The variance analysis showed that the effects of salt concentration of soil, fertilizers of N and P, interact of salt and interact of fertilizer N and P were significant at the level of $F_{0.05}$ and $F_{0.01}$. Through the analysis of alternant effects, the factors for the yields was salt concentration of soil, then followed by fertilizers of N and P.

Key words: Saline soil, Salt and fertilizer coupling, Oil sunflower