ارزیابی کارایی مصرف نور و رابطه آن با تولید ماده خشک در سه گونه ارزن

بهنام کامکار، علیرضا کوچکی، مهدی نصیری محلاتی ، پرویزرضوانی مقدم[۱]

چکیده

به منظور ارزیابی مقدار جذب و کارایی مصرف نور در سه گونه ارزن (*Panicum miliaceum*، *Pennisetum glauceum* و *Setaria italica*) و رابطه آن با تولید ماده خشک، آزمایشی در قالب طرح بلوکهای کامل تصادفی با آرایش فاکتوریل (فاکتورها شامل سه گونه ارزن و دو تاریخ کاشت ۱۱تیرماه و ۲۵ تیرماه) انجام شد. برای محاسبه کسر جذب نور در هر روز، مقدار شاخص سطح برگ روزانه محاسبه شد. ضریب خاموشی نور از طریق محاسبه شیب خط رگرسیونی بین کسر جذب نور و تغییرات شاخص سطح برگ در طول فصل رشد، و کارایی مصرف نور از طریق محاسبه شیب خط رگرسیونی بین بیوماس تجمعی و مقدار تجمعی تشعشع جذب شده در طول فصل رشد برآورد شدند. ضریب خاموشی نور در ارزن معمولی، ارزن مرواریدی و گاورس زرد به ترتیب برابر ۰/۷۵، ۰/۶۶و ۰/۵۷ وکارایی مصرف نور به ترتیب برابر ۱/۴۳، ۱/۸۳ و ۱/۷۴ گرم بر مگاژول از کل تشعشع رسیده بود. بیوماس تولید شده توسط ارزن معمولی و مرواریدی در آخر فصل رشد یکسان بود. در ارزن معمولی مقدار تشعشع جذب شده بیشتر ولی کارایی مصرف نور پایین‌تر بود، در حالی که در ارزن مرواریدی مقدار جذب تشعشع کمتر ولی کارایی مصرف نور بیشتر بود. در گاورس زرد مقدار تشعشع جذب شده کمتر از دو گونه دیگر بود به نحوی که علیرغم بالاتر بودن کارایی مصرف نور در مقایسه با ارزن مرواریدی، بیوماس آن در مقایسه با این گونه نیز کمتر شد. نتایج نشان داد که قابلیت تولید بیوماس در ارزن معمولی و مرواریدی در مقایسه با گاورس زرد بیشتر بود.

واژه‌های کلیدی: ارزن، کارایی مصرف نور، ضریب خاموشی نور، بیوماس.

مقدمه

محاسبه قابلیت‌های گیاهان زراعی از دیدگاه تولید یکی از مهمترین مسایلی است که در تصمیم‌گیری و برنامه‌ریزی مورد توجه است. از این لحاظ، تولید مطلوب که بتواند کارایی اقتصادی نظام تولید را تضمین نماید، حایز اهمیت است. روشهای متعددی برای تخمین عملکرد گیاهان زراعی ارایه شده که یکی ازاین روشهای ساده، محاسبه تولید ماده خشک بر اساس توانایی‌های گیاه در مهار انرژی خورشیدی و کارایی استفاده از انرژی رسیده به سطح کانوپی در تولید ماده خشک است. چنانچه بتوان برای یک گونه مقدار جذب نور وکارایی استفاده از نوررا به طور قابل قبولی تخمین زد،

۱- به ترتیب دانشجوی دکتری زراعت و اعضای هیات علمی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد (قطب علمی گیاهان زراعی ویژه).

می‌توان مقدار بیوماس را از حاصلضرب مقدار کل تشعشع جذب شده در کانوپی در کارایی مصرف نور محاسبه کرد. اگر یک گونه بتواند ضمن کسب کسر بیشتری از نور،آن را با ضریب تبدیل بالاتری به بیوماس تبدیل کند، در تولید بیوماس موفق‌تر خواهد بود. از این مفهوم و رابطه بین جذب تشعشع و تولید بیوماس در بسیاری از تحقیقات و بسیاری از گیاهان زراعی استفاده شده است (۵، ۸ و۱۳).

قابلیت یک گیاه در جذب نور (کسر جذب نور در کانوپی)، با استفاده از یک تابع نمایی و براساس ضریب خاموشی نور و تغییرات شاخص سطح برگ در طول فصل رشد محاسبه می‌شود (۱۹). برای محاسبه کسر جذب نور، محاسبه ضریب خاموشی نور و نیز تغییرات شاخص سطح برگ در طول فصل رشد ضروری است. ضریب خاموشی نور نیز قابلیت یک گونه در جذب نور رسیده به سطح کانوپی را نشان می‌دهد.

استفاده از کارایی مصرف نور در محاسبه بیوماس اولین بار توسط پاتریج و راتکوفسکی (۱۵) ارایه شد. کارایی مصرف نور به میزان تولید ماده خشک به ازای هر واحد از انرژی تشعشعی رسیده به سطح کانوپی گیاه اطلاق می‌شود (۱۱). وجود رابطه خطی بین تجمع بیوماس و تشعشع تجمعی در بسیاری از گیاهان زراعی(۱۷و۲۱) وگیاهان علفی به اثبات رسیده است (۹) و در واقع شیب خط رگرسیون بین این دو متغیر مقدار کارایی مصرف نور را نشان می‌دهد.

درمنابع مختلف، مقادیر متفاوتی از ضریب خاموشی نور برای ارزن ارایه شده است (۱۰، ۱۴ و۲۰). تمام این منابع به *Pennisetum glauceum* اختصاص دارند و اطلاعاتی در مورد ضریب خاموشی نور در *Panicum miliaceum* و *Setaria italica* وجود ندارد. منابع موجود در مورد ارزن مرواریدی، مقدار ضریب خاموشی نور در کانوپی این گیاه را بین ۰/۲۹ در شرایط مطالعات گلخانه‌ای (۲۰)، و در ظهر خورشیدی در شرایط مزرعه تا ۰/۵گزارش کرده‌اند (۱۴). مارشال و ویلی(۱۰) مقدار ضریب خاموشی نور کانوپی ارزن در نیمروز را در حدود ۰/۵ و ون اوستروم و همکاران (۲۱) مقدار این ضریب رادر حدود ۰/۶۳گزارش کردند.

مقادیر گزارش شده برای کارایی مصرف نور در ارزن مرواریدی در شرایط مزرعه و شرایطی که گیاه با هیچ محدودیتی روبرو نبوده است، از ۱/۳ گرم بر مگاژول (۱۲) تا ۲/۱ گرم بر مگاژول (۱۶) متغیر بوده است. اونگ و مونتیث (۱۴) و اسکوایر و همکاران (۲۰) مقدار این ضریب در ارزن مرواریدی را بین ۲ تا ۲/۵ گرم بر مگاژول گزارش کردند. طی تحقیقی که بگ (۳) روی ارزن انجام داد، نشان داد که مقدار کارایی مصرف نور بر اساس بیوماس تولید شده توسط این گیاه در مرحله قبل از گرده افشانی برابر ۲/۱۵ تا ۲/۳۷ گرم بر مگاژول است، ولی مقدار آن در مراحل نهایی رشد کاهش، و در حدود ۳۰ درصد در مقایسه با قبل از گرده افشانی تقلیل می‌یابد.

این تحقیق با هدف تعیین دو عامل مهم تعیین کننده بیوماس، یعنی قابلیت مهار نور و کارایی مصرف نور در سه گونه ارزن که در نواحی جنوب خراسان کشت می‌شود و مقایسه قابلیت این سه گونه در تولید بیوماس انجام شد. در این مطالعه رابطه بین بیوماس و تشعشع جذب شده و تفاوتهای این سه گونه از لحاظ کارایی مصرف نور و ضریب خاموشی نور و نقش هر کدام از این دو عامل تعیین کننده عملکرد در تعیین مقدار بیوماس این سه گونه مورد بررسی قرار گرفته است. این پارامترها می‌توانند به عنوان دو پارامتر کلیدی در ساخت یک مدل ساده از تولید عملکرد این گونه‌ها مورد استفاده قرار گیرند. در ضمن در این تحقیق، تاثیر تصحیح کسر جذب نور در ظهر برای کل طول روز مورد ارزیابی قرار گرفته و به توجیه تفاوت نتایج موجود در منابع در مورد ضرایب خاموشی نور و کارایی مصرف نور برای ارزن مرواریدی پرداخته شده است.

مواد و روشها

این آزمایش در سال۱۳۸۳روی سه گونه؛ ارزن معمولی یا ارزن پروسو(*Panicum miliaceum*)[۱]، ارزن مرواریدی (*Pennisetum glaucum*)[۲] وگاورس زرد(*Setaria italica*)[۳] در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد (عرض جغرافیایی '۱۶ °۳۶ شمالی و طول '۳۷ °۵۹ شرقی) انجام شد.آزمایش در قالب طرح بلوکهای کامل تصادفی در ۳ تکرار و با آرایش فاکتوریل انجام شد. فاکتورهای آزمایش شامل سه گونه ارزن مذکور و دو تاریخ کاشت (۱۱ و۲۵ تیر ماه) بود. تراکم کاشت برای هر سه گونه ۴۰ بوته در متر مربع، ابعاد کرتها ۸ × ۶ متر (معادل ۴۸ مترمربع)، فاصله ردیف‌ها ۵۰ سانتی متر و فاصله روی ردیف‌ها ۵ سانتی متر در نظر گرفته شد.کاشت به شکل دستی انجام و تنظیم تراکم یک هفته بعد از ظهور گیاهچه‌ها در سطح خاک انجام شد. انتخاب دو تاریخ کاشت مذکور بر اساس دامنه تاریخ کاشت این محصولات در نواحی جنوب خراسان بود. به منظور ایجاد شرایط مطلوب برای تغذیه گیاه، قبل از کاشت از کود سوپرفسفات ساده با فسفرمحلول۱۶ درصد به میزان۲۰۰ کیلوگرم در هکتار و از کود اوره به شکل سرک به میزان ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار در مرحله پنجه‌دهی استفاده شد. به منظور اندازه‌گیری سطح برگ و وضعیت تولید ماده خشک گیاه، به فواصل تقریباً هر دو هفته یکبار ۵ بوته از هر کرت و از۳ تکرار برداشت، ریشه‌ها قطع و اندام هوایی در آون خشک شد. سطح سبز برگ گیاه نیز با استفاده از دستگاه اندازه‌گیری سطح برگ (مدل دلتا تی، ساخت انگلستان) اندازه‌گیری وسطح برگ کل در واحد سطح زمین از حاصلضرب تراکم گیاه در متوسط سطح برگ تک بوته‌ها محاسبه گردید.

جهت محاسبه ضریب خاموشی نور در کانوپی، اندازه‌گیریها در طول فصل رشد و با استفاده از گیاهان دو تاریخ کاشت انجام شد. اندازه‌گیری‌ها با استفاده از دستگاههای تشعشع سنج در فاصله بین ساعت ۱۱تا ۱۳ و در سایه (که به شکل مصنوعی و با استفاده از پوشش مقوایی در محدوده کار با دستگاه ایجاد شد) انجام گرفت تا مقدار نور نشری که جزء مهم تشعشع در انجام فتوسنتز است، اندازه‌گیری شود. در هر مورد، ۵ اندازه‌گیری از زیر کانوپی (جهت محاسبه نور عبور یافته از کانوپی) و دو اندازه‌گیری از بالای کانوپی (جهت اندازه‌گیری کل تشعشع رسیده به سطح کانوپی)، انجام شد. برای اندازه‌گیری مقدار تشعشع رسیده به پایین کانوپی، دستگاه به شکلی در زیر کانوپی قرار گرفت که حس‌گرها بین دو ردیف مجاور تقسیم شوند و سایه اندازی کانوپی گیاه در طرفین ردیف کاشت به دقت اندازه‌گیری شود. اندازه‌گیری‌های بالای کانوپی، یک بار قبل و یک بار بعد از اندازه‌گیری‌های زیر کانوپی انجام شد. اندازه‌گیری‌ها به نحوی انجام شد که کسر جذب نور توسط کانوپی در طول فصل رشد مشخص، و از آن در محاسبه ضریب خاموشی نور در کانوپی استفاده شود. در محاسبه سطح برگ، دو جزء کل سطح برگ (سطح برگهای سبز+ سطح برگهای پیر) و سطح سبز برگ مد نظر قرار گرفت. برای محاسبه سطح برگهای پیر، همزمان با هر اندازه‌گیری، برگ‌های پیر جمع آوری،خشک و توزین و سطح برگ ویژه (نسبت سطح برگ به وزن برگ)، متناظر با تاریخ برداشت نیز طی نمونه گیری مجزا محاسبه شد. سطح برگ‌های پیر از حاصلضرب وزن برگهای پیر در سطح برگ ویژه محاسبه شد (۲۲).

ضریب خاموشی نور در کانوپی براساس شیب خط رگرسیونی برازش یافته بین$\ln(1-qde)$ و شاخص سطح برگ (به ترتیب به عنوان متغیرهای وابسته و مستقل) محاسبه شد. در این رابطه، qde کسر جذب نور(نسبت تشعشع رسیده به زیر کانوپی به کل تشعشع رسیده به سطح کانوپی) است که بر اساس فرمول ارایه شده توسط چارلز ادواردز(معادله۱) برای کل طول روز تصحیح شده است (۵).

معادله (۱):

[کسر جذب نور تصحیح شده برای کل روز =
[۱+(کسر جذب نور در ظهر) / (۲ × کسر جذب نور درظهر)

۱- در ایران به ارزن سفید و گاورس سفید موسوم است.

۲- در ایران به ارزن چماقی هم موسوم است.

۳- در ایران به ارزن زرد و ارزن دم روباهی نیز موسوم است.

سپس با استفاده از ضریب خاموشی نور و تغییرات سطح برگ در طول فصل رشدو با استفاده از معادله ۲، کسر جذب نور برای هر روز از طول فصل رشد محاسبه شد. بدین منظور ابتدا تابع ریچاردز (از زیر مجموعه توابع سیگموئیدی) به داده‌های اندازه‌گیری شده سطح برگ در طول فصل رشد، برازش یافت تا با استفاده از آن مقدار سطح برگ گیاه در هر روز تعیین شود، سپس کسر جذب نور در هر روز از طریق معادله۲ و با استفاده از مقادیر محاسبه شده ضریب خاموشی نور برآورد و در محاسبه مقدار کل تشعشع جذب شده توسط کانوپی گیاه (معادله۳) مورد استفاده قرار گرفت.

$$F_{abs}=1-exp^{(-k*LAI)}$$ معادله (۲)

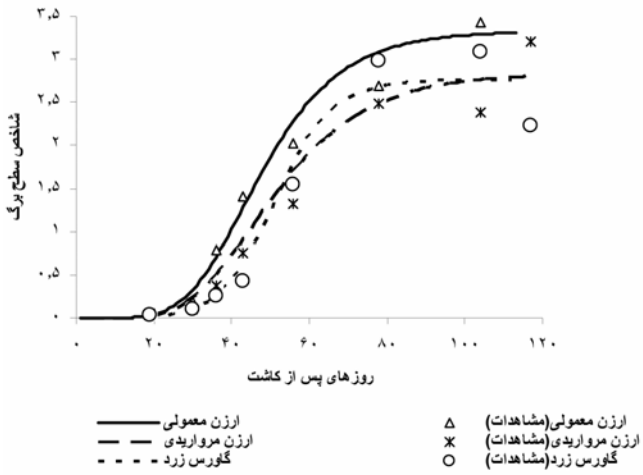
$$I_{abs}=I_{tot}*F_{abs}$$ معادله (۳)

در این معادلات F_{abs}؛ کسر تشعشع جذب شده، I_{tot}؛ مقدار کل تشعشع رسیده به سطح زمین، I_{abs}؛ مقدار تشعشع جذب شده توسط کانوپی در هر روز، LAI؛ شاخص سطح برگ و K؛ ضریب خاموشی نور را نشان می‌دهند. برای محاسبه مقدار تشعشع جذب شده تجمعی، از انتگرال تشعشع جذب شده در روز برای کل فصل رشد استفاده شد.

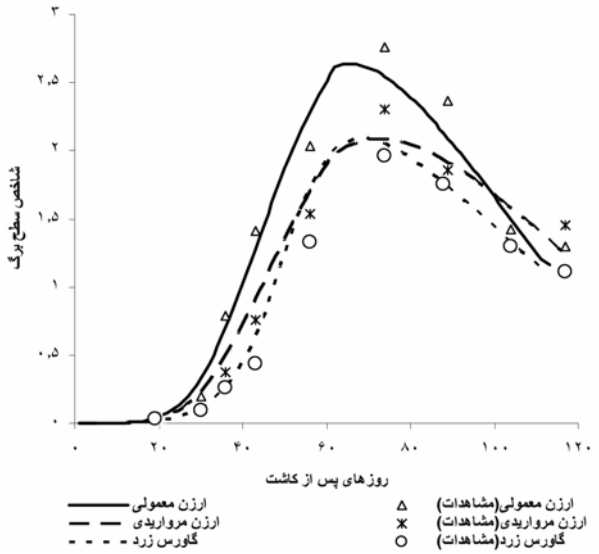
برای محاسبه کارایی مصرف نور نیز از شیب خط رگرسیون بین بیوماس تجمعی و مقدار تجمعی تشعشع جذب شده توسط کانوپی، که از انتگرال حاصلضرب مقدار کل تشعشع رسیده به سطح کانوپی در کسر جذب نور روزانه و برای کل طول فصل رشد محاسبه شد، استفاده گردید. به منظور محاسبه تشعشع تجمعی، از مقادیر روزانه که روش محاسبه آن ذکر شد استفاده شد. آنالیز داده‌های آزمایشی با استفاده از نرم افزار Mstatc انجام ومقایسه میانگین‌ها در سطح احتمال ۵ درصد و با استفاده از آزمون دانکن انجام شد. برازش روابط رگرسیونی مورد استفاده نیز با استفاده از نرم‌افزار Excel انجام شد.

نتایج و بحث

شکل های۱ و ۲ روند تغییرات کل سطح برگ و سطح سبز برگ را برای سه گونه مورد مطالعه نشان می‌دهند. ارزن معمولی در بیشتر طول فصل رشد در مقایسه با دو گونه دیگر سطح کل برگ (شکل۱) و سطح برگ سبز (شکل۲) بیشتری داشت. حداکثرشاخص سطح برگ این گونه نیز در مقایسه با دو گونه دیگر بیشتر بود (شکل۱). حداکثرشاخص سطح برگ در هر سه گونه ۷۰ روز پس از کاشت (مقارن ظهور برگ پرچمی) حاصل شد. روند تغییرات کل سطح برگ نشان داد که ارزن مرواریدی در مقایسه با گاورس زرد در اوایل فصل رشد از سطح برگ بیشتری برخوردار بود، ولی تغییرات شاخص سطح برگ سبز در طول فصل رشد نشان داد که در طول کل فصل رشد، ارزن مرواریدی در مقایسه با گاورس زرد از شاخص سطح برگ سبز بیشتری برخوردار بود. آغاز زودتر ریزش برگ در گاورس زرد (از ۵۳ روز بعد از کاشت) در مقایسه با ارزن مرواریدی (از ۶۳ روز بعد از کاشت)، سبب شد که مقدار سطح سبز این گونه در مقایسه با ارزن مرواریدی در تمام طول فصل رشد کمتر شود (شکل۲).



شکل۱- روند تغییرات شاخص سطح کل برگ در طول فصل رشد در سه گونه ارزن مورد مطالعه



شکل۲- روند تغییرات شاخص سطح سبز برگ در طول فصل رشد در سه گونه ارزن مورد مطالعه

بررسی ضرایب خاموشی نور نشان داد که قابلیت ارزن معمولی در جذب نور در کانوپی، در مقایسه با دو گونه دیگر بالاتر است. ضریب خاموشی نور برای این گونه برابر ۰/۷۵و برای دو گونه ارزن مرواریدی و گاورس زرد به ترتیب برابر ۰/۶۶ و ۰/۵۷ تعیین شد (شیب خطوط رگرسیونی، شکل۳). ون اوستروم و همکاران (۲۱) نیز ضریب خاموشی نور در کانوپی ارزن مرواریدی را برابر با ۰/۶۳ تعیین کردند. نتیجه به دست آمده با نتایج این محققان مطابقت دارد، ولی این مقدار، از مقادیر گزارش شده توسط محققان دیگر (۹، ۱۳ و ۱۹) بیشتر است. بالاتر بودن ضریب خاموشی نور در این تحقیق (۰/۶۶، شکل۳) و تحقیق ون اوستروم و همکاران (۲۱) که مقدار ۰/۶۳ را گزارش نموده‌اند در مقایسه با سایر منابع علمی (۹، ۱۳ و ۱۹)، می‌تواند ناشی از تصحیح کسر جذب نور برای کل

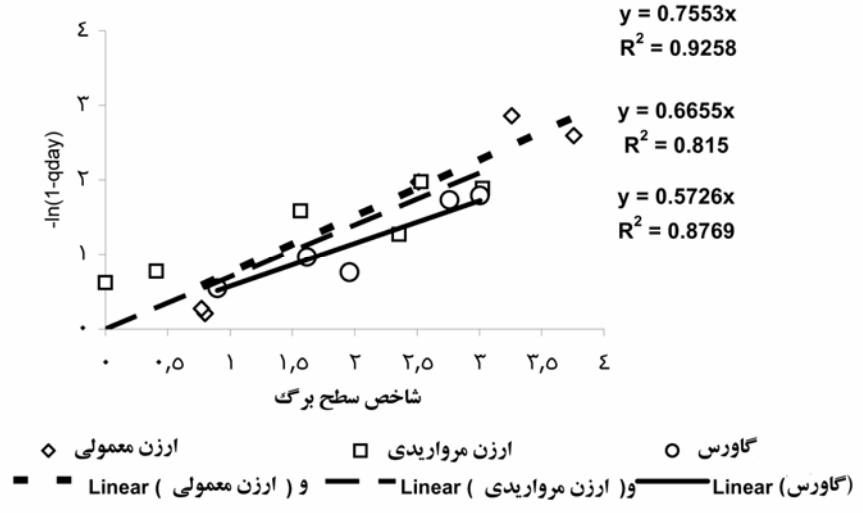
طول روز باشد. سایر محققان نیز نشان دادند که کسر جذب نور درظهر در مقایسه با صبح و عصر،کمتر است و برای به دست آوردن مقادیر واقعی ضریب خاموشی نور باید تغییرات این ضریب با تغییر زاویه خورشیدی نیز لحاظ گردد (۴ و ۱۲).

نتایج نشان داد که ارزن معمولی در مقایسه با دو گونه دیگر قابلیت بیشتری در بالا بردن کسر جذب نور دارد. این گونه علاوه بر جذب نور بیشتر در طول کل فصل رشد (جدول۱)، قادر به پوشاندن سریع سطح زمین در اوایل فصل رشد بود. در واقع این گونه توانست در بخشی از طول فصل رشد که مقدار تشعشع رسیده به سطح زمین بالاتر بود، سطح برگ خود را برای جذب نور به حد مطلوبی برساند (شکل‌های ۱ و ۲). مقدار کل تشعشع رسیده به سطح زمین، از تاریخ ظهور گیاه در سطح زمین (۱۵ تیرماه) تا ۱۵ شهریور (تاریخی که حداکثر کسر جذب نور در سه گونه حاصل شده است)، ۱۸۲۲ مگاژول بر متر مربع بود که سهم تشعشع جذب شده در ارزن معمولی، چماقی و گاورس زرد در این فاصله زمانی به ترتیب ۶۵۶، ۵۳۸ و ۳۶۶ مگاژول انرژی بود.

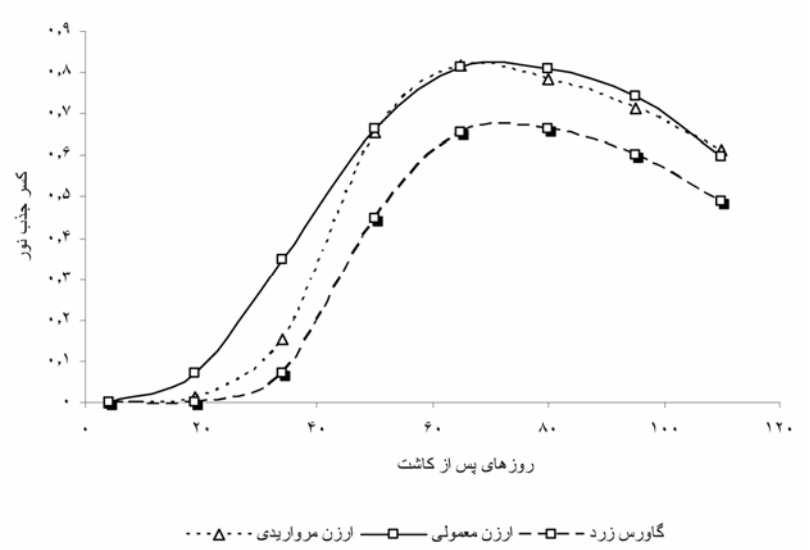
مقایسه میانگین تشعشع جذب شده توسط این سه گونه در طول کل فصل رشد (جدول۱) نیز نشان داد که تفاوت بین ارزن معمولی و دو گونه دیگر در زمینه کل تشعشع جذب شده در سطح احتمال پنج درصد معنی دار و کمترین میزان جذب متعلق به گاورس زرد بود.

همانطور که در شکل ۴ مشاهده می‌شود، کسر جذب نور هر سه گونه تاحدود ۷۰ روز پس از کاشت افزایش یافت و ارزن معمولی دارای کسر جذب نور بالاتری در مقایسه با دو گونه دیگر بود. بعد از این تاریخ، مقدار کسر جذب نور به دلیل ریزش طبیعی برگها در هر سه گونه کاهش یافت، ولی همچنان مقدار کسر نور توسط کانوپی گاورس زرد از دو گونه دیگرکمتر و دارای اختلاف معنی‌دار بود. اختلاف کسر جذب نور در گونه‌های گیاهی با مسیر فتوسنتزی مشابه در منابع علمی گزارش شده است (۶).

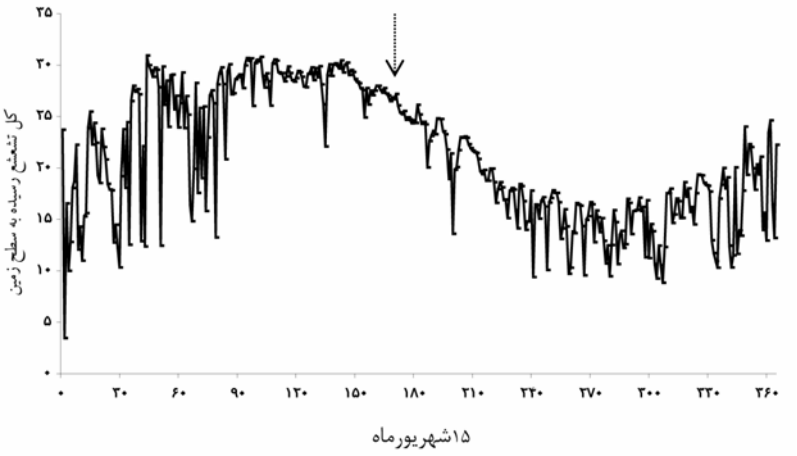
اگر چه بعد از ۱۵ شهریورکسر جذب تشعشع در ارزن معمولی و ارزن مرواریدی تقریباً برابر شد، ولی از این تاریخ به بعد مقدار کل تشعشع رسیده به سطح زمین در مقایسه با مرحله اول کاهش یافت (شکل۵) و این مساله سبب شد که علیرغم یکی شدن کسر جذب نور دو گونهٔ ارزن معمولی ومرواریدی در اواسط فصل رشد، تفاوت مقدار کل تشعشع جذب شده در آنها همچنان باقی بماند. پایین‌تر بودن کسر جذب تشعشع در گاورس زرد در مقایسه با دو گونه دیگر در تمام فصل رشد حفظ شد. بالاتر بودن ضرایب خاموشی نور در ارزن معمولی و ارزن مرواریدی نیز قابلیت بهتر این گونه‌ها در جذب نور را درمقایسه با گاورس زرد به خوبی ثابت نمود.



شکل۳- تغییرات -ln(1-qday) با تغییرات شاخص سطح برگ در سه گونه ارزن مورد مطالعه (شیب خط رگرسیونی نشان دهنده ضریب خاموشی نور در کانوپی است).



شکل۴ – تغییرات کسر جذب نور در سه گونه ارزن مورد مطالعه در طول فصل رشد



شکل۵- تغییرات کل تشعشع رسیده به سطح زمین در طول سال
(نقطه چین‌ها، میانگین تشعشع رسیده به سطح زمین را قبل و بعد از ۱۵ شهریورماه نشان می‌دهند).

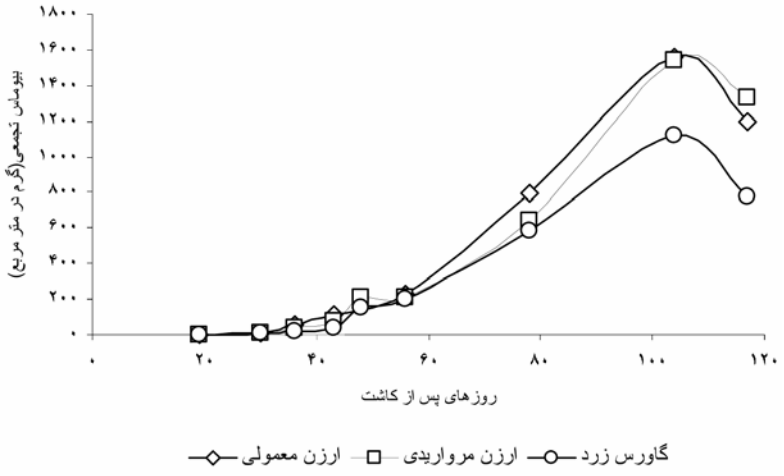
بررسی جدول مقایسه میانگین‌ها (جدول۱)، نشان داد که بیوماس نهایی تولید شده در گاورس زرد کمتر و دارای تفاوت معنی دار با دو رقم دیگر است. تجمع بیوماس در هر سه رقم تا ۴۰ روز بعد از کاشت کند، و بعد از آن روند افزایشی قابل توجهی یافت (شکل۶). مقدار بیوماس تجمع یافته در ۴۰ روز اول فصل رشد، برای ۳ رقم ارزن معمولی، چماقی و گاورس زرد به ترتیب ۱۱۱، ۷۸ و ۳۴ گرم در متر مربع بود. پس از آن، تجمع بیوماس تا حداکثری معادل ۱۵۶۱، ۱۵۴۵ و ۱۱۷۲ گرم در مترمربع (به ترتیب برای ارزن معمولی، چماقی و گاورس زرد) افزایش یافت.

جدول۱- مقایسه میانگین صفات اندازه‌گیری شده در سه گونه ارزن

گونه	بیوماس کل (گرم بر متر مربع)	شاخص برداشت	کل تشعشع جذب شده (مگاژول بر متر مترمربع)	ارتفاع ساقه (سانتی متر)	میانگین تعداد پنجه
ارزن معمولی	۱۵۶۱ a*	۰/۴۸ a	۱۲۵۰a	۷۸ a	۹/۵ a
ارزن مرواریدی	۱۵۴۵ a	۰/۴۶ a	۹۱۶ b	۸۷ a	۵/۰۰ b
گاورس زرد	۱۱۷۲ b	۰/۴۵ a	۷۲۰ b	۱۰۴ b	۳ /۰۰ b

* در هر ستون، میانگینهای دارای حروف مشابه در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی داری ندارند .

بررسی تغییرات بیوماس این سه گونه در طول فصل رشد به نحوی بود که مقدار بیوماس تولید شده درگاورس زرد در طول کل فصل رشد نسبت به دو گونه دیگر پایین‌تر بود و هیچ گاه مقدار آن به بیوماس دو گونه دیگر نرسید. نگاهی به شکل۶ نشان می‌دهد که اگرچه بیوماس نهایی دو گونه ارزن معمولی ومرواریدی در انتهای فصل رشد به هم نزدیک شد، ولی در طول فصل رشد و تا حدود ۹۰ روز پس از کاشت، مقدار بیوماس ارزن معمولی بیشتر از ارزن مرواریدی بود. کاهش بیوماس ارزن معمولی در مقایسه با ارزن مرواریدی در اواخر فصل رشد، مربوط به شروع زودهنگام پیری برگهای ارزن معمولی بود. نگاهی به جدول مقایسه میانگین‌ها (جدول۱)، نشان داد که با اینکه مقدار کل تشعشع جذب شده در ارزن معمولی در مقایسه با ارزن مرواریدی بیشتر بود، ولی مقدار بیوماس تولیدی توسط آنها در آخر فصل رشد تفاوت معنی داری نداشت.

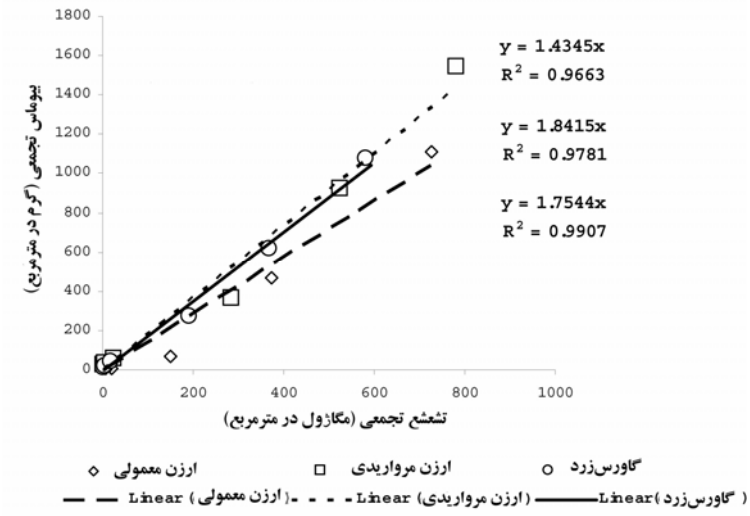


شکل۶- تغییرات بیوماس سه گونه ارزن در طول فصل رشد (بر اساس روزهای پس از کاشت).

شیب خط رگرسیونی برازش یافته به تغییرات بیوماس تجمعی در طول فصل رشد و مقدار تشعشع جذب شده تجمعی نشان دهنده کارایی مصرف نور در سه گونه مورد مطالعه است (شکل۷). نتایج نشان داد که مقدار کارایی مصرف نور در گونه ارزن مرواریدی در مقایسه با دو گونه دیگر بیشتر است (۱/۸۳ گرم بر مگاژول). همچنین مقدار کارایی مصرف نور درگاورس زرد بیش از مقدار آن در ارزن معمولی بود. کارایی مصرف نور برای ارزن معمولی

برابر ۱/۴۳ و برای گاورس زرد برابر ۱/۷۴ گرم بر مگاژول تعیین گردید (شکل۷).

ون اوستروم و همکاران (۲۱) نیز ضمن مطالعه‌ای جامع بر روی ارزن مرواریدی،کارایی مصرف نور در این گونه را ۱/۹ گرم برمگاژول گزارش‌کردند. اسکوایر و همکاران (۲۰) نیز ضمن مطالعات گلخانه‌ای، مقدار کارایی مصرف نور را برای ارزن مرواریدی در حدود ۲/۵ گرم بر مگاژول تعیین کردند که با مقدار محاسبه شده در این تحقیق تفاوت دارد. سینکلر و همکاران (۱۷) ضمن بررسی تحقیقات انجام شده روی کارایی مصرف نور گیاهان مختلف، اظهار داشتند که محاسبه مقدار کارایی مصرف نور در شرایط گلخانه می‌تواند باعث برآورد غیر واقعی و بیشتر از حد کارایی مصرف نور شود، چرا که با افزایش درصد تشعشع غیر مستقیم در گلخانه، مقدار کارایی مصرف نور نیز افزایش می‌یابد. سینکلر و هوری(۱۸) اظهار داشتند که در نظر نگرفتن اهمیت تشعشع غیر مستقیم در کانوپی گیاه می‌تواند باعث خطای زیادی در محاسبات شود، زیرا جزءغیرمستقیم تشعشع خورشیدی دارای توزیع یکنواخت تری نسبت به تشعشع مستقیم است. مقدارکارایی مصرف نورحاصله با محدوده تعیین شده برای گیاهان C ۴ مورد مطالعه در سایر منابع (۱۹) نیز مطابقت دارد.



شکل۷- میزان بیوماس تجمعی به عنوا ن تابعی از تشعشع تجمعی در سه گونه ارزن مورد مطالعه (شیب خط رگرسیون، کارایی مصرف نور را نشان می‌دهد)

اونگ و مونتیث (۱۴) نیز مقدار این ضریب در ارزن مرواریدی را بین ۲ تا ۲/۵ گرم بر مگاژول گزارش کردند. اگر چه ارزن معمولی در تولید سطح برگ در مقایسه با دو گونه دیگر موفق‌تر بود، ولی ساختار کانوپی به شکلی بود که بخش عمده تشعشع رسیده به سطح کانوپی در قسمت بالا و تاج کانوپی جذب شد. این مساله به کوتاه بودن ارتفاع این گونه در مقایسه با دو گونه دیگر و تفاوت معنی دار تعداد پنجه تولید شده در این گونه در مقایسه با دو گونه دیگر (جدول۱) و نیز گستردگی گل‌آذینها و فاصله کم میانگره‌ها در مقایسه با دو گونه دیگر مربوط بود. این مساله سبب گردید نفوذ تشعشع غیر مستقیم به بخشهای زیرین کانوپی کمتر شود. این امر می‌تواند پایین آمدن

کارایی مصرف نور را در این گونه سبب شده باشد. آلن و همکاران (۱) نیز نشان دادند که کاهش مقدار تشعشع غیرمستقیم در زیر کانوپی، می‌تواند کاهش کارایی مصرف نور را به همراه داشته باشد.

بررسی تولید بیوماس، مقادیر جذب نور و محاسبه کارایی مصرف نور در این سه گونه نشان داد که ارزن معمولی دارای قابلیت بالای کسب نور در مقایسه با دوگونه دیگر بود، ولی کارایی مصرف نور کمتری در مقایسه با دو گونه دیگر داشت. در ارزن مرواریدی، اگرچه قابلیت کسر جذب نورآن در مقایسه با ارزن معمولی اندکی کمتربود، ولی بالاتر بودن کارایی مصرف نور این گونه موجب شد که بیوماس تولید شده نهایی آن در مقایسه با ارزن معمولی معنی‌دار نشود (جدول۱). در گاورس زرد، علیرغم بالاتر بودن کارایی مصرف نورآن در مقایسه با ارزن معمولی، پایین بودن ضریب خاموشی نور و تفاوت معنی دار مقدار جذب نور آن در مقایسه با دو گونه دیگر سبب شد که مقدار بیوماس تولید شده نهایی این گونه در آخر فصل رشد نسبت به دو گونه دیگر کمتر شود. این در حالی است که کارایی مصرف نور گاورس زرد در مقایسه با ارزن مرواریدی هم کمتر بود. بنابراین ارزن معمولی و ارزن مرواریدی قابلیت بالایی در تولید بیوماس در مقایسه با گاورس زرد دارند. توجه به مقدار شاخص برداشت این سه گونه (برای ارزن معمولی، ارزن مرواریدی و گاورس زرد به ترتیب برابر ۰/۴۸، ۰/۴۶و۰/۴۵) نشان می‌دهد که ارزن معمولی که از لحاظ علوفه کیفیت مطلوبی ندارد قابلیت بالایی در تولید بذر در شرایط پتانسیل دارد. همچنین قابلیت تولید علوفه در ارزن مرواریدی بالاتر ازگاورس زرد است، ولی باید کیفیت بالای علوفه گاورس زرد را نادیده انگاشت.

نتایج حاصل از این تحقیق، نشان داد که این سه گونه از لحاظ قابلیت‌های جذب نور و کارایی مصرف نور باهم تفاوت دارند. وجود چنین تفاوتهایی در بین گونه‌های مختلف توسط سینکلر و هوری (۱۸) و مونتیث (۱۱) نیز نشان داده شده است. همچنین محاسبه کارایی مصرف نور و جذب تشعشع در این سه گونه نشان داد، که این دو عامل در توجیه عملکرد به خوبی عمل می‌کنند و از آنها می‌توان در تخمین عملکرد استفاده کرد.

همچنین محاسبه ضریب خاموشی نور بر اساس تصحیح برای تغییرات این ضریب در طول روز موید این مطلب بود که اگر ضریب خاموشی نور بر اساس تغییرات تشعشع در طول روز تصحیح نشود، مقدار ضریب خاموشی نور کمتر از حد واقعی برآورد خواهدشد که منطبق با نتیجه این تحقیق بود. مقدار ضریب خاموشی نور برای ارزن مرواریدی برابر ۰/۶۶ تعیین شد که مقدار آن بیشتر از ضریب خاموشی نور گزارش شده در سایر تحقیقات می‌باشد (۱۳، ۱۴ و ۲۰)، که این مساله به تصحیح این ضریب برای نشان دادن تغییرات آن در طول روز باز می‌گردد. این مساله، می‌تواند پایین‌تر بودن کارایی مصرف نور محاسبه شده در این تحقیق را در مقایسه با برخی از تحقیقات دیگر نشان دهد. از آنجا که مقدار کسر جذب نور تابعی از مقدار ضریب خاموشی نور است، اگر مقدار ضریب خاموشی نور کمتر از حد واقعی آن برآورد شود، با کم کردن کسر جذب نور و بالطبع کاهش مقدار تشعشع جذب شده توسط کانوپی، باعث بالاتر تخمین زدن کارایی مصرف نور و ایجاد خطا در کمی کردن عملکرد خواهد شد.

فهرست منابع:

1- Allen ,L .H., D. W. Stewart , and E. R. Lemon. 1974. Photosynthesis in plant canopies: Effect of light response curves and radiation source geometry. Photosynt. 8: 184-207.

2- Amir, J., and T. R. Sinclair. 1991. A model of the temperature and solar radiation effects on spring wheat growth and yield. Field Crops Res. 28: 47-58.

3- Begg, J .C. 1965. The growth and development of a crop of millet (*Pennisetum typhoides* S&H.) .J. Agri Sci. (Camb.) 65: 341-349.

4- Begue, A., J. F. Desprat, J. Imbernon, and F. Baret, 1991. Radiation use efficiency of pearl millet in the sahelian zone. Agric. For. Meteor. 56: 93-110.

5- Charls-Edwards, D. A., D. Doley, and G. M. Rimmington. 1986. Modeling Plant Growth and Development. Academic press. 235 pp.

6- ICRISAT. 1984. Agrometerology of sorghum and millet in the semi-arid tropics. Proc. Inter. Sym. Pantachura, India: ICRISAT.

7- Kiniry, J. R., C. A. Jones, and J. C. O'Toole, R. Blanchet, M. Cabelguenne, and D. A. Spanel.1989. Radiation use efficiency and biomass accumulation prior to grain-filling for five grain-crop species. Field Crops Res. 20: 51-64.

8- Kwapata, M. B., A. E. Hall, and M. A. Madore. 1990. Response of contrasting vegetable cowpea cultivars to plant density and harvesting of young pods. II. Dry matter production and photosynthesis. Field Crops Res. 24: 11-21.

9- Mariscal, M. J., F .Orgaz, and F .J. Villalobos. 1999. Radiation use efficiency and dry matter partitioning of a young olive (*Olea europea*) orchard. Tree Physiology.19: 65-72

10- Marshall, B., and R.W. Willey. 1983. Radiation interception and growth in an intercrop of pearl millet/groundnut. Field Crops Res. 7: 141-160.

11- Monteith, J. L. 1977. Climate and the efficiency of crop production in Britain. Phil. Trans. R. Soc. Lond. 281: 277-294.

12- Muchow, R. C. 1985. An analysis of the effects of water deficits on grain legumes grown in a semi-arid tropical environment in terms of radiation interception and its efficiency of use. Field Crops Res. 11: 309-323.

13- Muchow, R. C. 1989 .Comparative productivity of maize, sorghum and pearl millet in a semi-arid tropical environment. I. Yield potential. Field Crops Res. 20: 191-205.

14- Ong, C. K., J. L. Monteith. 1985. Response of pearl millet to light and temperature. Field Crops. Res. 11:141-160.

15- Puckridge, D. W., and D. A. Ratkowsky. 1971. Photosynthesis of wheat under field conditions. IV. The influence of density and leaf area index on the response to radiation. Aust .J. Agric. Res. 22: 11-20.

16- Reddy, M. S., and R. W. Willey. 1981. Growth and resource use studies in an intercrop of pearl millet /groundnut. Field Crops Res. 4: 13-24.

17- Sinclair, T. R., T. Shiraiwa, and G. L. Hammer. 1992. Variation in crop radiation use efficiency with increased diffuse radiation. Crop Sci. 32: 1281-1284.

18- Sinclair, T. R. and T. Horie. 1989. Leaf nitrogen, photosynthesis and crop radiation- use efficiency: a review . Crop Sci. 29: 90-98.

19- Sinclair, T. R., and R. C. Muchow. 1999. Radiation use efficiency. Adv. Agron. 65: 215-265.

20- Squire, G. R., P. J. Gregory, B. Marshal, A. C. Terry, and J. L. Momnteith. 1984. Response to temperature in a stand of pearl millet. VI. Light interception and dry matter production. J. Exp. Bot. 35: 599-610.

21- Van O'osterom, E. J., G. J. O'Leary, P. S. Carberry, and P. Q. Craufurd. 2002. Simulating growth, development, and yield of tillering pearl millet. III. Biomass accumulation and partitioning. Field Crops Res. 79: 85-106.

22- Whisler, F. D., B. Acock, D. N. Baker, R. E. Fye, H. F. Hodges, R. Lambert, H. E. Lemmon, J. M. McKinion, and V. R. Reddy.1986. Crop simulation models in agronomic systems. Adv. Agron. 40: 141-205.

Evaluation of radiation use efficiency and its relationship with dry matter accumulation in three millet species

B. kamkar, A. Koocheki, M. Nasiri Mahallati, P .Rezvani Moghaddam[1]

Abstract

A factorial arrangement of three millets species (*Panicum miliaceum*, *Pennisetum glaucum*, and *Setaria italica*) and two sowing dates with three replications were used in a completely randomized design to evaluate the radiation use efficiency and its relationship with dry matter accumulation. Leaf area index was used in daily intervals to calculate daily intercepted radiation. Light extinction coefficient was calculated as the slope of regression line between log transformed fraction of intercepted radiation and leaf area index during growing season. Radiation use efficiency was calculated as the slope of linear regression between cumulative intercepted radiation and cumulative biomass during growing season. Results showed that light extinction coefficient and radiation use efficiency for proso, pearl and foxtail millets were 0.75, 0.66, 0.57 and 1.43, 1.83, 1.74 g/MJ in terms of total radiation, respectively. Differences in biomass production were not significant between proso and pearl millets. Proso millet had higher intercepted radiation, but lower radiation use efficiency in comparison with pearl millet. Foxtail millet had lower intercepted radiation than proso and pearl millets, but its radiation use efficiency was higher than pearl millet. Total biomass of foxtail millet was lower than other species. Results indicated that proso and pearl millets can produce more biomass than foxtail millet.

Keywords: Millet, radiation use efficiency, light extinction coefficient, biomass.

1- Contribution from college of Agriculture, Ferdowsi university of mashhad, (Center of Excellence for Special Crops).