文章编号：1005-0906(2016)02-0129-07 DOI: 10.13597/j.cnki.maize.science.20160223

超高产条件下玉米产量及冠层结构

杨德光[1],赵 旺[1],秦东玲[1],刘飞跃[1],张 倩[1],关 宇[1],杨克军[2]
(1.东北农业大学农学院,哈尔滨 150030; 2.黑龙江八一农垦大学农学院,黑龙江 大庆 163319)

摘 要：2011~2012年,选用郑单958为供试材料,以传统栽培模式为对照(CK),研究超高产栽培条件下春玉米的冠层结构。结果表明,超高产条件下春玉米产量及有效穗数均显著高于对照;玉米在超高产栽培条件下,其群体叶面积指数(LAI)均高于传统栽培模式(CK),且LAI最大值的持续天数比CK长。棒三叶及棒三叶以上叶增加幅度明显,与CK均达到显著水平;超高产栽培条件下玉米叶倾角明显小于CK,叶向值增大,群体受光态势较好。叶片光合速率(P_n)均随生育时期的推移而不断降低,在全生育期超高产栽培条件均高于CK,并且在大喇叭口期差异显著;整个生育时期超高产栽培条件的光合势均高于CK。超高产栽培LAI持续天数长,叶倾角小,叶向值大,进而改善玉米群体受光态势,提高叶片光合能力,具有高光效的冠层结构。

关键词：玉米;超高产栽培;冠层结构;光合能力
中图分类号：S513.047 **文献标识码**：A

Yield and Canopy Structure of Maize under the Condition of High Yield Cultivation

YANG De-guang[1], ZHAO Wang[1], QIN Dong-ling[1], LIU Fei-yue[1],
ZHANG Qian[1], GUAN Yu[1], YANG Ke-jun[2]
(1. *College of Agriculture, Northeast Agricultural University, Harbin* 150030;
2. *College of Agriculture, Heilongjiang Bayi Agricultural University, Daqing* 163319, China)

Abstract: During the 2012-2013 years, the canopy structure of spring maize under the condition of high yield cultivation(SHY) was studied with the traditional culture model as the control(CK). The results show that, under the condition of super high yield spring maize yield and effective panicle number was significantly higher than the control; maize under the condition of SHY, the leaf area index(LAI) were higher than that of traditional cultivation pattern(CK), and the maximum duration of LAI longer than the control; SHY increased significantly more than in corn stick and clover stick leaf, and CK reached a significant level; SHY maize leaf angle was small and the control, leaf orientation value increases, population light distribution is better; leaf SHY and CK photosynthetic rate(P_n) were all decreased with the growth process, in the whole growth period of SHY was higher than that of CK, and in the large the bell was significant; in addition, the whole growth period of SHY photosynthetic potential was higher than that of CK. Super high yield cultivation LAI full duration long, leaf angle small leaves to value. In order to improve the maize population situation by light, improve leaf photosynthetic capacity, canopy structure with high efficiency.

Key words: Maize; Super high yield cultivation; Canopy structure; Photosynthetic capacity

玉米超高产是近年来作物科学研究的热点之一。围绕超高产目标的实现,国内外学者从品种选育及干物质积累、冠层结构、源库关系、肥密调控和生态条件等栽培学方面进行了研究[1,2]。目前,关于高产、超高产栽培模式下作物超高产的高光效冠层结构的研究主要集中在水稻、小麦、大豆等作物上[3,4]。玉米超高产多数是通过增加种植密度并结合优化施肥和整地管理等综合措施实现,这些措施无疑会影响玉米群体的冠层结构,进而影响产量水平[5,6]。本研究中超高产栽培模式以深耕土层、合理密植和施肥、灌溉等综合措施为基础,在实现超高产

收稿日期：2015-10-23
基金项目：2015年农业部全国农业科研杰出人才项目
作者简介：杨德光(1967-),男,教授,博士,博士生导师,从事玉米栽培生理研究。E-mail:ydgl@tom.com
杨克军为本文通讯作者。

的同时保证了群体根冠特性，通过研究超高产玉米群体的冠层结构及生理特性，分析玉米超高产的生理基础，为超高产的栽培技术调控提供理论指导。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

2011～2012年试验在黑龙江八一农垦大学实习试验基地进行。种植区年均气温7.5℃～8.5℃，年均日照时数3 100～3 200 h，年均降水量400～450 mm，供试土壤为草甸黑钙土。有机质含量2.16%，碱解氮160.65 mg/kg，速效磷9.74 mg/kg，速效钾145.60 mg/kg，pH值7.74。

1.2 试验设计

试验设置2个处理组，以传统栽培作为对照组(CK)，超高产栽培(SHY)作为实验组。供试玉米为郑单958。两种栽培方式均为行距50 cm的等距种植，3次重复，小区面积为100 m^2。2011年5月2日播种，9月26日收获；2012年5月3日播种，9月27日收获。播种时一次性施入磷、钾肥；氮肥传统栽培条件下小喇叭口期一次性施加，超高产栽培方式下，按3∶6∶1的比例在拔节期、大喇叭口期和抽雄期施加。传统栽培(CK)共灌水4次，灌水时期为播种前期、拔节期施肥后、抽雄期、灌浆期；超高产田(SHY)在生长至大喇叭口期追肥后增加1次灌水，共灌水5次。供试肥料为大庆尿素(含N 46%)，大庆硕丰玉米专用复合肥(其中含N：22%；P_2O_5：10%；K_2O：13%；总养分≥45%)。具体设计方案见表1。

表1 田间试验设计

Table 1 The design of field-experiment

处 理 Treatment	整地方式 Site preparation	种植密度 (10^4株/hm^2) Density	灌溉方式 Irrigation method	氮肥追施方式 Nitrogen fertilizer application mode	施肥量(kg/hm^2) Fertilizing amount		
					N	P_2O_5	K_2O
CK	旋耕灭茬	7.5	播种前期；拔节期施肥后；抽雄期；灌浆期	小喇叭口期一次施加	260	105	45
SHY	旋耕灭茬加深松	9	除上述灌水期，在大喇叭口期追肥后增加一次灌水	按3∶6∶1的比例在拔节期、大喇叭口期、抽雄期施加	370	170	25

1.3 测定项目与方法

记录播种期(实际播种日期)、6叶期(V6)、大喇叭口期(全区60%以上植株的叶龄指数为60%，V12)、吐丝期(雌穗花丝从苞叶中伸出2～3 cm，VT)、乳熟期(R3)和完熟期(苞叶枯黄，乳线消失，黑色层形成，R6)。

1.3.1 玉米产量及产量构成因素的测定

收获时每小区在中间4行取10 m^2测产，田间直接测定鲜穗重量，带回室内脱水折算实际产量，并取有代表性10穗进行考种，分别测定穗粗、穗长、行粒数、穗行数、千粒重等。

1.3.2 叶面积指数(LAI)及光合势(LAD)的测定

于6叶期(V6)、大喇叭口期(V12)、吐丝期(VT)、乳熟期(R3)及完熟期(R6)在各处理中取3个点，每个点取长势一致的植株3株，测定绿叶面积，单叶面积=长×宽×0.75(式中0.75为校正系数)，叶面积指数(LAI)=单株叶面积×单位土地面积内的株数/单位土地面积。依据测定的叶面积，光合势(LAD)可按以下公式计算：$LAD=[(L_1+L_2)/2]\times(t_2-t_1)$，$L_2$、$L_1$分别为$t_2$、$t_1$时间的叶面积。

1.3.3 叶向值(LOV)

叶片在吐丝期时被分为3层，棒三叶为中层，其上为上层，其下为下层。每次测量5个植株，3次重复。采用以下公式计算LOV值：

$$LOV=\sum_{i=1}^{n}(Lf/L)/n$$

式中，叶倾角为θ；叶片基部到最高端间距为Lf；叶片长为L；叶片数为n。

1.3.4 玉米光合特性的测定

在大喇叭口期(V12)、吐丝期(VT)、乳熟期(R3)利用Li-6400便携式光合作用测定系统 (Li-Cor，USA)测量，设定人工光源光强为800 μmol/(m^2.s)，晴天于9:30～12:00之间统一在各小区的中间条带，选取3株生育进程一致、照光均匀的健康植株的穗位叶，循环测定光合速率[Pn，μmol/(m^2.s)]，取平均值。

1.4 数据处理

采用Excel 2003软件对数据进行统计分析，利用SPSS 21.0软件进行单因素方差分析，采用Duncan检验法进行多重比较及差异显著性分析(α=0.05)。图表数据均为平均值±标准差。

2　结果与分析

2.1　玉米产量及产量的构成要素

如图1所示,玉米产量在超高产栽培条件下与普通高产栽培相比,年度差异不显著,说明两年试验同样处理产量差异不大。穗粒数和千粒重数据显示,超高产玉米两年中均低于普通高产玉米,但差异不显著。因为栽培密度在两种栽培的条件下不同,有效穗数具有极显著性。产量的构成数据显示,增密是玉米有效实现超高产的措施之一。

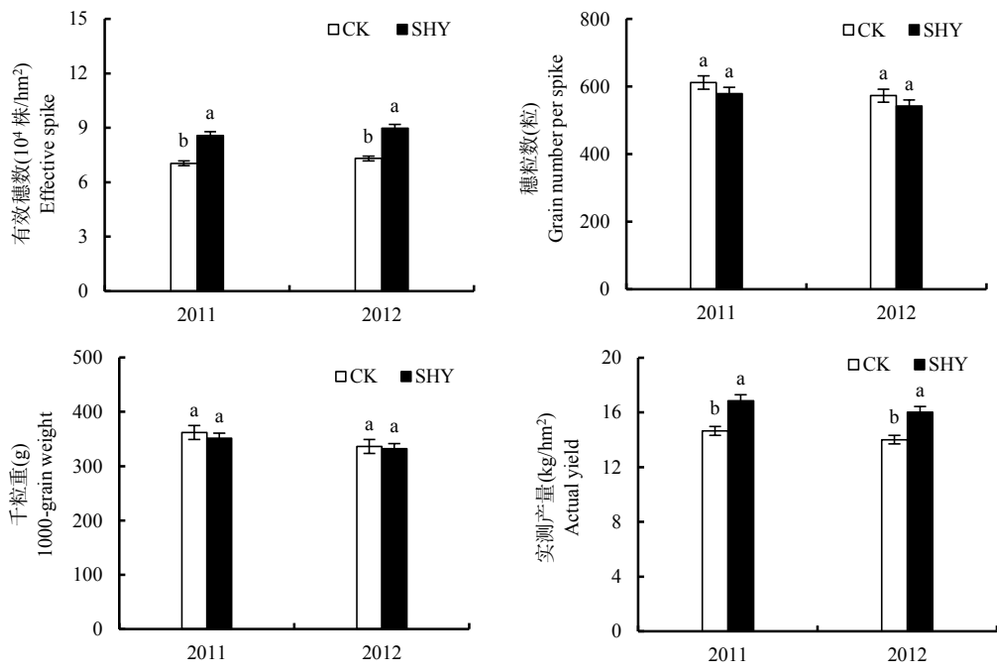

图1　两个处理下玉米产量、产量构成要素

Fig.1　The yield and yield component of different treatments

2.2　群体叶面积指数变化动态

对2011和2012年不同生育时期叶面积指数(LAI)变化进行研究。图2显示,SHY和CK栽培条件下LAI呈先增加后降低的趋势,并且在吐丝期叶面积指数达最大值,2011年最大值分别为9.12和6.89,2012年分别为9.32和7.45,两种栽培条件下的LAI在吐丝期差异达到最大。吐丝期后LAI逐渐下降,成熟期时两种栽培条件下的LAI下降到相近水平,SHY处理稍微高于CK。从吐丝期到乳熟期LAI的下降幅度看,SHY栽培条件下降幅度虽然略高于CK,但其整体水平一直很高,LAI持续较高的时间表明叶片后期生长可展现的光合面积增大,叶片衰老被延迟,因而为子粒后期的灌浆提供了有利条件,是玉米超高产目标实现的主要措施之一。

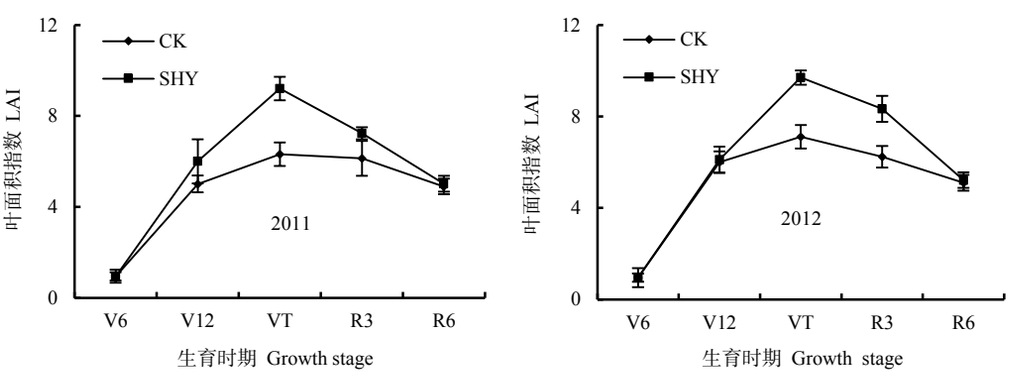

图2　两个处理下不同生育期叶面积指数

Fig.2　The LAI change of different treatments during different developmental stages

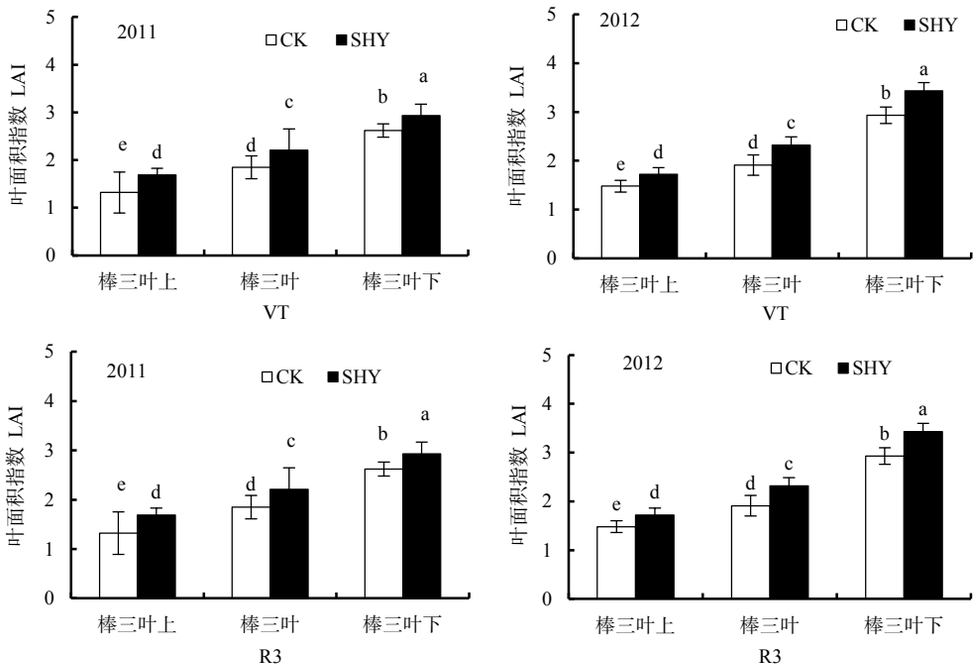

图3 两个处理下不同层位叶面积指数

Fig.3 Leaf area index of different treatments in different layers leaf

对SHY和CK处理的玉米不同层位叶叶面积指数研究显示(图3),两种栽培条件下的LAI大小均表现为棒三叶以下的LAI最大,棒三叶的LAI其次,棒三叶以上的LAI最小。在吐丝期和乳熟期,SHY处理的各个层位LAI均比CK处理高,且具有显著差异。从LAI增加的幅度分析显示,SHY处理的棒三叶LAI增长幅度高于CK的增长幅度,2011年和2012年,吐丝期分别增长了30.6%和23.5%,乳熟期分别增加了19.1%和21.2%;棒三叶及以上叶LAI增长幅度次之,棒三叶以下叶增长幅度最小。表明棒三叶、棒三叶以上叶在SHY栽培条件下,在建立高光效玉米光合体系中起到重要作用,也是实现高产的重要因素。

2.3 叶倾角和叶向值

表2 不同处理叶倾角和叶向值

Table 2 Leaf angle and leaf orientation value of different treatments

年份 Year	处理 Teratment	棒三叶上层 Above three-ear leaves		棒三叶 Three-ear leaves		棒三叶下层 Under three-ear leaves	
		叶倾角(°) Leaf angle	叶向值 Leaf orientation value	叶倾角(°) Leaf angle	叶向值 Leaf orientation value	叶倾角(°) Leaf angle(°)	叶向值 Leaf orientation value
2011	CK	11.3	65.75±2.94 b B	23.3	60.7±1.44 b B	25.6	55.73±0.94 b B
	SHY	10.1	75.03±1.44 a A	19.8	68.0±2.44 a	24.1	60.03±2.44 a A
2012	CK	10.9	66.03±4.04 b B	22.8	53.0±3.44 b	26.6	57.03±1.04 b B
	SHY	9.5	76.03±3.04 a A	18.2	64.2±4.04 a A	24.7	60.93±3.04 a A

注:同列不同大写字母表示达到0.01显著水平,同列不同小写字母表示达到0.05显著水平。下表同。

Note: Capital letters indicated statistical significance at 0.01 levels within the same column. Small letters indicated statistical significance at 0.05 levels within the same column. The same below.

试验结果显示(表2),在玉米冠层的不同层位,叶倾角大小不同,CK和SHY的叶倾角大小均表现为棒三叶下层叶倾角最大,棒三叶其次,棒三叶上层叶倾角最小。2011和2012年数据显示,SHY处理叶倾角均显著低于CK,其中,棒三叶的差异最大,分别达到了17.7%和25.3%。不同基因型品种、不同的种植密度和不同的种植条件都会对叶向值产生影响,叶向值大,植株的叶片直立,群体的采光状态好。由

表2可知，CK和SHY处理中叶向值大小均表现为棒三叶上层叶向值最大,棒三叶其次,棒三叶下层最小。SHY处理不同层次叶片的叶向值与对照相比均表现较高水平,其中在棒三叶上层和棒三叶具有极显著性差异。SHY处理具有较小的叶倾角和较大的叶向值,因此,能够很好地增强群体的受光态势,随着种植密度增加造成个体受光变差的问题在一定程度上得到了延缓。

2.4　叶面积比率

叶片在强光下的自我保护和获得光的能力受比叶面积(SLA)的影响,SLA代表单位叶重的叶面积比,通过比叶面积能够看出群体结构的合理性。叶面积比率(LAR)是指单位干物重的叶面积,限制着源的供应能力以及源库的协调。结果表明,比叶面积的变化在CK和SHY处理中均随生育进程表现出先上升后下降的趋势,SHY处理的SLA在整个生育期均高于CK,在成熟期差异达显著水平。CK和SHY处理中叶面积比率随生育时期的推进呈逐渐下降的趋势,乳熟期前SHY处理低于CK,乳熟至成熟期则略高于CK,差异均未达到显著水平。

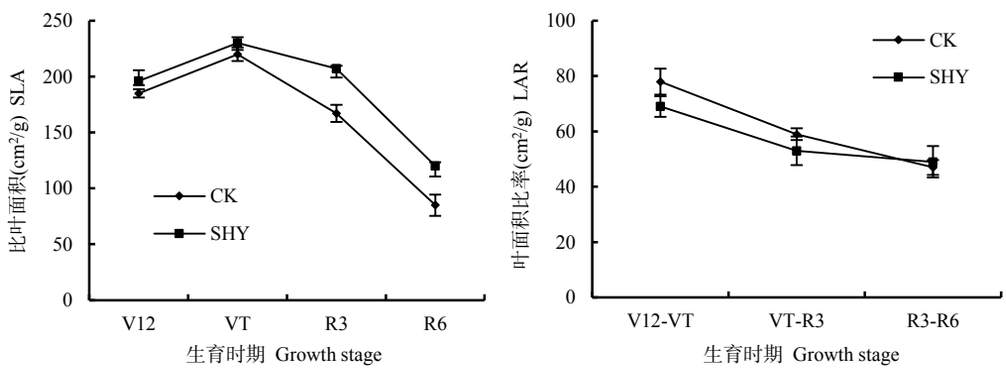

图4　不同处理群体比叶面积和叶面积比率

Fig.4　SLA and LAR of different treatments in different growth developments

2.5　光合速率

净光合速率体现了玉米同化CO_2的能力,是表观光合作用和呼吸作用外在综合体现。净光合速率日变化数据显示(图5),玉米群体冠层内叶片光合速率在整个生育期净光合速率日变化基本呈单峰曲线变化,各生育时期*P*n变化趋势一致,即先上升后下降,在正午时刻(12:00～14:00)*P*n最强。SHY处理方式下玉米叶片光合速率在全天各时刻均高于CK处理,说明SHY处理方式表现出良好的玉米群体结构,玉米叶片紧凑,叶片透光好;CK处理则表现出叶片透光差,导致光合速率偏低。

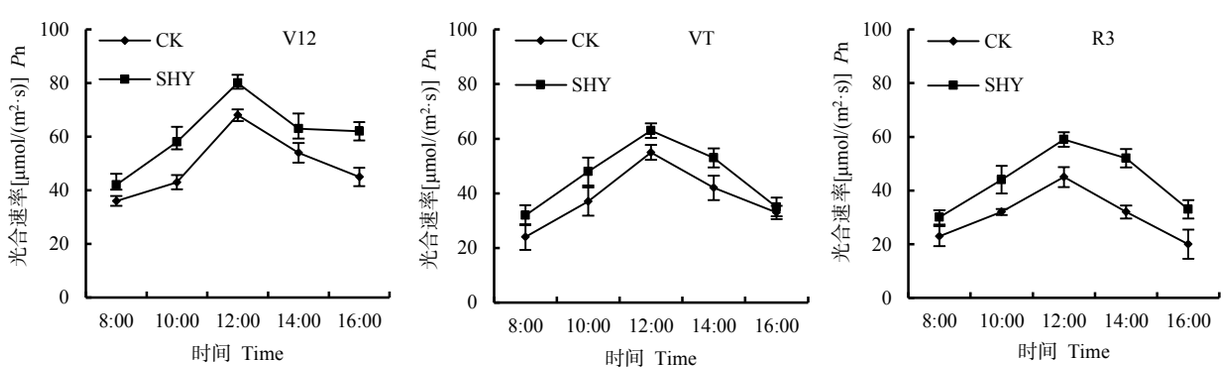

图5　不同处理各生育时期光合速率比较

Fig.5　Net Photosynthetic rate of different treatments in different stages

冠层光合能力影响净光合速率和叶面积指数。表3结果表明,SHY和CK处理中玉米在吐丝期的冠层光合能力大于乳熟期。SHY处理的冠层光合能力大于CK,且差异极显著。从冠层生产能力方面分析,吐丝期和乳熟期SHY处理均高于CK,暗示SHY处理光合能力强,因此能够生产更多的干物质。

表3 不同处理冠层光合能力和净光合速率

Table 3 Canopy photosynthesis ability and net photosynthetic rate of different treatments

年 份 Year	处 理 Treatment	吐丝期 Silking stage		乳熟期 Ratooning buds	
		净光合速率 [μmol/(m²·S)] Net photosynthetic rate	冠层光合能力(*P*n×LAI) Canopy photoynthesis ability	净光合速率 [μmol/(m²·S)] Net photosynthetic rate	冠层光合能力(*P*n×LAI) Canopy photoynthesis ability
2011	CK	29.36 a A	180.90 b B	26.99 b B	146.47 b B
	SHY	30.58 a A	220.32 a A	29.02 a A	191.86 a A
2012	CK	27.31 a A	185.80 b B	23.20 a A	145.33 b B
	SHY	28.81 a A	230.10 a A	25.90 a A	201.11 a A

2.6 光合势(LAD)

由图6可知,SHY和CK处理各生育阶段的群体光合势(LAD)均呈单峰曲线变化,随生育期的推进表现先升后降的趋势。在吐丝期-乳熟期达到最大,乳熟期-成熟期次之,在吐丝期前变化较小。整个生育时期SHY处理的光合势均高于CK。SHY处理光合势在吐丝期后较高,表明SHY处理下植株光合作用产生更多干物质。

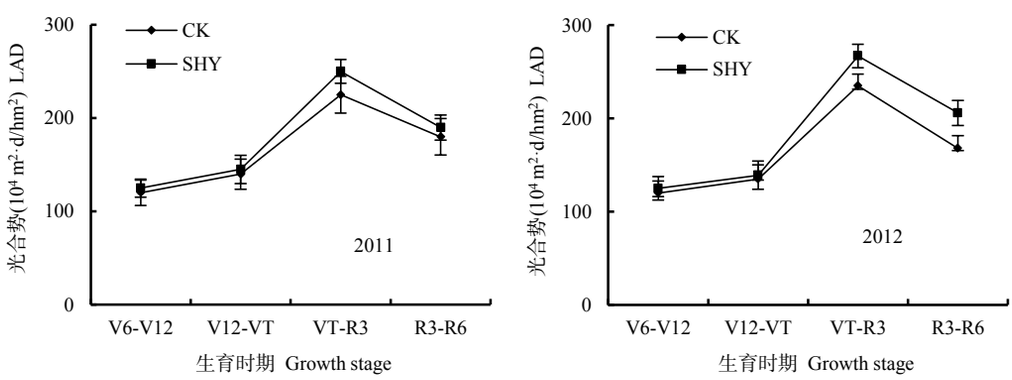

图6 不同处理光合势在不同生育期的变化

Fig.6 The change of LAD dynamics of different treatments in different developmental stages

3 结论与讨论

气象因素如温度、光照等显著影响玉米产量。赵霞等研究表明,影响玉米产量的两个最主要的因素是降水量和气候环境[7~9]。刘淑云等研究表明,影响玉米产量的主要因素是日照时间,玉米在抽丝后有效灌浆时间的长短以及吐丝后的平均日温度和光照是决定玉米穗粒数的主要因素[10,11]。气象因素主要是通过降雨量的多少以及日照时间等影响玉米的穗粒数进而影响玉米的产量[12]。本研究表明,不同年份的玉米产量不同,两种栽培模式下的产量在2012年均比2011年低,穗粒数和千粒重也有所减少,主要原因是气象因素的影响,导致穗粒数和千粒重减少。气象数据研究显示,2011年和2012年生长季节气间的热量条件相差不大,2012年的日照时数较2011年少,降水量较2011年有所增加。在抽雄散粉期降雨比较多,灌浆期光照少,使玉米千粒重、穗粒数直接受到影响,最终导致玉米产量降低

前人研究认为,超高产栽培的玉米叶面积指数的最大值达到6.95。本研究结果显示,超高产栽培的玉米其叶面积指数的最大值可达到7.42和7.87,比传统栽培分别高16.1%和13.6%;LAI的持续天数分别为72 d和74 d,比传统栽培延长12 d。玉米群体结构两个主要参数叶倾角、叶向值,改善玉米冠层的结构特征如株型、叶角等,能使光的有效截获得以增加,有利于提高群体的光合能力[13,14]。本研究中,与传统栽培相比,超高产栽培玉米具有叶倾角小、叶向值大的特点,叶倾角与当前传统栽培相比具有显著性差异,叶向角具有极显著性差异,这种特有的现象改善了玉米群体的受光态势,使植株的光合生产能力得到了提高。增加种植密度虽然能很大程度的提高玉米的单产水平,但是随着密度的增加会出现生长发育后期叶片早衰的现象[15,16]。叶片早衰便会降低光合能力从而造成子粒产量的下降[16,17]。因

此,营养调控的最终目标应该是解决玉米叶片早衰,延缓衰老,提高粒重。李潮海提出,增施氮肥可以延缓玉米生长发育后期叶片的衰老[18]。本研究中氮肥施用量高达370 kg/hm^2,在养分配比适宜的情况下,氮肥后移以及配合深松的耕作方式,可使吐丝后叶片的衰老现象得到有效减弱,一直保持着相对较高的净光合速率,也在很大程度上提高了冠层光合能力。群体结构和个体功能相互协同作用是SHY处理春玉米提高单产的关键因素。

参考文献:

[1] 陈举林,苏　波,邹仁峰,等 . 紧凑型玉米品种与超高产栽培[J] . 玉米科学,2000,8(2):46-47 .
Chen J L, Su B, Zou R F, et al. Research on the adaptability of variety type character and ecological condition in developing high yield maize[J]. Journal of Maize Sciences, 2000, 8(2): 46-47. (in Chinese)

[2] 董树亭,王空军,胡昌浩,等 . 玉米品种更替过程中群体光合特性的演变[J] . 作物学报,2000,26(3):200-204 .
Dong S T, Wang K J, Hu C H, et al. Development of canopy apparent photosynthesis among maize varieties from different eras[J]. Acta Agronomica Sinica, 2000, 26(3): 200-204. (in Chinese)

[3] 王空军,董树亭,胡昌浩,等 . 我国1950-1990推广的玉米品种叶片光合特性演变规律研究[J] . 植物生态学报,2001,25(2):247-251.
Wang K J, Dong S T, Hu C H, et al. Improvement in photosyn thetic characteristics among maize varieties in China from the 1950s to the 1990s[J]. Acta Phytoecologica Sinica, 2001, 25(2): 247-251. (in Chinese)

[4] 傅兆麟,孙其信 . 超高产基因型小麦冠层叶片生理特性及与有关产量性状的关系[J] . 南京农业大学学报,2002,25(2):16-20 .
Fu Z L, Sun Q X. Leaf physiological characteristic and its correlation with yield characters of super-high-yield genotypes in wheat [J]. Journal of Nanjing Agricultural University, 2002, 25(2): 16-20. (in Chinese)

[5] 徐恒永,赵君实 . 高产冬小麦的冠层光合能力及不同器官的贡献[J] . 作物学报,1995,21(2):204-209 .
Xu H Y, Zhao J S. Canopy Photosynhtesis capacity and the contribuiton from different organs in high-yielding winter wheat[J]. Acta Agronomica Sinica, 1995, 21(2): 204-209. (in Chinese)

[6] 胡昌浩,董树亭,王空军,等 . 我国不同年代玉米品种生育特性演进规律研究[J] . 玉米科学,1998(3):49-53 .
Hu C H, Dong S T, Wang K J, et al. Study on the evolution of the growth characteristics of maize varieties in different ages in China [J]. Journal of Maize Sciences, 1998(3): 49-53. (in Chinese)

[7] 黄智鸿,王思远,包　岩,等 . 超高产玉米品种干物质积累与分配特点的研究[J] . 玉米科学,2007,15(3):95-98 .
Huang Z H, Wang S Y, Bao Y, et al. Studies on dry matter accumulation and distributive characteristic in super high- yield maize[J]. Journal of Maize Sciences, 2007, 15(3): 95-98. (in Chinese)

[8] 韩金玲,李彦生,杨　晴,等 . 不同种植密度下玉米干物质积累、分配和转移规律研究[J] . 玉米科学,2008,16(5):115-119 .
Han J L, Li Y S, Yang Q, et al. The effect of plant density on regularity of accumulation, distribution and transfer of dry matter on spring maize[J]. Journal of Maize Sciences, 2008, 16(5): 115-119. (in Chinese)

[9] 刘开昌,王庆成,张秀清,等 . 玉米光合性能与耐密性关系的研究[J] . 山东农业科学,2001(6):25-29 .
Liu K C, Wang Q C, Zhang X Q, et al. Study on the relationship between photosynthetic capability and their density-tolerance of new corn hybrids[J]. Shandong Agricultural Sciences, 2001(6): 25-29. (in Chinese)

[10] 吴永常,马忠玉,王东阳,等 . 我国玉米品种改良在增产中的贡献分析[J] . 作物学报, 1998,124(9):595-600 .
Wu Y C, Ma Z Y, Wang D Y, et al. Analysis of contribution of maize improvement to yield increment in China[J]. Acta Agronomica Sinica, 1998, 124(9): 595-600. (in Chinese)

[11] 王永军 . 超高产夏玉米群体质量与个体生理功能研究[J] . 华北农学报,2008,14(5):13-17 .
Wang Y J. Study on population quality and individual physiology function of super high-yielding maize[J]. Huabei Agricultural Sinica, 2008, 14(5): 13-17. (in Chinese)

[12] 张石宝,李树云,尹树华,等 . 不同季节播种玉米的氮肥生产力和利用率[J] . 云南植物研究,2002,24(1):109-114 .
Zhang S B, Li S Y, Yin S H, et al. Productivity and utilization efficiency of fertilizer -N in different sowing-season maize[J]. Acta Botanica Yunnanica, 2002, 24(1): 109-114. (in Chinese)

[13] 毕研文,夏光利,毕　军,等 . 夏玉米施用氮、磷、钾、锌肥的研究[J] . 安徽农业科学,2003,31(3):488-489 .
Bi Y W, Xia G L, Bi J, et al. Studies on the application of nitrogen, phosphorus, potassium and zinc fertilizers in summer maize[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2003, 31(3): 488-489. (in Chinese)

[14] 赵　霞,王宏伟,谢耀丽,等 . 豫南雨养区夏玉米产量与气象因子的关系[J] . 河南农业科学, 2010(3):18-22 .
Zhao X, Wang H W, Xie Y L, et al. Relationship between summer maize yield and climatic factors in rain-feed region of southern Henan[J]. Journal of Henan Agricultural Sciences, 2010(3): 18-22. (in Chinese)

[15] 刘淑云,董树亭,胡昌浩,等 . 玉米产量和品质与生态环境的关系[J] . 作物学报,2005,5:571-576.
Liu S Y, Dong S T, Hu C H, et al. Relationship between ecological environment and maize yield and quality[J]. Acta Agronomica Sinica, 2005, 5: 571-576. (in Chinese)

[16] Maddonni G A, Otegui M E, Cirilo AG, et al. Plant Population density, rows Pacing andhybrid effects on maize canopy architecture and lightattenuation[J]. Field Crops Research, 2001, 71(3): 183-193.

[17] 韩立军 . 不同施钾水平对玉米干物质及产量的影响[J] . 玉米科学,2006,14(5):127-129 .
Han L J. Effect on dry substantial accumulations and yield of maize in different K fertilizer levels[J]. Journal of Maize Sciences, 2006, 14(5): 127-129. (in Chinese)

[18] 李潮海,王　群,梅沛沛,等 . 不同质地土壤上玉米养分吸收和分配特征[J] . 植物营养与肥料学报,2007,13(4):561-568 .
Li C H, Wang Q, Mei P P, et al. Characteristics of nutrient absorption and distribution of maize under different soil textures[J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2007, 13(4): 561-568. (in Chinese)

(责任编辑:姜媛媛)