

不同灌水量对新疆高产棉花冠层结构映像特征及产量影响的研究

张 伟^{1,2}, 吕 新¹, 朱 芸¹, 曹连莆^{1,2}

(1. 新疆生产建设兵团绿洲生态农业重点实验室, 新疆 石河子 832003;

2. 石河子大学农学院农学系耕作教研室, 新疆 石河子 832003)

摘要: 讨论了北疆棉区推广棉种新陆早 12 号与新陆早 13 号在不同灌水量条件下冠层结构特征的差异, 得出新陆早 12 号对限量滴灌反应不敏感, 而新陆早 13 号对限量滴灌反应较敏感。因此在限量滴灌条件下选择新陆早 12 号、适量滴灌条件下选择新陆早 13 号栽培种植较为适宜。由此得出了不同品种对灌水量的反应表现及理想群体冠层结构的合理指标, 为增加棉花产量和提高水分利用效率提供了理论依据。

关键词: 不同灌水量; 高产棉花; 冠层结构; 映像特征

中图分类号: S562 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7091(2005)05-0105-06

Study on Cotton Canopy Structure Image Factor and Yield in High-yield Cotton of Xinjiang at Different Irrigation

ZHANG Wei^{1,2}, LU Xin¹, ZHU Yun¹, CAO Lian-pu^{1,2}

(1. The Key Oasis Eco-agriculture Laboratory of Xinjiang Production and Construction Group, Shihezi 832003, China;

2. Farming Staff Room, College of Agronomy, Shihezi University, Shihezi 832003, China)

Abstract: This paper mainly discussed the differences of cotton canopy structural characteristics in different irrigation condition of the extend breed Xinluzao 12 and Xinluzao 13 in North Xinjiang cotton growing region, then discovered that Xinluzao 12 is more sensible to limited drip irrigation. By the comparison between the two varieties, Xinluzao 13 is more sensible to adaptive irrigation and can acquiring higher yield. Thus Xinluzao 13 is better at adaptive irrigation condition and Xinluzao 12 is better at limited irrigation condition. Then acquired the response of varieties toward different irrigation and the ideal reasonable index of cotton canopy structure, and come to theoretical ground of increasing cotton production and improving availability of water. Material and methods: The experiment was taken during 2003-2004, testing breeds were Xinluzao 12 and Xinluzao 13. Testing time include the whole period of cotton duration. Taking CF-110 Digital Plant Canopy Structure Imager to test canopy structure index, acquire some indexes, such as LAI, MFIA, TC, T, K, LD, etc. Results and analysis: LAI becomes bigger and MFIA becomes smaller at high irrigation. The MFIAmin is showed during the middle of August. The TCmin is in full boll, and Tmin is in full boll. Reasonable K in cotton field is slowly increase from upper to under layer.

Key words: Different irrigation; High-yield cotton; Canopy structure; Image analysis

新疆位于欧亚大陆腹地, 是我国最大的荒漠半荒漠地区。荒漠中的绿洲光能丰富、温度日较差大、降水量少, 光热资源优化。绿洲农业是新疆荒漠地区经济的主体, 其中棉花无论是面积、单产、总产及出口量, 在全国均领先。新疆农业生态与生产特点

独特, 国营农场规模化经营程度高, 机械化程度高, 农业生产管理水平高, 农业新技术推广快; 同时, 新疆为灌溉农业, 各种技术措施宜于控制。这些为实施精准农业提供了得天独厚的条件。

新疆为灌溉农业, 各种农业技术措施宜于控制,

收稿日期: 2005-03-02

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(30160040)

作者简介: 张伟(1979-), 男, 新疆玛纳斯人, 硕士, 主要研究方向为农业智能化与信息化; 吕新为通讯作者。

实施精准农业具备着得天独厚的条件。而实施精准农业的关键技术之一是数字图像处理。本研究主要利用 CI-110 数字结构冠层图像分析仪研究棉花在生育进程中的冠层结构特征及其与主要影响因子之间的关系。通过研究棉花不同生育阶段中个体与群体在不同密度间的影响,为棉花冠层的图像诊断提供理论依据,对进一步在图像处理技术支持下的精准农业的实施具有重要意义。文中针对新疆推广棉种新陆早 10 号、12 号在不同灌水量条件下的冠层结构表现展开研究,以探索最适灌水量下的理想群体冠层结构。

1 材料和方法

1.1 试验概况

田间试验于 2003-2004 年分别在石河子大学农学院实验站(44°N, 86°E)、农六师新湖(45°N, 86°E)一场十连 1 号地-1、2 号地以及 15 号地-3 进行,图像处理及数据分析在新疆生产建设兵团绿洲生态农业重点实验室进行。农学院田间试验地前茬为棉花,土质重壤,播前每公顷深施肥料为 N 210 kg, P₂O₅ 150 kg, 试验均采用宽膜栽培, (30+60) cm 宽窄行种植, 分别于 2003 年 4 月 26 日~28 日、2004 年 4 月 27 日~28 日布滴灌带、铺膜,膜上点播,供试棉花(*Gossypium hirsutum*)品种选用北疆棉区株型差异较大的新陆早 12 号和新陆早 13 号。灌水方式为膜下滴灌,田间种植方式及管道铺设方法同大田膜下滴灌棉花,每公顷留苗 22 万株左右。生育期间灌水 9 次,用缩节胺(7.0~40.0 g/hm²)化控 3 次(06-02, 06-14, 06-26), 07-17 打顶。根据不同灌水量设 4 个处理: 0 m³/hm² (无灌量), 1 200 m³/hm² (限量滴灌), 2 400 m³/hm² (适量滴灌), 3 600 m³/hm² (高灌量)。新湖农场三块高产田采用新陆早 12 号品种, 常规高产栽培管理。

1.2 测试内容和方法

冠层结构指标及棉田光量子传递特性测试时间包括棉花生长的现蕾期(出苗后 35 d)、盛蕾期(出苗后 50 d)、开花期(出苗后 65 d)、盛花期(出苗后 80 d)、结铃前期(出苗后 95 d)、盛铃后期(出苗后 110 d)、吐絮期(出苗后 125 d)、收获期(出苗后 140 d), 冠层结构指标用美国 CID 公司生产的 CI-110 数字式冠层结构分析仪测定^[1], 测定时间选择在北京时间 20:00~22:00, 在田间将安装有鱼眼探测头的观测棒定点在行间中央, 调好水平, 并从计算机显示屏

上观察无人影等其他外界影响时开始拍照, 每处理测定 4~6 个点(分宽、窄行), 通过计算机图像数字化处理及专用软件(图 1, 2)分析后, 采集到冠层叶面积指数、散射辐射透过系数、直接辐射透过系数、平均叶簇倾斜角度、消光系数、叶分布等参数^[2]。

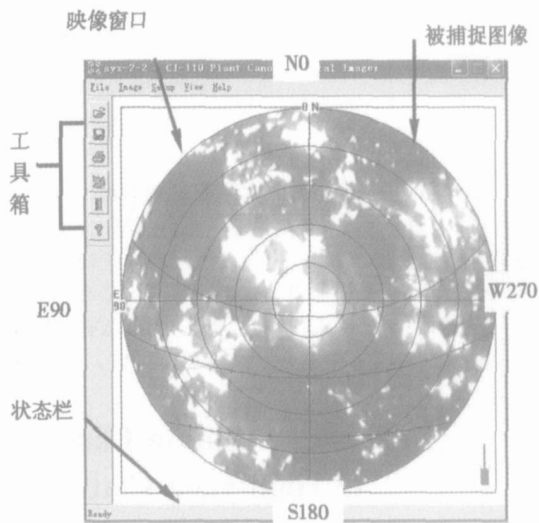


图 1 冠层映像分析界面示意图

Fig 1 Interface sketch map of canopy image analysis



图 2 冠层映像分析数据结果界面示意图

Fig 2 Interface sketch map of data result of canopy image analysis

2 结果与分析

2.1 不同灌水量对叶面积指数的影响

叶面积指数 LAI (Leaf area index) 是指单位地面积上某一指定层次内所包含的总的叶子面积, 它通常是指作物群落内从地面到层顶的叶子总面积。不同灌水量对棉花冠层的生长有较大的影响, 水分充足情况下棉花生长较快, 叶面积指数高^[3], 本试验证明, 2 400 m³/hm² 的灌水量使棉株具有最高的叶面积指数, 与以往的研究结果相同。随着灌水量的进一步增加或

减少, 叶面积指数都有下降的趋势, 故而灌水量过高或过低都对最大叶面积指数的出现不利。同时新陆早 12 号的 LAI 值普遍稍高于新陆早 13 号的 LAI 值。棉田 LAI 值在 8 月初达到最大, 高值范围在 2.371~4.107 之间。新陆早 12 号在盛花期达到 3.812 的较高水平, 在盛铃期达到 4.107 的最高值, 以后至吐絮盛期不断下降; 新陆早 13 号的 LAI 在盛花期达到较高值, 在盛铃期达到高峰, 值为 3.973, 在整个生育期内变化较为平稳。在灌水量 $1\ 200\ \text{m}^3/\text{hm}^2$ 条件下, 新陆早 12 号的 LAI 值高于新陆早 13 号, 而在 $2\ 400\ \text{m}^3/\text{hm}^2$ 处理中新陆早 13 号的 LAI 值高于新陆早 12 号(图 3, 4)。

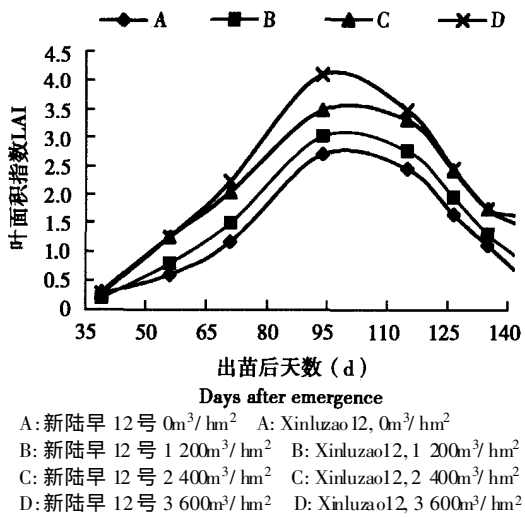


Fig 3 Effect of different irrigation on leaf area index of Xinluzao 12 at different growth stages

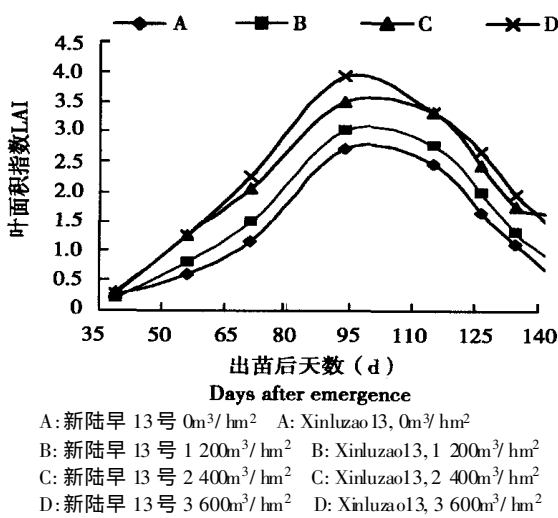


Fig 4 Effect of different irrigation on leaf area index of Xinluzao 13 at different growth stages

2.2 不同灌水量对棉花群体冠层结构的影响

2.2.1 不同灌水量对平均叶簇倾斜角度的影响

平均叶簇倾斜角 MFIA (Mean Foliage Inclination Angle) 是指叶面法线方向与 Z 轴方向的夹角, 即叶片与水平面的夹角(本文平均叶簇倾斜角为叶片与主茎间的夹角), 以叶片倾斜程度的不同将作物划分为“直立型”、“平伸型”等株型, 认为上层叶片直立, 下层叶片平伸是较为理想的株型^[4]。本试验表明, 在不同灌水量条件下平均叶簇倾斜角在无灌量→限量滴灌→适量滴灌→高灌量时明显表现出有较小→变大→变小的趋势, 叶倾角在 8 月中上旬达最低值, 此阶段叶片由平展变为直立, 利于透光, 是较为合理的结构, 使叶片截获更多的光能; 出苗后 130 d 左右(即吐絮后期至收获期)由于绿叶面积减少, 叶倾角增大, 叶片向平展型发展, 同时新陆早 13 号的 MFIA 值均大于新陆早 12 号(图 5, 6)。

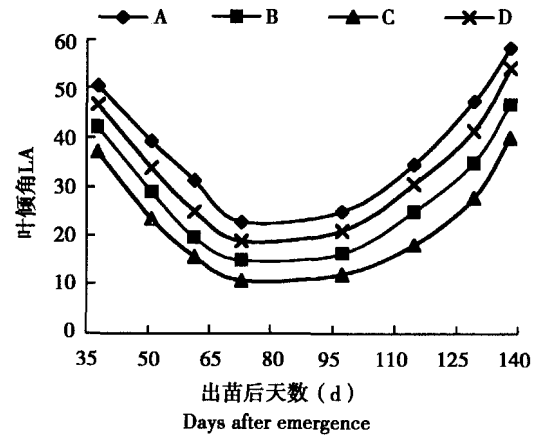


Fig 5 Effect of different irrigation on Mean Foliage Inclination Angle of Xinluzao 12 at different growth stages

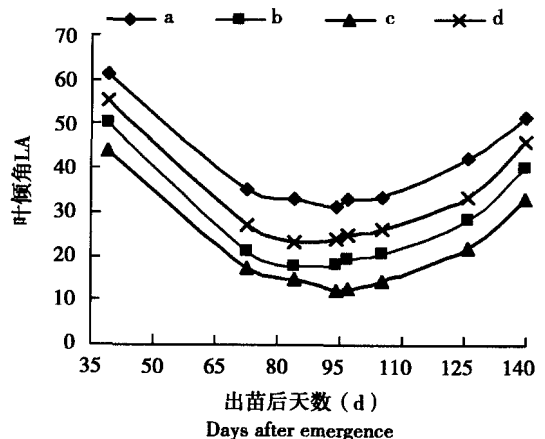


Fig 6 Effect of different irrigation on Mean Foliage Inclination Angle of Xinluzao 13 at different growth stages

2.2.2 不同灌水量对散射辐射透过系数的影响

散射辐射是指太阳辐射以散射的形式到达地面的辐射,对光合作用有较大的辅助作用。本试验表明由于灌水量的增加使棉花叶倾角度变小,散射辐射透过系数 TC(Transmission Coefficient for Diffuse Penetration)减小,其中又以盛铃期 TC 值最低。在高灌水量情况下新陆早 12 号的 TC 值小于新陆早 10 号的 TC 值,在低密和中高密度条件下新陆早 12 号的 TC 值大于新陆早 10 号的 TC 值(图 7, 8)。

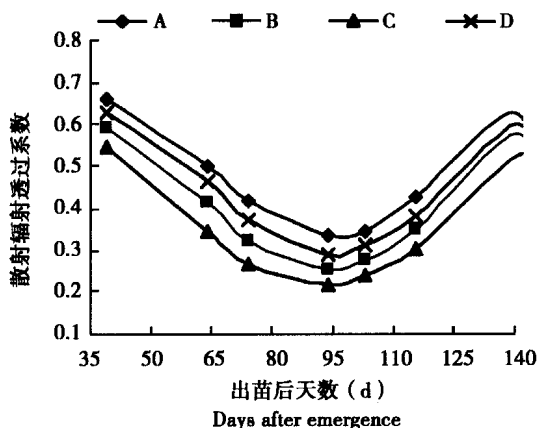


图 7 不同灌水量对不同生育时期新陆早 12 号
散射辐射透过系数的影响

Fig 7 Effect of different irrigation on Transmission
Coefficient for Diffuse Penetration of Xinluzao 12
at different growth stages

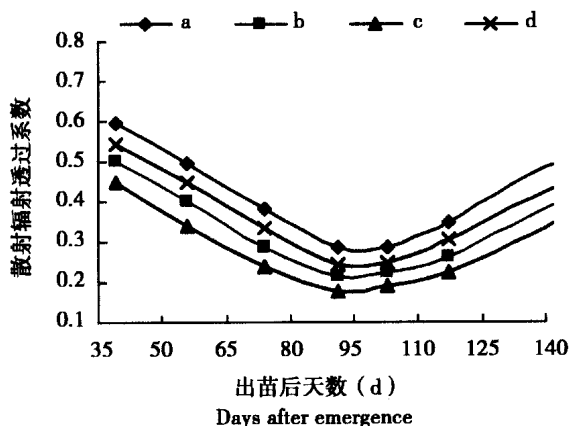


图 8 不同灌水量对不同生育时期新陆早 13 号
散射辐射透过系数的影响

Fig 8 Effect of different irrigation on Transmission
Coefficient for Diffuse Penetration of Xinluzao 13
at different growth stages

2.2.3 不同灌水量对直接辐射透过系数的影响

直接辐射是指太阳辐射以平行光的方式到达地面的辐射,是光合作用的主要成分。当灌水量较小时棉花叶倾角较大,直射辐射透过系数 T(Transmission Coefficient for radiation penetration)亦较大,反之当灌水量增大时 T 值减小,当灌水量超过一定时 T 值的减小

不再与之成比例关系。本试验中 T 值从现蕾期至盛铃期呈逐渐减小趋势,于盛铃期(08-10 左右)达最低值,之后 T 值逐渐增大,至收获期再次达最大值。在高灌量条件下新陆早 13 号的 T 值大于新陆早 12 号的 T 值,在限量滴灌和适量滴灌情况下新陆早 12 号的 T 值小于新陆早 13 号的 T 值(图 9, 10)。

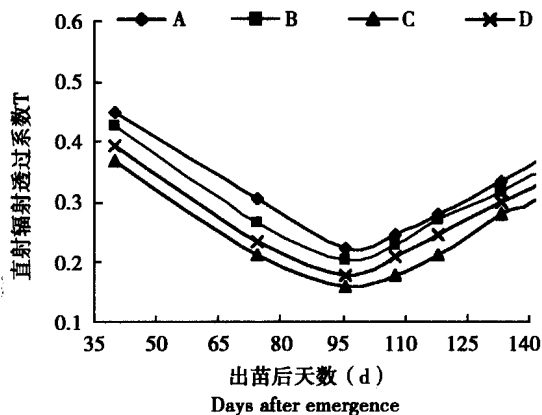


图 9 不同灌水量对不同生育时期新陆早 12 号
直射辐射透过系数的影响

Fig 9 Effect of different irrigation on Transmission
Coefficient for radiation Penetration of Xinluzao 12
at different growth stages

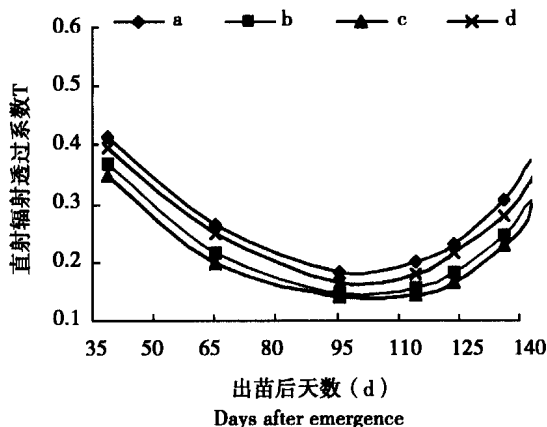


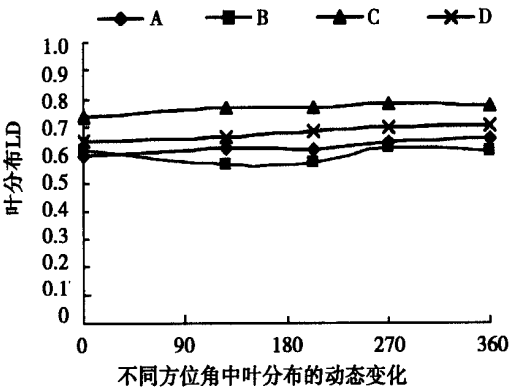
图 10 不同灌水量对不同生育时期新陆早 13 号
直射辐射透过系数的影响

Fig 10 Effect of different irrigation on Transmission
Coefficient for radiation Penetration of Xinluzao 13
at different growth stages

2.2.4 不同灌水量对叶分布的影响

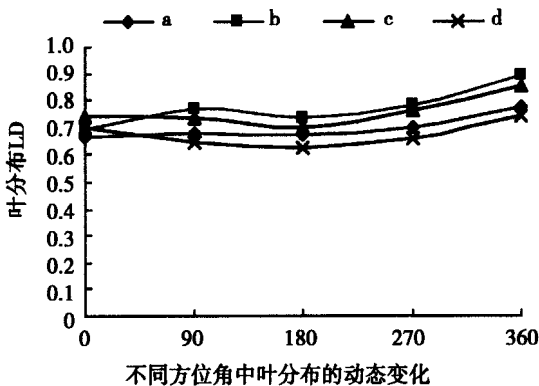
叶分布 LD (Leaf Distribution) 是指作物叶片在植株上不同层次、不同方位角中的分布。不同品种在不同方位角中的叶分布比例是不一样的^[5]。总体上看,在灌水量 $2\,400\text{ m}^3/\text{hm}^2$ 的处理下两品种在 $0^\circ \sim 360^\circ$ 内叶分布均较为均匀,但在灌水量 $3\,600\text{ m}^3/\text{hm}^2$ 处理下两品种在 $0^\circ \sim 360^\circ$ 内叶分布均呈现不规则状态,这是因为灌水量过高,叶片相互重叠紧密造成冠层密闭严重。在适量滴灌条件下新陆早 12 号在 $0^\circ \sim 360^\circ$ 全方位内

叶分布比例较新陆早 13 号的高(图 11, 12)。



Dynamic variety of leaf distribution at different azimuth angle
图 11 不同灌水量对不同生育时期新陆早 12 号叶分布的影响

Fig. 11 Effect of different irrigation on leaf Distribution of Xinluzao 12 at different growth stages



Dynamic variety of leaf distribution at different azimuth angle
图 12 不同灌水量对不同生育时期新陆早 13 号叶分布的影响

Fig. 12 Effect of different irrigation on leaf Distribution of Xinluzao 13 at different growth stages

2.2.5 不同灌水量对消光系数的影响 消光系数 K(Extinction Coefficient) 是描述作物群体中叶面积遮荫程度或者消弱辐射(光) 程度的参数, 它反映了不同叶片空间取向和不同太阳辐射入射方向下群体中叶面积对太阳直接辐射的消弱能力。K 表示在一定

方向的入射平行光下在作物群体或某一水平层内, 平均单位叶面积所形成的水平阴影面积。K 反应了群体结构, 好的株型 K 值较小^[6]。当果枝与主茎夹角由下而上逐渐减小时可使冠层结构疏朗, 中、下层光照条件得到改善, 冠层消光系数下降^[7], 也即上层叶直立而下层叶水平的这种组合具有最低的消光系数。本试验表明, 棉田合理的消光系数应是从上层至下层逐渐增大, 同时新陆早 13 号的 K 值较新陆早 12 号所对应的 K 值低(表 1)。

表 1 新陆早 12 号与新陆早 13 号消光系数(K 的变化值

Tab 1 Variation of Extinction Coefficient of Xinluzao 10 and Xinluzao 13

新陆早 12 号 Xinluzao 12			新陆早 13 号 Xinluzao 13	
层次 Layer	盛铃期 Fullboll	吐絮期 Bullopening	盛铃期 Fullboll	吐絮期 Bullopening
1	0.34	0.50	0.32	0.43
2	0.44	0.53	0.41	0.49
3	0.51	0.56	0.48	0.54
4	0.56	0.63	0.52	0.59
5	0.72	0.77	0.66	0.69
6	0.92	0.95	0.88	0.92
7	1.00	1.00	1.00	1.00

2.4 不同灌水量对产量及产量构成因素的影响

不同灌水量条件下, 棉花子棉产量以新陆早 13 号为最高, 新陆早 12 号为次, 高灌量条件下新陆早 12 号最低(表 3), 表明新陆早 13 号能较好适应适量灌量条件, 新陆早 12 号相对更适宜于限量灌量条件, 进一步考察其产量构成因素, 两品种的单株结铃数均表现为适量灌量> 限量灌量> 高灌量> 无灌量; 单铃重的变化则表现为, 新陆早 13 号适量灌量> 高灌量> 限量灌量, 而新陆早 12 号限量灌量相对大于适量灌量和高灌量, 因此在适量灌量条件下选择新陆早 13 号、限量灌量田间下选择新陆早 12 号

表 3 不同灌水量处理棉花的产量及产量结构

Tab 3 Yield and yield compliments at different irrigation

品种 Varieties	处理(m ³ /hm ²) Treatment	单株结铃数 Boll numbers per plant	单铃重(g) Boll weight	子棉产量(kg/hm ²) Seed cotton yield
新陆早 12 号 Xinluzao 12	0	6.38	5.59	4168.4
	1200	6.04	5.53	4523.6
	2400	5.65	5.52	4528.2
	3600	5.31	5.41	4111.9
新陆早 13 号 Xinluzao 13	0	6.81	6.11	4153.2
	1200	6.23	6.02	4522.1
	2400	5.69	5.87	4766.6
	3600	5.19	5.73	4249.3

能获得较高产量。同时还发现高灌量下产量降低明显,说明灌水量达到一定程度,产量可达最高值,如果再继续增加灌量,产量反而会下降。从不同灌水量对产量的反应差异可以看出,在新疆针对不同灌水量开展品种选育,实行节水灌溉是有潜力的。

3 结论与讨论

本试验采用 CF-110 作物冠层映像仪测定作物冠层结构特征主要是通过 CF-110 的鱼眼成像原理,将 CF-110 水平放置在近地面处对作物群体照相,每次成像形成一个 Image 文件,存储在仪器中,由专门的串行口下载到计算机作物冠层分析软件进行映像分析,通过计算光透射系数或冠层以下可见光的比例来计算相关的参数。该映像分析仪采集数据准确迅速,测定项目较全,是当今世界先进的作物信息采集和图像处理系统,可用于棉田冠层特征的诊断。应用这一方法测定的叶面积指数避免了室内测定不能考虑平均叶簇倾斜角度、破坏性强、费时费力的缺陷^[8]。

不同的棉花品种其冠层特征不同。新陆早 12 号叶面积指数大,叶倾角较小,透光率较低,相对容易构建理想高产群体模式,同时应注意群体控制,种植中高密度,避免偏旺;新陆早 10 号由于株型紧凑,叶面积指数小,叶倾角大,透光率较高,消光系数较低,相对不易形成丰产群体结构,故应注重形成大群体,种植高密度,同时加强后期管理。合理的群体是高产的基础,故应根据不同的品种特性制定栽培措施、创造合理群体。

通过两年(2002-2003 年)的试验观测、图像处理及数据统计分析,发现各项指标(LAI, MFIA, TC, T, K, LD)的平均值与两年中各项的实测值差异很小,这说明年度间差异并不大。本试验表明,不同密度处理下的棉花冠层及光合作用表现亦有所不同。低密度或超高密度种植致使叶面积指数降低,叶片平均倾斜角度增大,群体散射辐射透过系数和群体直射辐射透过系数增大,消光系数增加,对光能的截获率降低;高密度条件下叶面积指数增高,群体散射辐

射透过系数和群体直射辐射透过系数降低,消光系数减少,叶片平均叶倾角度小,叶片有变平的趋势,这样可以使叶片截获更多的光能,但这将引起冠层内光照恶化,植株中下部的叶片由于光照不足使群体光合速率降低。对于不同品种,高密度(株数 210 000~240 000 株/hm²)种植条件下可选择新陆早 10 号种植,中高密度(株数 135 000~165 000 株/hm²)条件下种植新陆早 12 号可获较高产量。

本试验最终结果表明,新疆高产棉区不同密度条件下(花铃期)理想的群体冠层结构指标为:高密度种植叶面积指数为 3.0~3.6,冠层平均叶簇倾斜角度为 31°~36°,散射辐射透过系数为 0.18~0.25,直射辐射透过系数为 0.19~0.31,消光系数上层为 0.30~0.36,中层 0.36~0.63,下层 0.63~1.00;中高密度种植叶面积指数为 2.2~3.1,冠层平均叶簇倾斜角度为 35°~40°,散射辐射透过系数为 0.20~0.32,直射辐射透过系数为 0.22~0.36,消光系数上层为 0.31~0.36,中层 0.36~0.74,下层 0.74~1.00。

参考文献:

- [1] 张立桢,潘学标,李亚兵,等. 棉花不同群体冠层特征的映像分析[J]. 棉花学报, 1998, 10(3): 140-145.
- [2] 张旺峰,王振林,余松烈,等. 膜下滴灌对新疆高产棉花群体光合作用冠层结构和产量形成的影响[J]. 中国农业科学, 2002, 35(6): 632-637.
- [3] 吕新,李正尚,李正和,等. 北疆超高产(2 400kg/hm²)棉田冠层结构指标初步研究(简报)[J]. 石河子大学学报自然科学版, 1998, 107-108.
- [4] 裴炎,邱晓,刘明钊. 棉花冠层结构及光合作用研究[J]. 作物学报, 1988, 14(3): 214-220.
- [5] 吕新,白萍,王克如. 不同棉花品种群体冠层构成分析[J]. 中国棉花, 2001, 28(4): 14-15.
- [6] 郑有飞. 棉花的光能利用[J]. 中国棉花, 1991. (3): 21-22.
- [7] 刘殿英,黄炳如,董庆裕. 土壤水分对冬小麦根系生长的影响[J]. 山东农业大学学报, 1991, 22(2): 356-363.
- [8] 吕新,张伟,王登伟,等. 棉花冠层对不同灌水量的反应[J]. 棉花学报, 2004, 16(1): 21-25.