

小麦/玉米带田不同玉米群体结构对光合特性的影响

何海军

(甘肃省农业科学院作物研究所, 甘肃 兰州 730070)

摘 要: 对小麦/玉米复合群体中不同玉米群体的叶面积指数、光合速率及产量要素间的关系进行研究, 结果表明: 不同玉米群体的叶面积指数和光合速率的变化趋势均呈抛物线型, 二者呈显著正相关; 光合速率与经济产量相关极显著; 两种带型中, 6 行小麦 2 行玉米, 玉米密度为 6.75 万株/hm² 的玉米群体平均光合速率最大, 经济产量最高, 6 行小麦 3 行玉米, 玉米密度为 6.00 万株/hm² 的玉米群体光合速率和经济产量次之。

关键词: 玉米; 高产群体; 冠层结构; 光合特性

中图分类号: S513.01 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2011)01-0201-05

近年来, 人们对各类作物的光合特性研究日益广泛和深入^[1-3], 尤其是对单作玉米群体或单叶的光合特性与经济产量的关系^[4-7]、单作群体结构与光合特性的关系研究^[8-11]较多, 而对复合群体中玉米光合特性的研究较少^[12-14]。合理的群体结构可以使群体保持较高的叶面积指数, 叶片维持较长的功能期, 群体内光分布合理, 光能损失减少, 光合速率提高, 干物质积累增加^[15-18]。玉米大垄双行种植方式和玉米、花生间作通过提高玉米叶片叶绿素含量和光合速率, 最终提高了经济产量^[13, 19]。本试验采用两种带型, 进行不同玉米群体的叶面积系数、光合速率及产量要素间的关系研究, 分析不同玉米群体叶面积、光合速率及产量的变化规律, 为甘肃河西绿洲灌区玉米的超高产栽培提供理论依据。

1 试验基本情况与方法

1.1 试验区基本情况

试验区位于甘肃省张掖市甘州区小满镇, 年均降水量为 120 mm, $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 的积温 2 844 $^{\circ}\text{C}$ ~ 3 200 $^{\circ}\text{C}$, 宜发展间套两熟, 年太阳总辐射量为 620.72 KJ/cm², 年日照时数为 3 085 h, 日照百分率为 72%, 无霜期 152 d 左右, 肥力状况为有机质含量 7.80 g/kg, 全氮 0.84 g/kg, 全磷 0.072 g/kg, pH 为 7.61。

1.2 试验设计与方法

试验在农户责任田中进行, 供试小麦品种为永良 4 号, 小麦保苗 450 万株/hm², 玉米品种为陇单 3 号, 其中密度设 D1 为 5.25 万株/hm², D2 为 6.00 万株/hm², D3 为 6.75 万株/hm², D4 为 7.5 万株/hm² 4 个水平, 带型结构为 A1 和 A2 两种, A1 为 6 行小麦

2 行玉米(6:2), A2 为 6 行小麦 3 行玉米(6:3)。A1 和 A2 带型中小麦行距均为 10 cm, 玉米行距分别为 40 cm 和 20 cm。试验采用不完全随机排列设计, 3 次重复, 小区面积为 18 m², 每小区两个自然带, 带向东西。播前施农家肥 45 000 kg/hm², N 肥 450 kg/hm², P₂O₅ 270 kg/hm², N:P=1:0.6。磷肥全作基肥, 一次性施入, 小麦带的 N 肥 150 kg/hm², 一次性施作基肥, 玉米的 N 肥 300 kg/hm², 分基肥、大喇叭口肥、灌浆前三次按 3:6:1 的比例施入, 小麦/玉米均为全地膜覆盖, 小麦 3 月 18 日播种, 7 月 6 日收获, 玉米 4 月 20 日播种, 9 月 29 日收获, 带田按组合带单收计产。

1.3 试验测试指标及方法

分别在苗期、拔节期、抽雄期、吐丝期、乳熟期、蜡熟期测定单株叶面积, 计算叶面积指数。用中国农业大学生产的 BAU 光合测定仪测定玉米群体的光合速率(P_n), 采用封闭式气路, 所用的同化箱是长 1 m, 宽 1 m, 高度可调解的铝箱架外罩透明聚乙烯薄膜加工而成, 内置 35 W 电风扇 2 个, 用于搅拌空气。每点于测定开始后 CO₂ 下降 5 mg/kg 时采样, 测定数据用 DPS 软件统计分析。测定时间选择天气晴朗的上午 9:00 ~ 11:00 进行。收获前调查实有穗数、双穗率及空秆率, 按测定点(梅花 5 点, 每点 10 m²)每点选取有代表性的 10 穗考种, 测定产量及其构成因素。

2 结果与分析

2.1 玉米群体不同生育时期的叶面积指数变化动态

从图 1 看出, 在 A1 和 A2 带型中, 4 种密度下玉

收稿日期: 2010-06-25

基金项目: 甘肃省中青年基金项目“粮田超高产栽培理论及技术体系研究”(ZQ-96-20)

作者简介: 何海军(1969—), 男, 甘肃会宁人, 副研究员, 主要从事玉米育种工作。E-mail: hhjun007@sina.com。

米群体的叶面积指数变化趋势均呈抛物线型。苗期(05-26)~拔节期(06-12),植株生长较慢,叶面积指数增加较少,而拔节期(06-12)~抽雄期(07-19)叶面积指数迅速增加,在抽雄期(07-19)~灌浆期(08-23),LAI 达到全生育期的最大值。灌浆后期,随着植株叶片的衰老干枯,LAI 持续降低。另外,从图中可以看出,在拔节期前,两种带型中不同玉米群体的 LAI 差异不明显。拔节期开始玉米群体

的 LAI 随密度的增加而增大,A2 带型中的 4 种玉米群体的 LAI 差异比较明显,而 A1 带型中 A1D1 和 A1D2 之间、A1D3 和 A1D4 之间玉米群体的 LAI 无明显差异,但 A1D1、A1D2 与 A1D3、A1D4 的 LAI 差异明显。在抽雄期以后,A1D4 的 LAI 显著下降,其 LAI 低于 A1D3 的 LAI,两种带型中其它玉米群体的 LAI 大小顺序都按密度由低到高排列。

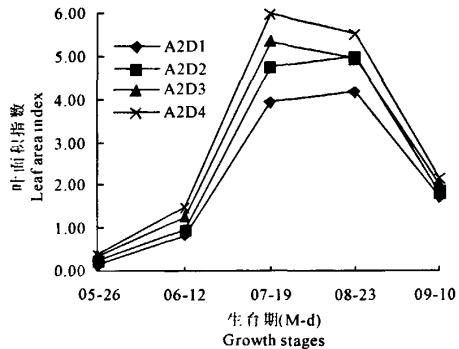
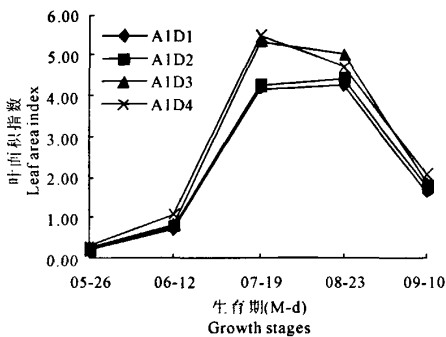


图 1 带田玉米群体不同生育时期叶面积指数的变化

Fig.1 Changes of LAI of maize in intercropping at different growth stages

2.2 不同生育时期玉米群体的光合速率变化动态

从图 2 中看出,生育期两种带型 4 种密度玉米群体的光合速率变化曲线都为“单峰型”曲线。苗期~拔节期间,玉米生长较慢,进行光合作用的叶面积较小,因此,这个时期所有群体的光合速率较低,增加速度也较慢。从图中也看出,在此期间,A1 带型的 4 个密度玉米群体的 P_n 差异不明显,而 A2 带型的 A2D3 和 A2D4 的 P_n 明显较 A2D1 和 A2D2 的 P_n 高。拔节期开始,随着玉米生长速度加快,叶片面积迅速增大,群体光合速率随着光合面积的增大而迅速增大,抽雄期群体的光合速率均达到全生育期的最大值。在灌浆期间(07-19~08-23),群体光合速率维持在较高的水平,灌浆后期,随着群体下部叶

片的干枯,叶面积减小,群体光合速率迅速下降。07-19~09-10 期间,A1 带型中,玉米群体光合速率大小排序为 A1D3 > A1D2 > A1D1 > A1D4,而 A2 带型中,玉米群体光合速率大小排序为 A2D2 > A2D3 > A2D1 > A2D4。由此看出,A1 带型中,当玉米种植密度为 6.75 万/hm² 株时,群体光合速率最大。A2 带型中,当玉米种植密度为 6.0 万/hm² 株时,群体光合速率最大。两种带型中,玉米群体的光合速率均随玉米种植密度的增加而增大,但当种植密度增加到最大 7.5 万/hm² 株时,群体的光合速率反而最小,这是由于密度过大造成群体内叶片相互遮荫,光分布不均,群体下部叶片见不到阳光,最终导致群体的光合速率下降。

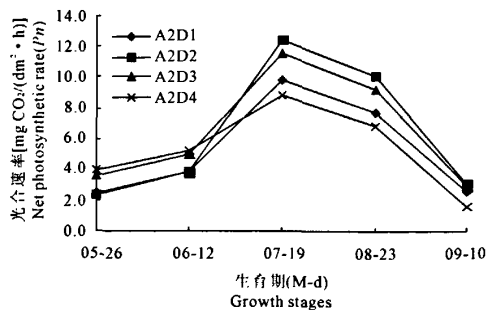
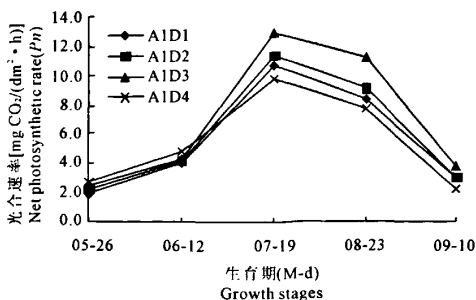


图 2 两种带型中玉米群体的光合速率变化

Fig.2 Changes in P_n of maize in two types of intercropping

2.3 不同玉米群体光合速率与叶面积指数的关系

从表 1 看出,在两种带型中,4 个密度的玉米群体都表现出光合速率与叶面积指数呈显著正相关。在 A1D3 全生育期光合速率与叶面积指数的相关性最大($r=0.9751^{**}$),A1D4 的光合速率与叶面积指数的相关性最小($r=0.8818^{*}$)。在 A2 带型中,当玉米群体密度达 6.00 万株/hm² 时,全生育期光合速率与叶面积指数的相关性最大($r=0.9489^{**}$),当玉米群体密度达 7.5 万株/hm² 时,其全生育期光合速率与叶面积指数的相关性最小($r=0.7893^{*}$)。由此可见,群体光合速率与叶面积指数关系密切,适当增加 LAI,可以增加光合面积,从而可以提高光合速率,但 LAI 不宜过大,否则因遮阴而导致光合速率会降低。

表 1 玉米群体的光合速率与叶面积指数的相关分析

Table 1 Correlation analysis between P_n and LAI of maize

带型 Intercroppings	群体密度 Density			
	D1	D2	D3	D4
A1	0.9433 ^{**}	0.9487 ^{**}	0.9751 ^{**}	0.8818 [*]
A2	0.9161 ^{**}	0.9489 ^{**}	0.9349 ^{**}	0.7893 [*]

注: ** 表示在 1% 水平相关性显著; * 表示在 5% 水平相关性显著

Note: ** indicates significant correlativity at 1% level; while * indicates significant correlativity at 5% level.

2.4 不同群体产量及产量要素分析

从表 2 看出,8 个处理中,A1D3 的经济产量最高,达到 11 632.5 kg/hm²,平均光合速率也最大,为 CO₂ 6.9 mg/(dm²·h); A2D2 的经济产量次之,为 11 475.0 kg/hm²,平均光合速率为 CO₂ 6.4 mg/(dm²·h)。在 A1 带型中,随着种植密度的增大,

A1D1、A1D2、和 A1D3 的果穗长度、穗粗、穗行数、行粒数、千粒重和出籽率等产量要素的差异不明显,产量的增加主要为密度增加所致。但当密度增加到 7.5 万株/hm² 时,造成玉米群体内遮阴严重,A1D4 的平均光合速率反而最低,为 CO₂ 5.3 (mg/dm²·h),该群体的果穗长度缩短,秃顶变长,穗粗、穗行数、行粒数、千粒重和出籽率等产量要素明显降低,最终导致 A1D4 经济产量最低。在 A2 带型中,随着种植密度的增大,A2D1 和 A2D2 的果穗长度、穗粗、穗行数、行粒数、千粒重和出籽率等产量要素的差异不明显,产量的增加也主要为密度增加所致。但当密度继续增加时,A2D3 和 A2D4 的平均光合速率持续下降,所有产量要素明显降低,最终导致 A2D4 经济产量最低。由此可见,一定范围内,增加群体密度可以提高玉米的经济产量,但群体密度不易太大。

2.5 两种带型群体的光合速率与产量及产量要素的相关分析

从表 3 看出,A1 和 A2 带型玉米群体的光合速率与经济产量的相关系数分别为 0.8796 和 0.7853,均达到了极显著水平,说明提高光合速率可以增加经济产量。在 A1 带型中,玉米群体的光合速率与千粒重、行粒数呈显著正相关,但与穗长、穗粗、穗行数和出籽率等产量要素相关不显著。这表明,A1 带型的玉米群体的光合速率的提高可以显著增加玉米果穗的行粒数和千粒重,从而提高群体的经济产量。在 A2 带型中,玉米群体的光合速率与所有产量要素相关不显著。两种带型中群体光合速率与果穗的秃顶长均呈负相关,这说明提高光合速率,可以提高果穗的结实性,减少秃顶长,对增加经济产量有积极作用。

表 2 不同玉米群体光合速率与产量要素

Table 2 Yield and P_n in different maize population

处理 Treatments	穗长 Ear length (cm)	穗粗 Ear diameter (cm)	秃顶长 Rare ear length (cm)	穗行数 Ear lineage (行)	行粒数 Row kernels (粒)	千粒重 1000-kernel weight (g)	出籽率 Percentage of kernel weight in ear weight(%)	折合产量 Yield (kg/hm ²)	平均光合速率 Average P_n [CO ₂ mg/(dm ² ·h)]
A1D1	22.6	5.4	0.0	16.2	40.9	359.7	82.9	10582.5	5.5
A1D2	22.4	5.3	0.0	16.1	39.2	356.0	82.6	11386.5	5.9
A1D3	22.0	5.3	0.3	16.0	41.0	366.4	82.5	11632.5	6.9
A1D4	18.9	5.1	1.5	15.1	33.2	326.9	80.0	10053.0	5.3
A2D1	22.8	5.3	0.0	16.0	41.2	366.0	82.2	10857.0	5.3
A2D2	22.2	5.3	0.3	16.0	40.4	349.9	82.0	11475.0	6.4
A2D3	20.7	4.7	0.6	15.3	38.3	332.3	80.3	10926.0	5.7
A2D4	17.0	4.6	2.7	14.5	30.0	320.1	79.5	9850.5	5.3

表 3 两种带型玉米群体光合速率与产量及产量要素相关分析

Table 3 Correlation analysis of Pn and yield components of maize in intercropping

处理 Treatments	穗长 Ear length	穗粗 Ear diameter	秃顶长 Rare ear length	穗行数 Ear linage	行粒数 Row kernels	千粒重 1000-kernel weight	出籽率 Percentage of kernel weight in ear weight	产量 Yield
A1	0.4373	0.2977	-0.3934	0.4252	0.6011*	0.7084*	0.4669	0.8796**
A2	0.4163	0.4212	-0.4092	0.4903	0.4442	0.1502	0.4009	0.7853**

注: ** 表示在 1% 水平相关性显著; * 表示在 5% 水平相关性显著。

Note: ** indicates significant correlativity at 1% level; while * indicates significant correlativity at 5% level.

3 结 论

1) A1 和 A2 带型中,不同玉米群体的叶面积指数和光合速率的变化趋势均呈抛物线型。叶面积指数与光合速率呈显著正相关,这说明适当增加种植密度,LAI 增大,光合面积增加,从而可以提高光合速率。但 LAI 不宜过大,否则造成群体内叶片相互遮荫,光分布不匀,最终导致群体的光合速率下降。A1 带型中,当玉米种植密度为 6.75 万株/hm² 时,群体光合速率最大。A2 带型中,当玉米种植密度为 6.00 万株/hm² 时,群体光合速率最大。

2) 低密群体中,玉米果穗长度、穗粗、穗行数、行粒数、千粒重和出籽率等产量要素的差异不明显,产量的差异主要由密度的大小来决定。但当玉米群体超过最佳密度时,平均光合速率降低,穗长缩短,秃顶变长,穗粗、穗行数、行粒数、千粒重和出籽率等产量要素明显降低,最终导致经济产量最低。相关分析表明,A1 和 A2 带型中,玉米光合速率与经济产量的相关系数分别为 0.8796 和 0.7853,均达到了极显著水平。两种带型中,A1D3 的平均光合速率最大,经济产量最高,A2D2 的光合速率和经济产量次之。

参 考 文 献:

[1] 卢刘义次,薛德裕译.作物的光合作用有物质生产[M].北京:科学出版社,1979.

[2] 王天锋.光合作用与作物产量[J].植物生理学通讯,1988,(1): 52—54.

[3] 王庆成.玉米的群体光合作用[J].玉米科学,2001,9(4):57—61.

[4] 胡昌浩,董树亭,岳寿松,等.高产夏玉米群体光合速率与产量关系的研究[J].作物学报,1993,19(1):63—67.

[5] 杨国虎,李 新,王承莲,等.种植密度影响玉米产量及部分产量相关性状的研究[J].西北农业学报,2006,15(5):57—64.

[6] 吕丽华,王 璞,易镇邪,等.密度对夏玉米品种光合特性和产量性状的影响[J].玉米科学,2007,15(2):79—81.

[7] 薛珠政,卢和顶,林建新,等.群体结构对玉米冠层特征、光合特性及产量的影响[J].国外农学—杂粮作物,1998,18(6):27—29.

[8] 东先旺,刘树堂.夏玉米超高产群体光合特性的研究[J].华北农学报,1999,14(2):1—5.

[9] 路海东,薛吉全,马国胜,等.夏玉米不同群体的受光态势和光合特性研究[J].玉米科学,2008,16(4):100—104.

[10] 曹 娜,于海秋,王绍斌,等.高产玉米群体的冠层结构及光合特性分析[J].玉米科学,2006,14(5):94—97.

[12] 宁堂原,焦念元,赵 春,等.不同品种春夏玉米套作模式中夏玉米光合特性与产量的关系[J].中国生态农业学报,2009,17(3):459—464.

[13] 焦念元,宁堂原,赵 春,等.玉米花生间作复合体系光合特性的研究[J].作物学报,2006,32(6):917—923.

[14] 肖 华,刘景德,王文静,等.套种玉米宽窄行的光合特性与果穗性状研究[J].石河子大学学报(自然科学版),2002,6(3): 186—188.

[15] 王敬亚,齐 华,梁 熠,等.种植方式对春玉米光合特性干物质积累及产量的影响[J].玉米科学,2009,17(5):113—115, 120.

[16] 吕丽华,陶洪斌,夏来坤,等.不同种植密度下的夏玉米冠层结构及光合特性[J].作物学报,2008,34(3):447—455.

[17] 孟祥盟,赵洪祥,孙 宁,等.吨粮田玉米与常规田玉米叶片光合特性的比较研究[J].吉林农业科学,2009,34(6):13—15, 19.

[18] 王志刚,高聚林,任有志,等.春玉米超高产群体冠层结构的研究[J].玉米科学,2007,15(6):51—56.

[19] 武志海,张治安,陈展宇,等.大垄双行种植玉米群体冠层结构及光合特性的解析[J].玉米科学,2005,13(4):62—65.

Effects of different maize population structure on photosynthetic characteristics in wheat/maize intercropping

HE Hai-jun

(Crop Institute of Gansu Academy of Agricultural Science, Lanzhou, Gansu 730070, China)

Abstract: The relationship between leaf area index, photosynthetic rate and yield with different maize populations in the wheat/maize intercropping was studied. The results showed that the curves of LAI and P_n of different maize populations were parabolas, and the correlation between P_n and LAI was significantly positive. So improvement of the photosynthetic rate could increase maize yield. In two intercrops, the average photosynthetic rate and the maize yield in A1D3 was the largest, while those in A2D2 was the second.

Keywords: intercropping; maize; photosynthetic rate; yield

(上接第 196 页)

Dynamic simulation of spring wheat leaf area index in Ningxia irrigable area

ZHANG Xue-yi^{1,2}, ZHANG Li¹, HUANG Feng¹, LIU Jing¹, MA Guo-fei¹

(1. Ningxia Key Laboratory for Meteorological Disaster Prevention and Reduction, Yinchuan 750002, China;

2. Nanjing University of Information Engineering, Nanjing 210044, China)

Abstract: In order to realize the prediction of dynamic yield of spring wheat in Ningxia, it is necessary to obtain the key parameters of LAI. Based on the field observation data of 1994 ~ 2009 from the Ningxia Yongning agricultural experiment station, the LAI dynamical law of spring wheat was studied. Three indexes and three stages and different functions were contrasted and analyzed. The results indicated that the formula $y = (a + bx)/(1 + cx + dx^2)$ was the best form to simulate the LAI in 3-leaf stage to heading stage, in which the physical day was used as the argument after LAI and these indexes were normalized. But the simulated results from the $y = a/[1 + \exp(b + cx + dx^2)]$ and Richard formulas were not ideal. The simulating accuracy of 3-leaf to heading was noticeably higher than that of 3-leaf to maturity after the growth processes were divided into three stages. R^2 was changed from 0.90795 to 0.95796, RMSE from 0.10359 to 0.07612, the accuracy from 0.9156 to 0.93351, the degree of accuracy from 0.9717 to 0.9848, and the $\alpha < 0.001$, which indicated that this mean could better obtain spring wheat LAI, which provided a powerful method for the prediction of spring wheat yield in Ningxia irrigable area.

Keywords: spring wheat; LAI; meteorological elements; dynamic simulation; normalization