

DOI: 10.3724/SP.J.1006.2008.02033

## 滨海盐渍土抗虫棉养分吸收和干物质积累特点

辛承松 董合忠 唐 薇 张冬梅 罗 振 李维江

(山东棉花研究中心 / 山东省棉花栽培生理重点实验室, 山东济南 250100)

**摘 要:** 以转 *Bt* 基因抗虫棉(*Gossypium hirsutum* L.)中早熟品种鲁棉研 18 和早熟品种鲁棉研 19 为材料, 对黄河三角洲滨海盐渍土高、中、低产田抗虫棉的主要养分吸收、光合速率和干物质积累特点进行了研究。结果表明, 中、低产田抗虫棉的主要养分吸收量显著低于高产田, 而养分生理利用效率显著高于高产田。高、中、低产田抗虫棉的氮素生理利用效率分别为 4.81、6.33 和 8.05 kg 皮棉 kg<sup>-1</sup> N, 磷素生理利用效率分别为 28.57、40.06 和 50.48 kg 皮棉 kg<sup>-1</sup> P, 钾素生理利用效率分别为 9.16、11.58 和 12.76 kg 皮棉 kg<sup>-1</sup> K。养分吸收比例总体上 N 高于 K, 更明显高于 P。中、低产田抗虫棉的净光合速率和生物产量明显低于高产田, 皮棉产量也显著低于高产田, 分别低 12.44% 和 36.93%, 但棉柴比显著高于高产田。表明滨海盐渍土中、低产田的盐分高而养分有效性和供应能力差, 影响抗虫棉的养分吸收和光合作用, 进而阻碍棉花生长发育和干物质积累。滨海盐渍土棉田经济施肥的原则是保证中、低产田的肥料供应, 高产田重施 P、K 肥, 低产田重施 N、P 肥。

**关键词:** 抗虫棉; 滨海盐渍土; 养分吸收; 干物质积累; 养分生理利用效率

## Characteristics of Nutrient Assimilation and Dry Matter Accumulation of *Bt* Cotton (*Gossypium hirsutum* L.) in Coastal Saline Soil

XIN Cheng-Song, DONG He-Zhong, TANG Wei, ZHANG Dong-Mei, LUO Zhen, and LI Wei-Jiang

(Cotton Research Center, Shandong Academy of Agricultural Sciences / Key Lab for Cotton Culture and Physiology of Shandong Province, Jinan 250100, Shandong, China)

**Abstract:** The deficiency and disequilibrium of nutrient in coastal saline soil seriously hinder growth and development of cotton. It is urgent and necessary to study on changes of nutrient assimilation, nutrient use efficiency and dry matter accumulation of *Bt* cotton by measuring nutrient content and dry matter weight of different plant organs. And it can provide an important basis and guidance for economic application on fertilizers and nutrition improvement of *Bt* cotton in coastal saline soil. The experiments were conducted with two *Bt* cotton cultivars, spring cotton SCRC18 and short-season cotton SCRC19, in three types of coastal saline fields, high-, middle- and low-yield, in Yellow River Delta, Shandong province. The nutrient (N, P and K) assimilation, net photosynthetic rate ( $P_n$ ) and dry matter accumulation characteristics were investigated. The results showed that main nutrient uptake of *Bt* cotton in middle- and low-yield fields was significantly lower than that in high-yield field. But nutrient use efficiency in physiology (NUEp) in middle- and low-yield fields was significantly higher than that in high-yield field. Average NUEp of *Bt* cotton in high-, middle- and low-yield fields was 4.81, 6.33, and 8.05 kg Lint kg<sup>-1</sup> N, 28.57, 40.06, and 50.48 kg Lint kg<sup>-1</sup> P, and 9.16, 11.58, and 12.76 kg Lint kg<sup>-1</sup> K, respectively. Generally, N was higher than K, and much higher than P in nutrient uptake ratio.  $P_n$  and biomass yield of *Bt* cotton in middle- and low-yield fields were obviously lower than those in high-yield field. And lint yield in middle- and low-yield fields was by 12.44% and 36.93% lower, respectively, than that in high-yield field. However, the ratio of seed cotton to straw in middle- and low-yield fields was significantly higher than that in high-yield field. Further analysis indicated, there were high salt content, and poor availability and supply capacity of nutrient in middle- and low-yield fields in coastal saline soil. These factors inhibited the nutrient assimilation and photosynthesis, and hindered growth and dry matter accumulation of *Bt* cotton. It was recommended that low- and middle-yield fields should have precedence over high-yield field in fertilization. It was also suggested that more P and K fertilizers should be applied in high-yield field, while more N and P

基金项目: 公益性行业(农业)科研专项计划(nyhyzx07-005-02); 山东省农科院高技术自主创新基金项目(2006YCX009, 2007YCX024-03); 国家人事部留学回国人员择优资助科技项目(2005-05)

作者简介: 辛承松(1963–), 男, 山东安丘人, 硕士, 研究员, 主要从事棉花生理与栽培技术研究。Tel: 0531-83179114; E-mail: xinchengsong@yahoo.com.cn

Received(收稿日期): 2008-01-15; Accepted(接受日期): 2008-06-07.

fertilizers should be applied in low-yield field, according to characteristics of nutrient assimilation of *Bt* cotton and soil fertility in coastal saline soil.

**Keywords:** *Bt* cotton; Coastal saline soil; Nutrient assimilation; Dry matter accumulation; Nutrient use efficiency in physiology

山东滨海盐碱地主要分布在渤海湾南岸, 黄河三角洲扇裙和莱州湾沿岸, 总面积约 80 万公顷, 现已开垦或改良后植棉的盐碱地棉田约 30 万公顷<sup>[1-3]</sup>。一般认为, 山东滨海盐碱地“有机质含量低, 并且缺氮、贫磷、富钾”<sup>[3]</sup>。而近期的研究则表明<sup>[4]</sup>, 该区高产田的有机质含量较高, 中产和低产田的有机质则偏低; 高产和中产田的碱解氮含量较高, 低产田则偏低; 不同类型盐渍土棉田的速效磷含量普遍偏低, 而低产田的速效钾含量较高。总体来看, 只有低产盐碱地符合“有机质含量低、缺氮、贫磷、富钾”的传统观点。目前, 滨海盐渍棉田的土壤含盐量多在 0.2%~0.6% 之间<sup>[3-4]</sup>。盐碱地土壤盐分较高、养分缺乏以及养分不平衡等均可影响棉花的养分吸收、光合作用和生长发育, 不利于棉花产量和品质的提高<sup>[4-10]</sup>。有关棉花营养与施肥方面的研究, 过去主要集中在非盐碱地和非抗虫棉, 迄今对盐碱地抗虫棉需肥特点和施肥技术方面的研究较少, 而且近 10 多年来, 山东滨海盐渍棉田的规模、耕作制度和生产条件等都有变化<sup>[2-4]</sup>, 盐渍土抗虫棉的施肥技术需要进一步研究和制定。本文在黄河三角洲大田条件下研究了不同产量水平盐渍土抗虫棉的养分吸收、干物质积累与光合特性, 以期对盐渍土抗虫棉科

学施肥提供依据。

1 材料与方法

1.1 试验田选择

2004 年 9 月在山东省东营市东营区牛庄镇岳家村西北 1 000 m 处, 通过观测田间棉花长相和初测土壤含盐量, 确定 3 块含盐量不同的棉田作为试验田。第 1 块约 0.26 hm<sup>2</sup>, 初测含盐量 0.50% 左右, 是新开垦植棉的盐碱地, 当年种植的棉花品种为鲁棉研 18; 第 2 块约 0.33 hm<sup>2</sup>, 初测含盐量 0.30% 左右, 种植棉花约 4 年, 当年种植的是从中棉所引进的一个棉花新品系; 第 3 块约 0.27 hm<sup>2</sup>, 初测含盐量 0.15% 左右, 已种植棉花 8 年以上, 当年种植的棉花品种为鲁棉研 22。以上 3 块地相距 200~500 m, 皆有一定的灌排条件, 依据初测含盐量和产量将其分别作为低产田(含盐量接近 0.50%)、中产田(含盐量 0.30%~0.35%)和高产田(含盐量 0.20% 以下)安排试验。2004 年 10 月 12 日分别取上述 3 块地 0~20 cm 土层的土壤, 分析土壤盐分、有机质和养分含量。同时每块地随机选 5 个点, 每点调查 6.67 m<sup>2</sup> 的棉株数、铃数, 收获籽棉晒干称重, 轧花后计算衣分和皮棉产量(表 1)。

表 1 2004 年 3 类试验田盐分、养分含量和棉花产量  
Table 1 Contents of salt, nutrients, and cotton yield in three types of soil in 2004

棉田类型 Field type	盐分 Salinity (%)	有机质 Organic matter (%)	碱解氮 Available N (mg kg <sup>-1</sup> )	有效磷 Available P (mg kg <sup>-1</sup> )	有效钾 Available K (mg kg <sup>-1</sup> )	子棉产量 Seed cotton yield (kg hm <sup>-2</sup> )	皮棉产量 Lint yield (kg hm <sup>-2</sup> )
高产田 HYF	0.121 c	1.09 a	36.6 a	17.5 a	109 b	3675 a	1507 a
中产田 MYF	0.313 b	0.82 b	29.1 b	15.1 a	116 b	2582 b	1007 b
低产田 LYF	0.489 a	0.65 c	13.8 c	6.5 b	178 a	1440 c	544 c

同列中标以不同字母的数据在 0.05 水平上差异显著。

Values followed by a different letter within a column are significantly different at the 0.05 probability level. HYF, MYF, and LYF represent high-, middle-, and low-yield fields, respectively.

1.2 试验设计

于 2005 和 2006 年分别在 3 块棉田的中央划出约 450 m<sup>2</sup> 作为试验用地, 种植 *Bt* 抗虫棉(*Gossypium hirsutum* L.)中早熟品种鲁棉研 18 和早熟品种鲁棉研 19, 共 6 个处理, 即鲁棉研 18 的高产田、中产田、低产田, 鲁棉研 19 的高产田、中产田、低产田, 随机排列, 重复 3 次, 小区面积 66.7 m<sup>2</sup>。由于两年试

验结果趋势基本相同, 为简便起见, 所有指标皆取两年的平均值。

1.3 田间管理

根据当地水源状况, 于 3 月 16~18 日灌淡水压盐, 4 月 25~27 日压盐水消退后均匀撒施三元复合肥(10% N、30% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>、10% K<sub>2</sub>O) 75 kg hm<sup>-2</sup>, 随即耕翻耙平。于 4 月 28 日采用小型播种机条播鲁棉研

18, 5 月 18 日播种鲁棉研 19, 行距皆为 75 cm。播种后盖膜, 出苗后放苗, 在第 2 片真叶展开后定苗, 留苗密度鲁棉研 18 为 4.80 株 m<sup>-2</sup>, 鲁棉研 19 为 6.30 株 m<sup>-2</sup>。试验田不再追肥, 中耕、整枝、浇水、排水、化控和治虫等管理措施按常规进行。

1.4 测定项目和方法

在主要生育时期每小区随机选 10 株(中间两行除外), 拔出后带回室内分器官烘干称重; 吐絮后在每小区中间两行随机选 20 株, 统计铃数, 分 3 次收获子棉, 风干称重、测铃重, 轧花后计算衣分和产量。参照文献[11]分析测定土壤盐分、有机质、碱解氮、有效磷和有效钾及棉株样品全 N、P、K 含量。选晴天于上午 9:00~11:00 以 Li-6400 光合测定系统(LI-COR Inc.,USA)测定棉株主茎倒 4 叶的净光合速率, 每个小区测 5 株棉花, 取平均值。

2 结果与分析

2.1 N、P、K 养分吸收积累量

由表 2 看出, 两个品种在高、中、低产田吸收

积累 N、P、K 的总量均随生育期的推进而增加。现蕾期之前, 高、中、低产田的鲁棉研 18 单株 N 吸收积累量分别占吐絮期吸收总量的 4.9%、6.6%和 10.1%, P 分别占 2.3%、2.3%和 3.0%, K 分别占 4.0%、4.8%和 7.3%; 鲁棉研 19 单株 N 吸收积累量则分别占吐絮期的 2.2%、3.1%和 4.6%, P 分别占 1.5%、1.6%和 2.0%, K 分别占 2.6%、3.1%和 3.0%。花铃期之前, 高、中、低产田的鲁棉研 18 单株 N 吸收积累量分别占吐絮期的 79.8%、92.3%和 73.7%, P 分别占 53.9%、55.8%和 45.0%, K 分别占 76.7%、63.2%和 54.1%; 鲁棉研 19 单株 N 吸收积累量则分别占吐絮期的 60.3%、78.0%和 64.5%, P 分别占 47.5%、64.1%和 52.5%, K 分别占 64.6%、67.3%和 66.2%。从总体变化趋势看, 各生育时期棉花营养器官、生殖器官和全株 N、P、K 吸收积累量均是高产田>中产田>低产田, 差异显著。现蕾期之前, 两个品种均以 N 素代谢为中心, 其次是 K 素, 最小的是 P 素; 现蕾期至花铃期, 棉株 N、P、K 吸收积累量显著增加; 花铃期至吐絮期, 棉株生殖器官的 N、P、K 积累量明显增多。

表 2 各生育时期棉花主要养分积累量  
Table 2 The amount of main nutrient accumulation in various plant organs of cotton at different stages

时期 Stage	处理 Treatment	氮 N (mg plant <sup>-1</sup> )			磷 P (mg plant <sup>-1</sup> )			钾 K (mg plant <sup>-1</sup> )		
		营养器官	生殖器官	全株	营养器官	生殖器官	全株	营养器官	生殖器官	全株
		VO	RO	Total	VO	RO	Total	VO	RO	Total
鲁棉研 18 SCRC18										
蕾期 Squaring	高产田 HYF	122.9 a		122.9 a	10.0 a		10.0 a	53.2 a		53.2 a
	中产田 MYF	117.4 b		117.4 b	7.6 b		7.6 b	44.8 b		44.8 b
	低产田 LYF	96.8 c		96.8 c	5.1 c		5.1 c	45.1 b		45.1 b
花铃期 Boll-setting	高产田 HYF	1435.8 a	545.9 a	1981.7 a	142.6 a	91.6 a	234.2 a	666.6 a	357.4 a	1024.0 a
	中产田 MYF	1162.9 b	485.9 b	1648.8 b	101.7 b	81.0 b	182.7 b	327.8 b	263.8 b	591.6 b
	低产田 LYF	479.4 c	227.9 c	707.3 c	39.9 c	37.6 c	77.5 c	211.5 c	123.4 c	334.9 c
吐絮期 Boll-opening	高产田 HYF	1240.7 a	1243.8 a	2484.5 a	194.8 a	240.0 a	434.8 a	791.5 a	543.1 a	1334.6 a
	中产田 MYF	784.3 b	1001.8 b	1786.1 b	131.5 b	196.2 b	327.7 b	455.8 b	479.9 b	935.7 b
	低产田 LYF	373.9 c	585.4 c	959.3 c	69.3 c	103.1 c	172.4 c	320.9 c	298.0 c	618.9 c
鲁棉研 19 SCRC19										
蕾期 Squaring	高产田 HYF	34.2 a		34.2 a	4.0 a		4.0 a	20.9 a		20.9 a
	中产田 MYF	34.1 a		34.1 a	2.5 b		2.5 b	18.8 b		18.8 b
	低产田 LYF	27.6 b		27.6 b	1.7 c		1.7 c	11.2 c		11.2 c
花铃期 Boll-setting	高产田 HYF	749.0 a	208.3 a	957.3 a	83.5 a	39.5 a	123.0 a	395.3 a	133.0 a	528.3 a
	中产田 MYF	656.1 b	189.2 b	845.3 b	66.2 b	32.3 b	98.5 b	296.4 b	117.8 b	414.2 b
	低产田 LYF	260.9 c	122.1 c	383.0 c	25.9 c	19.7 c	45.6 c	135.0 c	108.8 c	243.8 c
吐絮期 Boll-opening	高产田 HYF	784.5 a	803.7 a	1588.2 a	112.1 a	147.0 a	259.1 a	449.5 a	368.6 a	818.1 a
	中产田 MYF	379.7 b	704.3 b	1084.0 b	46.2 b	107.5 b	153.7 b	309.6 b	305.6 b	615.2 b
	低产田 LYF	193.3 c	400.6 c	593.9 c	24.1 c	62.8 c	86.9 c	163.4 c	205.1 c	368.5 c

同品种同生育时期内标以不同字母的数据在 0.05 水平上差异显著。  
Values of the same cultivar at the same growing stage followed by a different letter are significantly different at the 0.05 probability level. VO: vegetative organs; RO: reproductive organs; HYF: high-yield fields; MYF: middle-yield fields; LYF: low-yield fields.

2.2 N、P、K 养分吸收比例、吸收量和生理利用效率

表 3 表明, 棉花 N、P、K 吸收比例和吸收量, 因产量水平和品种类型而有明显差异。总体上看, 养分吸收比例 N 高于 K, 更明显高于 P, P 和 K 所占比例随生育进程的推进逐渐加大; 中、低产田棉花 N、P、K 吸收量显著低于高产田。养分生理利用效率是

指棉株吸收积累单位养分元素所生产的皮棉量。在高、中、低产田中, 鲁棉研 19 的养分生理利用效率皆明显高于鲁棉研 18; 两个品种平均氮素生理利用效率分别为 4.81、6.33 和 8.05 kg 皮棉 kg<sup>-1</sup> N, 磷素生理利用效率分别为 28.57、40.06 和 50.48 kg 皮棉 kg<sup>-1</sup> P, 钾素生理利用效率分别为 9.16、11.58 和 12.76 kg 皮棉 kg<sup>-1</sup> K, 差异显著。

表 3 不同类型棉田棉花 N、P、K 养分吸收比例、吸收量和生理利用效率  
Table 3 The ratio and uptake of nutrients, nutrient use efficiency in physiology of cotton grown in different types of soil

时期 Stage	处理 Treatment	养分吸收比例 Nutrient uptake ratio (N:P:K)	养分吸收量			养分生理利用效率(kg 皮棉 kg <sup>-1</sup> 养分)		
			Nutrient uptake (kg hm <sup>-2</sup> )			NUEp (kg Lint kg <sup>-1</sup> Nutrient)		
			N	P	K	N	P	K
鲁棉研 18 SCRC18								
蕾期 Squaring	高产田 HYF	1:0.08:0.43	5.89 a	0.48 a	2.55 a			
	中产田 MYF	1:0.06:0.38	5.64 a	0.36 a	2.14 a			
	低产田 LYF	1:0.05:0.47	4.65 b	0.24 b	2.16 a			
花铃期 Boll-setting	高产田 HYF	1:0.12:0.52	96.46 a	11.23 a	49.15 a			
	中产田 MYF	1:0.11:0.36	79.14 b	8.77 b	28.39 b			
	低产田 LYF	1:0.11:0.47	33.94 c	3.72 c	16.08 c			
吐絮期 Boll-opening	高产田 HYF	1:0.18:0.54	119.25 a	20.86 a	64.06 a	4.40 c	25.14 c	8.19 b
	中产田 MYF	1:0.18:0.52	85.74 b	15.73 b	44.91 b	5.74 b	31.31 b	10.97 a
	低产田 LYF	1:0.18:0.65	46.05 c	8.28 c	29.71 c	7.18 a	39.97 a	11.13 a
鲁棉研 19 SCRC19								
蕾期 Squaring	高产田 HYF	1:0.12:0.61	2.16 a	0.25 a	1.32 a			
	中产田 MYF	1:0.07:0.55	2.14 a	0.16 b	1.18 a			
	低产田 LYF	1:0.06:0.41	1.74 a	0.10 b	0.70 a			
花铃期 Boll-setting	高产田 HYF	1:0.13:0.55	60.31 a	7.75 a	33.28 a			
	中产田 MYF	1:0.12:0.49	53.25 b	6.21 b	26.10 b			
	低产田 LYF	1:0.12:0.64	24.13 c	2.88 c	15.36 c			
吐絮期 Boll-opening	高产田 HYF	1:0.16:0.52	100.05 a	16.32 a	51.54 a	5.22 c	32.00 c	10.13 c
	中产田 MYF	1:0.14:0.57	52.03 b	9.69 b	38.76 b	6.92 b	48.80 b	12.19 b
	低产田 LYF	1:0.15:0.62	37.41 c	5.47 c	23.22 c	8.92 a	60.99 a	14.38 a

由表 2 与表 4 有关数据计算得表 3。同品种同生育时期内标以不同字母的数据在 0.05 水平上差异显著。缩写同表 2。  
Values in Table 3 are calculated from the relevant values in Table 2 and Table 4. Values of the same cultivar at the same stage followed by a different letter are significantly different at the 0.05 probability level. NUEp: nutrient use efficiency in physiology. The other abbreviations as in table 2.

2.3 不同处理棉株的干物重和棉柴比

由表 4 看出, 两个品种在高、中、低产田的干物质积累量存在明显差异, 均是高产田>中产田>低产田。高、中、低产田两品种平均蕾期单株干物重分别占吐絮期干物质总重的 2.62%、2.94%和 4.48%; 花铃期则分别占 51.93%、58.84%和 63.23%, 均是高产田<中产田<低产田, 这与干物质积累量恰好相反。棉柴比是棉花经济系数的指标, 能反映营养生

长和生殖生长的相对强弱, 鲁棉研 19 的棉柴比高于鲁棉研 18, 而且棉柴比以低产田最高, 高产田最低, 中产田介于二者之间, 差异显著。虽然低产田棉花的经济系数高, 但因营养生长差, 生物产量低, 经济产量也较低。

2.4 不同处理的棉花产量及其构成因素变化

表 5 表明, 中、低产田的皮棉产量与高产田比较, 鲁棉研 18 分别低 10.97%和 43.13%, 鲁棉研 19

则分别低 13.90% 和 30.72%，两品种平均分别低 12.44% 和 36.93%，差异显著。从产量构成因素看，皮棉产量的差异主要是铃数不同造成的，其次是铃重，衣分差别不大。在高、中产田种植中早熟品种(鲁棉研 18)的产量高于早熟品种(鲁棉研 19)，而在低产田则是早熟品种的产量高于中早熟品种。

表 4 不同处理棉株的干物重和棉柴比  
Table 4 The dry matter weight of cotton plants and ratio of seed cotton to straw in different treatments

时期 Stage	处理 Treatment	根 Root (g plant <sup>-1</sup> )	茎枝 SB (g plant <sup>-1</sup> )	叶 Leaf (g plant <sup>-1</sup> )	蕾花幼铃 SFB (g plant <sup>-1</sup> )	铃壳 Boll shell (g plant <sup>-1</sup> )	棉籽 Seed (g plant <sup>-1</sup> )	皮棉 Lint (g plant <sup>-1</sup> )	全株 Total (g plant <sup>-1</sup> )	棉柴比 SCSTR
鲁棉研 18 SCRC18										
蕾期 Squaring	高产田 HYF	0.41 a	1.36 a	2.17 a					3.94 a	
	中产田 MYF	0.37 a	1.23 a	1.95 a					3.55 a	
	低产田 LYF	0.33 a	1.20 a	1.83 a					3.36 a	
花铃期 Boll-setting	高产田 HYF	7.28 a	25.40 a	22.24 a	13.09 a				68.00 a	
	中产田 MYF	6.95 b	20.62 b	20.80 a	12.27 a				60.64 b	
	低产田 LYF	5.65 c	13.28 c	10.36 b	8.17 b				37.46 c	
吐絮期 Boll-opening	高产田 HYF	16.95 a	29.04 a	20.59 a		15.23 a	17.82 a	10.93 a	110.56 a	0.35 c
	中产田 MYF	10.76 b	28.03 b	11.42 b		12.97 b	16.74 a	10.26 a	90.18 b	0.43 b
	低产田 LYF	6.26 c	16.59 c	6.79 c		7.89 c	11.24 b	6.89 b	55.66 c	0.48 a
鲁棉研 19 SCRC19										
蕾期 Squaring	高产田 HYF	0.16 a	0.38 a	0.74 a					1.28 a	
	中产田 MYF	0.12 a	0.34 a	0.60 a					1.06 a	
	低产田 LYF	0.10 a	0.32 a	0.58 a					1.00 a	
花铃期 Boll-setting	高产田 HYF	4.23 a	11.44 a	11.26 a	5.34 a				32.27 a	
	中产田 MYF	3.85 a	9.79 b	9.08 b	4.89 a				27.61 b	
	低产田 LYF	3.76 a	7.07 c	5.38 c	4.03 b				20.24 c	
吐絮期 Boll-opening	高产田 HYF	9.51 a	24.03 a	12.18 a		9.78 a	12.43 a	8.29 a	76.22 a	0.37 c
	中产田 MYF	6.34 b	16.88 b	4.15 b		8.63 a	11.24 a	7.50 a	54.74 b	0.52 b
	低产田 LYF	4.01 c	9.42 c	2.92 c		4.63 b	7.94 b	5.30 b	34.22 c	0.63 a

棉柴比为籽棉(棉籽+皮棉)与棉柴(根+茎枝+叶+铃壳)的重量之比。同品种同生育时期内标以不同字母的数据在 0.05 水平上差异显著。

SB: the dry weight of stem and branches; SFB: dry weight of reproductive organs (squares+flowers+young bolls); SCSTR: dry weight ratio of seed cotton (seed+lint) to straw (root+stem+branches+leaves+boll shell). Values of the same cultivar at the same stage followed by a different letter are significantly different at the 0.05 probability level.

表 5 不同处理的棉花产量及其构成因素  
Table 5 Cotton yield and yield components in different treatments

处理 Treatment	密度 Plants per m <sup>2</sup>	单株结铃数 Bolls per plant	总铃数 Bolls per m <sup>2</sup>	铃重 Boll weight (g)	衣分 Lint percentage (%)	皮棉产量 Lint yield (kg hm <sup>-2</sup> )
鲁棉研 18 SCRC18						
高产田 HYF	4.80	17.6	84.48 a	4.43	38.3	1433 a
中产田 MYF	4.80	16.0	76.80 b	4.35	38.2	1276 b
低产田 LYF	4.80	10.9	52.32 d	4.10	38.0	815 e
鲁棉研 19 SCRC19						
高产田 HYF	6.30	12.3	77.49 b	4.13	40.0	1280 b
中产田 MYF	6.30	10.8	68.04 c	4.05	40.0	1102 c
低产田 LYF	6.30	9.0	56.70 d	3.92	39.9	887 d

同列中标以不同字母的数据在 0.05 水平上差异显著。  
Values followed by a different letter within a column are significantly different at the 0.05 probability level.

### 3 讨论

#### 3.1 盐渍土抗虫棉的营养状况和施肥原则

棉花对养分的吸收随棉株生长和根系扩展,从苗期到盛花期逐步增加,至盛花期达到高峰,到吐絮期开始下降<sup>[12]</sup>。本研究发现,棉花吸收积累的N、P、K总量,低产棉花比高产棉花明显偏少。虽然低产田土壤中K含量高于中、高产田,但一方面N和P的含量偏低,另一方面土壤中较高的盐分影响棉花对养分的吸收<sup>[4-5,13]</sup>,总体上低产田的有效养分供应相对不足,这是棉花产量低的重要原因。换言之,降低盐渍土棉田盐分含量并不断培肥地力,是提高盐渍土棉花产量的重要途径<sup>[14]</sup>。

选定的高、中、低产田基本代表了轻度和中度滨海盐渍棉田的状况,本研究发现不同类型棉田、不同品种及其各生育阶段对N、P、K的吸收量和比例均不同,棉花产量与吸收利用养分的多少和效率密切相关,总体上棉花的生物产量和皮棉产量随着养分吸收量的增多而增加,但养分利用效率降低。一般随土壤养分有效性的降低,植物的养分利用效率增大<sup>[15-16]</sup>。本研究还发现,盐渍土抗虫棉N、P、K吸收比例为1 0.17 0.57,而非盐碱地常规棉花N、P、K吸收比例为1 0.15 0.67<sup>[12]</sup>,盐渍土抗虫棉吸收的P高于非盐碱地常规棉花,但吸收的K却低于非盐碱地常规棉花,说明滨海盐渍土抗虫棉应特别强调增施P肥。此外,由于低产盐渍棉田有效K含量较高,可少施K肥;而中、高产田有效K含量较低,应增施K肥。低产田棉花虽然经济系数高,但因光合速率偏低,营养生长差,生物产量较低,难以承载更高的经济产量,提示低产田还应增施N肥。棉花合理施肥就是依据棉花养分吸收特点,结合土壤肥力状况和环境条件,以及棉花长相长势运筹肥料。据此,滨海盐渍土抗虫棉施肥的基本原则是高产田重施P、K肥,低产田重施N、P肥。

#### 3.2 盐胁迫对棉花养分吸收利用的影响

棉花的盐害在于渗透胁迫、盐离子毒害和营养失衡的共同作用,盐胁迫所致伤害的大致过程是,盐胁迫引起生理干旱、离子毒害和营养失调,影响生理生化代谢,影响棉花生长发育,降低棉株体的生物产量和经济产量<sup>[8]</sup>。土壤中积盐过多,会阻止棉花对一些必需营养元素的吸收,导致营养亏缺,造成代谢失调。盐胁迫对棉花蛋白质代谢影响很大,

主要表现在盐分抑制氮的吸收,同时植株体内的蛋白质和氨基酸的合成速率降低,而蛋白质的分解速率加快,导致蛋白质的含量降低<sup>[17]</sup>。棉株体内氮代谢被破坏的原因之一是转氨酶活性变化<sup>[18-19]</sup>。盐胁迫也影响核酸代谢,氯盐显著影响棉花对磷酸盐的吸收利用,这是因为棉花吸收氯化物要比吸收磷酸盐容易,而且氯盐对磷由根向地上部的运转有抑制作用<sup>[17]</sup>。由于磷是构成DNA和RNA的重要元素,盐胁迫下核糖核酸酶的活性提高,加速核酸的降解<sup>[17]</sup>。盐胁迫显著降低棉苗对钙、镁、铜、锌、铁、钾的吸收<sup>[20]</sup>,NaCl胁迫显著降低棉苗叶片和根系钙、钾、镁、磷、锰等的含量,而铁、锌、铜的含量却有所提高<sup>[21]</sup>。本研究发现盐渍土低产田的盐分含量显著高于高产田,棉株N、P、K吸收积累量为低产田<中产田<高产田,这与前人报道<sup>[8,20-21]</sup>类似,进一步证实盐胁迫对棉花主要养分吸收具有显著的抑制效应。

虽然土壤中过多的盐分影响棉花对钾的吸收利用,但是本研究结果却显示在低产棉田吸钾的比例明显高于中、高产田。究其原因,可能在于低产田土壤中有有效K含量显著高于中、高产田,而碱解N和有效P含量却比较低(表1),低产田的K营养供应比较充足,而N和P营养比较缺乏。Na<sup>+</sup>与K<sup>+</sup>具有部分替代性<sup>[22-24]</sup>,由于低产田K<sup>+</sup>含量较高,使棉株可以吸收积累较多的K<sup>+</sup>,而棉花吸收较多的K<sup>+</sup>可部分替代Na<sup>+</sup>,在一定程度上减轻了Na<sup>+</sup>的危害,显示出棉花具有较强的自身调节和保护能力。

#### 3.3 盐胁迫对棉花光合作用的影响

盐胁迫明显抑制棉花的光合作用,NaCl胁迫下棉叶光期CO<sub>2</sub>固定量和24h后的CO<sub>2</sub>净同化量显著降低<sup>[25-26]</sup>;盐胁迫可显著降低叶片的光合速率,盐离子浓度升高与光合降低有较高的相关性<sup>[27]</sup>。不过,提高盐渍土养分含量(有机质、N、P、K等)可以显著缓解盐分的抑制效应<sup>[14]</sup>。棉叶光合速率的降低主要是非气孔因子的影响,同时也不排除气孔因子所起的作用<sup>[10,25,28]</sup>。本研究结果显示,抗虫棉各主要生育时期的净光合速率均随盐胁迫的加重而降低(图1),说明盐胁迫以及养分缺乏与失衡对棉花光合作用具有明显的抑制效应,进而影响棉花的生长发育和产量。土壤盐分高、养分供应相对不足是盐渍土低产田棉花光合速率低、干物质积累少、皮棉产量也较低的重要原因。

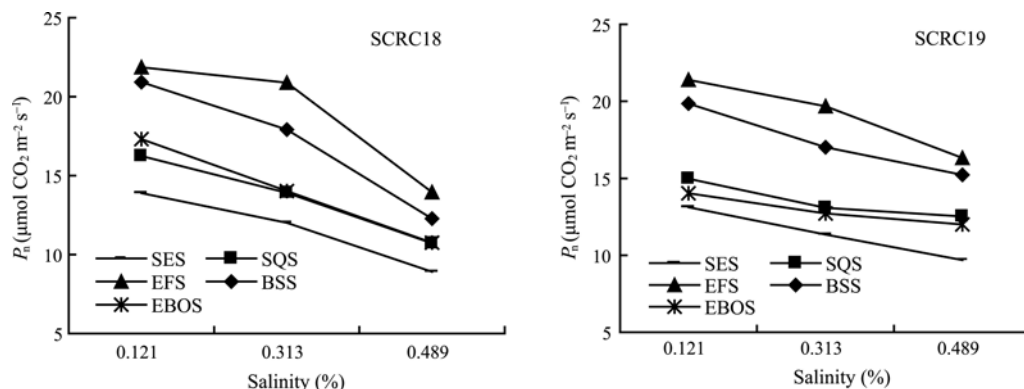


图 1 盐胁迫对抗虫棉各时期叶片净光合速率的影响

Fig. 1 Effects of salt stress on net photosynthetic rate ( $P_n$ ) of Bt cotton leaf at different stages

SES、SQS、EFS、BSS 和 EBOS 分别代表苗期、蕾期、初花期、花铃期和始絮期。

SES, SQS, EFS, BSS, and EBOS represent the seedling stage, squaring stage, early flowering stage, boll-setting stage, and early boll-opening stage, respectively.

盐胁迫降低土壤养分的有效性, 阻碍养分吸收利用。作物的光合作用受根系吸收养分的影响非常大, 养分高效利用的结果最终要落实到作物产量上, 而干物质积累和产量的形成离不开光合作用<sup>[8,13,27]</sup>。作物光合作用、干物质生产与养分利用率<sup>[29-30]</sup>密切相关。表明要提高盐渍土棉花产量和效益, 必须降低盐碱危害, 培肥地力以增强土壤养分的平衡供给能力, 从而提高土壤养分利用率, 提高光合效率。

#### 4 结论

滨海盐渍土抗虫棉的 N、P、K 吸收比例、吸收量和利用效率, 不同产量水平棉田和品种类型之间存在较大差异。中、低产田棉花的养分吸收量、净光合速率、生物产量和皮棉产量显著低于高产田, 而养分生理利用效率和棉柴比显著高于高产田。根据盐渍土抗虫棉养分吸收特点和土壤肥力特征, 高产田应重施 P、K 肥, 低产田应重施 N、P 肥; 在有限养分供给时, 应首先保证低产和中产盐渍土抗虫棉的肥料供应。

致谢: 感谢山东省东营市东营区牛庄镇岳家村张丽萍书记在田间试验中给予的多方支持。

#### References

- [1] Guan Y-X(关元秀), Liu G-H(刘高焕), Liu Q-S(刘庆生), Ye Q-H(叶庆华). The study on salt-affected soils in the Yellow River Delta based on remote sensing. *J Remote Sens* (遥感学报), 2001, 5 (1): 46–52(in Chinese with English abstract)
- [2] Guan Y-X(关元秀), Liu G-H(刘高焕). Remote sensing detection of dynamic variation of the saline land in the Yellow River Delta. *Remote Sens Land & Resour* (国土资源遥感), 2003, (2): 19–23(in Chinese with English abstract)
- [3] Li W-B(李文炳). Cotton in Shandong Province (山东棉花). Shanghai: Shanghai Sci & Tech Press, 2001. pp 407–435(in Chinese)
- [4] Dong H-Z(董合忠), Xin C-S(辛承松), Tang W(唐薇), Li W-J(李维江), Zhang D-M(张冬梅), Wen S-M(温四民). Seasonal changes of salinity and nutrients in the coastal saline soil in Dongying, Shandong, and their effects on cotton yield. *Cotton Sci* (棉花学报), 2006, 18(6): 362–366(in Chinese with English abstract)
- [5] Li K-Y(李宽意), Liu Z-W(刘正文), Hu Y-H(胡耀辉), Wu Q-L(吴庆龙). Analysis of soil chemical properties affecting crop yield in alkaline soil. *Jiangsu Agric Sci* (江苏农业科学), 2002, (3): 76–78(in Chinese)
- [6] Razzouk S, Whittington W J. Effects of salinity on cotton yield and quality. *Field Crops Res*, 1991, 26: 305–314
- [7] Ahmad S, Khan N, Iqbal M Z. Salt tolerance of cotton (*Gossypium Hirsutum* L.). *Asian J Plant Sci*, 2002, 1: 715–719
- [8] Xin C-S(辛承松), Dong H-Z(董合忠), Tang W(唐薇), Wen S-M(温四民). Physiological and molecular mechanisms of salt injury and salt tolerance in cotton. *Cotton Sci* (棉花学报), 2005, 17(5): 309–313(in Chinese with English abstract)
- [9] Sun X-F(孙小芳), Liu Y-L(刘友良), Chen Q(陈沁). Research progress on salt tolerance of cotton. *Cotton Sci* (棉花学报), 1998, 10(3): 118–124(in Chinese with English abstract)
- [10] Meloni D A, Oliva M A, Martinez C A, Cambraia J. Photosynthesis and activity of superoxide dismutase, peroxidase and glutathione reductase in cotton under salt stress. *Environ Exp Bot*, 2003, 49: 69–76
- [11] Li Y-K(李酉开), Jiang B-F(蒋柏藩), Yuan K-N(袁可能). General Analytical Methods of Soil Agrochemistry (土壤农业化学常规分析方法). Beijing: Science Press, 1983 (in Chinese)

- [12] Li J-Y(李俊义), Liu R-R(刘荣荣). Fertilizer Application in Balance and Nutrient Diagnosis of Cotton (棉花平衡施肥与营养诊断). Beijing: China Agric ScienTech Press, 1992. pp 31–46(in Chinese)
- [13] Ashraf M. Salt tolerance of cotton: Some new advances. *Critical Rev Plant Sci*, 2002, 21: 1–30
- [14] Xin C-S(辛承松), Dong H-Z(董合忠), Tang W(唐薇), Li W-J(李维江), Zhang D-M(张冬梅), Luo Z(罗振). Effects of coastal saline soils with different fertility on plant growth and development as well as physiological characteristics in cotton. *Cotton Sci* (棉花学报), 2007, 19(2): 124–128(in Chinese with English abstract)
- [15] Xing X-R(邢雪荣), Han X-G(韩兴国), Chen L-Z(陈灵芝). A review on research of plant nutrient use efficiency. *Chin J Appl Ecol* (应用生态学报), 2000, 11(5): 785–790(in Chinese with English abstract)
- [16] Wang X-H(王希华), Huang J-J(黄建军), Yang E-R(闫恩荣). Leaf nutrient use efficiency of some trees in Tiantong forest park. *Chin J Ecol* (生态学报), 2004, 23(4): 13–16(in Chinese with English abstract)
- [17] Liu J-D(刘金定), Zhu Z-Y(朱召勇), Fan B-X(樊宝香). Physiological express of cotton cultivars under stress of different salt content. *China Cotton* (中国棉花), 1995, 22(9): 16–17(in Chinese)
- [18] Dong H-Z(董合忠), Guo Q-Z(郭庆正), Li W-J(李维江), Chen X-L(陈秀兰). Cotton Cultivation under Stresses (棉花抗逆栽培). Jinan: Shandong Sci and Tech Press, 1997. pp 65–90(in Chinese)
- [19] Dong H-Z(董合忠), Li W-J(李维江), Wang L-M(王留明), Hu M-Y(呼孟银), Xu H-C(徐惠纯). Effects of NaCl stress on seedling physiology of different upland cotton cultivars. *J Laiyang Agric Coll* (莱阳农学院学报), 1997, 14(2): 85–89(in Chinese with English abstract)
- [20] Zhao X-L(赵学良), Zhang Y-C(张彦才). Effects of NaCl stress on nutrient element uptake and content of cotton seedling. *J Hebei Agric Univ* (河北农业大学学报), 1992, 15(2): 41–44(in Chinese with English abstract)
- [21] Chen Y-H(陈亚华), Shen Z-G(沈振国), Liu Y-L(刘友良), Chen M(陈梅). Ion homeostasis in NaCl-stressed cotton. *Cotton Sci* (棉花学报), 2001, 13(4): 225–229(in Chinese with English abstract)
- [22] Chen G-A(陈国安). Effect of sodium on cotton growth and potassium uptake and transfer. *Soils* (土壤), 2001, 33(3): 138–141(in Chinese)
- [23] Zhang Y-C(张彦才), Zhou X-F(周晓芬), Li Q-Y(李巧云), Zhai C-X(翟彩霞), Liu Q-Q(刘全清). The effects of partial replacement of potassium by sodium on cotton growth and nutrition absorption. *Plant Nutr Fert Sci* (植物营养与肥料学报), 2006, 31(1): 63–67(in Chinese with English abstract)
- [24] Tu S-X(涂书新), Guo Z-F(郭智芬), Zhang P(张平), Sun J-H(孙锦荷). Some advances of potassium uptake in plant. *Soils* (土壤), 2000, (5): 248–253(in Chinese)
- [25] Brugnoli E, Lauteri M. Effects of salinity on stomatal conductance, photosynthetic capacity and carbon isotope discrimination of salt-tolerant cotton (*Gossypium hirsutum* L.) and salt-sensitive bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Plant Physiol*, 1991, 95: 628–635
- [26] Hoffman G H, Phene C J. Effects of constant salinity levels on water use efficiency of bean and cotton. *Trans Am Soc Agric Eng*, 1971, 14: 1103–1106
- [27] Munns R. Comparative physiology of salt and water stress. *Plant Cell Environ*, 2002, 25: 239–250
- [28] Dunn G M, Neales T F. Are the effects of salinity on growth and leaf gas-exchange related. *Photosynthetica*, 1993, 29: 33–42
- [29] Zeng J-M(曾建敏), Cui K-H(崔克辉), Huang J-L(黄见良), He F(贺帆), Peng S-B(彭少兵). Responses of physio-biochemical properties to N-fertilizer application and its relationship with nitrogen use efficiency in rice (*Oryza sativa* L.). *Acta Agron Sin* (作物学报), 2007, 33(7): 1168–1176 (in Chinese with English abstract)
- [30] Haefele S M, Wopereis M C S, Ndiaye M K, Barro S E, Is-selmou M O. Internal nutrient efficiencies, fertilizer recovery rates and indigenous nutrient supply of irrigated lowland rice in Sahelian West Africa. *Field Crops Res*, 2003, 80: 19–32