

密植和行距配置对夏玉米群体光分布及光合特性的影响

高英波 陶洪斌 黄收兵 田北京 王丽君 李芸 任建宏 王璞*

(中国农业大学 农学与生物技术学院/农业部农作制度重点实验室,北京 100193)

摘 要 为探求不同行距配置下高密夏玉米群体光合性能及产量形成对群体光环境变化的响应,本试验在 75 000 (D1)和 90 000 (D2)株/hm² 2 个种植密度下,研究了 3 个行距配置(等行距 S1:60 cm+60 cm;大宽窄行 S2:80 cm+40 cm;小宽窄行 S3:60 cm+45 cm)对夏玉米(郑单 958)群体光分布、全株叶片光合特性及产量的影响。结果表明:1)随着种植密度增加,夏玉米群体上层光截获显著增加,下层光截获显著降低。与等行距相比,大宽窄行处理中下层透光率增加,但群体光总截获降低。小宽窄行处理显著增加了穗位层的光截获。2)全株叶片 SPAD 值、最大光能转换效率(F_v/F_m)和同一光照水平下净光合速率(Photosynthetic rate, P_n)随冠层垂直深入呈现出单峰曲线变化,峰值出现在穗位层;随密度增加全株叶片 SPAD 值、 F_v/F_m 和 P_n 呈现降低趋势,下部叶片降低显著,行距配置之间全株叶片光合生理活性总体上表现为小宽窄行>大宽窄行>等行距。叶片 P_n 与冠层内光照强度具有极显著正相关关系,表明光照强度是限制玉米冠层中下部叶片 P_n 的主要原因。3)密度增大后产量增加,但未达显著水平。同一密度处理下,小宽窄行处理产量显著增加。随着密度增加,宽窄行增产效应增加。总体表明,密植条件下,小宽窄行处理下玉米冠层内光分布比较合理,群体穗位层截获光合有效辐射较多,光合能力和干物质生产能力增强,更有利于夏玉米产量提高。

关键词 夏玉米;光照强度;光分布;叶绿素荧光;净光合速率

中图分类号 S 513

文章编号 1007-4333(2015)06-0009-07

文献标志码 A

Effects of high planting density and row spacing on canopy light distribution and photosynthetic characteristics of summer maize

GAO Ying-bo, TAO Hong-bin, HUANG Shou-bing, TIAN Bei-jing,

WANG Li-jun, Li Yun, REN Jian-hong, WANG Pu*

(College of Agronomy and Biotechnology/Key Laboratory of Farming System, Ministry of Agriculture,
China Agricultural University, Beijing 100193, China)

Abstract The plant distribution within the field determined the canopy characters and light interception of canopy, which directly related to photosynthesis capacity and affect the grain yield of summer maize in the end. A 2-year field trial was conducted at Wuqiao Experimental Station of China Agricultural University in Hebei Province to clarify the effect of canopy character on light interception and yield formation of summer maize. The experiment was a split-plot design with planting density as main factor and row spacing as minor factor. Two planting densities were 75 000 and 90 000 plant/hm² respectively. Under each planting density, three row spacing were set up as uniform row spacing of 60 cm, un-even row spacing of 80 cm + 40 cm, and un-even row spacing of 60 cm + 45 cm. Light distribution, leaf photosynthesis of whole plant, and yield were measured. The results indicated that: 1) light interception at upper canopy layer was significantly increased with the increase of planting density. Moreover, light interception of whole canopy was less in un-even row spacing of 80 cm + 40 cm with an increment of transmittance, while light interception from 14th to 17th leaf was greater in uneven row spacing of 60 cm + 45 cm as compared with uniform row spacing; 2) SPAD value, F_v/F_m ,

收稿日期: 2015-03-08

基金项目: 国家现代产业技术体系建设专项(CARS-02-26); 公益性行业(农业)科研专项(201203031)

第一作者: 高英波, 博士研究生, E-mail: yingboandy@163.com

通讯作者: 王璞, 教授, 主要从事作物高产与资源高效利用研究, E-mail: wangpu@cau.edu.cn

and P_n of single leaf in whole plant were decreased except top leaf and ear leaf. In addition, all these parameters decreased with the increase of planting density, specifically for lower leaf positions. Generally, whole plant photosynthesis under uneven row spacing of 60 cm + 45 cm was the greatest, while that under uniform row spacing of 60 cm was the least; 3) Grain yield slightly increased with the increase of planting density. Grain yield increased significantly under uneven row spacing of 60 cm + 45 cm as compared to uniform row spacing of 60 cm under both plant densities. In conclusion, uneven row spacing of 60 cm + 45 cm is suitable for improving yield at high plant density, as a consequence of reasonable light distribution and interception by canopy.

Key words summer maize; light intensity; light distribution; chlorophyll fluorescence; photosynthetic rate

作物群体的冠层形态结构对群体光截获和光分布有着直接的影响^[1],其高产潜力能否得以发挥,与群体光合性能有着密切的关系^[2-3]。目前,增加种植密度已成为提高玉米单产水平的重要举措^[4-6]。但随种植密度增加,生育后期冠层荫蔽,成为限制作物群体光温资源有效利用及产量提高的主要原因之一。因此,密植条件下,合理的行距配置对于建立良好的群体冠层结构^[7-9]和提高玉米对气候因子特别是光的利用具有重要作用^[10]。冠层中光分布是决定玉米叶片光合速率的主导因素^[11]。合理的冠层结构能够增加光合有效辐射的截获和吸收,有利于构建高产群体^[12-14]。宽窄行相比等行距种植,作物群体冠层特性具有明显优势。在对照同样的叶面积指数情况下,宽窄行种植能够增大群体受光面积和边际效应,减小玉米植株之间的相互遮挡,中下层叶片的光照强度可提高 15% 左右^[15-16]。叶绿素荧光与光合作用中各个反应过程紧密相关,任何逆境对光合作用过程产生的影响都可通过叶绿素荧光诱导动力学变化反映出来,是植物环境适应机制的内在表征^[17-21]。另外,叶绿素含量与叶片光合能力的大小密切相关^[19,22-23]。通过调整密度和行距配置来进行玉米冠层结构和群体光分布的研究主要集中在群体形态结构、光分布特征及光合特性的简单比较几个方面,而针对群体冠层内部玉米各层叶片光合特性及产量对群体光环境变化响应的研究较少。

本研究拟通过研究不同种植密度和行距配置对夏玉米群体光分布、单株叶片部分生理特性及产量的影响,明确不同行距配置下夏玉米群体光合性能及产量形成对群体光环境变化的响应,以期对夏玉米高产高效栽培提供理论依据和技术参考。

1 材料与方法

1.1 试验区情况

试验于 2013 和 2014 年 6 月—10 月在中国农业大学吴桥实验站(37°41′02″N,116°37′23″E)进行,

吴桥县位于黑龙港流域中部,年平均气温 12.6 °C,全年≥0 °C 积温 4 862.9 °C,年均降雨量 562 mm。试验地土壤为冲积型盐化潮土,质地为轻壤,地力中等,0~20 cm 土壤 pH 为 8.1,有机质 7.00 g/kg,全氮 0.95 g/kg,速效磷 23.49 mg/kg,速效钾 132.63 mg/kg。前茬作物为小麦。

1.2 试验设计

试验采用裂区设计,主区为密度,裂区为行距处理,设 2 个大田种植密度,75 000 (D1) 和 90 000 (D2) 株/hm²; 3 种行距配置,分别为等行距 (S1: 60 cm+60 cm; 株距: D1: 22.2 cm, D2: 18.5 cm),大宽窄行 (S2: 80 cm+40 cm; 株距: D1: 22.2 cm, D2: 18.5 cm) 和小宽窄行 (S3: 60 cm+45 cm; 株距: D1: 26.4 cm, D2: 22 cm),垄向为南北。试验小区面积为 80 m²,每处理设 3 次重复。试验选用紧凑型玉米品种郑单 958,分别于 2013 年 6 月 17 日和 2014 年 6 月 15 日播种,2013 年 10 月 5 日和 2014 年 10 月 5 日收获。氮肥(纯 N)用量为 300 kg/hm²,分别于播种、大喇叭口期和吐丝期按 2:5:3 施用,磷肥 (P₂O₅) 105 kg/hm²、钾肥 (K₂O) 180 kg/hm² 于播种时做种肥一次施用。其他田间管理与大田管理一致。

1.3 测定项目及方法

在灌浆中期选择晴朗无风天气,于上午 9:00—11:30 原位测定净光合速率 (Photosynthetic rate, P_n),叶绿素相对含量 (SPAD 值),叶绿素荧光和透光率。采用美国产 LI-6400 型便携式光合作用测定系统在自然光照条件下直接测定夏玉米全株叶片 P_n ,同时记录测定叶片 P_n 时的光照强度。采用日本美能达公司产手持式 SPAD-502 型叶绿素计测定植株从上到下每片叶 SPAD 值,每叶均匀分布测定 12 点取平均值,每个小区测定 5 株,3 次重复。采用英国 Hansatech 公司的 Pocket PEA 植物效率仪测定经过暗适应 20 min 全株叶片光系统 II (PS II) 最大光能转换效率 (F_v/F_m)。采用美国 LI-COR 公

司 LI-250A 光量子计测定光照强度,在行间按照对角线方式,宽窄行分别测定取平均值;垂直方向在冠层顶部、上层(第 17 叶)、穗位叶层(第 14 叶)、下层(第 11 叶)和底层(绿色叶片冠层的最下部)分层测量。透光率/ $\%$ =测定层光强/冠层顶部光强 $\times 100$,光截获分数 $F/\%$ =(1-测定层光强/冠层顶部光强) $\times 100$,计算过程中忽略了冠层和地表的反射部分^[24]。测产:去除边行,每小区收获玉米 4 行(每行 5 m),称所有果穗总鲜重,按平均鲜穗重从所收果穗中随机选取 20 穗,室内考种,考察穗长、穗粗、秃尖长、穗行数、行粒数和千粒重,同时测定籽粒含水率,计算实际产量(按 14% 折算含水率)。辅助试验:同一光照(采用 Li-6400 光合仪叶室内部光源 1 100 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$)条件下测定 D1(75 000 株/ hm^2)处理,3 种行距配置的夏玉米穗上第 3 叶(17 叶)、穗位叶(14 叶)和穗下第 3 叶(11 叶)的 P_n 。

1.4 数据分析

数据采用 Microsoft Excel 2010 进行数据录

入,SAS 9.0 进行数据统计分析,Sigmaplot 12.0 作图。结果分析中夏玉米群体光分布及光合生理特性 2 年规律表现一致,故以 2014 年数据为主进行计算分析。

2 结果与分析

2.1 冠层内群体光分布垂直变化

夏玉米群体冠层内部光分布与行距配置和种植密度密切相关(表 1)。种植密度增加后,夏玉米冠层内部不同层位的光截获总量均呈现增加趋势。D2(90 000 株/ hm^2)处理下穗位层以上光截获量和群体内光截获总量平均值分别比 D1(75 000 株/ hm^2)增加 2.79% 和 1.21%,但 D2(90 000 株/ hm^2)处理穗位叶层下部的光截获量均值与 D1(75 000 株/ hm^2)相比却降低 7.51%。可见,随密度增加,群体内上层光截获率增大,下层截获率降低。表明种植密度增加引起的光截获增加,主要是由于穗位层上部的光截获增加造成的。

表 1 种植密度和行距配置对夏玉米群体冠层光截获分数的影响

Table 1 Effect of planting density and row spacing arrangement on light interception of summer maize canopy

密度/(株/ hm^2) Density	行距配置/cm Row spacing	L_{17}	L_{14-17}	L_{11-14}	L_{11-17}	L_T
75 000	60+60	39.60 bc	38.09 bc	13.14 a	51.23 bc	93.31 c
	80+40	39.28 c	37.13 c	12.65 a	49.78 d	92.34 d
	60+45	38.98 c	40.36 a	12.39 a	52.75 a	94.53 b
90 000	60+60	41.14 a	39.45 ab	11.05 b	50.50 cd	94.62 b
	80+40	40.78 a	37.63 c	11.94 ab	49.57 d	93.29 c
	60+45	40.44 ab	40.92 a	10.88 b	51.80 b	95.66 a

注: L_{17} ,第 17 叶; L_{14-17} ,第 14(穗位叶)~17 叶; L_{11-14} ,第 11~14 叶; L_{11-17} ,第 11~17 叶; L_T ,绿色叶片冠层的最下部。同列内数字后不同的小写字母表示在 5% 水平差异显著。下同。

Note: L_{17} ,The 17th leaf; L_{14-17} ,The 14-17th leaf; L_{11-14} ,The 11-14th leaf; L_{11-17} ,The 11-17th leaf; L_T ,The bottom of green leaves. Values followed by different lowercase letters are significantly different at 0.05 probability level. The same as follows.

比较行距配置处理发现,2 个密度下群体光截获总量均表现为小宽窄行>等行距>大宽窄行。在相同密度下,行距配置对上层光截获率无显著影响。D1 处理下,与等行距相比,小宽窄行和大宽窄行处理第 11 叶~第 17 叶的光截获分别增加 2.97% 和减少 2.83%,总截获率增加 1.31% 和减少 1.04%,差异均显著($P<0.05$)。D2 处理下,小宽窄行和大宽窄行处理第 14 叶~

第 17 叶的光截获分别增加 2.57% 和减少 1.84%,总截获率增加 1.41% 和减少 1.10%,差异均显著($P<0.05$)。由此可见,行距配置主要影响了冠层中下部的光截获,大宽窄行处理提高了冠层第 17 叶以下透光率,但漏光损失也随之增加;小宽窄行处理显著增加了第 14 叶~第 17 叶的光截获及群体总光截获,更有利于增加冠层中部截获光合有效辐射。

2.2 冠层内单株叶片 SPAD 垂直变化

由图 1 所示,不同密度和行距处理下夏玉米叶片 SPAD 值均表现为中部叶片大于上部叶片和下部叶片,全株叶片中以穗位叶和穗位叶以上 2 片叶片 SPAD 值最大。全株叶片的叶绿素相对含量均表现为低密度高于高密度处理。不同行距处理间全株叶片 SPAD 值基本表现为小宽窄行>大宽窄行>等行距。种植密度增加,会导致叶片功能期缩短,上部叶和下部叶衰老进程加快,SPAD 值降低。小宽窄行处理能够提高全株叶片 SPAD 值。

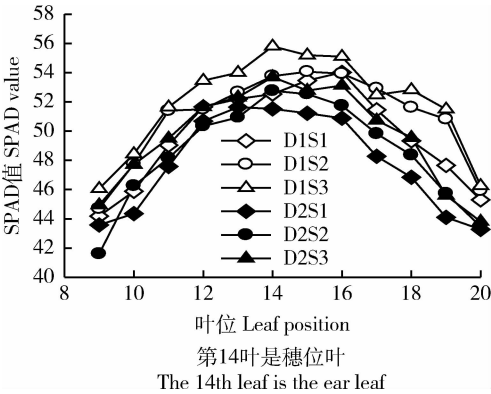


图 1 不同种植密度和行距配置下夏玉米冠层叶片 SPAD 值的垂直变化

Fig. 1 Canopy vertical distribution of SPAD values under different planting density and row spacing

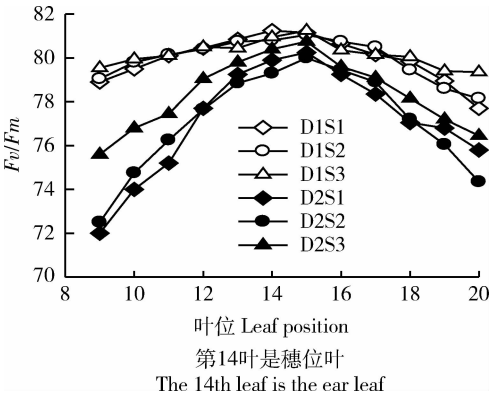


图 2 不同种植密度和行距配置下夏玉米冠层叶片 Fv/Fm 垂直变化

Fig. 2 Canopy vertical distribution of Fv/Fm under different planting density and row spacing

2.3 冠层内单株叶片的叶绿素荧光参数垂直变化

可变荧光 (F_v) 与最大荧光 (F_m) 的比值 (F_v/F_m) 可代表光系统 II (PS II) 最大光化学效率或 PS II 原初光能转化效率,常作为分析光合系统

的重要指标,用于度量叶片 PS II 原初光能转换效率。由图 2 所示,不同密度和行距处理下夏玉米全株叶片从冠层顶部到底部 F_v/F_m 均表现为单峰曲线变化,全株叶片以棒三叶的 F_v/F_m 最大。密度增大后,夏玉米单叶 F_v/F_m 降低,尤其上部和下部叶片 F_v/F_m 下降较为明显。3 种行距配置下,D1 (75 000 株/hm²) 处理对夏玉米单叶 F_v/F_m 影响较小。D2 (90 000 株/hm²) 处理下,行距配置影响显著,夏玉米全株叶片 F_v/F_m 以小宽窄行处理表现最高,等行距与大宽窄行处理之间差异不明显。表明密度增大导致了夏玉米上部和下部叶片的光能转化效率的降低,加剧了玉米的光合抑制。小宽窄行处理能够提高夏玉米上部和下部叶片的光系统 II 反应中心内部光能转换效率,缓解由于密度增加引起的光合抑制。

2.4 冠层内单株叶片 Pn 垂直变化

由图 3 所示,自然光照条件下,不同密度和行距配置下夏玉米冠层顶部 1~3 片叶片 P_n 变动幅度较大,冠层上部第 3 叶以下其他叶片 P_n 随冠层垂直下移均呈现出下降趋势。推测与冠层顶部第 1~3 叶叶片照光不均有关,照光叶片的 P_n 较大。随着叶片层位下移,不同叶位叶片 P_n 和其所对应的光照强度呈二次曲线关系,相关系数 ($R=0.9964$) 达到极显著水平 (图 4)。密度增大后,全株叶片单叶 P_n 均降低。三种行距配置下,夏玉米全株叶片 P_n 表现为大宽窄行>小宽窄行>等行距。人工补充光条件下不同层位叶片 P_n 则表现为穗位叶>穗上第 3 叶>穗下第 3 叶 (图 5)。由此可见,在大田条件下,群体内光照不足是导致玉米冠层中下部叶片的 P_n 降低的主要原因。

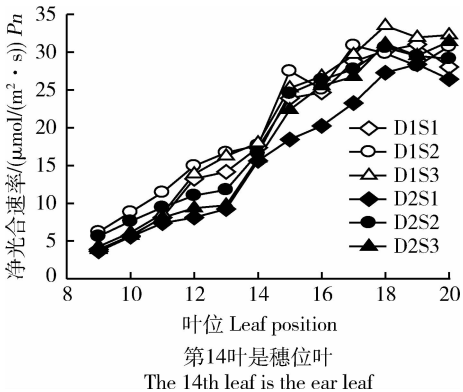


图 3 不同种植密度和行距配置下夏玉米全株叶片 Pn 垂直变化

Fig. 3 Canopy vertical structures of Pn under different planting density and row spacing

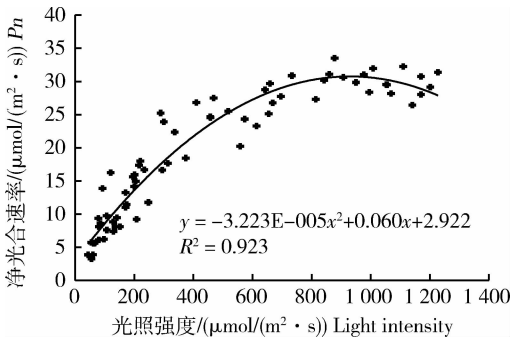


图 4 自然光照条件下不同叶位叶片 P_n 与其对应光照强度的关系

Fig. 4 Relationship between P_n and light intensity (PAR) of different leaf positions under natural sunlight

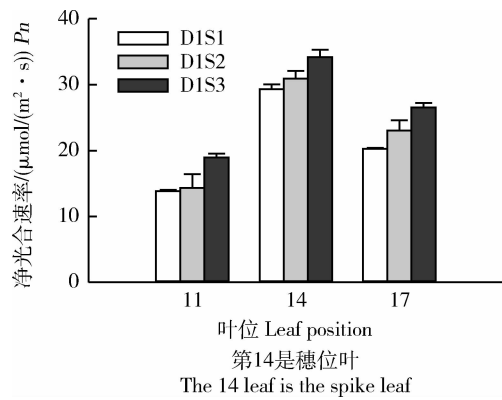


图 5 补充光照时不同行距配置下夏玉米不同叶位叶片 P_n

Fig. 5 Canopy vertical structures of P_n under different row spacing with light supplement

2.5 种植密度和行距配置对夏玉米穗部性状、产量及产量构成的影响

由表 2 可知,随种植密度增大,夏玉米穗粗变细、穗长变短、千粒重降低,单株生产能力下降,但单位面积粒数和产量增加。同一密度下,不同行距处理间夏玉米穗粗、穗长、千粒重、单位面积粒数及产量均表现为小宽窄行>大宽窄行>等行距。行距配置之间,粒数、千粒重差异明显。D1 处理下,小宽窄行和大宽窄行处理 2 年平均夏玉米产量分别比等行距处理增加 9.65%($P<0.05$)和 3.60%;D2 处理下,小宽窄行和大宽窄行处理 2 年平均夏玉米产量分别比等行距处理增加 8.45%($P<0.05$)和 3.11%。表明在单位面积粒数增加能够弥补由于增密引起的粒重损失的前提下,增加种植密度能够使产量增加。不同行距配置下,小宽窄行处理增产效应明显。

不同层位截获光合有效辐射与密度、产量及产量构成相关分析表明(表 3),穗位叶以上冠层截获光合有效辐射和冠层内总截获光合有效辐射与种植密度具有显著正相关关系。冠层内第 17 叶以上的截获光合有效辐射与穗粒数和千粒重呈显著负相关关系,第 14 叶以上、第 11 叶以上及冠层内总截获光合有效辐射与产量呈显著或极显著正相关关系,第 11 叶~第 17 叶的截获光合有效辐射与产量、粒数和千粒重均呈显著或极显著相关关系。由此可见,冠层内第 11 叶~第 17 叶截获光合有效辐射对夏玉米产量形成具有重要作用。

表 2 种植密度、行距配置对夏玉米穗部性状、产量构成及产量的影响

Table 2 Effects of planting density and row spacing on summer maize ear traits, yield components and yield

年份 Year	密度/(株/hm ²) Density	行距配置/cm Row spacing	穗粗/mm Ear dia.	穗长/cm Ear length	粒数/(粒/m ²) Kernel number	千粒重/g 1 000-grain weight	产量/(kg/hm ²) Yield
2013	75 000	60+60	46.03 ab	15.9 b	3 711 e	251.90 d	9 260 d
		80+40	47.30 a	16.6 a	3 846 d	254.69 c	9 829 b
		60+45	46.82 a	16.6 a	3 924 cd	262.27 a	10 079 a
	90 000	60+60	45.49 b	14.4 d	3 981 bc	247.21 e	9 613 c
		80+40	45.66 b	14.9 c	4 036 b	251.86 d	10 019 ab
		60+45	46.80 ab	15.9 b	4 187 a	257.71 b	10 192 a
2014	75 000	60+60	50.91 ab	16.3 b	3 845 d	317.07 bc	11 852 b
		80+40	50.07 b	16.0 b	3 787 d	320.67 b	12 043 b
		60+45	51.24 a	17.5 a	4 119 b	327.82 a	13 070 a
	90 000	60+60	49.64 b	15.3 c	4 015 c	309.31 d	12 009 b
		80+40	49.57 b	15.8 b	4 093 bc	311.43 cd	12 276 b
		60+45	49.89 b	16.4 b	4 260 a	314.19 cd	13 257 a

表3 不同层位截获光合有效辐射与产量及产量构成的关系

Table 3 Relationship between different intercepted photosynthetic active radiation and yield,yield components

不同层位截获光合有效辐射 Intercepted photosynthetic active radiation	种植密度 Planting density	产量 Yield	穗粒数 Kernel number	千粒重 1 000-grain weight
L ₁₇	0.838**	−0.225	−0.889**	−0.846**
L ₁₄	0.654**	0.526*	−0.272	−0.302
L ₁₁	0.268	0.590**	0.119	−0.001
L _T	0.511*	0.642**	−0.060	−0.144
L ₁₁₋₁₇	−0.263	0.657**	0.708**	0.560*

注：* 表示 0.05 显著水平，** 表示 0.01 显著水平。
Note: * Significantly at 0.05 level, ** Significantly at 0.01 level.

3 讨 论

种植密度和行距配置是影响作物冠层结构的重要因素^[25-26],也是构建合理的冠层结构的主要措施。种植密度增加,作物群体内个体对光、温资源的竞争加剧。通过调整株行距配置,改善群体冠层内光环境,协调作物个体和群体之间关系,建立高光效的光合生产体系是提高作物产量的有效手段^[27]。前人^[28-30]研究表明,宽窄行的交替能够提高群体冠层中下部截获光合有效辐射,但会使冠层中的光截获总量减少,均匀垄的种植方式更利于光捕获。本试验研究表明,高密种植造成夏玉米群体生育后期冠层荫蔽主要是由于穗位层上部光截获增加引起。大宽窄行(80 cm+40 cm)能够提高冠层中下部光截获,但会导致群体漏光损失增加。而小宽窄行(60 cm+45 cm)处理通过减小行距、增加株距,既能提高夏玉米群体穗位层截获光合有效辐射,又能增加群体总截获光合有效辐射。群体内截获光合有效辐射增加,会使群体光合同化物增加,最终提高产量。本试验中,大宽窄行处理群体光截获减少,存在一定的漏光损失,表明大宽窄行下种植密度仍具有一定的提升空间,但该地区夏玉米季多雨,且伴随大风天气较多,密度过高,易发生倒伏。因此,是否能够继续增加种植密度,有待于进一步研究。

光合作用是作物产量形成的基础,叶片 SPAD 值及 F_v/F_m 是反映叶片光合能力的重要指标之一^[17,19,23],叶片光合能力的大小和产量具有密切关系^[2-3]。本研究表明,密度增加后,全株叶片光合生理活性降低,衰老加快。夏玉米冠层内中部叶片生

理活性较高,衰老相对较慢。而在大田条件下,夏玉米全株叶片 P_n 则随着冠层的垂直深入呈现出递减趋势,补充光照条件下, P_n 则表现为穗位叶>上部叶>下部叶。由此可知,影响夏玉米穗位层光合物质生产的主要限制因素是光照不足。通过调整行距配置,改善夏玉米群体光环境,增加夏玉米群体穗位层截获光合有效辐射,延长中下层叶片功能期,更有利于构建高产群体。

种植密度决定群体的大小,而行距配置方式则决定群体的均匀性。改变植株在田间的分布,以使冠层内光分布更加均匀的做法可以提高产量^[31]。玉米采用宽窄行种植可改善玉米群体光环境,显著增加穗长、单位面积粒数和千粒重,从而提高产量^[27,32]。本试验结果表明,大宽窄行处理下夏玉米穗长、单位面积粒数和产量均有所增加,但不显著。小宽窄行处理显著增加了夏玉米穗长、单位面积粒数和产量。产生这种状况的原因可能是:宽窄行是不均匀的种植模式,在平均行距相同的条件下,宽窄行的交替使冠层中光截获总量减少,导致群体碳同化速率降低和干物质积累减少。但其冠层中群体光环境得到改善,光合生理活性增强,辐射利用效率明显提升^[30,33],在一定程度上弥补了漏光损失造成的负面影响。小宽窄行处理通过减小行距,增大株距,改善了植株在田间分布的均匀性,延缓了中下层叶片的衰老。冠层内光分布均匀,夏玉米群体光截获增加,尤其是生理活性较高的穗位层光截获显著增加,使群体叶片光合同化产物增加,能够较好地满足籽粒灌浆的需求,更有利于产量形成。

4 结 论

种植密度增加,上层和下层叶片光合生理特性显著降低,上层光截获显著增加,中下层光截获减少。密度增大后产量增加,但未达显著水平。与等行距相比,大宽窄行处理群体光环境虽然得到改善,单叶 P_n 增加,但群体漏光损失增加,产量增加不显著。小宽窄行处理能够改善植株在田间分布的均匀性,增加夏玉米群体穗位层叶片截获光合有效辐射,并延长中下层叶片功能期,显著增加产量。生产中采用小宽窄行种植方式更有利于夏玉米产量的提高。

参 考 文 献

- [1] 董树亭,胡昌浩,岳寿松,等.夏玉米群体光合速率特性及其与冠层结构、生态条件的关系[J].植物生态学与地植物学学报,1992,16(4):372-379
- [2] 张玉芹,杨恒山,高聚林,等.超高产春玉米冠层结构及其生理特性[J].中国农业科学,2011,44(21):4367-4376
- [3] 靳立斌,张吉旺,李波,等.高产高效夏玉米的冠层结构及其光合特性[J].中国农业科学,2013,46(12):2430-2439
- [4] 陈传永,侯海鹏,李强,等.种植密度对不同玉米品种叶片光合特性与碳、氮变化的影响[J].作物学报,2010,36(5):871-878
- [5] 李宗新,陈源泉,王庆成,等.密植条件下种植方式对夏玉米群体根冠特性及产量的影响[J].生态学报,2012,32(23):7391-7401
- [6] 陈国平,王荣焕,赵久然.玉米高产田的产量结构模式及关键因素分析[J].玉米科学,2009,17(4):89-93
- [7] Andrade F H, Calvino P, Cirilo A, et al. Yield responses to narrow rows depend on increased radiation interception[J]. Agronomy Journal, 2002, 94(5): 975-980
- [8] Reta-Sánchez D G, Fowler J L. Canopy light environment and yield of narrow-row cotton as affected by canopy architecture[J]. Agronomy Journal, 2002, 94(6): 1317-1323
- [9] Maddonni G A, Chelle M, Drouet J L, et al. Light interception of contrasting azimuth canopies under square and rectangular plant spatial distributions: Simulations and crop measurements[J]. Field Crops Research, 2001, 70(1): 1-13
- [10] 杨克军,李明,李振华.栽培方式与群体结构对寒地玉米物质积累及产量形成的影响[J].中国农学通报,2005,21(11):157-160
- [11] 于强,王天铎,刘建栋,等.玉米株型与冠层光合作用的数学模拟研究 I 模型与验证[J].作物学报,1998,24(1):7-15
- [12] Genty B, Briantais J M, Baker N R. The relationship between the quantum yield of photosynthetic electron transport and quenching of chlorophyll fluorescence[J]. Biochimica et Biophysica Acta, 1989, 990(1): 87-92
- [13] 王之杰,郭天财,朱云集,等.超高产小麦冠层光辐射特征的研究

- 究[J].西北植物学报,2003,23(10):1657-1662
- [14] 吕丽华,赵明,赵久然,等.不同施氮量下夏玉米冠层结构及光合特性的变化[J].中国农业科学,2008,41(9):2624-2632
- [15] 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
- [16] 邹吉波.玉米宽窄行交替种植技术的应用[J].安徽农业科学,2006,34(9):1824-1826
- [17] 李鹏民,高辉远, Strasser R J. 快速叶绿素荧光诱导动力学分析在光合作用研究中的应用[J].植物生理与分子生物学报,2005,31(6):559-566
- [18] 张守仁.叶绿素荧光动力学参数的意义及讨论[J].植物学通报,1999,16(4):444-448
- [19] 童淑媛,宋凤斌,徐洪文.玉米不同叶位叶片 SPAD 值的变化及其与生物量的相关性[J].核农学报,2008,22(6):869-874
- [20] 徐爱东,邱念伟,娄苑颖.判断玉米幼苗缺氮程度的叶绿素荧光动力学指标[J].植物营养与肥料学报,2010,16(2):498-503
- [21] Van Kooten O, Snel J F H. The use of chlorophyll fluorescence nomenclature in plant stress physiology[J]. Photosynthesis Research, 1990, 25(3): 147-150
- [22] 刘铁东,宋凤斌.灌浆期玉米冠层微环境对宽窄行种植模式的反应[J].干旱地区农业研究,2012,30(3):37-40
- [23] 郑强,王志敏,蔡永旺,等.夏玉米叶片叶绿素含量的时空动态及其与植株含氮率关系的研究[J].玉米科学,2009,16(6):75-78
- [24] Gallo K P, Daughtry C S T. Techniques for measuring intercepted and absorbed photosynthetically active radiation in corn canopies[J]. Agronomy Journal, 1986, 78(4): 752-756
- [25] Widdicombe W D, Thelen K D. Row width and plant density effects on corn grain production in the northern corn belt[J]. Agronomy Journal, 2002, 94(5): 1020-1023
- [26] Sharratt B S, McWilliams D A. Microclimatic and rooting characteristics of narrow-row versus conventional-row corn[J]. Agronomy Journal, 2005, 97(4): 1129-1135
- [27] 杨吉顺,高辉远,刘鹏,等.种植密度和行距配置对超高产夏玉米群体光合特性的影响[J].作物学报,2010,36(7):1226-1233
- [28] Maddonni G A, Cirilo A G, Otegui M E. Row width and maize grain yield[J]. Agronomy Journal, 2006, 98(6): 1532-1543
- [29] 刘朝巍,张恩和,谢瑞芝,等.玉米宽窄行交替休闲保护性耕作的根系和光分布特征研究[J].中国生态农业学报,2012,20(2):203-209
- [30] 刘铁东,宋凤斌.宽窄行种植方式对玉米光截获和辐射利用效率的影响[J].华北农学报,2012,26(6):118-123
- [31] Bowers G R, Rabb J L, Ashlock, et al. Row spacing in the early soybean production system[J]. Agronomy Journal, 2000, 92(3): 524-531
- [32] 梁熠,齐华,王敬亚,等.宽窄行栽培对玉米生长发育及产量的影响[J].玉米科学,2009,17(4):97-100
- [33] Westgate M E, Forcella F, Reicosky D C, et al. Rapid canopy closure for maize production in the northern US corn belt: Radiation-use efficiency and grain yield[J]. Field Crops Research, 1997, 49(2): 249-258