

تأثیر آرایش کاشت بر جذب و راندمان تبدیل نور در کانوبی سه رقم ذرت*
The Effect of Planting Pattern on Light Interception and Radiation Use
Efficiency in Canopy of Three Maize Cultivars

علیرضا بهشتی، علیرضا کوچکی و مهدی نصیری محلاتی

مرکز تحقیقات کشاورزی خراسان و دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد

تاریخ دریافت: ۸۱/۴/۲

چکیده

بهشتی، ع.، کوچکی، ع.، و نصیری محلاتی، م. ۱۳۸۱. تأثیر آرایش کاشت بر جذب و راندمان تبدیل نور در کانوبی سه رقم ذرت. نهال و بذر ۱۸: ۴۳۱-۴۱۷.

به منظور مطالعه تغییرات ایجاد شده در کانوبی ارقام ذرت از طریق روش‌های مدیریتی نظیر آرایش کاشت و تأثیر آن بر میزان جذب و کارایی مصرف نور و در نهایت بررسی علل اکوفیزیولوژیک اختلاف در بیوماس تولیدی ارقام ذرت، آزمایشی در سال زراعی ۱۳۷۸ در ایستگاه تحقیقاتی طرق مشهد به اجرا درآمد. این آزمایش در قالب کرت‌های خرد شده بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار انجام شد. سه آرایش کاشت مستطیلی، مربع و لوزی به کرت‌های اصلی و سه رقم ذرت سینگل کراس ۷۰۴، ۳۰۱ و ۱۰۸ به کرت‌های فرعی اختصاص یافت. نتایج نشان داد که آرایش کاشت و رقم اثر معنی‌داری بر میزان جذب تشعشع فعال فتوسنتزی و کارایی مصرف نور به عنوان مؤلفه‌های مؤثر در تجمع ماده خشک در مراحل فنولوژیک رشد و بخصوص پس از آغاز مرحله رشد زایشی داشتند ($P < 0.05$). شاخص سطح برگ و ضریب خاموشی نور تحت تأثیر منابع تغییر در این آزمایش قرار گرفت و در نتیجه میزان تشعشع فعال فتوسنتزی جذب شده تحت تأثیر آرایش کاشت و رقم تفاوت نشان داد. افزایش تجمع ماده خشک در آرایش کاشت مربع ناشی از جذب بیشتر تشعشع فعال فتوسنتزی و به صورت بارزتری در نتیجه افزایش کارایی مصرف نور در این آرایش کاشت نسبت به آرایش کاشت لوزی و مستطیل بود، لذا با تغییر در آرایش کاشت ذرت از روش کاشت مستطیل به مربع می‌توان انتظار داشت که بیوماس تولیدی افزایش یابد.

واژه‌های کلیدی: ذرت، تجمع ماده خشک، ساختمان کانوبی، دریافت نور، کارایی مصرف نور، آرایش کاشت.

* قسمتی از پایان‌نامه دکتری نگارنده اول که به گروه زراعت دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد ارائه شده است.

مقدمه

بین مراحل مختلف رشد از نظر دریافت و جذب نور قائل نیستند (Muchow *et al.*, 1990) شواهدی دال بر تفاوت در دریافت و جذب نور و نیز ضریب استهلاک نور در مراحل مختلف زندگی ذرت گزارش شده است (Loomis and Duncan, 1986). این تفاوت عمدتاً به علت وجود برگ‌های پیر که به دریافت نور ادامه می‌دهند ولی در محاسبه LAI وارد نمی‌شوند (Gallo *et al.*, 1993) و دریافت نور به وسیله گل آذین (Dwyer *et al.*, 1992) نسبت داده شده است.

ماکو و همکاران (Muchow *et al.*, 1990) به ترتیب مقادیر ۱ و ۰/۴ را برای a و K در ذرت محاسبه کردند در حالی که گالو و دورتی (Gallo and Daugherty, 1986) با مقادیر $a = 0/95$ و $K = 0/52$ به دست آوردند. تفاوت در مقادیر این دو ضریب ممکن است به علت تفاوت ارقام از نظر ارتفاع (Edmeades and Lafitile, 1993) تعداد برگ (Duncan and Jesjet, 1968)، زاویه برگ (Hippis *et al.*, 1983; Gallo *et al.*, 1993)، LAI (Sinclair and Horie, 1989) و توزیع عمودی سطح برگ (Gardner *et al.*, 1990) و در نتیجه اختلاف در جذب نور در طول زمان باشد. تاریخ کاشت (Loomis and Duncan, 1989)، تراکم گیاهی (Dwyer *et al.*, 1992)، رژیم رطوبتی (Monteith and Unsworth, 1990) و اگر چه توابع مورد استفاده در مدل‌سازی رشد گیاهان تفاوتی در

تولید ماده خشک گیاهی به عنوان تابعی از نور جذب شده در طول دوره رشد و راندمان استفاده از نور تحت تأثیر ساختار کانوپی است. یکی از پیش شرط‌های لازم برای دستیابی به عملکرد بالا تأمین شرایط مطلوب جهت استفاده از تشعشع به منظور تولید مواد فتوسنتزی در بالاترین حد کارایی آن است (Muchow *et al.*, 1990). فتوسنتز و در نتیجه بیوماس تولیدی به طور مستقیم به میزان نور جذب شده توسط کانوپی مرتبط است (Sinclair and Horie, 1989)؛ (Monteith and Unsworth, 1990). به طور کلی دریافت نور و شاخص سطح برگ (LAI) از طریق تابع نمایی با شکل کلی $FIPAR = a(1 - e^{-K \cdot LAI})$ با یکدیگر مرتبط هستند (Hippis *et al.*, 1983)؛ (Maddonni and Otegui, 1996). در این معادله FIPAR، کسر تشعشع فعال فتوسنتزی (Photosynthetically Active Radiation: PAR) دریافتی بوسیله کانوپی، K ضریب استهلاک نور و a حداکثر مقدار FIPAR است. شاخص سطح برگ (LAI)، دوام سطح برگ (Leaf Area Duration: LAD) و آرایش فضایی اندام‌های هوایی گیاهی عوامل مؤثر در میزان جذب تشعشع ورودی به کانوپی در مراحل مختلف چرخه زندگی گیاه می‌باشند (Dwyer *et al.*, 1992). اگر چه توابع مورد استفاده در مدل‌سازی رشد گیاهان تفاوتی در

هیبریدهای جدید و قدیم از نظر کارایی مصرف نور گزارش کردند که افزایش تجمع ماده خشک در هیبریدهای جدید بیشتر از طریق افزایش کارایی مصرف نور حاصل شده و تفاوت در مقادیر RUE هیبریدهای قدیم و جدید با تغییر در توزیع جریان فوتون فتوسنتزی در کانوپی آنها در ارتباط نبوده است. آنها ۸۰ درصد از تفاوت موجود در سرعت رشد (CGR) را مرتبط با RUE دانستند.

هدف از این مطالعه تأثیر آرایش کاشت به عنوان عامل تغییر در ساختار کانوپی از طریق روش مدیریت زراعی، بر میزان جذب و کارایی مصرف نور به منزله عوامل اساسی تعیین کننده تجمع ماده خشک در ارقام ذرت است.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در قالب کرت‌های خرد شده بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در ایستگاه تحقیقاتی طرق مشهد در سال زراعی ۱۳۷۸ به اجرا درآمد. آرایش کاشت در سه سطح (مستطیلی، لوزی و مربعی) در کرت‌های اصلی و سه رقم ذرت سینگل کراس ۷۰۴، ۳۰۱ و ۱۰۸ در کرت‌های فرعی قرار داده شدند. هر کرت فرعی شامل ۵ خط کشت به طور ۱۰ متر بود و در آرایش‌های مختلف تراکم مطلوب هر یک از ارقام هیبرید سینگل کراس ۷۰۴، ۳۰۱ و ۱۰۸ به ترتیب حدود ۶۶/۵، ۷۳/۵ و ۸۳/۵ هزار بوته در هکتار محاسبه و به اجرا درآمد. روش اعمال آرایش‌های کاشت در هر

را تغییر دهند. در نظر نگرفتن تغییرات مقادیر ضرایب K و a زمانی که این مقادیر برای تخمین فتوسنتز کانوپی (Monteith, 1979) بیوماس گیاه (Sinclair and Horie, 1989) و عملکرد دانه (Kiniry and Knievel, 1995) مورد استفاده قرار می‌گیرند گمراه کننده است (Maddonni and Otegui, 1996).

علاوه بر افزایش جذب تشعشع فعال فتوسنتزی به وسیله کانوپی در طول فصل رشد و بهبود توزیع آن در میان برگ‌ها با تغییر ساختار کانوپی، همزمان و به همراه آن افزایش بازده تبدیل PAR به ماده خشک (کارایی مصرف نور Radiation Use Efficiency: RUE). نیز از عوامل مؤثر در تولید ماده خشک است. مانیت (Monteith, 1979) نشان داد که کارایی مصرف نور ضریبی نسبتاً ثابت است و مقدار آن را برای گیاهان مختلف زراعی در حدود ۱/۴ گرم ماده خشک به ازای هر مگاژول انرژی خورشیدی جذب شده اعلام کرد. در حالی که محققان دیگری این ضریب را برای گونه‌های مختلف، متغیر اعلام کرده‌اند (Sinclair and Horie, Tollenaar, 1989) (Sinnaker و هوری و Sinclair and Horie, 1989). مقدار RUE را تابعی از میزان آسمیلایسیون CO₂ و مقدار نیتروژن ویژه برگ (Specific Leaf Nitrogen: SLN) دانسته و برابر ۱/۷ گرم بر مگاژول برای ذرت برآورد کردند. تولنار و آگویلرا (Tollenaar and Aguilera, 1992) با مقایسه

همچنین در پائین کانوپی در محل معینی از هر کرت (محل تقاطع اقطار هر کرت) و در زمان مشخص (ساعت ۱۱ صبح) برای هر کرت در چهار محل به صورت عمود بر جهت ردیف‌ها، ته جویچه‌ها و موازی ردیف‌ها، پای گیاه عمود و موازی بر جهت ردیف‌ها در پائین کانوپی قرائت شد و متوسط این چهار قرائت جهت تعیین و محاسبه میزان تشعشع دریافتی برای کانوپی مورد استفاده قرار گرفت. نمونه‌گیری در پنج متر انتهایی هر کرت و از سه بوته به صورت تصادفی به منظور محاسبه و اندازه‌گیری شاخص سطح برگ و وزن خشک تولیدی در هر نوبت صورت پذیرفت. درصد جذب (LI) تشعشع از رابطه زیر محاسبه شد:

$$LI\% = (1 - I/I_0) \times 100$$

که در آن I و I₀ به ترتیب میزان تشعشع در زیر و بالای کانوپی هستند (Maddonni and Otegui, 1996). ضریب استهلاک نور با استفاده از ارتباط بین شاخص سطح برگ و FIPAR با برآزش معادله $FIPAR = a(1 - e^{-KLI})$ محاسبه شد (Maddonni and Otegui, 1996؛ Hipps et al., 1983).

کارآیی مصرف نور نیز از طریق محاسبه شیب خط رگرسیون بین ماده خشک (گرم در مترمربع) و تشعشع تجمعی (مگاژول در مترمربع) برآورد شد (Muchow et al., 1990). نور ورودی روزانه با استفاده از مدل آنگستروم

رقم براساس تراکم مطلوب آن از طریق محاسبه فواصل بوته‌ها (روی ردیف و بین ردیف) انجام شد. فواصل روی ردیف برای آرایش کاشت مستطیل، مربع و لوزی و برای رقم ۷۰۴ به ترتیب برابر ۲۰ و ۳۹ سانتی‌متر، برای رقم ۳۰۱ برابر ۱۸ و ۳۷/۵ سانتی‌متر و برای رقم ۱۰۸ برابر ۱۶ و ۳۴/۵ سانتی‌متر بود. فواصل برای آرایش کاشت مربع و لوزی یکسان بود اما محل قرار گرفتن بوته‌ها در روی ردیف‌ها و بین ردیف‌ها به نحوی بود که اشکال هندسی مربع و لوزی ایجاد شد.

عملیات آماده‌سازی زمین به روال معمول در زمینی که سال قبل آیش بود همراه با مصرف ۲۵۰ کیلوگرم در هکتار فسفات آمونیوم انجام شد. عملیات کاشت پس از ضدعفونی بذر به صورت خشکه‌کاری و بر روی پشته‌هایی که با دست براساس آرایش کاشت ایجاد شده بود صورت پذیرفت. کاشت به صورت کپه‌ای و در هر کپه ۳ تا ۴ بذر قرار داده شد و بوته‌ها پس از سبز شدن، در مراحل دوبرگی و چهاربرگی براساس رعایت فواصل و تراکم مطلوب هر رقم تنک شدند. کود سرک اوره در مراحل ۶ و ۱۰ برگی و در هر بار به میزان ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار به فاصله ۵ سانتی‌متر از پای بوته‌ها و در عمق سه سانتی‌متری خاک دفن شد. نمونه‌گیری ۴۰ روز پس از کاشت آغاز و با فواصل ۱۵ روزه ادامه یافت. در هر نوبت قبل از نمونه‌گیری، تشعشع دریافتی با استفاده از دستگاه تشعشع سنج لوله‌ای در بالای کانوپی و

(PAR)، کسر تشعشع فعال فتوسنتزی دریافت شده (FIPAR)، ماده خشک (DM) و کارآیی مصرف نور (RUE) در جدول ۱ خلاصه شده است. همانگونه که ملاحظه می‌شود اثر آرایش کاشت بر ماده خشک تولیدی در ۴۰ روز پس از کاشت (مرحله رشد رویشی، قبل از ظهور تاج گل) معنی‌دار نبود، اما در مرحله آغاز رشد زایشی (ظهور تاج گل) و پس از آن، آرایش کاشت اثر معنی‌داری بر تولید ماده خشک داشت ($P < 0/05$). در مرحله ۵۵ روز پس از کاشت ماده خشک تولیدی در آرایش مستطیل نسبت به آرایش کاشت مربع و لوزی برتری نشان داد اما در سایر مراحل رشد آرایش کاشت مربع اختلاف معنی‌داری با سایر آرایش‌های کاشت نشان داد (جدول ۲). آرایش کاشت لوزی نیز در کلیه مراحل رشد زایشی و پس از آن (۷۰، ۸۵ و ۱۰۰ روز پس از کاشت) ماده خشک تولیدی بیشتری نسبت به آرایش کاشت مستطیل داشت اگر چه در مرحله آغاز رشد زایشی (۵۵ روز پس از کاشت) آرایش کاشت لوزی و مستطیل از نظر ماده خشک تولیدی اختلاف معنی‌داری نداشتند. بیشترین ماده خشک تولیدی به میزان ۱۶۲۲ گرم در مترمربع در آرایش کاشت مربع در ۱۰۰ روز پس از کاشت حاصل شد که تفاوت فاحشی با آرایش کاشت لوزی و مستطیل در همین مرحله داشت (جدول ۲). اثر رقم بر ماده خشک تولیدی نیز

(Rietveld, 1973) و با کمک داده‌های به دست آمده از ایستگاه هواشناسی، شبیه‌سازی شد، سپس تشعشع جذب شده در هر مرحله نیز از حاصلضرب نور ورودی شبیه‌سازی شده در درصد نور جذب شده هر مرحله نمونه‌گیری به دست آمد و نهایتاً مقدار کل تشعشع جذب شده در هر مرحله به صورت تجمعی محاسبه گردید (Maddonni and Otegui, 1996). ۰/۴۵ از تشعشع ورودی به عنوان PAR در نظر گرفته شد (Monteith, 1979). محاسبه GDD نیز با استفاده از میانگین درجه حرارت‌های حداقل و حداکثر روزانه و با احتساب عدد ۱۰ درجه سانتی‌گراد به عنوان صفر پایه برای ذرت محاسبه شد. درجه حرارت‌های بالاتر از 30°C فقط 30°C منظور شد (Tollenaar and Aguilera, 1992). رابطه بین سطح برگ (LAI) و GDD با استفاده از یک معادله چند جمله‌ای (پلی‌نومیال) نمایی برازش یافت. تجزیه‌های آماری و برازش معادلات با استفاده از نرم‌افزارهای کامپیوتری MSTATC، EXCELE و Slid Write انجام پذیرفت. جهت مقایسه میانگین‌ها از آزمون دانکن استفاده شد.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس در مراحل مختلف رشد فنولوژیک بر خصوصیات اندازه‌گیری شده شامل میزان تشعشع فعال فتوسنتزی جذب شده

جدول ۱- تجزیه واریانس صفات اندازه گیری شده در مراحل مختلف رشد و ارقام هیبرید ذرت

Table 1. Analysis of variance for different characteristics at different growth stages of maize hybrids

S. O. V.	درجه آزادی	MS میانگین مربعات										
		Days after planting					Days after planting					
		40	55	70	85	100	40	55	70	85	100	
Replication	2	0.0010*	0.0230**	0.002 ^{ns}	0.006**	0.002 ^{ns}	2.235**	48.975**	8.259**	14.420**	0.418 ^{ns}	
Planting pattern (p)	2	0.0010 ^{ns}	0.0110**	0.004 ^{ns}	0.002**	0.002 ^{ns}	0.531 ^{ns}	13.272**	0.111 ^{ns}	0.938*	0.200 ^{ns}	
Error	3	0.0001	0.0001	0.003	0.001	0.001	0.123	0.475	0.148	0.530	0.423	
Cultivar (C)	2	0.0600**	0.0020 ^{ns}	0.004 ^{ns}	0.004*	0.003**	3.716 ^{ns}	6.457**	5.444**	2.679**	0.206**	
C × P	3	0.0010 ^{ns}	0.0020*	0.004 ^{ns}	0.001 ^{ns}	0.001**	0.060 ^{ns}	3.457**	0.444 ^{ns}	1.290**	0.101**	
Error	12	0.0010	0.0010	0.003	0.001	0.0001	1.369	0.628	0.269	0.267	0.016	
				DM								
Replication	2	3.593 ^{ns}	0.801 ^{ns}	23.444 ^{ns}	6103.44	745.8 ^{ns}	0.001**	0.079**	0.087**	0.102**	0.006 ^{ns}	
Planting pattern (p)	2	3.370 ^{ns}	5.614*	4566.330*	19324.7**	97607.0**	0.002**	0.010**	0.144**	0.144**	0.011 ^{ns}	
Error	3	1.037	0.192	305.944	747.056	2157.6	0.0001	0.0001	0.001	0.0001	0.004	
Cultivar (C)	2	841.593**	35.288**	12716.700**	39777.7**	18798.0	0.060**	0.034**	0.305**	2.784**	0.141**	
C × P	3	1.370 ^{ns}	0.701 ^{ns}	151.611*	664.44 ^{ns}	7676.3**	0.001**	0.001 ^{ns}	0.013**	0.003**	0.001 ^{ns}	
Error	12	2.056	0.339	32.111	570.019	643.5	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.002	
				RUE								

*، **، ***: Significant at 5 and 1% probability levels, respectively.
ns: Not significant.

* و ** به ترتیب معنی دار در سطح احتمال ۵ و ۱٪
ns: معنی دار نیست.

جدول ۲- کارایی مصرف نور، ماده خشک، PAR جذب شده و کسری از تشعشع فعال فتوسنتزی جذب شده (FIPAR) در آرایش‌ها و ارقام متفاوت ذرت در مراحل مختلف رشد

Table 2. RUE, DM, PARa and FIPAR of different maize hybrids and planting pattern at different growth stages

Treatment	تیمار	کسر تشعشع فعال	PAR جذب شده	ماده خشک	کارایی مصرف
		فتوسنتزی FIPAR %	PARa MJ/m ² /day	DM gm ⁻²	تشدع RUE gMJ ⁻¹
40 days after planting					
Rect.	آرایش کاشت مستطیل	0.2516 b	3.364 b	75.37 a	1.178 a
Sq.	آرایش کاشت مربع	0.2563 ab	3.426 ab	76.52 a	1.175 a
Diam.	آرایش کاشت لوزی	0.2597 a	3.473 a	75.83 a	1.150 b
KSC 704	رقم ۷۰۴	0.2440 b	3.262 b	67.93 c	1.097 c
KSC 301	رقم ۳۰۱	0.2508 b	3.353 b	73.14 b	1.156 b
KSC 801	رقم ۸۰۱	0.2728 a	3.648 a	86.66 a	1.250 a
55 days after planting					
Rect.	آرایش کاشت مستطیل	0.6755 b	8.214 b	193.4 a	1.579 a
Sq.	آرایش کاشت مربع	0.7038 a	8.558 a	191.4 b	1.529 b
Diam.	آرایش کاشت لوزی	0.7147 a	8.691 a	192.4 ab	1.518 b
KSC 704	رقم ۷۰۴	0.6891 a	8.379 a	190.5 b	1.577 a
KSC 301	رقم ۳۰۱	0.6994 a	8.505 a	193.0 a	1.525 b
KSC 108	رقم ۱۰۸	0.7056 a	8.580 a	193.7 a	1.484 c
70 days after planting					
Rect.	آرایش کاشت مستطیل	0.8684 b	11.62 b	759.3 c	3.426 b
Sq.	آرایش کاشت مربع	0.8883 a	11.82 ab	801.1 a	3.523 a
Diam.	آرایش کاشت لوزی	0.8920 a	11.93 a	790.5 b	3.437 b
KSC 704	رقم ۷۰۴	0.8718 a	11.66 b	740.6 b	3.352 b
KSC 301	رقم ۳۰۱	0.8958 a	11.99 a	802.9 a	3.115 c
KSC 108	رقم ۱۰۸	0.8811 a	11.79 a	807.4 a	3.476 a
85 days after planting					
Rect.	آرایش کاشت مستطیل	0.8604 b	11.51 b	1047 c	3.774 b
Sq.	آرایش کاشت مربع	0.8611 ab	11.52 b	1328 a	3.855 a
Diam.	آرایش کاشت لوزی	0.8792 a	11.64 a	1218 b	3.498 c
KSC 704	رقم ۷۰۴	0.8745 a	11.70 a	1076 c	3.185 c
KSC 301	رقم ۳۰۱	0.8673 ab	11.60 b	1174 b	3.320 b
KSC 108	رقم ۱۰۸	0.8559 b	11.45 c	1476 a	4.236 a
100 days after planting					
Rect.	آرایش کاشت مستطیل	0.8421 a	10.78 c	1417 c	2.903 c
Sq.	آرایش کاشت مربع	0.8461 a	10.85 b	1622 a	3.165 a
Diam.	آرایش کاشت لوزی	0.8507 a	10.90 a	1597 b	3.091 b
KSC 704	رقم ۷۰۴	0.8573 a	10.98 a	1529 b	3.008 c
KSC 301	رقم ۳۰۱	0.8478 a	10.86 a	1698 a	3.324 a
KSC 108	رقم ۱۰۸	0.8228 a	10.69 b	1409 c	3.066 b

میانگین‌ها با حروف مشترک در هر ستون اختلاف معنی‌دار در سطح ۵٪ ندارند.

Means followed by similar letter in each column are not significantly different at 5% probability level.

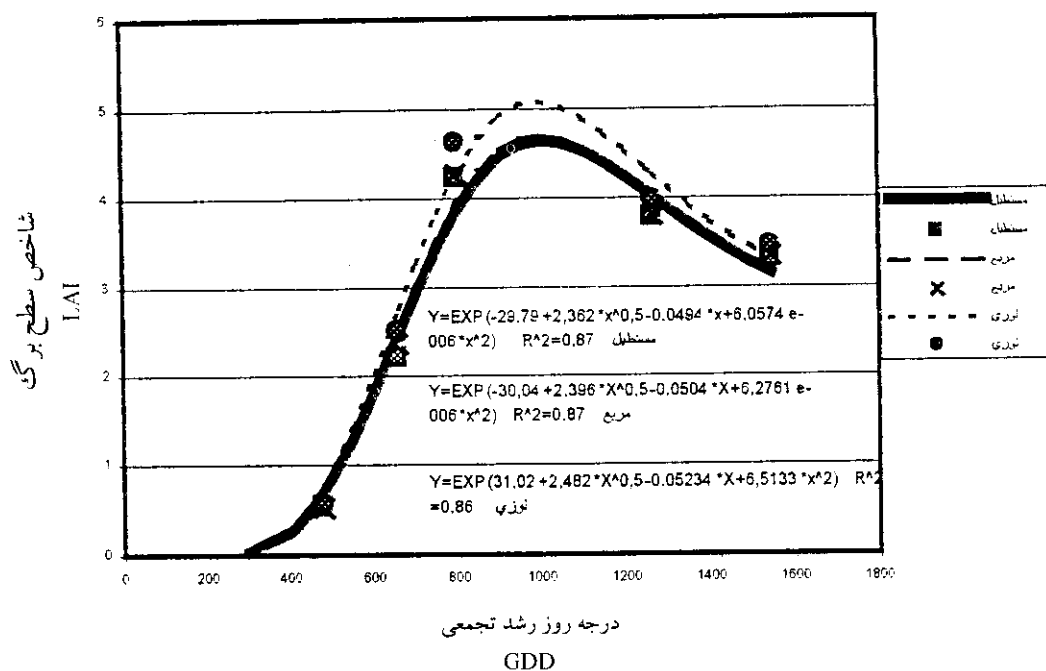
جذب شده تحت تأثیر آرایش کاشت و رقم تفاوت نشان داد ($P < 0/05$). میزان تشعشع فعال فتوسنتزی جذب شده به عوامل ساختاری کانوپی نظیر شاخص سطح برگ، سرعت توسعه و دوام سطح برگ، توزیع فضایی و مکانی برگ‌ها در کانوپی، زاویه برگ‌ها و همچنین خصوصیات مورفولوژیکی مانند ارتفاع و تعداد پنجه بستگی دارد (Muchow *et al.*, 1990؛ Dwyer *et al.*, 1992). در ذرت زمان حداکثر جذب نور با حداکثر LAI منطبق نیست و خصوصیات مورفولوژیک دیگری مانند ارتفاع بوته، توزیع عمودی سطح برگ، انعکاس نور از سطح برگ و ضریب خاموشی نور (K) در جذب نور مؤثر می‌باشند (Hippis *et al.*, 1983؛ Edmeades and Lafitile, 1993). اثر آرایش کاشت در شروع رشد زایشی (مرحله ۵۵ روز پس از کاشت، حدود ۶۵۰ درجه روز رشد) بر شاخص سطح برگ معنی‌دار بود ($P < 0/05$) و این اختلاف تا آخرین مرحله نمونه‌برداری ادامه یافت. بالاترین شاخص سطح برگ در آرایش کاشت لوزی در ۷۰ روز پس از کاشت به مقدار ۴/۶۱ به دست آمد که با آرایش کاشت مربع و مستطیل در همین مرحله اختلاف معنی‌داری داشت (شکل ۱).

ارقام با توجه به تفاوت در رسیدگی آن‌ها از اولین مرحله نمونه‌برداری (۴۰ روز پس از کاشت) از نظر سطح برگ تفاوت نشان دادند و رقم فوق‌العاده زودرس سینگل کراس ۱۰۸

در کلیه مراحل رشد معنی‌دار بود و با توجه به تفاوت این ارقام از نظر دوره رسیدگی، رقم سینگل کراس ۱۰۸ به عنوان رقم فوق‌العاده زودرس در مراحل ۴۰، ۵۵، ۷۰ و ۸۵ روز پس از کاشت نسبت به سینگل کراس‌های ۳۰۱ و ۷۰۴ از نظر ماده خشک تولیدی برتری نشان داد ولی در مرحله ۱۰۰ روز پس از کاشت رقم متوسط رس سینگل کراس ۳۰۱ بر این رقم برتری یافت و اختلاف معنی‌داری با دو رقم دیگر هیبرید نشان داد. در همین مرحله رقم سینگل کراس ۷۰۴ به عنوان رقم دیررس از رقم ۱۰۸ ماده خشک بیشتری تولید کرد و اختلاف معنی‌داری با آن نشان داد (جدول ۲). تفاوت در ماده خشک تجمعی در آرایش‌های مختلف کاشت عمدتاً پس از مرحله شروع رشد زایشی (۵۵ روز پس از کاشت) بود. تولنار و همکاران (Tollenaar *et al.*, 1992) نیز در مقایسه دو رقم جدید و قدیم ذرت قبل از مرحله کاکل‌دهی از نظر ماده خشک تولیدی تفاوتی در بین ارقام مشاهده نکردند.

اختلاف در ماده خشک تولیدی ناشی از اثر منابع تغییر (آرایش کاشت و رقم) بر میزان تشعشع فعال فتوسنتزی جذب شده و کارایی مصرف نور به عنوان مؤلفه‌های اساسی تجمع ماده خشک در مراحل مختلف رشد است.

شاخص سطح برگ و ضریب خاموشی نور تحت تأثیر منابع تغییر در این آزمایش قرار گرفت و در نتیجه میزان تشعشع فعال فتوسنتزی



شکل ۱- ارتباط بین شاخص سطح برگ و درجه روز رشد تجمعی در آرایش‌های مختلف کاشت (علائم نقاط واقعی و خطوط نقاط پیش‌بینی شده را نشان می‌دهند)

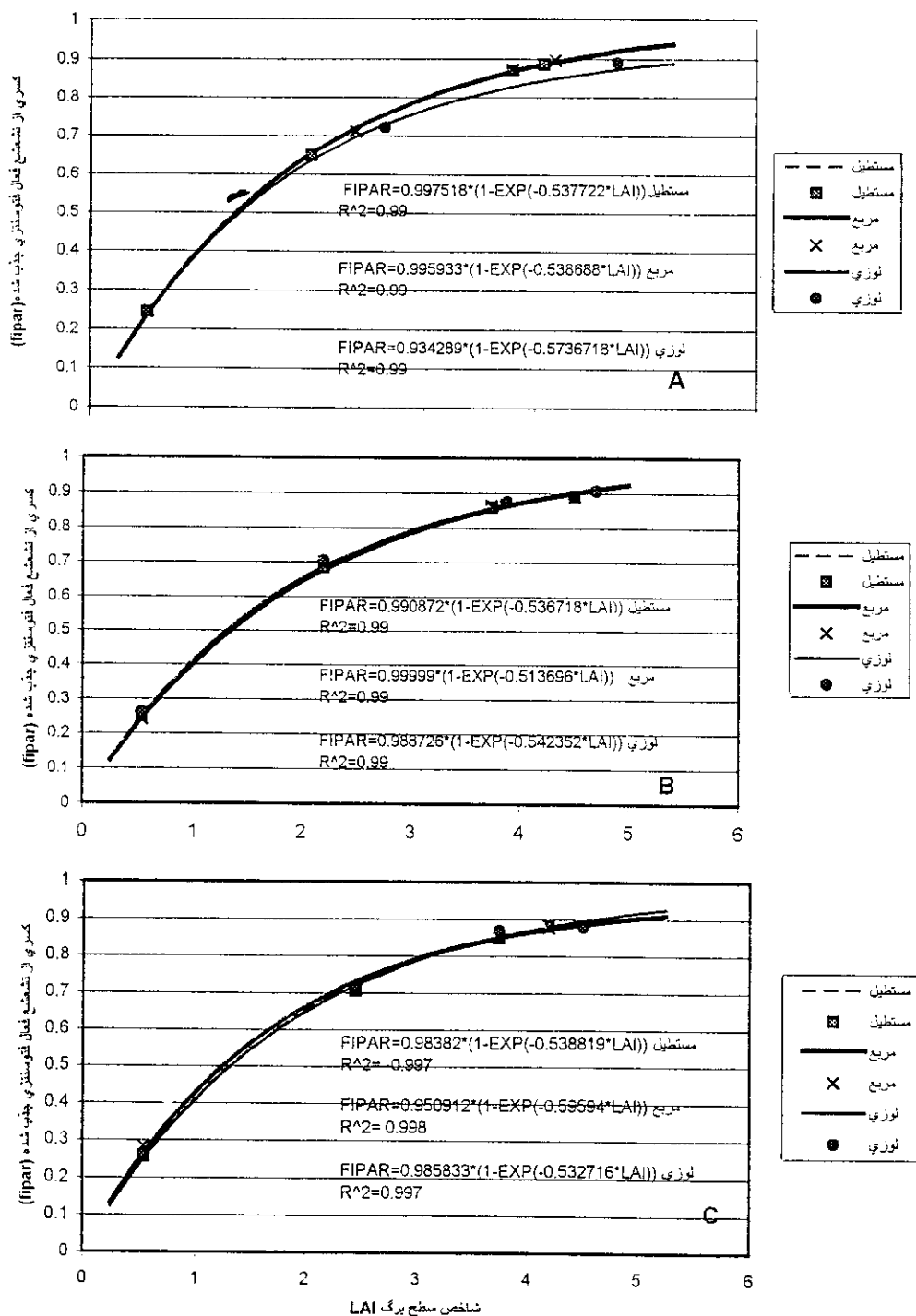
Fig. 1. Relationship between LAI and GDD in different planting patterns (symbols and lines represent actual and predict data, respectively)

آرایش‌های کاشت، متفاوت بود. حداکثر مقدار K در آرایش کاشت مربع و رقم ۱۰۸ برابر ۰/۵۹ و حداقل مقدار K محاسبه شده در همین آرایش کاشت در رقم ۳۰۱ به مقدار ۰/۵۱ به دست آمد. اگرچه مقادیر به دست آمده در این مطالعه برای a نزدیک به مقادیر به دست آمده توسط ماکو و همکاران (Muchow *et al.*, 1990) در کانوپی ذرت بود ولی مقادیر K محاسبه شده متفاوت و بزرگتر بود. آن‌ها این مقادیر را به ترتیب برای a و K برابر ۱ و ۰/۴ محاسبه کردند در حالی که گالو و داورتری (Gallo and Daugherty, 1986) برازش بهتری با مقادیر $a = ۰/۹۵$ و $K = ۰/۵۲$ به دست آوردند. تفاوت در این ضریب می‌تواند ناشی از

شاخص سطح برگ بیشتری نسبت به ارقام زودرس ۳۰۱ و دیررس ۷۰۴ نشان داد ولی با ادامه رشد این برتری در رقم ۳۰۱ مشهودتر و در انتهای نمونه برداری رقم دیررس ۷۰۴ بیشترین شاخص سطح برگ را نشان داد. آرایش و رقم، اثر معنی‌داری بر ضریب خاموشی نور داشت و الگوی توزیع نور در کانوپی را تحت تأثیر قرار دادند ($P < ۰/۰۵$). الگوی ارتباط بین (FIPAR) و شاخص سطح برگ در ارقام متفاوت در شکل ۲ نشان داده شده و معادلات برای هر رقم در آرایش‌های متفاوت کاشت برازش یافت. مقادیر a و K محاسبه شده از طریق این معادلات نشان داد که ضریب خاموشی نور و حداکثر تشعشع فعال فتوسنتزی جذب شده (a) در ارقام و

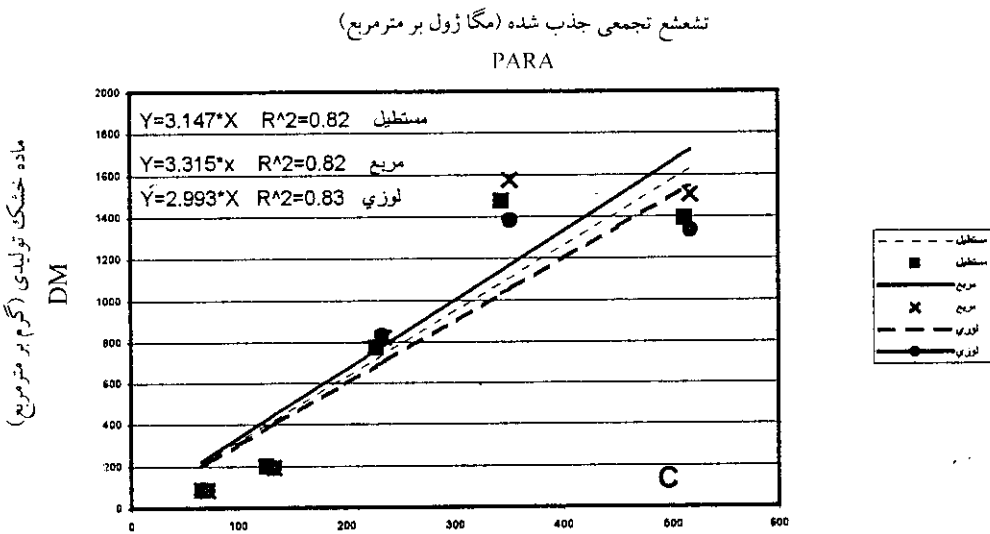
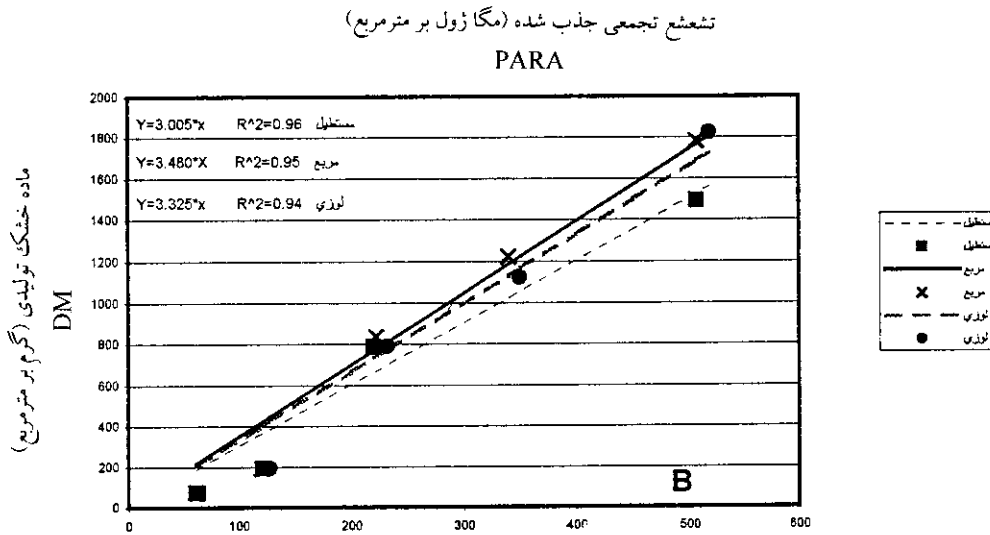
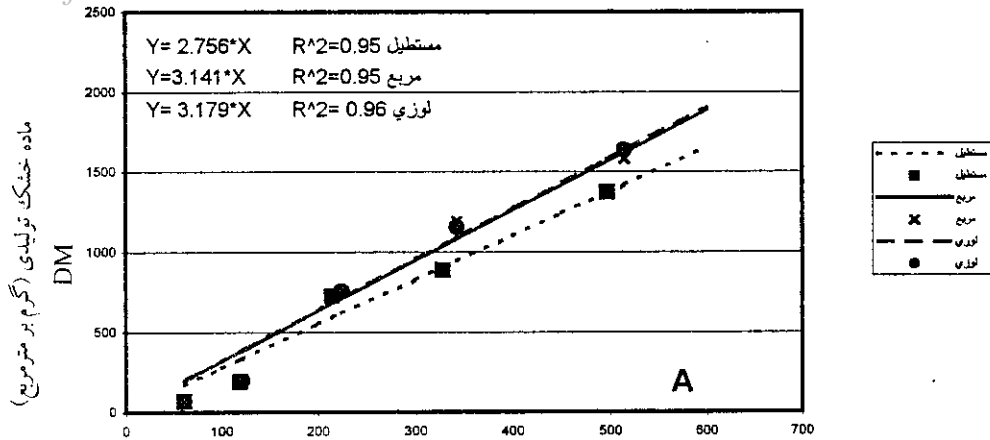
(جدول ۲). ارقام در مراحل متفاوت نمونه برداری از نظر میزان PAR جذب شده تفاوت نشان دادند. در مراحل اولیه نمونه گیری رقم فوق العاده زودرس سینگل کراس ۱۰۸ و در مرحله نهایی رقم دیررس سینگل کراس ۷۰۴ برتری نشان داده و تفاوت معنی داری با دیگر ارقام داشتند (جدول ۲). مادونی و اتوکی (Maddoni and Otegui, 1996) و نیز تولنار (Tollenaar, 1989) گزارش کردند که با تغییر در میزان شاخص سطح برگ PAR جذب شده نیز تغییر کرد. افزایش شاخص سطح برگ در ارقام جدید ذرت نسبت به ارقام قدیم سبب جذب بیشتر PAR در این ارقام شده است (Tollenaar and Aguilera, 1991). کارآیی مصرف نور (RUE) نیز به عنوان یک مؤلفه اساسی دیگر عامل تفاوت در تجمع ماده خشک در این مطالعه بود. این عامل تحت تأثیر منابع تغیر از جمله آرایش کاشت و رقم، ویژگی های فتوسنتزی نظیر حداکثر ظرفیت فتوسنتزی برگ ها، راندمان کوانتسوم، راندمان کربوکسیلاسیون و روابط مبداء و مقصد را تحت تأثیر قرار می دهد (Sinclair and Horie, 1989). ارتباط بین PAR جمعی و ماده خشک در شکل ۳ نشان داده شده است. آرایش کاشت اثر معنی داری بر کارآیی مصرف نور در همه مراحل نمونه برداری داشت و آرایش کاشت مربع در همه مراحل رشد بیشترین مقدار RUE را نسبت به سایر آرایش ها نشان داد. بالاترین

تفاوت ژنتیکی ارقام از نظر مقدار سطح برگ، ارتفاع بوته و زاویه برگ ها باشد. آرایش کاشت تاریخ کاشت و تراکم بوته نیز می تواند مقدار این ضرایب را متغیر سازد. در این مطالعه حداکثر کسر تشعشع جذب شده FIPAR که به ندرت به بیشتر از ۹۰ درصد رسید در شاخص سطح برگ $4/7$ در آرایش کاشت مربع حادث شد. حداکثر FIPAR برابر با $0/95$ (Gallo et al., 1990) و 1 (Muchow et al., 1993) در شاخص سطح برگ برابر ۵ در کانوپی ذرت گزارش شده است. به نظر می رسد برای رسیدن به FIPAR بزرگتر نیاز به افزایش تراکم ارقام با توجه به الگوهای کاشت باشد. الگوی توزیع سطح برگ در کانوپی ارقام تحت تأثیر آرایش های کاشت اختلاف نشان داد و مقادیر K در پروفیل عمودی گیاه در مراحل مختلف نمونه برداری و در طبقات مختلف کانوپی تغییر کرد (داده ها گزارش نشده است) لذا اختلاف در PAR جذب شده در مراحل متفاوت نمونه گیری ناشی از اختلاف در الگوی توزیع نور (مقادیر متفاوت K و LAI) می باشد. PAR جذب شده در کلیه مراحل نمونه برداری تحت تأثیر آرایش کاشت قرار گرفت و آرایش لوزی در همه مراحل نسبت به سایر آرایش های کاشت از نظر PAR جذب شده برتری نشان داد البته آرایش کاشت مربع به جز در مرحله نهایی نمونه گیری اختلاف معنی داری با آرایش کاشت لوزی در میزان PAR جذب شده نشان نداد



شکل ۲- ارتباط بین شاخص سطح برگ و FIPAR در آرایش‌های مختلف کاشت در ارقام KSC108(C), KSC301(B), KSC704(A) (علامه نقاط واقعی و خطوط معادله برازش شده را نشان می‌دهند)

Fig. 2. Relationship between LAI and FIPAR in different planting patterns KSC 704(A), KSC301(B), KSC108(C) (Symbols and lines represent actual and predict data, respectively)



شکل ۳- ارتباط بین تشنش تجمعی جذب شده و ماده خشک در آرایش‌های مختلف کاشت در ارقام KSC108(C) و KSC301(B), KSC108(A)

(علامت نقاط واقعی و خطوط معادله برازش شده را نشان می‌دهند)

Fig. 3. Relationship between cumulative PARA and DM in different planting patterns in KSC704(A), KSC301 (B) and KSC108(C)
(Symbols = actual, lines = fit model)

کاشت مربع را مربوط به روند کاهش کمی سرعت رشد نسبی محصول (CGR) گزارش کرده‌اند. ارقام از نظر مقدار RUE نیز اختلاف معنی‌داری نشان دادند و با پیشرفت رشد برتری ارقام از این نظر تغییر یافت به نحوی که در مراحل اولیه نمونه‌برداری رقم فوق‌العاده زودرس سینگل کراس ۱۰۸ و در مراحل نهایی نمونه‌برداری رقم زودرس سسینگل کراس ۳۰۱ بالاترین مقدار RUE را به خود اختصاص دادند و اختلاف معنی‌داری با سایر ارقام نشان دادند (جدول ۲). به طور کلی تجمع بیشتر ماده خشک در اثر تغییر آرایش کاشت، ناشی از جذب بیشتر تشعشع فعال فتوسنتزی و به صورت بارزتری در نتیجه کارایی بالاتر مصرف نور در آرایش کاشت مربع در ارقام مختلف ذرت در طول مراحل رشد ذرت بود.

مقدار RUE در آرایش کاشت مربع در مرحله ۸۵ روز پس از کاشت به مقدار ۳/۸ گرم در مگازول حاصل شد که اختلاف معنی‌داری با سایر آرایش‌های کاشت در همین مرحله داشت (جدول ۲). یک دلیل برای RUE بالاتر در آرایش کاشت مربع می‌تواند مرتبط با توزیع بهتر جریان فتوسنتزی در طول کانوپی باشد. دلیل احتمالی دیگر فتوسنتز ناخالص بیشتر و یا کاهش تنفس نسبت به سایر آرایش‌های کاشت است. در مرحله رشد رویشی و آغاز گرده‌افشانی مزیت نسبی در مقدار RUE در آرایش کاشت مستطیل و در ادامه مراحل رشد و با افزایش پوشش گیاهی و سطح برگ در کانوپی، آرایش کاشت مربع به صورت بارزی برتری نشان داد. لومیس و دانکن (Loomis and Doncan, 1986) نیز RUE بالاتر و نیز تولید بیشتر بیوماس ذرت در آرایش

References

- Duncan, W. G., and Jesjet, J. D. 1968. Net photosynthetic rate, relative leaf growth rate and leaf numbers of 22 races of maize grown at eight temperature. *Crop Science* 8: 670-674.
- Dwyer, L. M., Stewart, D. W., Hamilton, R. I., and Honwing, L. 1992. Ear position and vertical distribution of leaf area in corn. *Agronomy Journal* 8: 430-438.
- Edmeades, G. O., and Lafitle, H. R. 1993. Defoliation and plant density effects on maize selected for reduced plant height. *Agronomy Journal* 85: 850-857.

- Gallo, K. P., and Daugherty, C. S. T. 1986.** Techniques for measuring intercepted and absorbed photosynthetically active radiation in corn canopies. *Agronomy Journal* 78: 752-756.
- Gallo, K. P., Daugherty, C. S. T., and Wiegand, C. L. 1993.** Errors in measuring absorbed radiation and computing crop radiation use efficiency. *Agronomy Journal* 85: 1222-1228.
- Gardner, F. D., Walle, R., and Mecloud, D. E. 1990.** Yield characteristic of ancient race of maize compared to a modern hybrid. *Agronomy Journal* 82: 864-868.
- Hipps, L. E., Asrar, G., and Kanemasu, E. T. 1983.** Assessing the interception of photosynthetically active radiation in winter wheat. *Agricultural Meteorology* 28: 253-259.
- Kiniry, J. R., and Knievel, D. P. 1995.** Response of maize seed number to solar radiation intercepted soon after anthesis. *Agronomy Journal* 87: 228-234.
- Loomis, R. S., and Duncan, W. G. 1986.** Quantitative description of foliage display and light absorption in field communities of corn plants. *Crop Science* 80: 332-336.
- Maddonni, G. A., and Otegui, M. E. 1996.** Leaf area, light interception and crop development in maize. *Field Crop Research* 18: 81-87.
- Monteith, J., and Unsworth, M. 1990.** *Principles of Environmental Physics*. Edward Arnold. London, UK. 291 pp.
- Muchow, R. C., Sinclair, T. R., and Rennehl, I. M. 1990.** Temperature and solar radiation effects on potential maize yield across locations. *Agronomy Journal* 82: 238-343.
- Nelson, D. W., and Sommers, L. E. 1973.** Determination of total nitrogen in plant material. *Agronomy Journal* 65: 109-112.
- Rietveld, M. R. 1987.** A new method for estimating the regression coefficient in the formula relating solar radiation to sunshine. *Agricultural Meteorology* 19: 243-252.
- Sinclair, T. R., and Horie, T. 1989.** Leaf nitrogen, photosynthesis and crop radiation use efficiency: A review. *Crop Science* 29: 90-98.
- Tollenaar, M. 1989.** Genetic improvement in grain yield of commercial maize hybrids grown in Ontario from 1959 to 1988. *Crop Science* 29: 1365-1371.

- Tollenaar, M., and Aguilera, A. 1991.** Temperature response of dry matter accumulation, leaf photosynthesis, and chlorophyll fluorescence in an old and a new maize hybrid during early development. *Canadian Journal of Plant Science* 71: 353-359.
- Tollenaar, M., and Aguilera, A. 1992.** Radiation use efficiency of an old and a new maize hybrid. *Agronomy Journal* 84: 536-541.

آدرس نگارندگان:

علیرضا بهشتی و علیرضا کوچکی- بخش تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، مرکز تحقیقات کشاورزی خراسان، مشهد.

مهدی نصیری محلاتی- دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی، مشهد.