

曹荣荣, 刘旭, 徐英杰, 等. 滨海盐碱地棉花铃期冠层空间分布对光合生产的影响[J]. 江苏农业学报, 2020, 36( 4 ): 821-827.  
doi: 10.3969/j.issn.1000-4440.2020.04.003

## 滨海盐碱地棉花铃期冠层空间分布对光合生产的影响

曹荣荣<sup>1,2</sup>, 刘旭<sup>1</sup>, 徐英杰<sup>2</sup>, 张谦<sup>1</sup>, 梁青龙<sup>1</sup>, 王燕<sup>1</sup>, 冯国艺<sup>1</sup>, 祁虹<sup>1</sup>

(1. 河北省农林科学院棉花研究所, 农业部黄淮海半干旱区棉花生物学与遗传育种重点实验室, 河北石家庄 050051; 2. 河北省遵化市农业农村局, 河北唐山 064200)

**摘要:** 为分析滨海盐碱地不同盐碱程度棉田棉花铃期冠层结构空间分布特点及其对棉花光合生产和产量的影响, 2015–2016 年在河北省国营海兴农场重度盐碱棉田 (5.0~10.0 g/kg)、中度盐碱棉田 (3.0~5.0 g/kg) 和轻度盐碱棉田 (3.0 g/kg 以下) 开展试验, 以冀棉 228 为材料在铃期测定冠层结构、光合特性以及物质积累的空间分布情况, 并进行产量及其构成因子测定。结果表明, 在 3 类盐碱程度棉田中, 冠层结构指标及光合生产指标重度棉田除中上层冠层开度最大外, 其他指标均最小。中度盐碱棉田较轻度盐碱棉田除叶倾角和冠层开度上中层较小、下层较大外, 其他指标均为上层较大, 中下层较小。各层源器官光合物质积累明显高于库器官。轻度盐碱棉田棉花光合物质积累量最大。叶面积、光分布和源库比的上、中、下冠层比例重度棉田分别为 1.7 : 1.5 : 1.0、3.6 : 3.6 : 1.0 和 3.2 : 2.8 : 1.7, 中度盐碱棉田棉花分别为 3.2 : 2.2 : 1.0、5.3 : 5.3 : 1.0 和 5.3 : 2.7 : 1.6, 轻度盐碱棉田棉花分别为 1.6 : 1.4 : 1.0、2.2 : 2.2 : 1.0 和 2.3 : 2.1 : 2.0; 群体光合速率上、中、下冠层比例重度盐碱棉田棉花和轻度盐碱棉田棉花分别为 2.5 : 2.5 : 1.0, 轻度盐碱棉田棉花为 2.2 : 2.2 : 1.0; 光合物质积累量上、中、下冠层比例重度盐碱棉田棉花和轻度盐碱棉田棉花分别为 1.3 : 1.3 : 1.0, 中度盐碱棉田棉花为 1.6 : 1.6 : 1.0。2 年平均皮棉产量轻度、中度、重度盐碱棉田分别超过 1 200 kg/hm<sup>2</sup>、900 kg/hm<sup>2</sup> 和 600 kg/hm<sup>2</sup>。因此, 滨海盐碱地种植棉花应根据不同盐碱程度调整栽培措施, 重度盐碱棉田应当加强抑盐等相关农艺措施, 中度盐碱棉田应加强棉花生育前期的水肥调控, 轻度盐碱棉田可开展优质高效生产措施。

**关键词:** 棉花; 滨海盐碱地; 产量; 冠层; 光合生产

**中图分类号:** S562.01 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4440(2020)04-0821-07

## Effects of canopy space distribution on photosynthetic production of cotton during boll period in coastal saline-alkali area in China

CAO Rong-rong<sup>1,2</sup>, LIU Xu<sup>1</sup>, XU Ying-jie<sup>2</sup>, ZHANG Qian<sup>1</sup>, LIANG Qing-long<sup>1</sup>, WANG Yan<sup>1</sup>, FENG Guo-yi<sup>1</sup>, QI Hong<sup>1</sup>

(1. Key Laboratory of Biology and Genetic Improvement of Cotton in Huanghuaihai Semiarid Area, Ministry of Agriculture, Cotton Research Institute, Hebei Academy of Agricultural and Forestry Sciences, Shijiazhuang 050051, China; 2. Bureau of Agriculture and Country in Zunhua of Hebei Province, Tangshan 064200, China)

**收稿日期:** 2020-04-27

**基金项目:** 河北省自然科学基金青年科学基金项目 (C2015301051);  
河北省农林科学院现代农业科技创新工程项目 (2019-2-7-1)

**作者简介:** 曹荣荣 (1982-), 女, 河北遵化人, 学士, 农艺师, 主要从事作物抗逆高产生理研究。(E-mail) zaipai@sohu.com。刘旭为共同第一作者。

**通讯作者:** 冯国艺, (E-mail) fgy\_2010@sina.com。祁虹为共同通讯作者。

**Abstract:** To analyze the effects of the spatial distribution of canopy structure on photosynthetic production during boll period and cotton yield in cotton field with different saline-alkali degrees in coastal saline-alkali area, the experiment was conducted in state-run Haixing in Hebei province farm during 2015–2016. Cotton cultivar Jimi-an 228 was planted in heavy saline-alkali field (5.0–10.0 g/kg), moderate saline-alkali field (3.0–5.0 g/kg) and

mild saline-alkali field (below 3.0 g/kg). The spatial distribution of canopy structure, photosynthetic characteristics and canopy photosynthetic and matter accumulation were measured in this experiment. The yield and its component factors of cotton were also measured. The results showed that the canopy structure index and photosynthetic production index of cotton in heavy saline-alkali field were the smallest except for the canopy openness in upper and middle canopy. In the mild and moderate saline-alkali fields the leaf angle and canopy openness were smaller in upper and middle layers and larger in the lower layer. The accumulation of photosynthetic matter in source organs was significantly higher than that in sink organs at all layers. The accumulation of photosynthetic matter was the largest in mild saline-alkali cotton field. The ratios of leaf area, light distribution and source/sink in the upper, middle and lower canopy were 1.7 : 1.5 : 1.0, 3.6 : 3.6 : 1.0 and 3.2 : 2.8 : 1.7 in heavy saline-alkali cotton field, 3.2 : 2.2 : 1.0, 5.3 : 5.3 : 1.0 and 5.3 : 2.7 : 1.6 in the moderate saline-alkali cotton field, and 1.6 : 1.4 : 1.0, 2.2 : 2.2 : 1.0 and 2.3 : 2.1 : 2.0 in the mild saline-alkali cotton field. The ratio of photosynthetic rate in the upper, middle and lower canopy was 2.5 : 2.5 : 1.0 in the heavy and moderate saline-alkali cotton fields, and 2.2 : 2.2 : 1.0 in the mild saline-alkali cotton field. The ratio of photosynthetic matter accumulation in the upper, middle and lower canopy was 1.3 : 1.3 : 1.0 in the heavy and mild saline-alkali cotton fields, and 1.6 : 1.6 : 1.0 in the moderate saline-alkali cotton field. In 2015 and 2016, the average lint yield in mild, moderate and heavy saline-alkali cotton fields exceeded 1 200 kg/hm<sup>2</sup>, 900 kg/hm<sup>2</sup> and 600 kg/hm<sup>2</sup>, respectively. In conclusion, the cultivation measures should be adjusted according to different saline-alkali levels in the coastal saline-alkali area. The salt suppression and other related agronomic measures should be strengthened in heavy saline-alkali cotton field, the water and fertilizer regulation should be strengthened in moderate saline-alkali cotton field at early growth stage of cotton, and high quality and efficient production measures should be carried out in mild saline-alkali cotton field.

**Key words:** cotton; coastal saline-alkali area; yield; canopy; photosynthetic production

中国可开发利用的滨海盐碱耕地约占全国耕地的4%<sup>[1-2]</sup>。中国滨海地区年降水量一般在500 mm以上,降水条件满足农业开发利用要求<sup>[3]</sup>。合理的滨海盐碱地开发利用是解决中国耕地资源减少的有利措施,也是保证粮食安全生产的重要途径。土壤盐碱胁迫严重影响植物正常生长发育<sup>[4-5]</sup>。棉花具有较强的耐盐性,是公认的盐碱地先锋作物<sup>[2]</sup>。棉花是重要的经济作物,中国棉花种植面积、产量分别约占世界的15%和25%<sup>[6]</sup>。滨海盐碱地种植棉花对于扩大粮食作物种植面积,稳定棉花种植面积具有重要意义<sup>[2]</sup>。

盐碱胁迫导致净光合速率下降的原因有:(1)改变作物光合系统结构;(2)降低光合酶活性;(3)改变其他相关生理生化过程<sup>[7-8]</sup>。盐碱胁迫通过直接抑制叶片光合性能和改变冠层结构等2个途径降低叶片光合特性<sup>[9-10]</sup>,导致盐碱地棉花产量下降。通过优化冠层提高作物光合能力是提高产量的有效条件<sup>[11-12]</sup>。铃期是棉铃发育的关键时期<sup>[13]</sup>。因此铃期光合生产十分关键,光合源叶片性能优良并与棉铃库部位相近,有利于光合物质快速转运至棉铃,实现铃质量增加提高产量<sup>[14]</sup>。铃期提高冠层叶面积并优化叶层分布,以提高群体光合效能,有利于通过增加铃质量提高产量<sup>[15]</sup>。通过优化冠层空间分布提高叶片光合性能和群体光合生产力对提高棉花

产量具有重要实践意义<sup>[16-19]</sup>。为弥补以往研究滨海盐碱地关于棉花铃期冠层空间分布对光合生产和产量影响关注较少的情况,本试验研究不同盐碱胁迫程度对铃期冠层空间分布的影响,并分析产量形成和棉花调控的关键期铃期冠层空间分布与光合特性的关系,以期为完善滨海盐碱地高光效植棉技术提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料及设计

试验地点设在河北省国营海兴农场(38°21'N, 117°31'E),以河北省滨海盐碱地区大面积推广种植的抗逆耐盐品种冀棉228为材料。2015年4月21日、2016年4月23日抢墒播种,采用宽膜覆盖栽培,先点播后铺膜,1膜2行,大小行配置,模式为90 cm+45 cm。根据4月中下旬0~20 cm土层土壤含盐量选取3种盐碱程度棉田(面积均大于3.0 hm<sup>2</sup>):含盐量5.0~10.0 g/kg的重度盐碱棉田(A)、3.0~5.0 g/kg的中度盐碱棉田(B)、3.0 g/kg以下的轻度盐碱棉田(C)。各棉田土质为滨海盐土。采用免耕覆膜及微沟躲盐技术进行抢墒播种,免耕覆膜及微沟躲盐技术为利用机械将土层表面5 cm推至膜间,用开沟器开10 cm左右深度微沟进行播种,播深约

5 cm,同时在2个微沟中间开沟施肥。播种时施用尿素 450 kg/hm<sup>2</sup>,过磷酸钙1 500 kg/hm<sup>2</sup>。依据当地气候特点及棉铃发育规律,7月20日左右适时打顶。盛蕾至盛花期视棉花长势适当追肥。田间管理同常规高产田。

## 1.2 测试项目及方法

在产量形成光合关键期铃期,在垂直方向上按植株高度将冠层分为上、中、下3个层次,进行以下指标测定。

**1.2.1 冠层结构指标测定** 冠层结构指标测定采用 LAI-2200 冠层仪(Li-cor, USA),先将探头水平放置于冠层上方,按下测定按钮,两声蜂鸣后将探头放入群体内地面上,仍保持水平,按下测定按钮,两声蜂鸣后水平均匀移动探头,选择冠层内不同位置测量,重复4次。每个棉田选6个点测定。

**1.2.2 叶绿素含量(SPAD值)测定** 使用 SPAD-502 叶绿素计(Minolta, Japan)测定,选取棉花主茎叶测定,每类棉田选6个点,每个点选取15片叶。

**1.2.3 单叶光合速率测定** 在晴朗无云的9:00-11:00使用 Li-6400 便携式光合作用系统(Li-cor, USA)测定。用光量子仪测定相应冠层各层次的光照度。测定叶片为相关层次主茎叶。在合适的天气条件下重复2~3 d。

**1.2.4 光分布测定** 在11:00-14:00用 LI-250A 光量子仪测定不同部位光照度:探头水平向上测定植株顶部以上30 cm处自然光照度( $I_0$ ),探头水平向下测定植株顶部以上30 cm处植株反射光照度( $I_n$ )、冠层底部光照度( $I_L$ )以及株高距离地面1/3处光照度( $I_M$ )和2/3处光照度( $I_U$ ),重复3次。光吸收率计算方法为:整体光吸收率 =  $(1 - I_n/I_0 - I_L/I_0) \times 100\%$ ,上层光吸收率 =  $(1 - I_n/I_0 - I_U/I_0) \times 100\%$ ,中层光吸收率 =  $(I_U/I_0 - I_M/I_0) \times 100\%$ ,下层光吸收率 =  $(I_M/I_0 - I_L/I_0) \times 100\%$ 。

**1.2.5 群体光合速率与呼吸速率测定** 先测定整个冠层的光合速率,然后剪去下层所有叶片,测定冠层剩余部位的光合速率,整个冠层光合速率减去冠层剩余部位的光合速率即为下层叶片的光合速率。测定土壤的CO<sub>2</sub>释放速率以修正测定值。呼吸速率测定方法为:同化箱罩上黑色绒布保证试验进行时没有光线进入,其他测定步骤同群体光合速率测定。每类棉田选取3个点进行测定。

**1.2.6 干物质积累分配测定** 在各个棉田选取具

有代表性的棉株6株,分解茎、叶和蕾铃等器官,105℃下杀青30 min,80℃下烘干后称质量。

**1.2.7 产量测定** 收获期分小区实收测产,分别进行霜前籽棉计产和霜后籽棉计产,2次测产合计为小区总产量。每种类型棉田按株高平均分为3个层次,每个层次均匀取20个吐絮棉铃测定铃质量、衣分。同时取一定面积棉田调查成铃数。

## 1.3 数据处理

用 SPSS11.0 分析试验数据,使用 Sigma Plot 10.0 作图。

# 2 结果

## 2.1 不同盐碱程度棉田棉花产量及产量构成因素

测产和产量实收统计结果(表1)表明,不同类型棉田产量差异显著。轻度盐碱棉田籽棉产量超过3 000 kg/hm<sup>2</sup>;平均皮棉产量达到1 200 kg/hm<sup>2</sup>,较重度盐碱棉田高91.0%~130.8%,较中度盐碱棉田高36.0%~40.7%。中度盐碱棉田皮棉产量达到900 kg/hm<sup>2</sup>,较重度盐碱棉田高40.4%~64.0%。进一步分析产量构成因子发现,不同盐碱程度棉田收获株数差异显著,盐碱程度越低,收获株数越多;轻度和中度盐碱棉田单株成铃数显著高于重度盐碱棉田;轻度盐碱棉田的铃质量和衣分显著高于中度和重度盐碱棉田。

## 2.2 不同盐碱程度棉田棉花铃期冠层结构空间分布

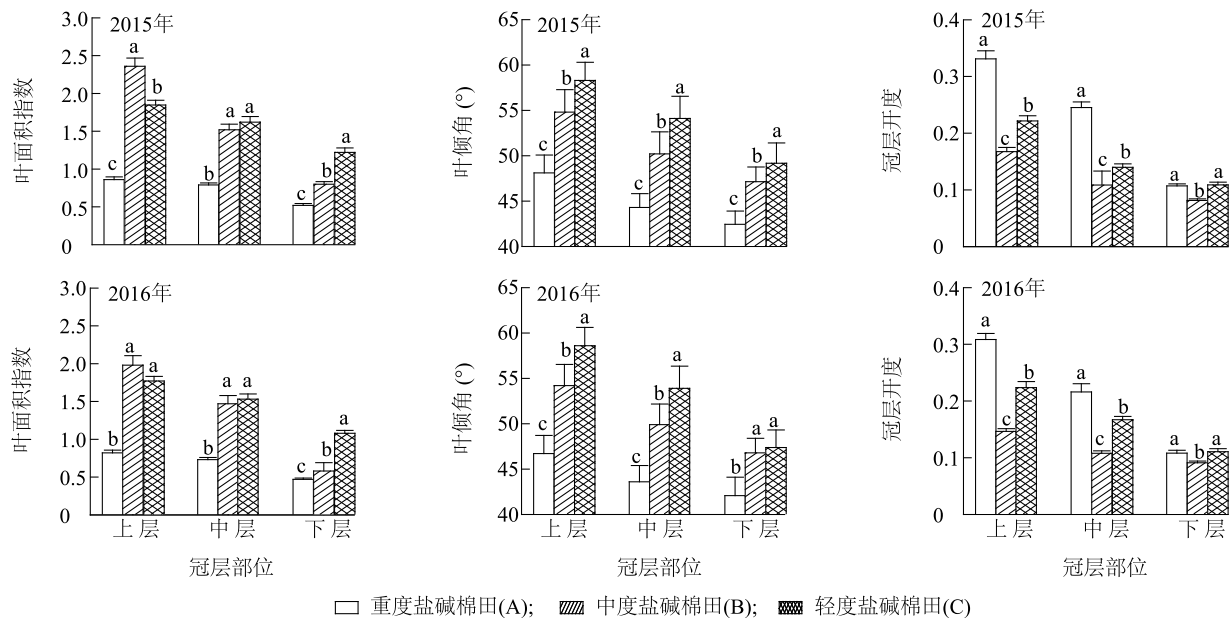
测定结果(图1)表明,不同盐碱程度棉田棉花铃期冠层结构空间垂直分布差异较大。与轻度盐碱棉田相比,重度盐碱棉田棉花叶面积指数和叶倾角数值较小,中上层冠层开度较大,下层冠层开度差异不大。中度盐碱棉田棉花冠层上层叶面积指数较大,中下层较小;叶倾角上中层较小,下层差异不大;冠层开度中上层明显较小。与轻度盐碱棉田相比,重度盐碱棉田棉花叶面积指数和叶倾角数值分别小51.2%~57.4%和11.2%~20.3%,中上层冠层开度大29.2%~79.4%。中度盐碱棉田较轻度盐碱棉田棉花冠层上层叶面积指数大11.9%~27.8%,中下层小3.9%~46.3%;叶倾角上中层小6.0%~7.5%,冠层开度中上层小22.3%~35.5%。叶面积上、中、下层比例重度盐碱棉田棉花为1.7:1.5:1.0,中度盐碱棉田棉花为3.2:2.2:1.0,轻度盐碱棉田棉花为1.6:1.4:1.0。

表1 不同类型棉田产量及构成因子

Table 1 Yield and its component factors of different types of cotton fields

年份	棉田类型	收获株数 ( $\times 10^4$ , 1 hm <sup>2</sup> )	单株铃数	铃质量 (g)	衣分 (%)	籽棉产量 (kg/hm <sup>2</sup> )	皮棉产量 (kg/hm <sup>2</sup> )
2015	A	3.76 $\pm$ 0.17c	8.59 $\pm$ 0.31b	5.54 $\pm$ 0.20b	38.2 $\pm$ 1.86b	1 749 $\pm$ 46.2c	668.1 $\pm$ 31.4c
	B	4.57 $\pm$ 0.18b	10.39 $\pm$ 0.44a	5.51 $\pm$ 0.23b	38.2 $\pm$ 1.84b	2 456 $\pm$ 74.6b	938.2 $\pm$ 31.9b
	C	5.09 $\pm$ 0.22a	10.36 $\pm$ 0.47a	6.35 $\pm$ 0.28a	38.7 $\pm$ 1.91a	3 298 $\pm$ 115.4a	1 276.3 $\pm$ 42.8a
2016	A	3.43 $\pm$ 0.16c	8.16 $\pm$ 0.33b	5.34 $\pm$ 0.20b	37.9 $\pm$ 1.76b	1 456 $\pm$ 49.8c	551.8 $\pm$ 18.3c
	B	4.29 $\pm$ 0.18b	10.43 $\pm$ 0.38a	5.39 $\pm$ 0.21b	37.9 $\pm$ 1.74b	2 388 $\pm$ 66.6b	905.1 $\pm$ 22.7b
	C	5.04 $\pm$ 0.20a	10.48 $\pm$ 0.47a	6.37 $\pm$ 0.26a	38.5 $\pm$ 1.79a	3 308 $\pm$ 103.6a	1 273.5 $\pm$ 40.7a

A: 重度盐碱棉田; B: 中度盐碱棉田; C: 轻度盐碱棉田。同一列同一年份不同字母表示在 0.05 水平上差异显著。



同一冠层不同字母表示在 0.05 水平上差异显著。

图1 不同盐碱程度棉田铃期棉花冠层指标垂直分布

Fig.1 Vertical distribution of canopy index during boll period in the cotton field with different saline-alkali levels

### 2.3 不同盐碱程度棉田棉花冠层叶片叶绿素含量、单叶光合速率及光分布

不同盐碱程度棉田棉花冠层叶片叶绿素含量、单叶光合速率及光分布空间垂直分布差异较大(图2)。重度盐碱棉田棉花冠层叶片叶绿素含量、单叶光合速率、光分布的数值较小,但分布较为均匀;中度盐碱棉田棉花冠层上层叶片叶绿素含量、单叶光合速率、光分布的数值较大,中下层较小;轻度盐碱棉田棉花冠层叶片叶绿素含量、单叶光合速率、光分布的数值较大,且分布较为均匀,上层光截获率较小,冠层光分布改善明显。与重度盐碱棉田相比,轻度盐碱棉田棉花冠层叶绿素含量、光分布、单叶光合速率分别大 20.4%~33.9%、3.9%~90.0%、

104.9%~296.1%。与中度盐碱棉田相比,轻度盐碱棉田棉花叶绿素含量和单叶光合速率分别大0.4%~29.6%和7.0%~97.3%,光分布上层小23.5%~25.0%,光分布中下层大13.2%~95.0%。光分布上、中、下层比例重度盐碱棉田棉花为3.6:3.6:1.0,中度盐碱棉田棉花为5.3:5.3:1.0,轻度盐碱棉田棉花为2.2:2.2:1.0。

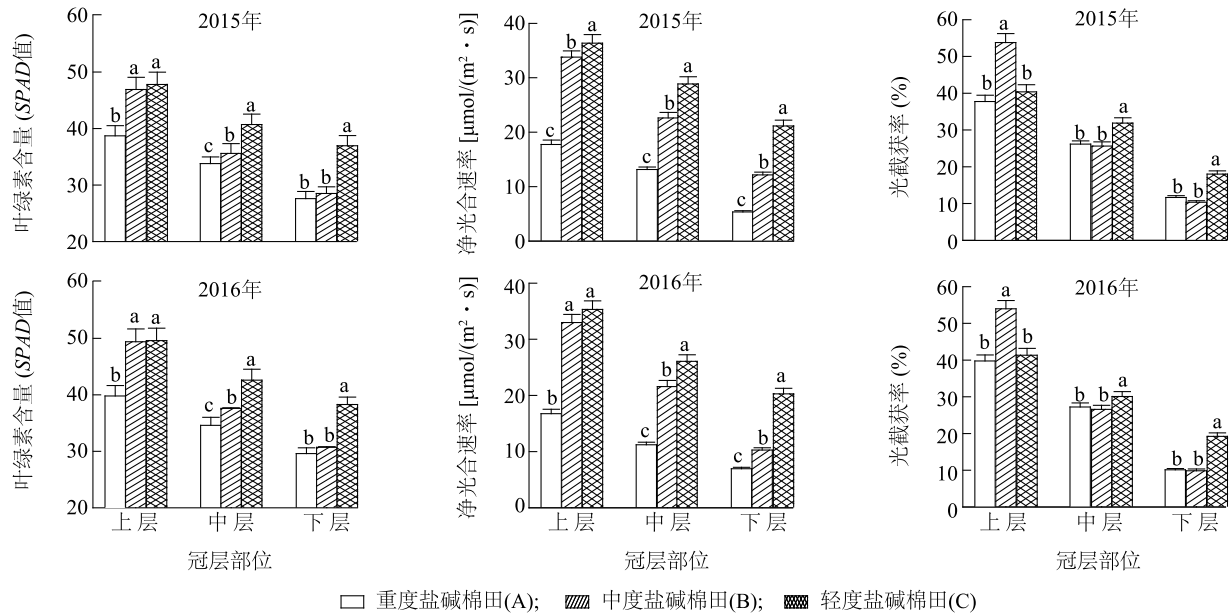
### 2.4 不同盐碱程度棉田棉花各层次群体光合速率和呼吸速率

不同盐碱程度棉田棉花冠层群体光合速率和群体呼吸速率垂直空间差异较大(图3)。重度盐碱棉田棉花冠层群体光合速率和群体呼吸速率较小,但分布较为均匀;中度盐碱棉田棉花冠层上层群体光合速



率和群体呼吸速率较大,中、下层较小;轻度盐碱棉田棉花冠层群体光合速率和群体呼吸速率较大,且分布较为均匀。群体光合速率和呼吸速率轻度较重度盐碱棉田棉花分别大17.5%~110.7%、38.2%~119.3%。与中度盐碱棉田相比,轻度盐碱棉田棉花群体光合速

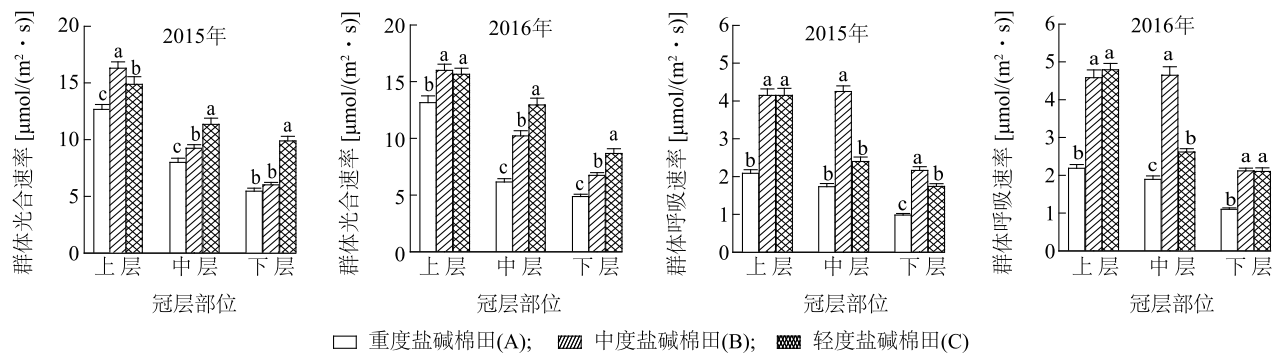
率上层小2.1%~8.7%,中下层大22.8%~64.4%;群体呼吸速率上层小2.1%~8.7%,中下层大22.8%~64.4%。群体光合速率上层、中层、下层比例重度和中度盐碱棉田棉花为2.5:2.5:1.0,轻度盐碱棉田棉花为2.2:2.2:1.0。



同一冠层不同字母表示在 0.05 水平上差异显著。

图2 不同盐碱程度棉田棉花铃期不同冠层部位叶绿素含量、单叶光合速率及光分布

Fig.2 Chlorophyll content, leaf photosynthetic rate and light distribution in different canopy layers during boll period in the cotton field with different saline-alkali levels



同一冠层不同字母表示在 0.05 水平上差异显著。

图3 不同盐碱程度棉田棉花铃期冠层群体光合速率和呼吸速率垂直分布

Fig.3 Vertical distribution of canopy apparent photosynthetic rate and respiration rate during boll period in the cotton field with different saline-alkali levels

## 2.5 不同盐碱程度棉田棉花不同层次冠层光合物质积累

不同盐碱程度棉田棉花冠层光合物质积累垂直空间差异较大(图4)。不同类型棉田各层次源器官光合物质积累明显高于库器官。重度盐碱棉田棉花

源器官和库器官光合物质积累量最小,轻度盐碱棉田棉花源器官和库器官光合物质积累量最大,源库比冠层上部轻度盐碱棉田棉花最大,中部中度盐碱棉田棉花最大,下部则为轻度盐碱棉田棉花最大。群体光合物质积累轻度盐碱棉田棉花较重度盐

碱棉田棉花大 14.4%~182.8%;轻度盐碱棉田棉花较中度盐碱棉田棉花大 26.4%~81.4%;上层、中层、下层比例重度和轻度盐碱棉田棉花为1.3 : 1.3 : 1.0,中度盐碱棉田棉花为1.6 : 1.6 : 1.0。源库比上

层、中层、下层重度盐碱棉田棉花为3.2 : 2.8 : 1.7,中度盐碱棉田棉花为5.3 : 2.7 : 1.6,轻度盐碱棉田棉花为2.3 : 2.1 : 2.0。

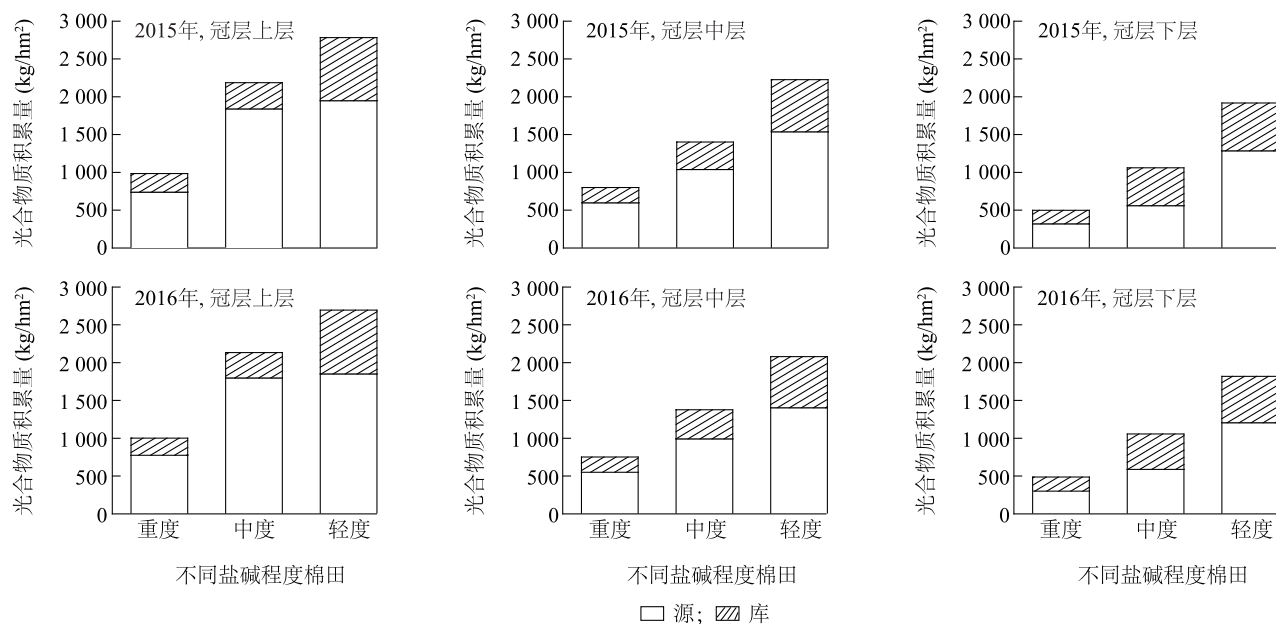


图4 不同盐碱程度棉田铃期棉花冠层源库垂直分布

Fig.4 Vertical distribution of source and sink during boll period in the cotton field with different saline-alkali levels

### 3 讨论

#### 3.1 不同盐碱程度棉田棉花铃期冠层空间分布特征

盐碱地作物生长发育受土壤盐分和 pH 值水平严重影响<sup>[4-5]</sup>。本研究结果表明,盐碱胁迫对棉花生长发育的影响也体现在棉花铃期的冠层空间分布上。由于受到盐碱胁迫的持续抑制<sup>[20]</sup>,重度盐碱棉田棉花生长缓慢,叶面积指数明显低下,在叶倾角数值较小的情况下中上层冠层开度较大,叶面积、光截获空间分布较为均匀,叶绿素含量和单叶光合速率上、中、下层差异较小,但均处于较低水平。中度盐碱棉田棉花铃期盐碱胁迫得到解除,受前期营养生长抑制的影响,铃期营养生长明显增加,导致叶面积在冠层空间分布极不均匀,叶面积上层、中层、下层比例为3.2 : 2.2 : 1.0,叶倾角增大幅度有限,导致中、上层冠层开度显著下降,较轻度盐碱棉田减小 22.3%~35.5%;严重影响中、下层光截获,导致中、下层叶绿素含量和单叶光合速率急剧下降。轻度盐碱棉田棉花营养生长较为持续稳定,在铃期叶面积指数较大且较为均匀;光截获空间分布均匀,在光分

布明显优化的基础上,叶绿素含量和单叶光合速率数值较高且在各层间差异较小。

#### 3.2 不同盐碱程度棉田棉花铃期冠层光合生产空间分布及对产量的影响

盐分和酸碱度胁迫直接影响棉花光合生产是导致盐碱地棉花产量较低的主要原因之一<sup>[9-10]</sup>。铃期在叶面积增大的基础上优化叶层分布,可提高群体光合效能;合理配置棉铃,确保光合产物向产量器官的输送,从光合性能和光合生产两方面提高产量<sup>[15]</sup>。本研究结果表明,不同盐碱程度棉田棉花铃期冠层空间分布改变了光合情况,进而影响产量。棉花铃期冠层不同层次重度盐碱棉田群体光合速率及呼吸速率较小,冠层上、中、下比例群体光合速率和源库比分别为2.5 : 2.5 : 1.0和3.2 : 2.8 : 1.7,可见光合性能差,源库量较小且不协调,因此产量较低。中度盐碱棉田棉花群体光合速率和源库比冠层上、中、下比例分别为2.5 : 2.5 : 1.0和5.3 : 2.7 : 1.6,群体光合速率及呼吸速率上层较大,中层较小,而源库比却是上层较小,中层较大,虽然冠层部分层次光合性能和光合物质积累量较大,但群体光合性

能和源库配置极其不协调,因此铃质量较低,导致产量无法进一步提高。轻度盐碱棉田棉花群体光合速率和源库比冠层上、中、下比例分别为2.2 : 2.2 : 1.0和2.3 : 2.1 : 2.0,棉花群体光合速率及呼吸速率较大,且分布较为均匀,源库比上层和下层较大,较高的光合速率和较长的光合积累期均有利于棉铃发育,成为轻度盐碱棉田棉花取得高产的关键。

滨海盐碱地不同盐碱程度铃期冠层分布具有显著差异,这是导致光合生产和产量差异的关键因素之一。铃期冠层空间分布的差异是在棉花生育前期生长发育的基础上形成的,因此,在平时栽培管理措施上应当有针对性的调整。对于重度盐碱棉田,应当加强抑盐等相关农艺措施,尽量减少盐碱胁迫对棉花正常生长发育的影响;中度盐碱棉田应加强棉花生育前期的水肥调控,促进棉花营养生长,防止在铃期出现源库发育不协调的问题;而轻度盐碱棉田棉花铃期冠层空间分布较为合理,光合生产受到的影响较小,可实现棉花的优质高效生产。

#### 参考文献:

- [1] 杨劲松. 中国盐渍土研究的发展历程与展望[J]. 土壤学报, 2008, 45(5): 837-845.
- [2] 董合忠. 盐碱地棉花栽培学[M]. 北京: 科学出版社, 2010.
- [3] 郭军, 任国玉, 李明财. 近47年环渤海地区不同级别降水事件变化[J]. 地理研究, 2010, 29(12): 2271-2280.
- [4] RENGASAAMY P. Soil processes affecting crop production in salt-affected soils[J]. Functional Plant Biology, 2010, 37(7): 613-620.
- [5] WANG J C, YAO L R, LI B C, et al. Comparative proteomic analysis of cultured suspension cells of the halophyte *Halogeton glomeratus* by iTRAQ provides insights into response mechanisms to salt stress[J]. Frontiers in Plant Science, 2016, 7(30): 1-12.
- [6] 喻树迅. 我国棉花生产现状与发展趋势[J]. 中国工程科学, 2013, 15(4): 9-13.
- [7] KAO W Y, TASI T T, TASI H C. Response of three glycine species to salt stress[J]. Environmental and Experimental Botany, 2006, 56: 120-125.
- [8] 杨淑萍, 危常州, 梁永超. 盐胁迫对不同基因型海岛棉光合作用及荧光特性的影响[J]. 中国农业科学, 2010, 43: 1585-1593.
- [9] 冯国艺, 张谦, 王树林, 等. 秸秆还田对滨海盐碱地棉苗光合特性及生长的影响[J]. 棉花学报, 2015, 27(3): 248-253.
- [10] DONG H Z, LI W J, ENEJI A E, et al. Nitrogen rate and plant density effects on yield and late-season leaf senescence of cotton raised on a saline field[J]. Field Crops Research, 2012, 126(1): 137-144.
- [11] FENG G Y, GAN X X, YAO Y D, et al. Comparisons of photosynthetic characteristics in relation to lint yield among  $F_1$  hybrids, their  $F_2$  descendants and parental lines of cotton[J]. Journal of Integrative Agriculture, 2014, 13(9): 1909-1920.
- [12] YAO H S, ZHANG Y L, YI X P, et al. Cotton responds to different plant population densities by adjusting specific leaf area to optimize canopy photosynthetic use efficiency of light and nitrogen[J]. Field Crops Research, 2016, 188: 10-16.
- [13] 陈源, 王永慧, 肖健, 等. 高品质陆地棉棉铃发育特点[J]. 作物学报, 2010, 36(8): 1371-1376.
- [14] READ J J, REDDY K R, JENKINS J N. Yield and fiber quality of upland cotton as influenced by nitrogen and potassium nutrition[J]. European Journal of Agronomy, 2006, 24(3): 282-290.
- [15] 冯国艺, 罗宏海, 姚炎帝, 等. 新疆超高产棉花叶、铃空间分布及与群体光合生产的关系[J]. 中国农业科学, 2012, 45(13): 2607-2617.
- [16] MATTERA J, ROMERO L A, CUATRÍN A L, et al. Yield components, light interception and radiation use efficiency of lucerne (*Medicago sativa* L.) in response to row spacing[J]. European Journal of Agronomy, 2013, 45: 87-95.
- [17] FENG G Y, LUO H H, ZHANG Y L, et al. Relationship between plant canopy characteristics and photosynthetic productivity in diverse cultivars of cotton (*Gossypium hirsutum* L.)[J]. The Crop Journal, 2016, 4(6): 499-508.
- [18] RENGASAAMY P. Soil processes affecting crop production in salt-affected soils[J]. Functional Plant Biology, 2010, 37(7): 613-620.
- [19] WANG J C, YAO L R, LI B C, et al. Comparative proteomic analysis of cultured suspension cells of the halophyte *Halogeton glomeratus* by iTRAQ provides insights into response mechanisms to salt stress[J]. Frontiers in Plant Science, 2016, 7(30): 1-12.
- [20] 冯国艺, 张谦, 祁虹, 等. 滨海盐碱地水盐时空变化特征及对棉花光合生产的影响[J]. 土壤学报, 2019, 56(4): 1012-1022.

(责任编辑:张震林)