



بررسی کارآیی مصرف نور، شاخص‌های فنولوژیکی و فیزیولوژیکی هیبریدهای ذرت در تراکم‌های مختلف کاشت

*مرتضی گلدانی^۱، پرویز رضوانی مقدم^۱، مهدی نصیری محلاتی^۱ و محمد کافی^۱

^۱عضو هیأت علمی دانشگاه فردوسی مشهد

تاریخ دریافت: ۸۷/۱۲/۴؛ تاریخ پذیرش: ۸۹/۱۲/۱۶

چکیده

با این فرض که تمام شرایط گیاهی و محیطی مناسب باشند، به دست آوردن شرایط مطلوب مستلزم تنظیم تراکم در واحد سطح و افزایش کارآیی مصرف نور می‌باشد. بنابراین به منظور بررسی خصوصیات فنولوژیکی و فیزیولوژیکی سه هیبرید زودرس، متوسط‌رس و دیررس ذرت در ۷ تراکم مختلف، آزمایشی در سال زراعی ۱۳۸۵ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد اجرا شد. تیپ‌های رشدی شامل V_1 = رقم دیررس (۷۰۴)، V_2 = رقم متوسط‌رس (۵۰۴) و V_3 = رقم زودرس (۲۶۰) در ۷ تراکم $D_1=30$ ، $D_2=50$ ، $D_3=70$ ، $D_4=90$ ، $D_5=110$ ، $D_6=130$ و $D_7=150$ هزار بوته در هکتار در آزمایشی به صورت طرح کرت‌های نواری در سه تکرار اجرا شد. نتایج آزمایش نشان داد که فاکتور تراکم اثر معنی‌داری بر طول دوره رشد گیاه و اثر متفاوتی بر روند تولید ماده خشک، شاخص سطح برگ، سرعت رشد محصول، سرعت جذب خالص و دوام سطح برگ داشت. رسیدن به شاخص‌های مطلوب برای رقم دیررس در تراکم D_3 ، برای رقم متوسط‌رس در تراکم D_4 و برای رقم زودرس در تراکم D_5 به دست آمد. با افزایش تراکم شاخص سطح برگ، میزان کارآیی مصرف نور و ماده خشک افزایش یافت. در تراکم‌های بالاتر از حد مطلوب فاصله زمانی بین گرده‌افشانی و کاکل‌دهی افزایش یافت ولی طول دوره رشد در گیاه کاهش یافت. این بررسی نشان داد که شاخص‌های فنولوژیکی و فیزیولوژیکی مطلوب به تیپ رشد گیاه، تراکم و کارآیی مصرف نور بستگی دارد. به طوری که برای رقم دیررس با طول دوره رشد بیش‌تر می‌توان تراکم را کم‌تر در نظر گرفت و برای رقم متوسط‌رس و زودرس، تراکم را افزایش داد.

واژه‌های کلیدی: تابش، تراکم، ذرت، شاخص‌های فنولوژیکی و فیزیولوژیکی، طول دوره رشد

* مسئول مکاتبه: morteza-goldani@yahoo.com

مقدمه

از عوامل مهم در مراحل فیزیولوژیکی رشد و نمو ذرت میزان تابش است (امام و ثقه‌اسلام، ۲۰۰۳). به‌طور کلی دوره نمو زایشی، به‌خصوص ابتدای نمو گل‌آذین به تامین مواد فتوسنتزی بسیار حساس است و در واقع در این مرحله همبستگی بین تابش روزانه و عملکرد دانه در بالاترین حد است. کاهش میزان تابش در طی گلدهی برای عملکرد دانه ذرت، بسیار زیان‌بارتر از کاهش آن در طی پر شدن دانه است (یزدان‌دوست‌همدانی و رضایی، ۱۳۸۰). سانگوی (۲۰۰۰) بیان کرد که تاخیر در کاشت، مدت زمان بین سبز شدن تا کاکل‌دهی را کاهش داده و منجر به کاهش تابش تجمعی دریافت شده توسط کانوپی گیاه می‌شود. آن‌ها گزارش کردند که در کاشت تاخیری سرعت رشد محصول در طول دوره رویشی افزایش می‌یابد، که دلیل آن را کارایی استفاده از تابش و درصد جذب تابش عنوان کرده‌اند، در حالی‌که در طول دوره پر شدن دانه به‌علت کاهش کارایی استفاده از تابش و مقدار تابش دریافتی توسط گیاه، سرعت رشد محصول کم می‌شود. همچنین در کاشت تاخیری تجمع ماده خشک تا قبل از کاکل‌دهی در مقایسه با فاصله کاکل‌دهی تا رسیدگی فیزیولوژیکی بیش‌تر است (پاپ و همکاران، ۲۰۰۶).

والتیناز و تولنار (۲۰۰۴) گزارش کردند طول دوره پر شدن دانه و سرعت آن در عین حال که یک صفت ژنتیکی است، تحت تأثیر محیط و عوامل مدیریتی نیز قرار می‌گیرد، به‌طوری‌که دمای کم‌تر باعث افزایش طول دوره پر شدن دانه، سرعت کم‌تر رشد دانه، بذره‌های بزرگ‌تر و عملکرد بیش‌تر می‌شود (تولنار و وو، ۱۹۹۹؛ وارگاس و همکاران، ۲۰۰۲). آن‌ها بیان کردند که کاهش یا قطع منابع ساکارز جهت انتقال به دانه باعث تشکیل سریع لایه سیاه می‌شود. بنابراین هر نوع تنش محیطی (کمبود آب، مواد غذایی، تابش و درجه حرارت بالا یا پایین‌تر از حد مطلوب) که باعث کاهش فتوسنتز گیاه در طول دوره پر شدن دانه شود، باعث تسریع در بلوغ فیزیولوژیکی می‌گردد (امام، ۲۰۰۳).

دوره تولید مواد فتوسنتزی با به تاخیر انداختن پیری، افزایش می‌یابد. ارقام با طول دوره تولید مواد فتوسنتزی طولانی‌تر، دارای سهم زیادتری از مواد فتوسنتزی جاری در پر شدن دانه هستند (امام و ثقه‌اسلام، ۲۰۰۳). والتیناز و تولنار (۲۰۰۴) بیان کردند که در طول دوره پر شدن دانه ذرت دو نوع پیری در برگ ایجاد می‌شود: پیری که در اثر کوچک بودن نسبت منبع به مخزن (به‌علت کمبود مواد فتوسنتزی که احتمالاً به‌دلیل سایه‌اندازی، زرد شدن و ریزش برگ‌ها می‌باشد) و پیری که در اثر بزرگ

بودن نسبت منبع به مخزن به دست می آید (به علت تجمع مواد فتوسنتزی در اندام فتوسنتزی است)، که در نهایت منجر به نبود تعادل بین مواد فتوسنتزی و تقاضا برای آن در گیاه می شود. ارقام مختلف گیاهان بیوماس تولیدی خود را با افزایش سطح برگ و وزن خشک بیش تر در واحد سطح برگ به گیاه اختصاص می دهند و از این نظر تفاوت معنی داری بین گونه های مختلف گیاه وجود ندارد، ولی از نظر اختصاص بیوماس بین سطح برگ و یا وزن خشک در واحد سطح برگ اختلاف وجود دارد (گونزالو و همکاران، ۲۰۰۶).

گونزالو و همکاران (۲۰۰۶) بیان کرد که تعداد برگ در گیاه ثابت بوده که این یک پدیده ژنتیکی است، بنابراین با افزایش تراکم تعداد برگ در واحد سطح افزایش می یابد و این به افزایش شاخص سطح برگ منجر می شود. میرهادی (۲۰۰۱) گزارش کرد اختلاف سرعت رشد محصول در زمان گل دهی در ارقام و تراکم های مختلف بیش تر از مراحل ابتدایی و انتهایی رشد گیاه ذرت است. به طوری که در هر مرحله از رشد که سرعت ماده سازی بیش تر باشد، سرعت رشد محصول نیز افزایش می یابد. عملکرد دانه با افزایش تراکم تا مرحله ای که ۹۵ درصد تابش فعال فتوسنتزی توسط سطوح فتوسنتزکننده جذب شود، افزایش می یابد، افزایش شاخص سطح برگ بیش از این مقدار عمق نفوذ نور را به پایین گیاه کاهش می دهد، به طوری که برگ های پایینی در سایه قرار می گیرند. در چنین شرایطی برگ های پایینی در حالت انگل قرار گرفته و در نتیجه دوام سطح برگ کاهش می یابد (هاشمی و همکاران، ۲۰۰۵).

بهشتی و همکاران (۲۰۰۲) اثر آرایش کاشت و رقم را بر کارایی مصرف نور در گیاه ذرت بررسی کردند، آن ها بیان کردند که افزایش تجمع ماده خشک نتیجه جذب بیش تر تابش فعال فتوسنتزی است به طوری که آرایش کاشت مربع نسبت به کاشت لوزی و مستطیل از کارایی مصرف نور بیش تر برخوردار بودند. هاشمی و همکاران (۲۰۰۵) در مطالعه اثر تراکم بر میزان تابش دریافتی توسط گیاه ذرت بیان کردند که با افزایش تراکم ذرت از ۳ به ۱۲ بوته در مترمربع مقدار تابش در سطح بلال از ۴۸ درصد به ۱۵ درصد کاهش یافت، و هنگامی که تراکم از ۳ به ۷/۵ بوته در مترمربع افزایش یافت میزان تابش در سطح زمین ۲۰ درصد کاهش پیدا کرد. نتایج آزمایش دیگر نشان داد (۲۰۰۸) که با افزایش دریافت انرژی خورشید در طول زمان، تولید ماده خشک هم بیش تر خواهد شد. همچنین بیان کرد که اختلاف در عملکرد کل ماده خشک بوته ها بیش تر هم نتیجه اختلاف در سرعت فتوسنتز و هم نتیجه تفاوت در طول مدتی است که فتوسنتز در آن ادامه دارد.

استوارت و همکاران (۲۰۰۳) براین اعتقاد هستند که اگر سطح برگ تا شروع تشکیل دانه حفظ شود، همبستگی مثبتی با عملکرد دانه خواهد داشت. بنابراین اگر انتگرال سطح برگ (LAD) در طی دوره تشکیل دانه گرفته شود، همبستگی بهتری با عملکرد دانه به دست خواهد آمد تا حداکثر سطح برگ مشاهده شده در هر زمان، بنابراین می‌توان گفت که نه تنها عوامل مؤثر بر رشد گیاه در ابتدای فصل رشد بلکه تداوم سطح برگ نیز تعیین‌کننده عملکرد هستند. مونیت (۱۹۷۲) بیان کرد اگرچه کارایی مصرف تابش بیش‌تر از طریق عوامل ژنتیکی ($1/4$ گرم ماده خشک به‌ازای هر مگاژول انرژی خورشیدی جذب شده) تحت تأثیر قرار می‌گیرد، ولی عوامل محیطی و عملیات مدیریتی نظیر تاریخ کاشت، تراکم و رقم به دلیل نقش مهم که در فعالیت فتوسنتزی دارند این عامل را تحت تأثیر قرار می‌دهد.

هدف از این پژوهش بررسی کارایی مصرف نور و اثر آن بر خصوصیات فنولوژی و فیزیولوژیکی سه هیبرید زودرس، متوسط‌رس و دیررس ذرت در واکنش به تراکم در شرایط آب و هوایی مشهد بود.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در سال ۱۳۸۵ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد با عرض جغرافیایی ۳۶ درجه شمالی و ارتفاع ۹۸۵ متر از سطح دریا اجرا شد. خاک زمین مورد کشت دارای بافت لومی بود و در سال گذشته به‌صورت آیش بود. آزمایش به‌صورت طرح کرت‌های نواری در قالب بلوک کامل تصادفی در سه تکرار اجرا شد. فاکتورهای این آزمایش عبارت بودند از: الف) فاکتور رقم در ۳ سطح V_1 = رقم زودرس (۲۶۰)، V_2 = رقم متوسط‌رس (۵۰۴) و V_3 = رقم دیررس (۷۰۴) و ب) فاکتور تراکم شامل ۷ سطح $D_1=30$ ، $D_2=50$ ، $D_3=70$ ، $D_4=90$ ، $D_5=110$ ، $D_6=130$ و $D_7=150$ هزار بوته در هکتار ابعاد کرت‌های آزمایش 5×5 (متر) و هر کرت شامل ۷ ردیف کاشت با فاصله بین دو ردیف ۷۵ سانتی‌متر بود. فاصله بین بلوک‌ها ۱ متر و فاصله بین کرت‌ها $0/5$ متر اعمال شد. عمق کاشت حدود ۵ سانتی‌متر بود. رقم دیررس (۷۰۴) در تاریخ بیستم اردیبهشت ۱۳۸۵ کاشت شد و به فاصله هر بیست روز رقم متوسط‌رس و سپس رقم زودرس کاشت شدند. آبیاری به‌صورت نشتی بلافاصله پس از کاشت و هر ۷ روز یک‌بار انجام شد. زمان آماده‌سازی زمین ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار فسفات آمونیوم و در مرحله ۵ برگی مقدار ۷۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره استفاده شد. کنترل علف‌های هرز به‌صورت دستی انجام شد.

برای تعیین مراحل فنولوژی گیاهان از مراحل مختلف نمو تحت عنوان مرحله کاشت، سبز شدن، تاسل دهی، کاکل دهی، رسیدگی فیزیولوژی و رسیدگی کامل استفاده شد (امام و ثقه‌اسلام، ۲۰۰۳؛ میرهادی، ۲۰۰۱) و به همین منظور هر یک از کرت‌ها در مراحل یاد شده، یادداشت‌برداری شدند و هر مرحله با فرار گرفتن ۵۰ درصد از گیاهان هر تیمار در آن مرحله مشخص شد. برای تعیین لایه سیاه از سه هفته پس از کاکل دهی، در هر کرت در دانه‌های بخش میانی ۳ بلال سه دانه خارج شد و با تیغ یک برش طولی زده شد تا لایه سیاه مشاهده شود.

نمونه‌گیری‌ها از دو هفته پس از سبز شدن، هر ۱۴ روز یک‌بار انجام شد. در هر نمونه‌برداری، گیاهان از روی هر کرت (۰/۷۵ مترمربع) به‌طور کامل و تصادفی برداشت و سپس در آزمایشگاه و پس از جدا کردن برگ‌ها، سطح برگ آن‌ها توسط دستگاه اندازه‌گیری سطح برگ اندازه‌گیری شد و سپس همراه با دیگر اجزای گیاهی برای خشک شدن به مدت ۷۲ ساعت به آون با دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد منتقل شدند. برای محاسبه شاخص سطح برگ از نسبت واحد سطح برگ به واحد سطح زمین ($LAI = \frac{\text{مترمربع بر مترمربع}}{\text{مترمربع}}$) استفاده شد و برای محاسبه سرعت رشد محصول (CGR) از روش مشتق‌گیری از معادله روند تجمع ماده خشک و برای محاسبه سرعت رشد نسبی (RGR) نیز از مشتق معادله سرعت رشد استفاده شد (گاردنر و همکاران، ۱۹۸۵).

محاسبه کارایی مصرف نور: برای تعیین کارایی مصرف نور میزان ماده خشک تجمعی، شاخص سطح برگ و میزان تابش تجمعی جذب شده در طول دوره رشد اندازه‌گیری شد. میزان ماده خشک تجمعی با نمونه‌برداری از بیوماس تولیدی در مقاطع زمانی طی دوره رشد به دست آمد. مقادیر شاخص سطح برگ روزانه با برازش تابع لجستیک پیک (رابطه ۱) به مقادیر LAI اندازه‌گیری شده (Y) تعیین گردید.

$$Y = a_0 + a_1 \times \epsilon \times (\exp(-(x - a_2)/a_3)) / (I + \exp(-(x - a_2)/a_3)) \quad (1)$$

که در آن، a_0 : عرض از مبدأ (مقدار Y در زمان $x=0$)، a_1 : زمان رسیدن به حداکثر شاخص سطح برگ، a_2 : میانگین سرعت نسبی رشد سطح برگ، a_3 : زمان شروع مرحله خطی رشد شاخص سطح برگ و x زمان می‌باشند. به این ترتیب شاخص سطح برگ روزانه محاسبه شد.

مقادیر تابش ورودی روزانه (I) براساس تعداد ساعات آفتابی اخذ شده از ایستگاه هواشناسی مشهد و براساس معادله آنگستروم (رابطه ۲) تصحیح گردید (کوچکی و خواجه‌حسینی، ۲۰۰۸).

مجله پژوهش‌های تولید گیاهی (۱۸)، شماره (۱) ۱۳۹۰

$$I/I_0 = A + B(n/N) \quad (2)$$

در این رابطه، I : میزان تابش روزانه بالای کانوپی با توجه به ساعات آفتابی، n و N : به ترتیب تعداد ساعات آفتابی و طول روز و A و B : ضرایب آنگستروم می‌باشند. مقادیر A و B برای مشاهد معادل ۰/۳ و ۰/۳۷ در نظر گرفته شد.

با داشتن مقادیر شاخص سطح برگ روزانه (LAI_t) و تابش ورودی روزانه (I_0)، مقادیر تابش جذب شده روزانه (I_{abc}) توسط گیاه بر حسب مگاژول در مترمربع در روز با استفاده از رابطه ۳ محاسبه شد. کارآیی مصرف نور از طریق محاسبه شیب خط رگرسیون بین ماده خشک تجمعی (گرم بر مترمربع) برآورد شد.

$$I_{abc} = I_0(1 - e^{-k \times LAI_t}) \quad (3)$$

محاسبات آماری مورد نیاز با استفاده از نرم‌افزارهای Excel، MSTAT-C، Slid Write انجام پذیرفت و از آزمون LSD برای مقایسه میانگین‌ها استفاده شد.

نتایج و بحث

خصوصیات فنولوژیکی

فاصله زمانی از کاشت تا مرحله ۵ برگی: اختلاف ارقام از نظر تعداد روز از زمان کاشت تا مرحله ۵ برگی از نظر آماری معنی‌دار ($P \leq 0/01$) بود (جدول ۳). به طوری که طولانی‌ترین و کوتاه‌ترین فاصله زمانی کاشت تا مرحله ۵ برگی به ترتیب برای رقم دیررس ۷۰۴ و رقم زودرس ۲۶۰، ۳۰ و ۲۰ روز به دست آمد. کم‌ترین و بیش‌ترین فاصله کاشت تا ۵ برگی به ترتیب در تراکم D_1 تا D_4 (۲۶ روز) و تراکم D_7 (۲۴ روز) به دست آمد (جدول ۱). به نظر می‌رسد افزایش تراکم باعث ایجاد رقابت بین گیاهان مجاور شده که این امر منجر به محدودیت نور، و عناصر مورد نیاز گیاه می‌گردد، بنابراین گیاه سرعت رشد خود را افزایش می‌دهد.

اثر متقابل بین تراکم‌های مختلف و رقم در این آزمایش معنی‌دار ($P \leq 0/01$) بود (جدول ۳). به طوری که بیش‌ترین فاصله زمانی کاشت تا مرحله ۵ برگی برای رقم دیررس ۷۰۴ در تراکم‌های D_1 تا D_6 (۳۰ روز) و کم‌ترین آن برای رقم زودرس ۲۶۰ در تراکم D_7 (۱۸ روز) به دست آمد (جدول ۲).

با توجه به نتایج این آزمایش علاوه بر خصوصیات ژنتیکی هر ژنوتیپ، به نظر می‌رسد دمای لازم برای کسب درجه روز مورد نیاز در هر مرحله رشد برای هر تیپ رشدی متفاوت باشد. به طوری که فاصله زمان کاشت تا سبز شدن برای ارقام دیررس بیش تر از ارقام زودرس تر بود و به علت نبود رقابت بین بوته‌های اختلافی بین تراکم‌های مختلف در زمان کاشت تا سبز شدن وجود نداشت و احتمالاً تنها عوامل محیطی خاک به خصوص دمای خاک در این خصوص مؤثر است (که برای تمام تراکم‌ها یکسان بود). از آنجا که کاشت هر رقم (دیررس، متوسط‌رس و زودرس) در تاریخ مطلوب همان رقم انجام شد، به نظر می‌رسد تفاوت درجه حرارت و کسب سریع‌تر درجه روز عامل دیگر در اختلاف زمان کاشت تا مرحله ۵ برگی در ارقام مختلف بود. سانگوی (۲۰۰۰) بیان کرد که تاخیر در کاشت، فاصله زمانی بین مراحل نمو گیاه را به علت کسب سریع‌تر درجه روز مورد نیاز کاهش داده و سرعت رشد افزایش می‌یابد.

از مرحله ۵ برگی تا ظهور گل تاجی: اختلاف ارقام از نظر فاصله زمانی از مرحله ۵ برگی تا ظهور گل تاجی معنی‌دار ($P \leq 0/01$) بود (جدول ۳). به طوری که حداکثر و حداقل آن به ترتیب در رقم دیررس ۷۰۴ (۴۰ روز) و برای رقم زودرس ۲۶۰ (۳۱ روز) به دست آمد (جدول ۱). همچنین اختلاف فاصله زمانی از مرحله ۵ برگی تا ظهور گل تاجی در تراکم‌های مختلف نیز معنی‌دار ($P \leq 0/01$) بود (جدول ۳). طولانی‌ترین فاصله از مرحله ۵ برگی تا ظهور گل تاجی در تراکم‌های D_3 و D_4 (۳۶ روز) و کوتاه‌ترین آن در تراکم D_7 (۳۲ روز) به دست آمد (جدول ۱). اثر متقابل رقم و تراکم از نظر فاصله زمانی از مرحله ۵ برگی تا ظهور گل تاجی نیز معنی‌دار شد ($P \leq 0/01$). بیش‌ترین و کم‌ترین فاصله به ترتیب در تراکم D_3 و D_4 برای رقم دیررس ۷۰۴ (۴۲ روز) و برای رقم زودرس ۲۶۰ در تراکم D_7 (۲۸ روز) به دست آمد (جدول ۲).

از آنجا که تا مرحله گل تاجی بیش‌ترین تعداد برگ و سطح برگ تشکیل می‌شود، به نظر می‌رسد که با افزایش طول فصل رشد رویشی تعداد و سطح آن زیاد شود، به طوری که رقم دیررس نسبت به ارقام زودرس تر از تعداد و سطح برگ بیش‌تر برخوردار بودند. از آن جهت که برگ‌ها پذیرنده عمده نور می‌باشند تراکمی مناسب است که تا مرحله گل تاجی از شاخص سطح برگ بهینه‌ای برخوردار باشد. به طوری که ارقام با تراکم مطلوب و شاخص سطح برگ مناسب می‌توانند منبع غنی برای مرحله زایشی و پر شدن دانه مهیا کنند. علاوه بر شاخص سطح برگ مطلوب، گیاه در شرایط تراکم مناسب از دوام

شاخص سطح برگ بیش‌تری در طی دوره زایشی و به‌خصوص دوره پر شدن دانه برخوردار است و افزایش تراکم به‌عنوان عاملی که تنش‌های مختلف از جمله تابش، رطوبت و عناصر غذایی را شامل می‌شود، باعث کاهش طول دوره رشد رویشی می‌شود (یزدان‌دوست‌همدانی و رضایی، ۲۰۰۱؛ سوبدی و ما، ۲۰۰۵؛ تولنار و وو، ۱۹۹۹). بنابراین لازم است فشردگی بین گیاه تا حدی باشد که باعث رقابت شدید بین آن‌ها نشده و انتقال مواد فتوسنتزی به نحوه مطلوب به انجام اقتصادی انجام شود.

فاصله زمانی ظهور گل تاجی و کاکل‌دهی: نتایج تجزیه واریانس این آزمایش نشانگر اختلاف معنی‌دار ($P \leq 0/01$) ارقام از نظر فاصله زمانی ظهور گل تاجی و کاکل‌دهی بود (جدول ۳). به‌طوری‌که حداکثر و حداقل آن به‌ترتیب برای رقم دیررس ۷۰۴ (۷ روز)، رقم متوسط‌رس ۵۰۴ (۵ روز) و رقم زودرس ۲۶۰ (۵ روز) به‌دست آمد (جدول ۱). اختلاف تراکم از نظر فاصله زمانی ظهور گل تاجی تا کاکل‌دهی معنی‌دار بود ($P \leq 0/01$) و بیش‌ترین فاصله زمانی ظهور گل تاجی تا کاکل‌دهی در تراکم D_6 و D_7 یعنی ۷ روز و کم‌ترین آن در تراکم D_1 تا D_4 یعنی ۵ روز به‌دست آمد (جدول ۱). نتایج به‌دست آمده از اختلاف ارقام در تراکم‌های مختلف از نظر فاصله ظهور گل تاجی تا کاکل‌دهی نیز معنی‌دار بود ($P \leq 0/01$). طولانی‌ترین و کوتاه‌ترین فاصله از ظهور گل تاجی تا کاکل‌دهی به‌ترتیب برای رقم دیررس ۷۰۴ در تراکم D_6 و D_7 (۹ روز) و برای رقم زودرس ۲۶۰ در تراکم D_1 تا D_4 (۴ روز) به‌دست آمد (جدول ۲). رقم دیررس ۷۰۴ به‌دلیل دوره رویشی بیش‌تر و جثه بزرگ‌تر، در تراکم‌های بالا فشار رقابتی شدیدتری را متحمل شد و با تاخیر در زمان کاکل‌دهی اثر خود را نشان داد. با زودرس شدن ارقام، تراکم‌پذیری ارقام زودرس به‌علت طول دوره رشد کوتاه‌تر و جثه کوچک‌تر، افزایش یافت. به‌نظر می‌رسد با توجه به این‌که ابتدا گرده‌افشانی در حدود ۵-۴ روز زودتر انجام می‌شود و پس از آن رشته‌های ابریشمی ظاهر می‌شوند، تأخیر در ظهور کاکل به‌علت افزایش تراکم بیش از حد مطلوب نیز مزید بر تاخیر ظهور رشته‌های ابریشمی می‌شود و باعث کاهش تلقیح تخمک‌ها شده و تعداد تخمک‌های عقیم افزایش یابد (امام، ۲۰۰۳).

یزدان‌دوست‌همدانی و رضایی (۱۳۸۰) گزارش کردند که پس از ظهور تاج‌گل، گیاه ذرت یک دوره سریع رشد را شروع کرده و به سرعت ماده خشک و مواد غذایی ذخیره می‌کند. بنابراین تأمین مواد فتوسنتزی برای گیاه دارای اهمیت است. امام و ثقه‌الاسلام (۱۳۸۲) بیان کردند که محدودیت منابع از جمله عناصر غذایی و تابش خورشید در اثر افزایش فشردگی بین بوته‌ای، باعث تأمین نکردن

مواد فتوستتزی لازم برای نمو گل آذین شده و در نتیجه با افزایش رقابت علاوه بر تأمین نکردن مواد فتوستتزی، فاصله زمانی بین ظهور گل تاجی و کاکل دهی (مرحله گرده افشانی) زیادتر شده و سهم هر کدام از بوته‌ها از منابع کم‌تر می‌شود. سانگوی (۲۰۰۰) نیز بیان کرد که فاصله زمانی ظهور گل تاجی و کاکل دهی در هیبریدهای جدید و پر محصول ذرت کم‌تر بود، ولی فاصله زمانی کاکل دهی و بلوغ فیزیولوژیکی طولانی‌تر است. هاشمی و همکاران (۲۰۰۵) نیز بیان کردند که در بعضی ژنوتیپ‌ها با افزایش تراکم، دوره زمان کاکل دهی در مقایسه با مدت زمان ظهور تاسل به تاخیر می‌افتد، که منجر به کاهش گرده افشانی شده و علت آن را کمبود مواد فتوستتزی دانستند.

بلوغ فیزیولوژیکی: اختلاف بین ارقام از نظر فاصله زمانی بین کاکل دهی و بلوغ فیزیولوژیکی معنی‌دار ($P \leq 0/01$) بود (جدول ۳). به طوری که حداکثر و حداقل فاصله زمانی بین کاکل دهی و بلوغ فیزیولوژیکی به ترتیب در رقم دیررس ۷۰۴ (۳۸ روز) و رقم زودرس ۲۶۰ (۲۷ روز) به دست آمد (جدول ۱). تراکم‌های مختلف از نظر فاصله زمانی بین کاکل دهی و بلوغ فیزیولوژیکی دارای اختلاف معنی‌داری بودند ($P \leq 0/01$) (جدول ۳) و طولانی‌ترین فاصله در تراکم D_1 و D_2 (۳۶ روز) و کوتاه‌ترین فاصله زمانی بین کاکل دهی و بلوغ فیزیولوژیکی در تراکم D_7 (۲۹ روز) به دست آمد (جدول ۱). اثر متقابل بین رقم و تراکم از نظر فاصله زمانی کاکل دهی تا بلوغ فیزیولوژیکی معنی‌دار ($P \leq 0/01$) بود (جدول ۲). بیش‌ترین فاصله در تراکم‌های D_1 و D_2 برای رقم دیررس ۷۰۴ (۴۱ روز) و کم‌ترین آن برای رقم زودرس ۲۶۰ در تراکم D_7 (۲۴ روز) به دست آمد (جدول ۲). به نظر می‌رسد با کاهش تراکم طول دوره کاکل دهی تا بلوغ فیزیولوژیکی افزایش می‌یابد و گیاه فرصت بیش‌تری برای تجمع بیش‌تر ماده خشک در دانه پیدا می‌کند. احتمالاً افزایش طول دوره پر شدن دانه نتیجه گل‌دهی زودتر و یا تشکیل دیرتر لایه سیاه باشد و افزایش دوام شاخص سطح برگ به علت کاهش هر نوع تنش در گیاه در طول این دوره همبستگی زیادی با طول زمان گل‌دهی تا بلوغ فیزیولوژیکی دارد.

پاپ و همکاران (۲۰۰۶) بیان کرد که ارقام دارای عملکرد کم‌تر از جمله ارقام قدیم و کم‌محصول و همچنین افزایش تراکم بیش از حد مطلوب هر رقم، ظهور رشته‌های ابریشمی را به تاخیر می‌اندازد و گرده افشانی به طور ناقص انجام می‌شود و لایه سیاه نیز زودتر تشکیل می‌شود. از طرفی با توجه به این‌که افزایش دما در طی دوره پر شدن دانه، سرعت پر شدن دانه را تحت تأثیر قرار می‌دهد ولی آن‌چه در سال‌ها باعث افزایش عملکرد دانه شده است، افزایش طول دوره پر شدن دانه است که معمولاً با دمای کم‌تر همراه است (تولنار و وو، ۱۹۹۹). امام (۲۰۰۳) طی بررسی مراحل رشد و نمو گیاه ذرت،

مجله پژوهش‌های تولید گیاهی (۱۸)، شماره (۱) ۱۳۹۰

مهم‌ترین عامل مؤثر در مرحله رسیدگی کامل را تنفس دانست. به‌نظر می‌رسد با افزایش تراکم، فشردگی و رقابت بین دو گونه گیاهی افزایش یافته و درجه حرارت و به‌تبع آن تنفس در داخل پوشش گیاهی افزایش می‌یابد که منجر به کاهش ماده خشک تجمع‌یافته و افت عملکرد دانه در تک‌بوته می‌شود.

کل دوره رشد: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که بین ارقام از نظر طول دوره رشد گیاه (از کاشت تا برداشت) اختلاف معنی‌داری ($P \leq 0/01$) وجود دارد (جدول ۳). حداکثر و حداقل دوره رشد به‌ترتیب برای رقم دیررس ۷۰۴ (۱۲۵ روز) و برای رقم زودرس ۲۶۰ (۹۰ روز) به‌دست آمد (جدول ۱). اثر تراکم بر کل دوره رشد گیاهان ذرت نیز معنی‌دار بود ($P \leq 0/01$). به‌طوری‌که طولانی‌ترین آن در تراکم D_1 و D_2 (۱۱۲ روز) و کوتاه‌ترین آن در تراکم D_7 (۹۸ روز) به‌دست آمد (جدول ۱). اثرات متقابل رقم و تراکم بر طول دوره رشد گیاه نیز معنی‌دار بود ($P \leq 0/01$). بیش‌ترین دوره رشد در تراکم D_1 برای رقم دیررس ۷۰۴ (۱۳۱ روز) و کم‌ترین آن برای رقم زودرس در تراکم D_7 (۸۳ روز) به‌دست آمد (جدول ۲).

جدول ۱- میانگین روزهای پس از کاشت در مراحل مختلف رشد سه رقم ذرت در تراکم‌های مختلف.

دوره رشد	صفات		از گل‌تاجی تا		از کاکل‌دهی تا	
	از ۵ برگگی تا گل‌تاجی	از گل‌تاجی تا کاکل‌دهی	از کاکل‌دهی تا بلوغ فیزیولوژیکی	از بلوغ فیزیولوژیکی تا رسیدگی کامل	از بلوغ فیزیولوژیکی تا رسیدگی کامل	از بلوغ فیزیولوژیکی تا رسیدگی کامل
دیررس	۴۰	۷	۳۸	۱۱	۱۲۵	
متوسط‌رس	۳۴	۵	۳۵	۸	۱۰۸	
زودرس	۳۱	۵	۲۷	۷	۹۰	
LSD $_{0/05}$	۳	۱/۱۳	۳/۵	۰/۴۵	۳/۴	
تراکم	D_1	۳۶	۵	۳۶	۱۰	۱۱۲
	D_2	۳۶	۵	۳۶	۱۰	۱۱۲
	D_3	۳۶	۵	۳۵	۹	۱۱۱
	D_4	۳۶	۵	۳۴	۹	۱۰۹
	D_5	۳۵	۶	۳۳	۸	۱۰۷
	D_6	۳۳	۷	۳۰	۷	۱۰۱
	D_7	۳۲	۷	۲۹	۷	۹۷
LSD $_{0/05}$	۱/۳	۰/۸۳	۰/۴	۰/۳۷	۰/۹۳	
C.V	۲/۴	۷/۹	۲/۴	۵/۹	۱/۲۶	

سطوح تراکم $D_1, D_2, D_3, D_4, D_5, D_6, D_7$ به‌ترتیب ۳، ۵، ۷، ۹، ۱۱، ۱۳ و ۱۵ بوته در مترمربع.

مرتضی گلدانی و همکاران

جدول ۲- اثرات متقابل روزهای پس از کاشت در مراحل مختلف رشد سه رقم ذرت در تراکم‌های مختلف.

دوره رشد	از بلوغ فیزیولوژیکی تا رسیدگی کامل	از کاکل دهی تا بلوغ فیزیولوژیکی	از گل تاجی تا کاکل دهی	تراکم	صفات
۱۳۱	۱۳	۴۱	۶	D _۱	دیررس
۱۳۰	۱۲	۴۱	۵	D _۲	
۱۲۹	۱۲	۴۰	۶	D _۳	
۱۲۷	۱۱	۳۸	۶	D _۴	
۱۲۴	۱۰	۳۷	۷	D _۵	
۱۱۷	۸	۳۴	۹	D _۶	
۱۱۴	۸	۳۲	۹	D _۷	
۱۱۳	۱۰	۳۷	۵	D _۱	متوسط‌ترس
۱۱۳	۱۰	۳۷	۵	D _۲	
۱۱۲	۱۰	۳۶	۵	D _۳	
۱۰۹	۸	۳۵	۵	D _۴	
۱۰۸	۸	۳۵	۵	D _۵	
۱۰۰	۶	۳۲	۶	D _۶	
۹۹	۶	۳۰	۷	D _۷	
۹۳	۷	۲۹	۴	D _۱	زودرس
۹۳	۷	۲۹	۴	D _۲	
۹۳	۷	۲۹	۴	D _۳	
۹۲	۷	۲۸	۴	D _۴	
۹۰	۷	۲۶	۵	D _۵	
۸۶	۷	۲۵	۶	D _۶	
۸۳	۷	۲۴	۶	D _۷	
۲/۲۸	۰/۸۵	۱/۳۴	۰/۷۵	LSD _{۰/۰۵}	
۱/۲۶	۵/۹	۲/۴	۷/۹	C.V	

سطوح تراکم D_۱، D_۲، D_۳، D_۴، D_۵، D_۶ و D_۷ به ترتیب ۳، ۵، ۷، ۹، ۱۱، ۱۳ و ۱۵ بوته در مترمربع.

مجله پژوهش‌های تولید گیاهی (۱۸)، شماره (۱) ۱۳۹۰

جدول ۳- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) مراحل فنولوژیکی در گیاه ذرت.

منابع تغییر	درجات آزادی	میانگین مربعات					
		از کاشت تا ۵ برگی	گل تاجی	کاکل دهی	تا فیزیولوژیکی	تا رسیدگی کامل	
تکرار	۲ ^{ns}	۴۲ ^{ns}	۱/۹ ^{ns}	۲/۲ ^{ns}	۳۰۶ ^{**}	۰/۲۱ ^{ns}	۳۲۰ ^{ns}
رقم	۲	۵۳۲*	۴۳۲ ^{**}	۲۷*	۶۲۳	۷۶ ^{**}	۶۴۶۹ ^{**}
خطا (a)	۴	۲۰	۱۲	۱/۷	۱۷	۰/۲۸	۱۶
تراکم	۶	۷ ^{ns}	۲۹ ^{**}	۱۱ ^{**}	۷۰ ^{**}	۱۲ ^{**}	۲۶۹ ^{**}
خطا (b)	۱۲	۰/۱۶۷	۱/۶	۰/۶۵	۰/۱۵	۰/۱۳۲	۰/۸۲
AB	۱۲	۰/۲۶ ^{ns}	۰/۶۵ ^{ns}	۰/۶۴ ^{**}	۲/۰۴ ^{**}	۳ ^{**}	۶/۵ ^{ns}
خطا (c)	۲۴	۱/۷۲	۰/۷	۰/۲	۰/۶۳	۰/۲۶	۲

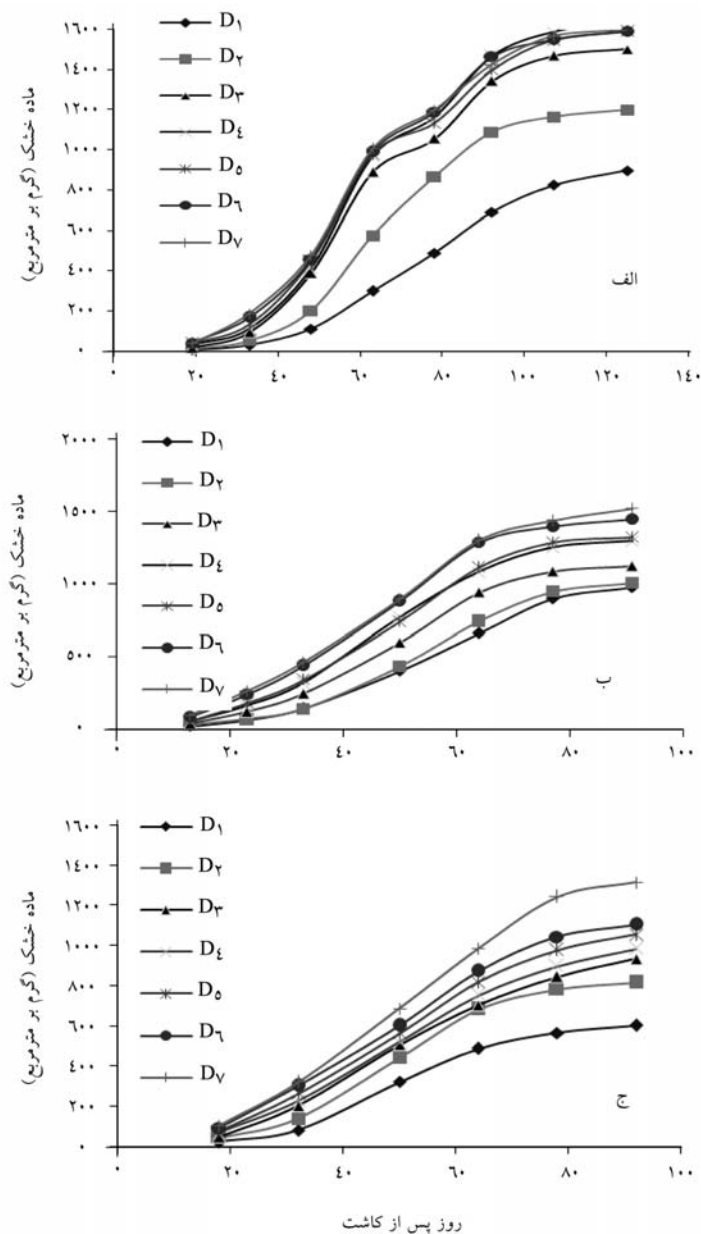
دارای اثر معنی‌دار در سطح ۱ درصد، دارای اثر معنی‌دار در سطح ۵ درصد، ^{ns} بدون اثر معنی‌دار.

امام و تفه‌الاسلام (۲۰۰۳) گزارش کردند که تعداد برگ در طی مرحله رشد رویشی تحت‌تأثیر درجه حرارت و فتوپریود قرار می‌گیرد، بنابراین افزایش فتوپریود و کاهش دمای نسبی سبب افزایش تعداد برگ در مرحله رشد رویشی بوته‌ها می‌شود. به‌نظر می‌رسد ارقام دیررس نسبت به ارقام زودرس‌تر در شرایط فتوپریود بیش‌تر و دمای نسبی کم‌تر قرار گرفته و از طول دوره رشد رویشی بیش‌تری برخوردار بودند. این عوامل باعث افزایش جثه و سطح برگ بیش‌تر در گیاه شد، به‌طوری‌که رقابت بین بوته‌ای در ارقام دیررس نسبت به ارقام زودرس در تراکم‌های کم‌تر اتفاق افتاد. همچنین افزایش فشردگی بین بوته‌ای در تراکم‌های بیش از حد مطلوب برای ارقام مختلف باعث محدودیت در دریافت تابش و عناصر غذایی شده و کمبود در هر بوته منجر به تأخیر در ظهور رشته‌های ابریشمی بلال شد و در زمان ریزش دانه‌های گرده، رشته‌های ابریشمی دانه‌گرده کم‌تری را دریافت کرده و باعث افزایش تخمک‌های عقیم و کاهش تعداد دانه در بلال شدند. در این شرایط با افزایش تراکم طول دوره رشد و مدت زمان بلوغ فیزیولوژیکی کاهش یافت.

شاخص‌های رشد

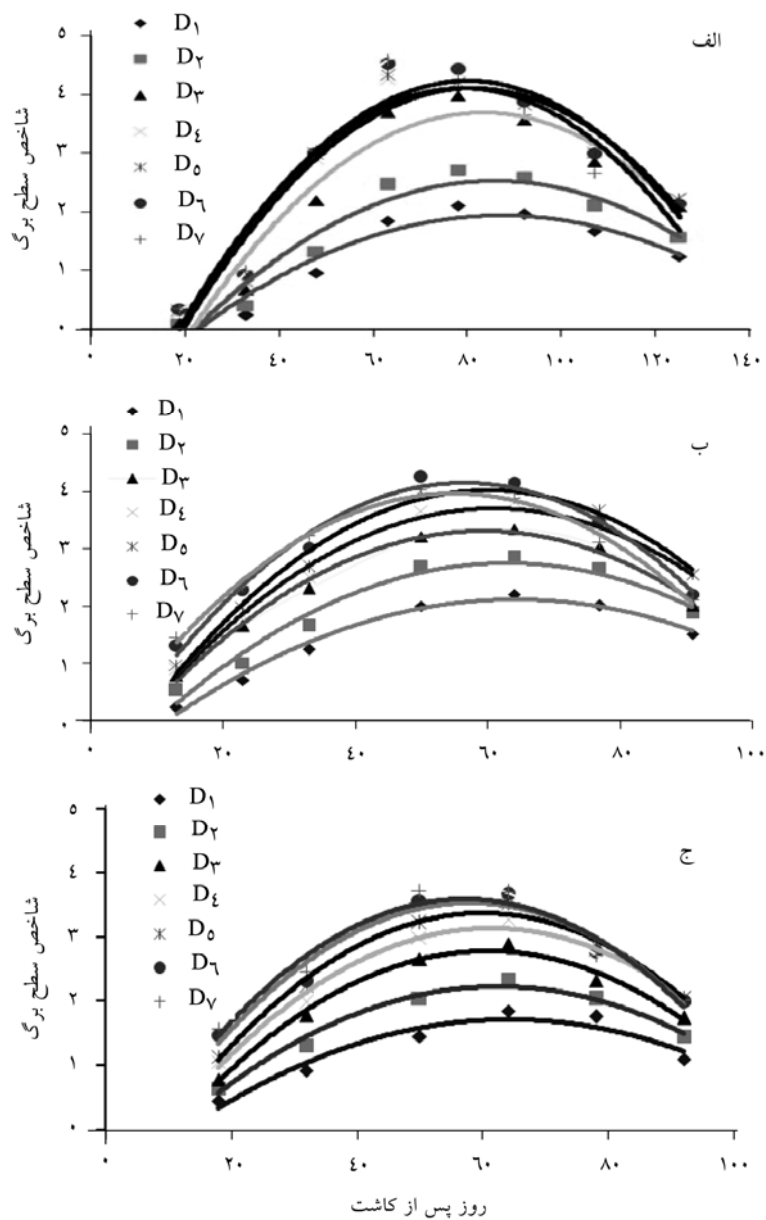
الگوی تجمع ماده خشک: روند تجمع ماده خشک در تراکم‌های مختلف برای سه رقم دیررس، متوسط‌رس و زودرس نشان داد که از زمان سبز شدن تا شروع مرحله زایشی روند تجمع ماده خشک

برای تمام تیمارها افزایشی بود (شکل ۱). ولی بعد از مرحله زایشی (برای ارقام دیررس، متوسط‌رس و زودرس به ترتیب ۷۷، ۶۵ و ۵۶ پس از کشت) روند تجمع ماده خشک کاهش یافت. با افزایش تراکم شیب کاهش وزن خشک شدیدتر شد. احتمالاً دلیل کاهش وزن خشک، ریزش سریع‌تر برگ‌ها به علت سایه‌اندازی و یا تقاضای بیش‌تر تعداد زیاد دانه در واحد سطح باشد. بیش‌ترین تجمع ماده خشک (۱۶۰۱ گرم) به رقم دیررس و کم‌ترین آن (۱۳۱۴ گرم) به رقم زودرس تعلق داشت. تا قبل از ظهور گل‌تاجی روند تغییرات ماده خشک گیاه مشابه بود. احتمالاً با افزایش سن گیاه پس از گرده‌افشانی مقداری از مواد محلول برگ به تدریج به قسمت‌های دیگر به‌ویژه برگ‌هایی که رو به زردی می‌روند، بخشی از ازت غیرساختمانی خود را به اندام‌های دیگر به‌ویژه به دانه منتقل می‌کنند. این امر با افزایش تراکم بیش از حد مطلوب شدت می‌گیرد، علاوه‌بر انتقال مواد به دانه، مقداری از انرژی نیز صرف رقابت بین بوته‌ای می‌شود در نتیجه آن طول دوره رشد کاهش می‌یابد و تنفس و پیری برگ‌ها سریع‌تر می‌شود، اثرات مطلوب تابش بالا را خنثی می‌کند، بنابراین وزن خشک در مراحل انتهایی نسبت به مراحل اولیه رشد کاهش یافت. محققان (بهشتی و همکاران، ۲۰۰۲؛ یزدان‌دوست و همکاران، ۲۰۰۱؛ سانگوی، ۲۰۰۰) کاهش اندکی در وزن خشک برگ‌ها و ساقه در مرحله بلوغ فیزیولوژیکی نسبت به مرحله گرده‌افشانی (حدود ۷۰ روز بعد از کاشت) را گزارش کردند که علت آن را انتقال مواد محلول به دانه دانستند. پیری زودرس برگ‌ها، افت شدیدتر فتوسنتز جاری و انتقال مجدد بیش‌تر جهت پرشدن دانه‌ها با افزایش تراکم به‌علت رقابت بین بوته‌ای، منجر به کاهش شدیدتر وزن خشک به‌ویژه در ساقه می‌شود (والتیناز و تولنار، ۲۰۰۴). بنابراین در بین تمام ارقام و تراکم‌ها، بیش‌ترین وزن خشک در ابتدای دوره پرشدن دانه به‌دست آمد که این بیانگر ذخیره شدن موقت کربوهیدرات‌ها در ساقه در قبل از مرحله پیر شدن دانه است. والتیناز و تولنار (۲۰۰۴) بیان کردند که تخصیص مواد فتوسنتزی به دانه تعیین‌کننده‌ترین عامل برای عملکرد دانه می‌باشد و سهم مواد انتقال‌یافته از ساقه به دانه در ذرت حدود ۲۰ درصد وزن نهایی دانه است. بنابراین سهم فتوسنتز جاری و انتقال آن به دانه دارای اهمیت است، در تراکم مطلوب و کم‌تر از آن میزان فتوسنتز جاری انتقال‌یافته به دانه، نسبت به تراکم بیش از حد مطلوب زیادتر بود. به‌نظر می‌رسد که اختلاف بین تراکم‌های کاشت از نظر تجمع بیوماس به اختلاف در تعداد بوته در واحد سطح و اختلاف در شاخص سطح برگ و کارایی مصرف نور مربوط می‌شود.



شکل ۱- اثر تراکم بر روند تجمع ماده خشک سه رقم ذرت.
سطوح تراکم $D_1, D_2, D_3, D_4, D_5, D_6$ و D_7 به ترتیب ۳، ۵، ۷، ۹، ۱۱، ۱۳ و ۱۵ بوته در مترمربع و سطوح رقم الف، ب و ج به ترتیب دیررس، متوسط‌رس و زودرس.

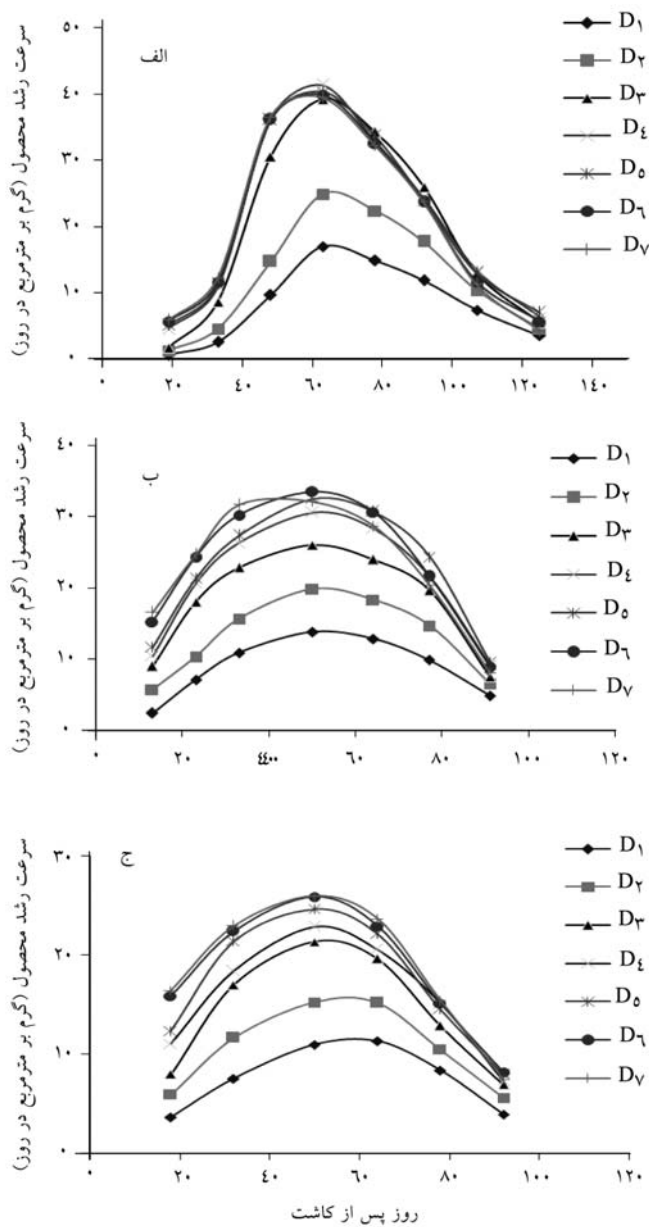
شاخص سطح برگ: در این مطالعه بیشترین شاخص سطح برگ (۴/۶) برای رقم دیررس در تراکم D_7 به دست آمد (شکل ۲). با افزایش تراکم، کانوپی گیاه زودتر بسته شد و زودتر به حداکثر شاخص سطح برگ رسید، با افزایش تراکم طول دوره رشد رویشی و زایشی نیز کاهش نشان داد. کمترین شاخص سطح برگ در تراکم D_7 برای رقم زودرس (۳/۶۸) به دست آمد. در این آزمایش رقم زودرس نسبت به رقم متوسطرس و دیررس تراکم پذیرتر بودند. به طوری که رقم زودرس در تراکم حدود ۲۰ درصد بیش تر از رقم متوسطرس به حداکثر شاخص سطح برگ خود رسید. بنابراین با افزایش تراکم، شاخص سطح برگ افزایش یافت و تعداد روزها تا رسیدن به حداکثر آن کاهش یافت. در تمام تیمارها، بیشترین شاخص سطح برگ تقریباً همزمان با دوره پرشدن دانه $R_3 - R_5$ به دست آمد و پس از آن کاهش یافت، کاهش شاخص سطح برگ احتمالاً به علت سایه اندازی برگهای بالای کانوپی بر روی طبقات پایین تر و کاهش فتوسنتز برگهای پایین و همچنین پیری این برگها است، که با افزایش تراکم به علت رقابت بین بوته‌ای شدیدتر می شود (والنتیناز و تولنار، ۲۰۰۴). محققان (یزدان دوست همدانی و رضایی، ۲۰۰۱؛ وارگاس و همکاران، ۲۰۰۲) بیان کردند زمانی که گیاه در معرض افزایش تراکم بیش از حد مطلوب قرار می گیرد، توسعه سطح برگ کاهش می یابد. از طرفی در این شرایط سرعت گسترش سطح برگ کم تر از سرعت زوال آنها است و مقدار مواد ذخیره کربوهیدرات گیاه به نسبت سطح برگ کاهش می یابد. ولی مقدار کربوهیدرات مورد نیاز برای ادامه رشد گیاه افزایش می یابد. بنابراین در شرایط تراکم بیش از حد مطلوب به علت رقابت شدید بین بوته‌ای، گیاه قادر نخواهد بود که کربوهیدرات مورد نیاز برای ادامه رشد کامل گیاه را فراهم کند. در نتیجه گسترش سطح برگ متوقف شده و بقیه گیاه به مرور زمان ضعیف می شود (والنتیناز و تولنار، ۲۰۰۴).



شکل ۲- اثر تراکم بر روند شاخص سطح برگ سه رقم ذرت.

سطوح تراکم D₁, D₂, D₃, D₄, D₅, D₆ و D₇ به ترتیب ۳، ۵، ۷، ۹، ۱۱، ۱۳ و ۱۵ بوته در مترمربع و سطوح رقم الف، ب و ج به ترتیب دیررس، متوسط‌رس و زودرس.

سرعت رشد محصول: با افزایش شاخص سطح برگ به دلیل دریافت بیش تر نور و در نتیجه فتوسنتز بیش تر، سرعت رشد محصول نیز افزایش یافت (شکل ۳). به طوری که در تمام تراکم ها و ارقام، با شروع دوره رشد خطی اختلاف میان تراکم های مختلف واضح تر بود و با به حداکثر رسیدن شاخص سطح برگ، سرعت رشد محصول نیز به حداکثر مقدار خود رسید. بسیاری از خصوصیات گیاه مانند میزان فتوسنتز در واحد سطح برگ و نیز سطح برگ فتوسنتزکننده تحت تأثیر سن و شدت تراکم قرار می گیرد (والنتیناز و تولنار، ۲۰۰۴). بنابراین به نظر می رسد علاوه بر سن گیاه، افزایش تراکم بیش از حد مطلوب به علت رقابت بین بوته ای باعث تسریع در کاهش سطح برگ، کاهش فتوسنتز و پیری شود که می تواند دلایل کاهش سرعت رشد محصول باشد. سرعت رشد محصول بر مقدار مواد تجمع یافته در بافت ها مؤثر است که می تواند برای انتقال مجدد به دانه مفید باشد. به طوری که با شروع شکل گیری دانه و به علت کاهش وزن ساقه ها که حاصل حرکت و توزیع مجدد ذخایر غذایی به دانه ها است، سرعت رشد محصول کاهش می یابد (یزدان دوست همدانی و رضایی، ۲۰۰۱؛ پاپ و همکاران، ۲۰۰۶). به نظر می رسد اختلاف سرعت رشد محصول در ابتدا و انتهای فصل رشد، احتمالاً به دلیل محدودیت سطح فتوسنتزکننده در ابتدای فصل رشد و ریزش برگ ها در انتهای فصل رشد قابل ملاحظه نیست، ولی در زمان گل دهی در ارقام و تراکم های مختلف اختلاف بیش تر است. به طور کلی در هر مرحله از رشد که سرعت ماده سازی بیش تر باشد، سرعت رشد محصول نیز افزایش می یابد (میرهادی، ۲۰۰۱). بنابراین طول دوره رشد و شرایط محیطی مساعد از جمله درجه حرارت و میزان تابش سرعت ماده سازی را تحت تأثیر قرار می دهد. این شرایط برای ارقام دیررس که از طول دوره رشد بیش تری برخوردار بودند تا اندازه ای مهیا بود، ولی از آنجا که شاخص سطح برگ در تراکم کم تر برای رقم دیررس نسبت به ارقام متوسط رس و زودرس به حداکثر مقدار خود رسید، بنابراین تراکم بیش از ۷ بوته در متر مربع باعث افزایش شدت رقابت بین بوته ای شد و حداکثر شاخص سطح برگ و حداکثر سرعت رشد محصول زودتر به دست آمد (شکل ۳).



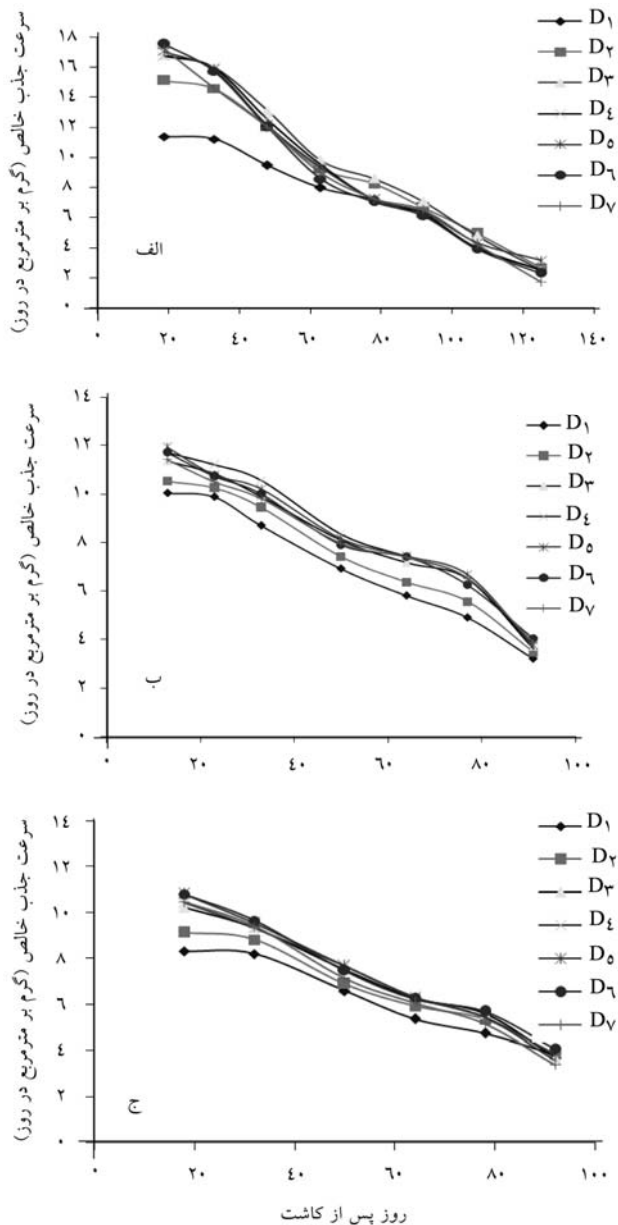
شکل ۳- اثر تراکم بر روند سرعت رشد محصول سه رقم ذرت.

سطوح تراکم $D_1, D_2, D_3, D_4, D_5, D_6$ و D_7 به ترتیب ۳، ۵، ۷، ۹، ۱۱، ۱۳ و ۱۵ بوته در مترمربع و سطوح رقم الف، ب و ج به ترتیب دیررس، متوسط‌رس و زودرس.

سرعت جذب خالص: سرعت جذب خالص معیاری از کارایی فتوسنتزی برگ‌ها در یک جامعه گیاهی است و عبارت است مقدار مواد فتوسنتزی در واحد سطح برگ در واحد زمان (یزدان‌دوست‌همدانی و رضایی، ۲۰۰۱). حداکثر سرعت جذب خالص زمانی مشاهده شد که بیش‌تر برگ‌ها در معرض نور مستقیم خورشید قرار داشتند (شکل ۴). علاوه‌بر در معرض بودن برگ‌ها میزان شاخص سطح برگ نیز مهم است، به‌طوری‌که با افزایش شاخص سطح برگ در طول فصل رشد، برگ‌های بیش‌تری به‌طور کامل یا به‌طور نسبی در سایه قرار می‌گیرند و این امر باعث کاهش سرعت جذب خالص شد. کاهش سریع‌تر سرعت جذب خالص در تراکم‌های بالاتر از حد مطلوب احتمالاً ناشی از ریزش سریع برگ‌های پایین بوته که در سایه قرار دارند و یا افزایش میزان تقاضا به‌دلیل تشکیل مخازن زایشی است (والتیناز و تولنار، ۲۰۰۴). این افزایش پس از رسیدن به نقطه حداکثر در رقم دیررس شدت بیش‌تری نسبت به ارقام زودرس داشت که می‌تواند ناشی از اضمحلال سریع‌تر برگ‌های رقم دیررس در تراکم بالاتر باشد.

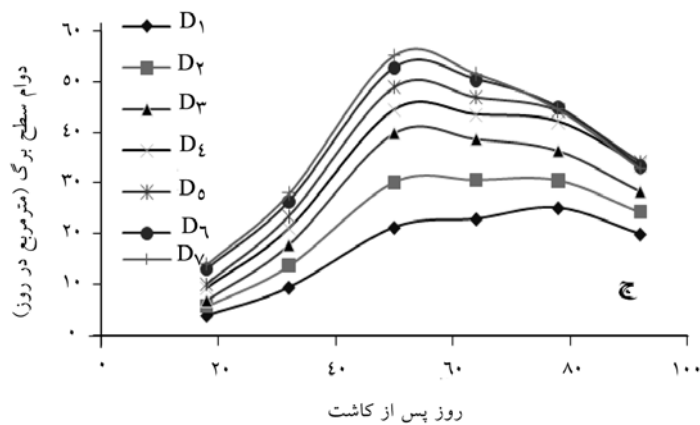
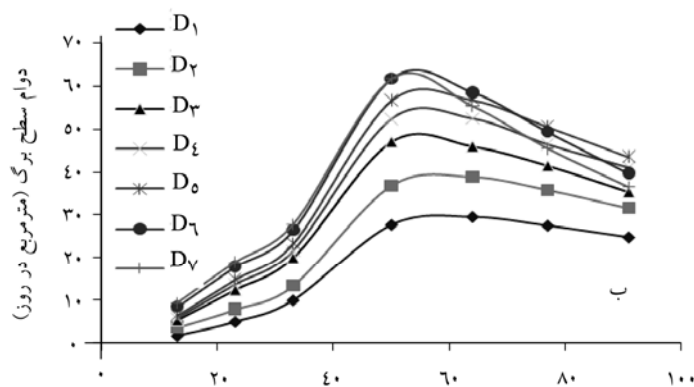
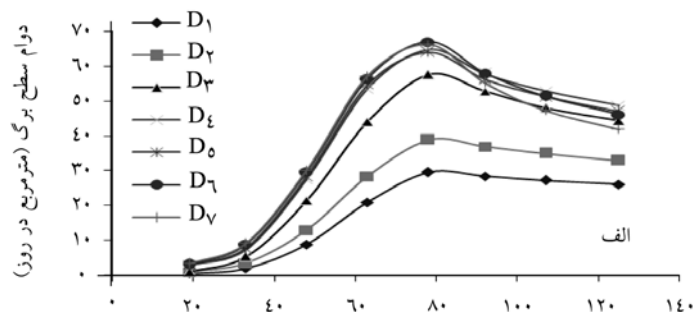
به‌نظر می‌رسد در مراحل اولیه رشد به‌دلیل محدودیت سطح برگ و حداقل رقابت بین بوته‌ای و سایه‌انداز، حداکثر مقدار سرعت جذب خالص مشاهده شد که با گذشت زمان و افزایش سایه‌اندازی تا حدود ۴۰ روز پس از کاشت، مقدار سرعت جذب خالص با شیب تندتری کاهش یافت.

دوام سطح برگ: دوام سطح برگ در واقع بیان‌کننده ارتباط تولید ماده خشک و شاخص سطح برگ است. دوام سطح برگ هم میزان سطح برگ و هم دوام بافت‌های فتوسنتزی جامعه گیاهی را دربرمی‌گیرد. هرچه دریافت انرژی خورشید در طول زمان، زیادتر باشد، تولید ماده خشک هم بیش‌تر خواهد شد. اختلاف در عملکرد کل ماده خشک بوته‌ها غالباً هم نتیجه اختلاف در سرعت فتوسنتز و هم نتیجه تفاوت در طول مدتی است که فتوسنتز در آن ادامه دارد (۲۰۰۸). گیاهچه‌های ذرت بعد از سبز شدن از خاک کوچک هستند. به‌طوری‌که توانایی آن‌ها برای جذب نور کم است و کارایی مصرف تابش در مراحل اولیه رشد پایین بوده و مقدار زیادی از نور به سطح خاک برخورد کرده و از گیاهچه‌ها خارج می‌شود. با پیشرفت در طول فصل رشد و در شرایط مناسب بوته‌ها به‌طور مناسبی رشد می‌کنند. اختلاف بین ارقام در تراکم‌های مختلف در اوایل دوره پر شدن دانه مشهودتر شد. این شاخص همانند شاخص سطح برگ روند سیگلموئیدی دارد، ولی شیب افت منحنی در اواخر فصل رشد با افزایش تراکم نیز شدیدتر می‌شود (یزدان‌دوست‌همدانی و رضایی، ۲۰۰۱). افت دوام سطح برگ احتمالاً به‌خاطر کاهش شاخص سطح برگ و طول دوره رشد بوته‌ها می‌باشد که تحت‌تأثیر فتوپریود و درجه حرارت قرار می‌گیرد و نزول این شاخص در تراکم‌های پایین به‌علت کاهش شاخص سطح برگ است (سوبدی و ما، ۲۰۰۵؛ والتیناز و تولنار، ۲۰۰۴).



شکل ۴- اثر تراکم بر روند سرعت جذب خالص سه رقم ذرت.

سطوح تراکم D₁, D₂, D₃, D₄, D₅, D₆ و D₇ به ترتیب ۳، ۵، ۷، ۹، ۱۱، ۱۳ و ۱۵ بوته در مترمربع و سطوح رقم الف، ب و ج به ترتیب دیررس، متوسط‌رس و زودرس.



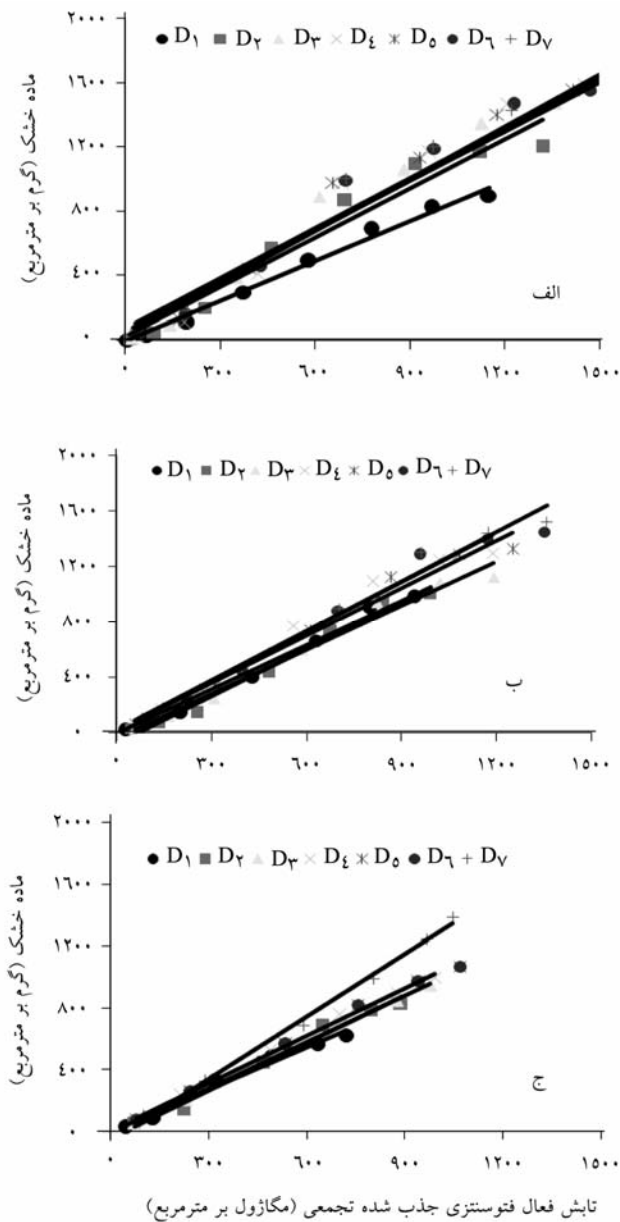
شکل ۵- اثر تراکم بر روند دوام سطح برگ سه رقم ذرت.
 سطوح تراکم $D_1, D_2, D_3, D_4, D_5, D_6$ و D_7 به ترتیب ۳، ۵، ۷، ۹، ۱۱، ۱۳ و ۱۵ بوته در مترمربع
 و سطوح رقم الف، ب و ج به ترتیب دیررس، متوسطرس و زودرس.

جذب و کارایی نور: کارایی استفاده از نور در تراکم‌ها و ارقام مختلف متفاوت بود (شکل ۶ و جدول ۴). با افزایش تراکم کارایی مصرف نور در هر سه رقم افزایش یافت، به طوری که از ۰/۸۳۳ گرم بر مگاژول در تراکم ۳ بوته در مترمربع به ۱/۱۰۳ گرم بر مگاژول در تراکم ۱۵ بوته در مترمربع برای رقم دیررس رسید. رقم متوسط‌رس دارای ۱/۰۱۸ گرم بر مگاژول در تراکم ۳ بوته در مترمربع و ۱/۲۱۳ گرم بر مگاژول در تراکم ۱۵ بوته در مترمربع بود. میزان کارایی مصرف نور برای رقم زودرس در تراکم ۳ بوته در مترمربع ۰/۹۰۹ گرم بر مگاژول بود و در تراکم ۱۵ بوته در مترمربع به ۱/۲۶۷ گرم بر مگاژول رسید. مونیتیت (۱۹۷۲) گزارش کرد کارایی مصرف نور برای گیاهان مختلف زراعی تقریباً ثابت (۱/۴ گرم ماده خشک به‌ازای هر مگاژول انرژی خورشیدی جذب شده) است. ایشان بیان کرد اگرچه کارایی مصرف تابش بیش‌تر از طریق عوامل ژنتیکی تحت‌تأثیر قرار می‌گیرد، ولی عوامل محیطی و عملیات مدیریتی نظیر تاریخ کاشت، تراکم و رقم به‌دلیل نقش مهم که در فعالیت فتوسنتزی دارند این عامل را تحت‌تأثیر قرار می‌دهد. در این مطالعه نیز با توجه به نتایج به‌دست آمده مشخص شد که افزایش تراکم باعث افزایش ماده خشک تجمعی در واحد سطح شد و موجب افزایش کارایی استفاده از نور گردید. کارایی استفاده از نور برای رقم متوسط‌رس نسبت به دو رقم دیررس و زودرس بیش‌تر بود (شکل ۶ و جدول ۴). به‌نظر می‌رسد جذب تابش توسط کانوبی به شاخص سطح برگ، چگونگی آرایش برگ‌ها و خاصیت انعکاس سطح برگ و خاک بستگی داشته باشد، ولی از دیگر عوامل مؤثر بر نفوذ و جذب تابش توسط کانوبی گیاه، اندازه و تعداد انشعابات تاج‌گل گیاه است. به طوری که رقم متوسط‌رس ۵۰۴ تاج گل کوچک‌تری داشته و تاج‌گل در رقم زودرس نسبت به رقم دیررس دارای انشعابات کم‌تری است. با افزایش سن گیاه درصد تابش جذب شده به‌وسیله پوشش گیاهی زیاد شده که این روند بسته به رقم تا حدود ۶۰-۷۰ روز پس از کاشت ادامه یافت و پس از آن با شروع رشد زایشی درصد تابش جذب شده به‌تدریج کاهش یافت. کاهش جذب تابش توسط پوشش گیاهی پس از گرده‌افشانی در تمام تیمارهای ناشی از پیری تدریجی برگ‌های پایین و سایه‌اندازی برگ‌های بالایی است (بهشتی و همکاران، ۲۰۰۲؛ وارگاس و همکاران، ۲۰۰۲).

مرتضی گلدانی و همکاران

جدول ۴- مقادیر کارایی مصرف نور سه رقم دیررس، متوسط‌رس و زودرس و ضرایب رگرسیون ذرت در تراکم‌های مختلف.

ضریب رگرسیون	تیمارها		رقم
	کارایی استفاده از نور (گرم بر مگاژول)	تراکم (بوته در مترمربع)	
۰/۹۸۹	۰/۸۲۳	۳	دیررس
۰/۹۵۳	۱/۴۴	۵	
۰/۹۵۴	۱/۰۸۸	۷	
۰/۹۶	۱/۱۰۳	۹	
۰/۹۴۷	۱/۰۹۷	۱۱	
۰/۹۴۴	۱/۰۷۸	۱۳	
۰/۹۴۹	۱/۰۹۲	۱۵	
۰/۹۸۸	۱/۰۵۶	۳	متوسط‌رس
۰/۹۷۱	۱/۰۳۷	۵	
۰/۹۷۹	۱/۰۱۸	۷	
۰/۹۷۴	۱/۲۱۰	۹	
۰/۹۸۱	۱/۱۵۶	۱۱	
۰/۹۷۴	۱/۱۷۹	۱۳	
۰/۹۸۱	۱/۲۱۴	۱۵	
۰/۹۸۴	۰/۹۰۹	۳	زودرس
۰/۹۸۱	۰/۹۶۵	۵	
۰/۹۹۷	۰/۹۷۵	۷	
۰/۹۹۷	۱/۰۲۹	۹	
۰/۹۹۶	۱/۰۳۳	۱۱	
۰/۹۹۷	۱/۰۶۳	۱۳	
۰/۹۹۱	۱/۲۶۷	۱۵	



شکل ۶- اثر تراکم بر کارایی استفاده از نور در سه رقم ذرت. سطوح تراکم $D_1, D_2, D_3, D_4, D_5, D_6$ و D_7 به ترتیب ۳، ۵، ۷، ۹، ۱۱، ۱۳ و ۱۵ بوته در مترمربع و سطوح رقم الف، ب و ج به ترتیب دیررس، متوسط‌رس و زودرس.

نتیجه گیری

وجود اختلاف معنی دار بین تراکم های مختلف و ارقام از نظر صفات مورد مطالعه نشان داد که تراکم بیش از حد مطلوب به علت طول دوره رشد کوتاه تر و افزایش فاصله زمانی تاسل دهی تا کاکل دهی در تک بوته فرصت مناسبی برای استفاده از شرایط محیطی (به خصوص تابش) را نداشت و روند شاخص های رشد با شروع دوره رشد زایشی با افزایش تراکم شیب کاهشی شدیدتری داشت. نتایج نشان داد که گروه رسیدگی زودرس از تراکم پذیری بیشتری برخوردار بود، به طوری که با افزایش تراکم حدود ۲۰ درصد نسبت به رقم متوسط رس و ۴۰ درصد نسبت به رقم دیررس امکان جبران کاهش صفات مورد مطالعه خواهد بود.

سپاسگزاری

بودجه اجرایی این طرح توسط معاونت پژوهشی دانشگاه فردوسی مشهد، دانشکده کشاورزی تامین شده است. بدین وسیله سپاسگزاری می نمائیم.

منابع

1. Anonymous. 2008. Leaf Area Duration. www. Aftab.
2. Beheshti, A., Koocheki, A. and Nassiri Mahalati, M. 2002. The effect of planting pattern on light interception and radiation use efficiency in canopy of three maize cultivars. Seed and Plant. 18: 417-431.
3. Emam, Y. 2003. Graminea Agronomy. Shiraz Daneshgahi Press. (In Persian)
4. Emam, Y. and Seghateleslami, M.J. 2005. Crop yield. Shiraz Daneshgahi Press, 376p. (In Persian)
5. Gardner, F.P., Pearce, R.B. and Mitchell, R.L. 1985. Physiology of Crop plants. Iowa State University Press, USA, Pp: 186-208.
6. Gonzalo, M., Vyon, T., Holland, J. and McIntgre, M. 2006. Mapping density response in maize: A direct approach for testing genotype and treatment interaction. Agron. J. 93: 1049-1053.
7. Hashemi, M., Herbet, G. and Putnam, H. 2005. Yield response of corn to crowding stress. Agron. J. 97: 839-846.
8. Koocheki, A. and Khajeh Hosseini, M. 2008. Modern agronomy. Jahadeh Daneshgahi press. (In Persian)
9. Mearhadi, M. 2001. Corn Shiraz Daneshgahi Press. (In Persian)
10. Monteith, J.L. 1972. Solar radiation and productivity in tropical ecosystems. J. Appl. Ecol. 9: 747-766.

11. Popp, M., Edwards, J., Manning, P. and Purcell, L. 2006. Plant population density and maturity effects on profitability of short-season maize production in the midsouthern USA. *Agron. J.* 98: 760-765.
12. Sangoi, L. 2000. Understanding plant density effects on maize growth and development: An important issue to maximize grain yield. *Ciencia Rural, Santa Maria*, 31: 159-168.
13. Stewart, D.W., Costa, C., Dwyer, L.M., Smith, R.I., Hamilton, D.L. and Ma, B.L. 2003. Canopy structure, light interception and photosynthesis in maize. *Agron. J.* 95: 1465-1474.
14. Subedi, K.D. and Ma, B.L. 2005. Ear position, leaf area and contribution of individual leaves to grain yield in conventional and leafy maize hybrids. *Crop Sci.* 45: 2246-2257.
15. Tollenaar, M. and Wu, J. 1999. Yield improvement in temperate maize is attributable to greater stress tolerance. *Crop Sci.* 39: 1597-1604.
16. Valentinuz, O. and Tollenaar, M. 2004. Vertical profile of leaf area and leaf senescence during the grain-filling period in maize. *Crop Sci.* 44: 827-834.
17. Vargas, L.A., Andersen, M.N., Jensen, C.R. and Orgenses, V.J. 2002. Estimation of leaf area index, light interception and biomass accumulation of *Miscanthus sinensis* 'Goliath' from radiation measurements. *Biomass and Bioenergy*, 22: 1-14.
18. Yazdandoost hamedani, M. and Rezai, A. 2001. A study of morphological and physiological basis of corn yield through path analysis. *Iranian, J. Agric. Sci.* 32: 671-680.



Gorgan University of Agricultural
Sciences and Natural Resources

J. of Plant Production, Vol. 18(1), 2011
www.gau.ac.ir/journals

Radiation use efficiency and phenological and physiological characteristics in hybrids of maize (*Zea may L.*) on response to different densities

***M. Goldani¹, P. Rezvani Mogahddam¹, M. Nassiri Mahallati¹ and M. Kaffi¹**

¹Faculty of Member, Ferdowsi University of Mashhad

Received: 2009/02/22; Accepted: 2011/03/07

Abstract

In order to determine radiation use efficiency and phenological and physiological characteristics of three maize hybrids on seven plant densities, an experiment was conducted during 2006 growing season in Mashhad, Iran. Three maize hybrids including late-ripening maize (704), medium-ripening (504) and early-ripening maize (260) and seven plant densities including $D_1=3$, $D_2=5$, $D_3=7$, $D_4=9$, $D_5=11$, $D_6=13$ and $D_7=15$ plants m^2 were compared in a strip plots design with three replications. There was significant difference on plant growth period and there were difference effects on dry matter, leaf area index, crop growth rate, net assimilation rate, and leaf area duration. Optimum indices were obtained in third plant density (D_3) for late-ripening hybrid (704), in fourth plant density (D_4) for medium-ripening hybrid (504) and in fifth plant density for early-ripening hybrid (260). When increasing plant density more than optimum rang of density, the time interval between pollination and silking increased while plant growth period decreased. When the plant density increased, leaf area index, dry matter and light use efficiency were increase too.

Keywords: Radiation, Plant density, Maize, Phonological and physiological characteristics

* Corresponding Author; Email: morteza-goldani@yahoo.com