نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد ۱۰، شماره ۲ ، تابستان ۱۳۹۱، ص. ۴۴۷-۴۳۵

Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 10, No. 2, Summer. 2012, p. 435-447

کارآیی جذب و مصرف نور کنجد تحت تأثیر کودهای بیولوژیک در یک نظام زراعی کم‌نهاده

محسن جهان[1*]- محمدبهزاد امیری[2]- حمیدرضا احیائی[3]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۰/۴/۶
تاریخ پذیرش:۱۳۹۰/۱۰/۱۱

چکیده

استفاده از گیاهان زراعی کارآمد به‌منظور بهره‌برداری از منابع، به‌ویژه آب و تشعشع خورشیدی از مهم‌ترین راهکارها جهت نیل به اهداف کشاورزی پایدار می‌باشد. در همین راستا و به‌منظور برآورد ضریب خاموشی و کارآیی مصرف نور کنجد، آزمایشی بصورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد در سال زراعی ۸۹-۱۳۸۸ اجرا شد. فاکتور کرت اصلی، کشت و عدم کشت گیاه پوششی شامل خلر و شبدر ایرانی در پاییز گذشته و فاکتور کرت فرعی، انواع کود بیولوژیک در چهار سطح ۱- نیتروکسین (دارای باکتری‌های، *Azotobacter* sp. و *Azospirillum* sp.)، ۲- بیوفسفر یا باکتری‌های حل‌کننده فسفات یا پی‌اس‌بی PSB (دارای باکتری‌های *Bacillus* sp. و *Pseudomonas* sp.)، ۳- بیوسولفور یا باکتری‌های حل‌کننده گوگرد یا (*Thiobacillus* sp.)SSB و شاهد (بدون کود) بودند. نتایج نشان داد که کودهای بیولوژیک در مقایسه با شاهد، زمان رسیدن به حداکثر شاخص سطح برگ را ۱۵ روز جلو انداختند و به دنبال آن حداکثر کسر تشعشع جذب شده و تولید ماده خشک نیز در این تیمارها، ۱۵ روز نسبت به شاهد جلوتر بود و در ۶۰ روز پس از کاشت به وقوع پیوست. کشت گیاهان پوششی موجب برتری ۱۹ درصدی ماده خشک تولیدی کنجد در مقایسه با عدم کشت آنها گردید. اگر چه ضریب خاموشی نور در حالت عدم کاربرد کود، بیشتر از ضریب خاموشی نور در نتیجه استفاده از کودهای بیولوژیک بود (۰/۷۸ در برابر ۰/۶۹)، ولی به‌دلیل کارآیی مصرف نور بیشتر کنجد در نتیجه استفاده از بیوسولفور و نیتروکسین (به‌ترتیب ۱/۳۱ و ۱/۲۴ گرم بر مگاژول) نسبت به شاهد (۱/۰۹ گرم بر مگاژول)، عملکرد بیولوژیک، عملکرد دانه و شاخص برداشت در نتیجه کاربرد کودهای بیولوژیک به‌طور معنی‌داری بیشتر از شاهد بود. کارآیی مصرف نور کنجد در نتیجه‌ی کشت گیاهان پوششی، ۰/۱۸ بیشتر از تیمار عدم کشت گیاهان پوششی بود. در پژوهش حاضر، میانگین کلی کارآیی مصرف نور کنجد، ۱/۱۹ گرم بر مگاژول برآورد گردید (R^2=۰/۹۵). به‌طور کلی، نتایج این پژوهش نشان داد که استفاده از نیتروکسین و بیوسولفور همراه با کشت گیاهان پوششی در یک نظام کم‌نهاده‌ی تولید کنجد، می‌تواند سبب افزایش کارآیی استفاده از نور و به دنبال آن افزایش عملکرد کمی و کیفی گردد.

واژه‌های کلیدی: گیاهان پوششی، بیوسولفور، کارآیی مصرف تشعشع، ضریب خاموشی نور، نظام اکولوژیک

مقدمه

شناخت چگونگی و مدیریت تأثیر عوامل اکولوژیکی بر تولید گیاهان و نیز واکنش گیاهان به این عوامل، از مهم‌ترین لوازم دستیابی به پایداری در سیستم‌های تولیدی کشاورزی به‌شمار می‌روند. از سوی دیگر، استفاده از گیاهان زراعی کارآمد در بهره‌برداری از منابع به‌ویژه آب و تشعشع خورشیدی از مهم‌ترین راهکارها جهت نیل به هدف فوق می‌باشد (۱). مقدار و چگونگی تثبیت انرژی نورانی در گیاهان، از مهم‌ترین شاخص‌های اگرواکوفیزیولوژیکی تعیین‌کننده‌ی رشد و عملکرد گیاهان می‌باشد که در اکوسیستم‌های زراعی تحت تأثیر نوع و چگونگی مدیریت اعمال شده قرار می‌گیرد (۷).

همبستگی نزدیکی بین مقدار تشعشع دریافتی توسط گیاه و رشد آن وجود دارد (۴۰). کارآیی دریافت و جذب تشعشع توسط یک گیاه تا حد زیادی تابع شاخص سطح برگ (۳۰)، دوام سطح برگ و انطباق حداکثر شاخص سطح برگ با حداکثر تشعشع محیط (۳۳)، ضریب خاموشی نور (۳۰ و ۲۸) که خود تحت تأثیر ساختار کانوپی است (۶) و در نهایت کارآیی مصرف نور[4] (۲۹، ۲۸ و ۳۱) می‌باشد. وجود رابطه

۱، ۲ و ۳- به ترتیب، استادیار و دانشجویان دکتری بوم شناسی زراعی و فیزیولوژی گیاهان زراعی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
(* نویسنده مسئول: E-mail: jahan@um.ac.ir)

4- Radiation Use Efficiency

خطی بین تجمع زیست‌توده و تشعشع تجمعی در بسیاری از گیاهان زراعی (۳۴) به اثبات رسیده است و کارآیی مصرف نور در واقع شیب خط رگرسیون بین این دو متغیر می‌باشد (۲۳).

کارآیی مصرف نور عبارت است از نسبت زیست‌توده تولید شده به انرژی نورانی جذب شده توسط گیاه و بر حسب گرم بر مگاژول بیان می‌شود (۲۱، ۲۹، ۳۰، ۳۴). به‌عبارت دیگر، کارآیی مصرف نور، توانایی یک گیاه در مهار انرژی خورشیدی رسیده به سطح کانوپی و استفاده از آن در تولید ماده خشک می‌باشد (۳۱ و ۲۳). کارآیی مصرف نور از پارامترهای کلیدی در بسیاری از مدل‌های رشد گیاهی به‌شمار می‌رود (۲۸). از میان عوامل متعددی که بر کارآیی مصرف نور تأثیر می‌گذارند می‌توان به محتوای نیتروژن و کلروفیل برگ‌ها اشاره کرد (۳۶ و ۳۰).

کنجد به‌عنوان یک محصول زراعی، از امتیازات ویژه‌ای همچون رشد تحت دماهای بالا، ذخیره آبی کم و سطوح پایین نهاده‌ها برخوردار است (۹ و ۳۹). اگرچه در سطح جهان، کنجد سومین دانه روغنی مهم بعد از سویا و بادام زمینی به‌شمار می‌رود، ولی از پتانسیل عملکرد پایینی برخوردار است (۱۹ و ۱۷). رشد اولیه گیاهچه‌های کنجد کم است و برای بسیاری از علف‌های هرز که رشد سریعی دارند، رقیب ضعیفی به‌شمار می‌رود. بازدهی و میزان روغن بذر کنجد، به‌شدت تحت تأثیر منطقه جغرافیایی و واریته گیاهی قرار می‌گیرد (۳۹). رضوانی‌مقدم و همکاران (۳) گزارش کردند که کشت کنجد با تراکم ۵۰ بوته در متر مربع و دور آبیاری یک هفته، بیشترین عملکرد دانه و روغن را تولید کرد. گوگرد، همانند نیتروژن جزء مهمی از پروتئین‌های گیاهی است. گوگرد در ساختمان اسیدهای آمینه مانند متیونین، سیستین و سیستئین، در تشکیل کلروفیل و نیز در فرآیند تولید روغن در کنجد، سویا و کتان دخالت دارد (۳۹).

کومار و همکاران (۱۹) گزارش کردند که تلقیح بذور کنجد با باکتری *Pseudomonas aeruginosa* منجر به افزایش معنی‌دار خصوصیات رشد رویشی و عملکرد کنجد نسبت به شاهد شد. آنها همچنین گزارش کردند که کاربرد باکتری مذکور به‌همراه مصرف نیمی از مقدار توصیه شده کود شیمیایی در مقایسه با عدم تلقیح باکتریایی و مصرف کامل کود شیمیایی، به‌ترتیب سبب ۳۳/۳ و ۴۷/۵ درصد افزایش در عملکرد روغن و پروتئین گردید. کامح و همکاران (۱۴) گزارش کردند که وارد کردن گیاهان پوششی به نظام‌های زراعی، از طریق آزادسازی آنیون‌های آلی مثل ترکیبات حل‌کنندهٔ فسفات از ریشهٔ خود، به استفادهٔ مؤثرتر از خاک و عنصر فسفر توسط گیاهانی که کارآیی کمتری در ترشح ترکیبات حل‌کنندهٔ فسفات از ریشهٔ خود دارند، کمک می‌کند. ال‌حباشا و همکاران (۹) گزارش کردند که در کشت کنجد پس از دو گیاه پوششی زمستانه شبدر برسیم و باقلا، کاربرد مخلوطی از کودهای، شیمیایی به مقدار ۷۵ درصد میزان توصیه شده، کود دامی ۲۵ درصد میزان توصیه شده و کود بیولوژیک (شامل *Azotobacter* sp.، *Azospirillum brasilense* و *Bacillus megatherium*) سبب تولید بیشترین تعداد کپسول در بوته، وزن دانه در بوته، عملکرد و اجزای عملکرد، عملکرد بیولوژیک، عملکرد روغن و پروتئین و درصد فسفر دانه کنجد شد. گوش (۱۰) ضمن بررسی اثر کودهای بیولوژیک و هورمون‌های رشد بر تولید کنجد، گزارش کرد که کارآیی جذب انرژی تابشی به میزان سطح برگ و توزیع برگ‌ها در داخل سایه‌انداز، بستگی داشت.

علیرغم اهمیت فراوان کارآیی جذب و مصرف نور از دیدگاه اکولوژی تولید، و همچنین ارتباط و تأثیر آن بر تصمیم‌گیری‌ها و برنامه‌ریزی‌های مدیریتی، هنوز کارآیی مصرف نور بسیاری از گیاهان دارویی ناشناخته باقی مانده است. متاسفانه چندی است که در ایران، گیاه ارزشمند کنجد در زمره گیاهان فراموش‌شده طبقه‌بندی می‌شود. اطلاع یافتن از کارآیی مصرف نور کنجد و تأثیر کودهای بیولوژیک بر آن، یکی از گام‌های مهم در امکان‌سنجی تولید گسترده آن در سیستم‌های بوم‌سازگار و کم‌نهاده می‌باشد، لذا با توجه به نبود اطلاعات در این زمینه، این تحقیق با هدف برآورد کارآیی مصرف نور و ضریب خاموشی نور در کانوپی کنجد و به تبع آن ارزیابی پتانسیل تولید کنجد در یک سیستم کم‌نهاده با بهره‌گیری از کودهای بیولوژیک، طراحی و اجرا گردید.

مواد و روش‌ها

روش اجرای آزمایش

آزمایش در سال زراعی ۸۹-۱۳۸۸ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد واقع در ۱۰ کیلومتری شرق مشهد با عرض جغرافیایی ۳۶° و ´۱۶ شمالی و طول جغرافیایی ۵۹° و ´۳۶ شرقی و ارتفاع ۹۸۵ متری از سطح دریا اجرا شد. زمین محل انجام آزمایش در پاییز و زمستان سال قبل از شروع آزمایش، زیر کشت گیاهان پوششی بود که در آخر فروردین ۸۹ با انجام عملیات شخم توسط بیل دستی به زیر خاک برده شد. آزمایش بصورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار و در زمینی به مساحت ۴۰۰ متر مربع اجرا شد. فاکتور کرت اصلی، وجود و عدم وجود گیاه پوششی در پاییز و زمستان گذشته و فاکتور کرت فرعی، انواع کود زیستی در چهار سطح ۱- نیتروکسین (دارای باکتری‌های *Azotobacter* sp، و *Azospirillum* sp)، ۲- بیوفسفر یا باکتری‌های حل‌کننده فسفات یا پی‌اس‌بی PSB (دارای باکتری‌های *Bacillus* sp. و *Pseudomonas* sp.)، ۳- بیوسولفور یا باکتری‌های حل‌کننده گوگرد یا SSB(*Thiobacillus* sp.)، و شاهد (بدون هیچ‌گونه کود) بودند. ابعاد هر کرت ۳×۳ متر و فاصله دو ردیف کاشت از هم ۵۰ سانتی‌متر بود. ابتدا نقشه‌ی طرح پیاده و حدود کرت‌ها با طناب مشخص گردید.

جدول ۱- خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک محل آزمایش

بافت خاک	پتاسیم قابل دسترس (ppm)	فسفر قابل دسترس (ppm)	نیتروژن کل (٪)	Ec ($dS\ m^{-1}$)	pH
سیلت-لومی	۴۸۰	۱۱	۰/۰۷۷	۱/۲	۷/۸

قبل از اضافه کردن کودها به زمین، نمونهٔ خاک جهت تعیین مشخصات فیزیکی و شیمیایی آن از اعماق ۱۵ و ۳۰ سانتی‌متری و از نقاط مختلف زمین برداشته شده و به آزمایشگاه ارسال گردید. چهار هفته بعد از برگرداندن گیاه پوششی به داخل خاک (اواخر اردیبهشت ماه ۱۳۸۹) و پس از آبیاری، عملیات کشت انجام شد. به‌دلیل بارش تگرگ و از بین رفتن گیاهان، عملیات کشت در ۲۰ خرداد ماه مجدداً انجام و بلافاصله زمین آبیاری شد. بذور کنجد (توده اسفراین)، مطابق تیمارهای آزمایش، بلافاصله قبل از کشت، با مایه تلقیح نیتروکسین، بیوفسفر و بیوسولفور به روش استاندارد (۱۶) و با رعایت توصیه‌های شرکت تولیدکننده آغشته شدند.

کلیه عملیات آماده‌سازی زمین به‌صورت دستی انجام شد و در زمان آماده‌سازی زمین و در طول دورهٔ رشد از هیچ نوع علف‌کش، آفت‌کش و یا قارچ‌کش استفاده نشد. چون کاشت به‌صورت کپه‌ای بود، بعد از سبز شدن (در مرحلهٔ چهار برگی) نسبت به تنک و واکاری گیاهان سبز شده تا رسیدن به تراکم ۵۰ بوته در متر مربع اقدام گردید. آبیاری به فاصله هر ۷ روز به طریقهٔ نشتی و توسط سیفون انجام شد. به منظور اجتناب از مخلوط شدن آب کرت‌ها با یکدیگر، برای هر تکرار جوی آبیاری و فاضلاب جداگانه در نظر گرفته شد.

اندازه‌گیری‌ها

اندازه‌گیری شاخص سطح برگ و میزان ماده خشک قسمت‌های هوایی کنجد از نیمه‌تیر ماه سال ۸۹ آغاز و تا پایان فصل رشد، در ۵ نوبت انجام شد. در هر بار نمونه‌گیری، بوته‌های کنجد در یک کادر ۰/۵ متر مربعی از تمامی تیمارهای آزمایش برداشت و پس از تعیین مساحت برگ‌ها به‌وسیله دستگاه اندازه‌گیری سطح برگ، وزن مواد برداشت شده بعد از قرار گرفتن آنها به‌مدت ۴۸ ساعت در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد تعیین شد.

میزان عبور نور از کانوپی با استفاده از سپتومتر خطی مدل SunScan, Delta T, UKدر هر یک از ۵ نوبت نمونه‌گیری در هر کرت، در ۴ جهت در پایین کانوپی کنجد اندازه‌گیری شد.

محاسبه میزان جذب و کارآیی مصرف نور

کسر نور جذب شده توسط کانوپی (Ia) از طریق معادله ۱ محاسبه شد:

$$I_a = 1 - \frac{I_t}{I_0} \qquad (۱)$$

که در آن I_t نور عبور کرده از کانوپی (اندازه‌گیری شده در سطح زمین) و I_0 نور اندازه‌گیری شده در بالای کانوپی می‌باشد که از طریق نصب حسگر دستگاه بر روی سه‌پایه و قرار دادن آن در کنار ردیف‌های کنجد، قرائت و ثبت شد. با برازش معادلات رگرسیون چند جمله‌ای بین مقادیر I_0 (معادله ۱) و زمان، کسر نور جذب شده در طی فصل رشد محاسبه شد.

میزان تشعشع ورودی روزانه (I_d) به روش ارائه شده توسط خودریان و فان‌لار (۶) با احتساب ساعات آفتابی هر روز برآورد گردید. سپس میزان تشعشع روزانه جذب شده ($I_{a,d}$) از طریق معادله ۲ محاسبه شد:

$$I_{a,d} = I_d \cdot I_a \qquad (۲)$$

ضریب خاموشی نور (K) در کانوپی بر اساس شیب خط رگرسیونی برازش یافته بین I_t/I_o و شاخص سطح برگ (به‌ترتیب به‌عنوان متغیرهای وابسته و مستقل) محاسبه شد. کاربرد ضریب خاموشی نور در محاسبه کسر نور جذب شده توسط کانوپی گیاه و در نهایت برآورد توان گیاه در تولید ماده خشک از طریق مدل‌های شبیه‌سازی می‌باشد (۶).

در پایان، برای هر یک از تیمارها، میزان کل تشعشع جذب شده از مجموع مقادیر $I_{a,d}$ در طی فصل رشد($\Sigma I_{a,d}$ ، مگاژول در متر مربع) و کارآیی مصرف نور (RUE، گرم بر مگاژول) با تقسیم کردن کل ماده خشک تولید شده (گرم در مترمربع) بر کل تشعشع جذب شده در طی فصل رشد محاسبه شد.

داده‌های حاصل از آزمایش در معرض تجزیه واریانس قرار گرفتند و میانگین صفات با استفاده از آزمون چنددامنه‌ای دانکن و در سطح احتمال ۵ درصد مقایسه شدند. به‌منظور تجزیه و تحلیل داده‌های حاصل از آزمایش، برازش روابط رگرسیونی و رسم شکل‌ها، از نرم‌افزارهای MS Excell Ver. 14، SlideWrite Ver. 2و MINITAB Ver. 15 استفاده شد.

نتایج و بحث

شاخص سطح برگ

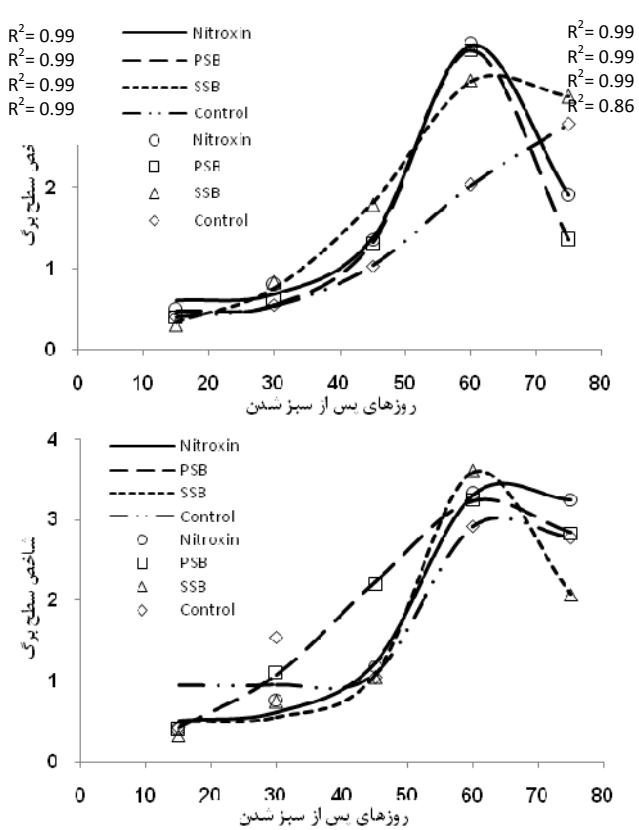
همان‌گونه که در شکل (۱ الف) مشاهده می‌شود، شاخص سطح برگ کنجد در نتیجه‌ی کشت گیاهان پوششی، در کلیه تیمارهای کود بیولوژیک در حدود ۶۰ روز پس از سبز شدن به حداکثر خود رسید، در حالی‌که در تیمار شاهد (عدم مصرف کود)، حداکثر شاخص سطح برگ

با ۱۵ روز تأخیر در حدود روز ۷۵ پس از سبز شدن حاصل شد، با این‌حال، در این زمان نیز، شاخص سطح برگ کنجد در نتیجه کاربرد بیوسولفور، با کمی کاهش، هنوز بیش از حداکثر شاخص سطح برگ در گیاهان تحت تیمار شاهد بود.

در حالت عدم کشت گیاهان پوششی (شکل ۱ ب) نیز نتیجه‌ای مشابه حاصل شد با این تفاوت که در روز ۷۵ پس از سبز شدن، برتری با کود نیتروکسین بود، به‌عبارت دیگر، به‌نظر می‌رسد که در نبود گیاهان پوششی، اثر مثبت نیتروکسین (باکتری‌های همیار تثبیت‌کننده نیتروژن) مجال بروز یافت. کوکیلاوانی و همکاران (۱۷) ضمن بررسی اثر سرزنی بوته بر سه رقم کنجدهندی، میانگین شاخص سطح برگ در حالت سرزنی در ۱۵، ۲۵، ۳۵ و ۴۵ روز پس از کاشت را به‌ترتیب ۰/۹۰، ۱/۰۱، ۱/۱۰ و ۰/۸۰ گزارش کردند و در حالت بدون سرزنی، میانگین شاخص سطح برگ برای سه رقم به‌ترتیب ۱/۰۴، ۰/۷۶ و ۰/۹۶ بود.

عموماً روند رشد سطح برگ گیاهان طی فصل رشد به‌صورت غیرخطی (سیگموئیدی) می‌باشد، به‌طوری که در نیمه‌ی دوم فصل رشد به حداکثر خود می‌رسد و سپس با از بین رفتن برگ‌های پیر کاهش می‌یابد، و این زمانی است که تولید برگ‌های جدید کفاف سطح برگ از بین رفته را نمی‌دهد (های و واکر، ۱۹۸۹؛ ۴). ژاگارد و کلارک (۱۳) بیان داشتند که الگوی رشد برگ برای ژنوتیپ‌ها و سال‌های مختلف، نسبتاً مشابه می‌باشد. اسکات و ژاگارد (۳۳) عامل مهم در سرعت شکل‌گیری کانوپی را درجه حرارت دانسته و بیان داشتند که دمای بیشتر در بهار سبب زودتر بسته شدن کانوپی می‌شود.

نصیری‌محلاتی (۶) بیان کرد که پس از سایه‌اندازی برگ‌ها روی یکدیگر (زمانی که شاخص سطح برگ به بیشتر از ۰/۷ تا ۱ افزایش یافته باشد)، گسترش روزانه‌ی سطح برگ به مقدار ماده‌ی خشک اختصاص یافته به برگ‌ها بستگی خواهد داشت. سینکلر و همکاران (۳۶) بیان کردند که در گیاهان زراعی دانه‌ای، پیر شدن برگ‌ها عمدتاً تحت تأثیر رشد دانه‌ها و انتقال مجدد نیتروژن از برگ‌ها به دانه‌ها قرار دارد. آنها همچنین پیشنهاد کردند که انتقال مجدد نیتروژن سبب پیر شدن برگ‌ها می‌شود.



شکل ۱- روند تغییرات شاخص سطح برگ (LAI) کنجد در طول فصل رشد تحت تأثیر کودهای بیولوژیک مختلف در دو حالت (الف) کشت و (ب) عدم کشت گیاهان پوششی

Nitroxin، PSB ، SSB و Control به ترتیب نشاندهنده تلفیق با نیتروکسین، بیوفسفر و بیو سولفور و بدون تلقیح (شاهد) می باشند.

کراف و فان‌لار (۱۸) نیز بیان کردند که مرحله اصلی پیر شدن برگ‌ها، با شروع پر شدن دانه‌ها آغاز می‌شود.

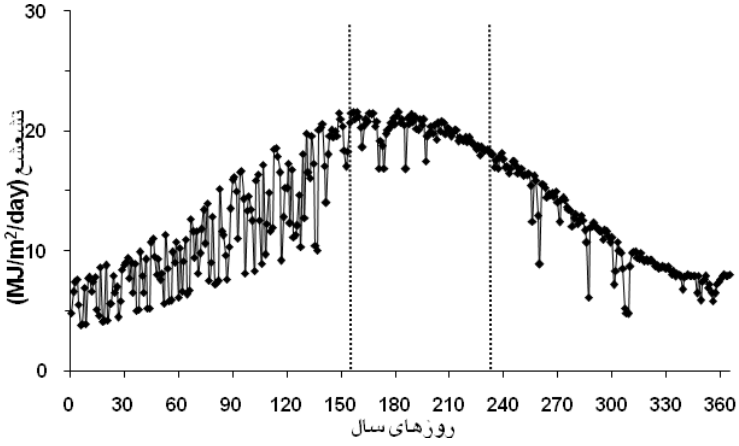
پارسا و همکاران (۱) گزارش کردند که سطح برگ چغندرقند پس از کاهش نسبتاً شدید در اواخر مرداد ماه، در طول شهریور ماه نسبتاً ثابت باقی ماند. این محققین اظهار داشتند که درجه حرارت بالا و در مواردی تنش خشکی، در اواخر مرداد ماه، سبب کاهش سطح برگ گردید و با خنک‌تر شدن هوا در اواخر شهریور ماه، این پدیده تعدیل و از شدت افت سطح برگ کاسته شد. با توجه به مواردی که بیان شد، شاید بتوان بخشی از کاهش در شاخص سطح برگ کنجد در انتهای فصل رشد (به‌ویژه در تیمارهای کود بیولوژیک) را به روند طبیعی پیر شدن برگ‌ها و نیز بالا بودن دما در آن زمان (انتهای مرداد ماه) نسبت داد.

تشعشع جذب شده توسط کانوپی کنجد

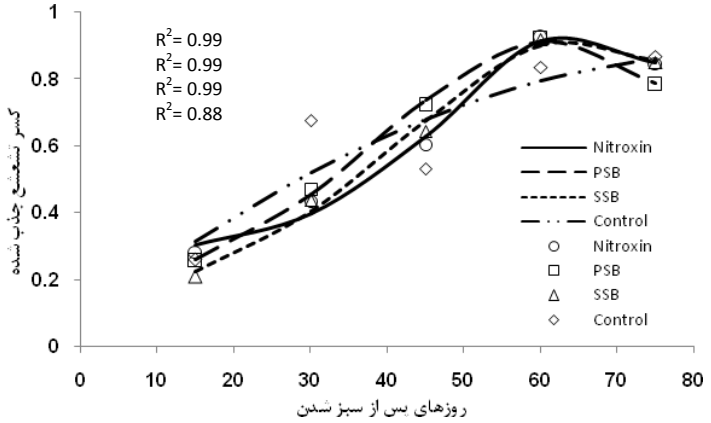
در شکل ۲ تغییرات تشعشع رسیده به بالای کانوپی، در طی روزهای سال نشان داده شده است و فاصله‌ی بین دو خط نقطه‌چین، مشخص کننده‌ی دوره رشد کنجد می‌باشد. همان‌گونه که در شکل ۲ مشاهده می شود در آغاز نیمه‌ی اول دوره رشد کنجد، حداکثر تشعشع ولی همراه با نوسان وجود داشت و در نیمه‌ی دوم دوره‌ی رشد اگر چه از میزان تشعشع کمی کاسته شد، ولی در مقایسه با نیمه اول از نوسان کمتری برخوردار بود. با مقایسه شکل‌های ۱ و ۲ به‌نظر می‌رسد که زمان رسیدن به حداکثر شاخص سطح برگ کنجد با زمان برخورد حداکثر میزان تشعشع به سطح کانوپی موجود، که از نظر مدیریت زراعی مهم می‌باشد (۳۳)، یکسان نبود. پارسا و همکاران (۱) ضمن بررسی تغییرات فصلی دریافت و کارآیی مصرف نور چغندرقند، گزارش کردند که حداکثر شاخص سطح برگ در روز ۷۵ پس از سبز شدن، با چند هفته تأخیر (تقریباً ۳۰ روز) پس از به حداکثر رسیدن تشعشع رسیده به سطح زمین در منطقه مشهد اتفاق افتاد که با نتایج پژوهش حاضر هم‌خوانی دارد. میلفورد و همکاران (۲۲) گزارش کردند که سرعت رسیدن به حداکثر شاخص سطح برگ، مهم‌ترین عامل ایجاد تفاوت در عملکرد طی سال‌های مختلف می‌باشد. با در نظر گرفتن آمار بلندمدت تغییرات تشعشع در منطقه مشهد و در صورتی که دمای خاک محدود کننده جوانه زنی بذور کنجد نباشد، می‌توان زودتر نسبت به کاشت آن اقدام نمود تا شاید از این طریق بتوان از وقوع همزمانی حداکثر شاخص سطح برگ و حداکثر تشعشع، در جهت وصول به تولید بیشینه بهره گرفت.

حداکثر کسر تشعشع جذب شده توسط کانوپی کنجد برای تمام کودهای بیولوژیک در حدود روز ۶۰ پس از سبز شدن اتفاق افتاد و بیشترین مقدار آن مربوط به تیمار نیتروکسین بود (شکل ۳) که با نتایج مربوط به حداکثر شاخص سطح برگ (شکل ۱) کاملاً همخوانی دارد. بیشینه‌ی کسر تشعشع جذب شده در تیمار شاهد، با ۱۵ روز تأخیر نسبت به کودهای بیولوژیک در روز ۷۵ پس از سبز شدن حاصل شد، ضمن آن که روند افزایشی آن در طی فصل رشد، نسبت به کودهای بیولوژیک از شیب کمتری برخوردار بود و در روز ۷۵ پس از سبز شدن، همچنان روند صعودی خود را حفظ کرده بود (شکل ۳).

کامکار و همکاران (۵) گزارش کردند که جذب نور در سه گونه ارزن تا حدود ۷۰ روز پس از کاشت، افزایش و بعد از آن مقدار کسر جذب نور به‌دلیل ریزش طبیعی برگ‌ها در هر سه گونه کاهش یافت. آنها همچنین بیان کردند که گونه‌های گیاهی با مسیر فتوسنتزی مشابه، از نظر کسر جذب نور ممکن است متفاوت باشند.



شکل ۲- تغییرات کل تشعشع رسیده به سطح زمین در طول سال (بر اساس تقویم میلادی) (محدوده بین دو خط نقطه چین، دوره رشد کنجد را نشان می‌دهد).



شکل ۳- کسر نور جذب شده توسط کنجد در طول فصل رشد تحت تأثیر انواع کود بیولوژیک Nitroxin، PSB ، SSB و Control به ترتیب نشاندهنده تلفیق با نیتروکسین، بیوفسفر و بیو سولفور و بدون تلقیح (شاهد) می باشند.

حداکثر کسر جذب نور در آزمایش کامکار و همکاران (۵) در ۱۵ شهریور حاصل شد که با نتیجه این پژوهش همخوانی دارد. با مقایسه شکل‌های ۱ و ۳، می‌توان نتیجه گرفت که کودهای بیولوژیک نسبت به شاهد، سبب تولید سطح برگ بیشتر و زودهنگام در کنجد شدند که این موضوع از دیدگاه تولید ماده خشک از اهمیت زیادی برخوردار می‌باشد (۳۳).

گزارش‌های زیادی مبنی بر اثر مثبت کودهای بیولوژیک بر افزایش سطح برگ گیاهان زراعی وجود دارد، برای مثال، جهان (۲) گزارش کرد که شاخص سطح برگ ذرت در نتیجه استفاده از باکتری‌های *ازوتوباکتر* و *آزوسپیریلوم*، به‌طور معنی‌داری بیشتر از تیمار شاهد بود. گوش (۱۰) ضمن بررسی اثر کودهای بیولوژیک و هورمون‌های رشد بر تولید کنجد، گزارش کرد که کارآیی جذب انرژی تابشی به میزان سطح برگ و توزیع برگ‌ها در داخل سایه‌انداز، بستگی داشت.

کامکار و همکاران (۵) گزارش کردند که ساختار کانوپی در ارزن معمولی در مقایسه با ارزن مرواریدی و گاورس زرد، به‌شکلی بود که با وجود داشتن سطح برگ بیشتر، بخش عمده تشعشع رسیده به سطح کانوپی در قسمت بالا و تاج کانوپی جذب شد. او این حالت را به کم بودن ارتفاع و فاصله میانگره‌های ساقه در ارزن معمولی نسبت به دو گونه‌ی دیگر نسبت داد که در نهایت مانع از نفوذ تشعشع غیرمستقیم به بخش‌های زیرین کانوپی و در نتیجه کاهش کارآیی مصرف نور شد. راسموسن (۲۶) یک از راه‌های افزایش کارآیی جذب تشعشع توسط کانوپی را، توزیع بهتر نور در کانوپی که خود وابسته به آرایش برگ‌ها می‌باشد، ذکر نموده است. نصیری محلاتی (۶) بیان کرد که به‌منظور توصیف الگوی جذب نور در کانوپی می‌توان از تغییرات توزیع عمودی سطح برگ بهره گرفت. کامکار و همکاران (۵) به نقل از آلن و همکاران بیان کردند که کاهش مقدار تشعشع غیرمستقیم در زیر کانوپی، می‌تواند کاهش کارآیی مصرف نور را به‌همراه داشته باشد. در پژوهش حاضر، کارآیی مصرف نور در تیمار شاهد کمتر از تیمارهای کود بیولوژیک بود (جدول ۲).

جدول ۲- مقایسه‌میانگین برخی از شاخص‌های رشدی کنجد در شرایط کشت و عدم‌کشت گیاهان پوششی و استفاده از کودهای بیولوژیک

تیمار	حداکثر شاخص سطح برگ	عملکرد دانه (تن در هکتار)	عملکرد بیولوژیک (تن در هکتار)	شاخص برداشت	روغندانه (درصد)	پروتئین دانه (درصد)	ضریب خاموشی نور	کارآیی مصرف نور (گرم بر مگاژول)
کشت گیاهان پوششی	۳/۲۰	۳/۳۳a*	۱۵/۲۹b	۱۸/۸۵a	۳۸/۴۰a	۱۴/۴۵a	-۰/۷۳	۱/۲۲
عدم کشت گیاهان پوششی	۳/۲۷	۳/۰۴b	۱۷/۱۲a	۱۸/۲۷a	۳۸/۱۱a	۱۵/۰۷a	-۰/۷۰	۱/۰۴
نیتروکسین	۳/۵۴	۳/۵۴a	۲۰/۹۲a	۱۸/۵۷b	۳۶/۰۱b	۱۱/۰۴b	-۰/۶۸	۱/۲۴
بیوفسفر	۳/۴۷	۳/۳۴b	۱۶/۲۲b	۱۹/۴۰ab	۳۸/۹۷ab	۲۰/۰۴a	-۰/۷۰	۰/۹۶
بیوسولفور	۳/۴۶	۳/۲۵b	۱۵/۹۳b	۲۰/۹۱a	۳۹/۴۶a	۱۵/۱۱ab	-۰/۶۹	۱/۳۱
بدون کود (شاهد)	۲/۴۷	۲/۶۱c	۱۱/۷۵c	۱۵/۳۵c	۳۸/۵۸ab	۱۲/۸۴b	-۰/۷۸	۱/۰۹

* - در هر ستون، میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، در سطح احتمال ۵ درصد، تفاوت معنی‌دار ندارند.

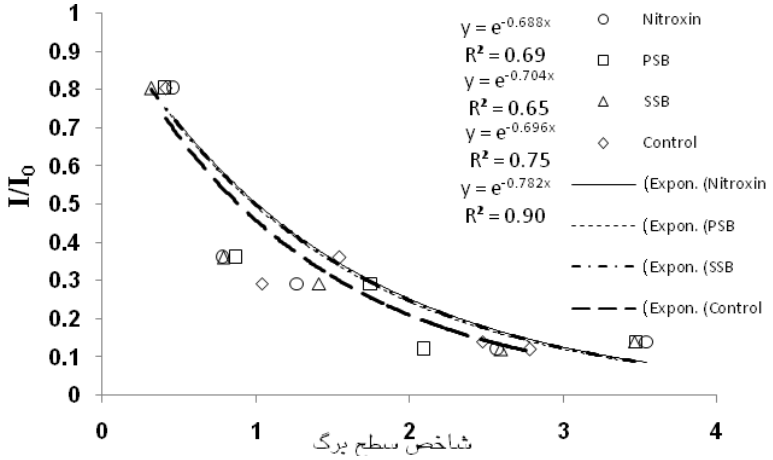
ضریب خاموشی نور و تجمع ماده خشک در کنجد

همان‌گونه که در شکل ۴ مشاهده می‌شود کسر نور عبور کرده از کانوپی در کلیه تیمارهای کودی، با افزایش شاخص سطح برگ به‌طور نمایی کاهش یافت، با این تفاوت که میزان نور عبور یافته در تیمار شاهد تا قبل از شاخص سطح برگ ۱/۵، بیشتر و بعد از آن، کمتر از کودهای بیولوژیک بود (شیب منحنی نور عبور کرده از کانوپی در برابر شاخص سطح برگ که نشان دهنده ضریب خاموشی نوراست برای تیمار شاهد برابر با ۰/۷۸- در مقابل ۰/۶۹- برای کودهای بیولوژیک بود). زمانی‌که کسر نور جذب شده (کسر نور عبور یافته – ۱)، حدود ۰/۹ بود، شاخص سطح برگ کنجد در نتیجه استفاده از کودهای بیولوژیک، تقریباً ۱ واحد بیشتر از شاخص سطح برگ در تیمار شاهد بود (شکل ۴). به‌طور کلی، شاخص سطح برگ با مقدار ماده خشک اندام هوایی، همبستگی مثبت و با مقدار نور عبور کرده از کانوپی، همبستگی منفی دارد (۶ و ۴). در این پژوهش نیز، مقایسه شکل‌های تغییرات شاخص سطح برگ و تغییرات ماده خشک تجمعی در نتیجه کاربرد کودهای بیولوژیک، به‌خوبی این موضوع را نشان می‌دهد، به‌عبارت دیگر، روند تغییرات شاخص سطح برگ (شکل ۱) و به دنبال آن کسر نور جذب شده (شکل ۳)، کاملاً منطبق با روند تغییرات ماده خشک تجمعی (شکل ۶) در طی فصل رشد کنجد بود.

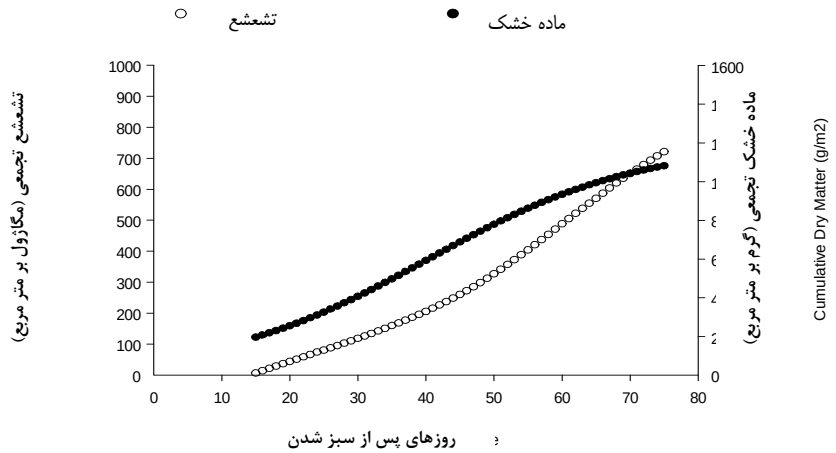
افزایش میزان جذب تشعشع و به‌دنبال آن افزایش سرعت رشد در گیاهان، همزمان با بسته شدن کانوپی و مرحله خطی رشد برگ می‌باشد (۴ و ۶). نتایج آزمایش حاضر (شکل ۵) نشان داد که این مرحله در کنجد، از ۳۰ روز پس از سبز شدن شروع و تا ۶۰ روز پس از سبز شدن ادامه یافت و با روند کسر نور جذب شده (شکل ۳) و به‌دنبال آن تجمع ماده خشک (شکل ۶)، همخوانی کامل داشت.

شکل ۶ روند تجمع ماده خشک کنجد در نتیجه استفاده از کودهای بیولوژیک را طی فصل رشد نشان می‌دهد. شیب زیاد نور عبور کرده در تیمار شاهد (شکل ۴) در شیب کمتر منحنی مربوط به تجمع ماده خشک در این تیمار (شکل ۶)، به‌روشنی آشکار شد. تجمع ماده خشک در گیاهان، با کسر تشعشع جذب شده توسط آنها همبستگی کامل دارد (۳۱ و ۳۴)، در پژوهش حاضر، همخوانی روند تغییرات کسر تشعشع جذب شده (شکل ۳) با روند مربوط به تغییرات ماده خشک تجمع یافته در کنجد (شکل ۶) تأییدی بر صحت این ادعا می‌باشد. تجمع ماده خشک در نتیجه‌ی کاربرد تیمارهای کود بیولوژیک تا ۴۵ روز پس از سبز شدن کند و بعد از آن تا ۶۰ روز پس از سبز شدن به‌سرعت افزایش یافت، به‌طوری که از ۴۹۲/۵ به ۱۳۴۴، و از ۶۴۵ به ۱۳۱۶/۵ و از ۵۲۵/۵ به ۱۳۱۳ گرم در متر مربع به‌ترتیب برای نیتروکسین، بیوفسفر و بیوسولفور رسید. کاهش ماده‌ی خشک تولیدی در نتیجه‌ی استفاده از یک تیمار می‌تواند به‌دلیل پیری زودهنگام و یا ریزش برگ‌ها باشد، ولی در این آزمایش، کم بودن ماده‌ی خشک حاصل از تیمار شاهد، علی‌رغم داشتن بیشترین ضریب خاموشی نور، به‌دلیل کم بودن کارآیی مصرف نور در این تیمار بود (جدول ۲). ال‌حباشا و همکاران (۹) و کومار و همکاران (۱۹) گزارش کردند که تلقیح کنجد با کودهای بیولوژیک، سبب افزایش عملکرد و اجزای عملکرد، عملکرد بیولوژیک، میزان پروتئین و روغن دانه شد.

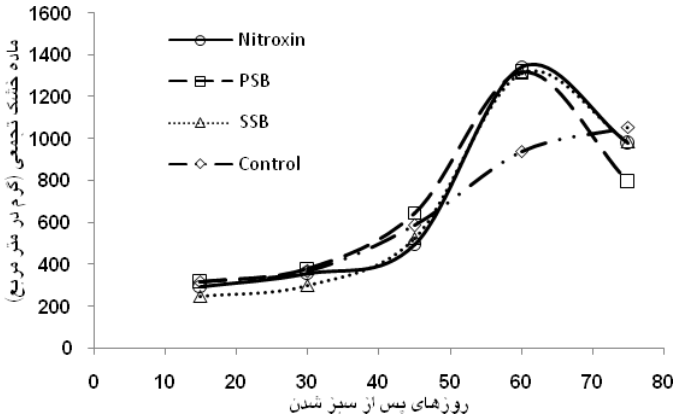
کشت گیاهان پوششی تا ۶۰ روز پس از سبز شدن، تفاوتی در تجمع ماده خشک کنجد ایجاد نکرد، اما در روز ۷۵ پس از سبز شدن، برتری کشت گیاهان پوششی آشکار شد، در این زمان تیمار دارای گیاه پوششی با تولید ۱۶۸ گرم ماده خشک در متر مربع، بیشتر از تیمار عدم کشت گیاه پوششی، برتری ۱۹ درصدی نشان داد (شکل ۷).



شکل ٤– روند تغییرات نسبت نور عبور کرده از کانوپی در برابر شاخص سطح برگ کنجد در نتیجه‌ی استفاده از کودهای بیولوژیک Nitroxin، PSB ، SSB و Control به ترتیب نشاندهنده تلفیق با نیتروکسین، بیوفسفر و بیو سولفور و بدون تلقیح (شاهد) می باشند.



شکل ۵– روند کلی تغییرات تشعشع تجمعی و ماده خشک تجمعی کنجد طی فصل رشد

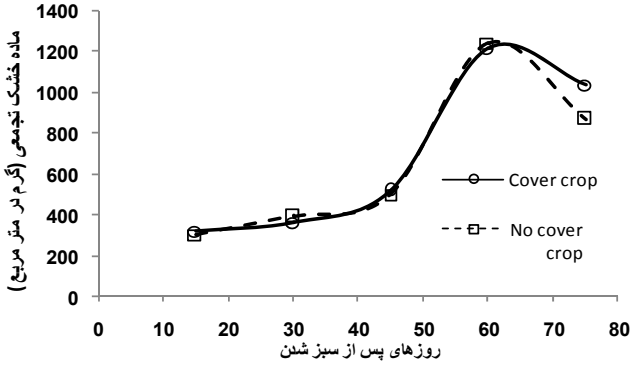


شکل٦– روند تجمع ماده خشک کنجد در طول فصل رشد در نتیجه استفاده از کودهای بیولوژیک و بدون کود Nitroxin، PSB ، SSB و Control به ترتیب نشاندهنده تلفیق با نیتروکسین، بیوفسفر و بیو سولفور و بدون تلقیح (شاهد) می باشند.

تولید ماده خشک گیاهی، به میزان تشعشع جذب شده و کارآیی مصرف نور بستگی دارد، از سوی دیگر، جذب نور توسط گیاه،خود تحت تأثیر مستقیم میزان تشعشع برخورد کرده به کانوپی و شاخص سطح برگ می‌باشد (۴،۶ و ۲۳) که نتایج آزمایش حاضر با این اصل همخوانی دارد. با توجه به تفاوت معنی‌دار عملکرد بیولوژیک کنجد در نتیجه‌ی استفاده از کودهای بیولوژیک نسبت به شاهد (جدول ۲) می‌توان چنین نتیجه گرفت که کودهای بیولوژیک به‌ویژه در حالت عدم کشت گیاهان پوششی (شکل ۱ الف) احتمالاً از طریق تأثیر بر نسبت‌های هورمونی در گیاه (۳۸)، سبب اختصاص ماده‌ی خشک بیشتر برای تولید برگ بیشتر در کنجد شدند. با در نظر گرفتن این نکته و نیز توجه به ضرایب خاموشی نور تیمارهای ذکر شده (جدول ۲) می‌توان نتیجه گرفت که کودهای بیولوژیک با داشتن ضریب خاموشی نور کمتر در مقایسه با شاهد (شکل ۴)، احتمالاً بر توزیع فضایی برگ کنجد تأثیر گذاشتند.

روند تغییرات شاخص سطح برگ کنجد در اثر کاربرد کودهای بیولوژیک و کشت گیاه پوششی (شکل ۱الف) و کارآیی مصرف نور کنجد در نتیجه‌ی کشت گیاه پوششی (شکل ۸)، بیانگر بیشتر بودن ماده خشک تجمعی در نتیجه‌ی کشت گیاهان پوششی می‌باشد. برخی گزارش‌ها حاکی از آن است که نیتروژن موجود در بقایای گیاهان پوششی در طول زمان آزاد شده و برای گیاه زراعی بعدی قابل استفاده خواهد بود (۳۲).

مقایسه دو شکل مربوط به تجمع ماده خشکطی فصل رشد (شکل‌های ۶ و ۷) بیانگر آن است که بخش عمده‌ی افزایش در ماده خشک، در فاصله بین روزهای ۴۵ تا ۶۰ پس از سبز شدن (از نیمه تا انتهای مرداد ماه)، یعنی هنگامی که گیاه در مرحله رشد خطی قرار داشت، حاصل شد. برخی محققین (۱) سرعت کم افزایش در ماده خشک تجمعی در ابتدای فصل رشد را علیرغم رشد نمایی گیاه، به افزایش وزن ریشه و محاسبه نشدن آن در مقدار عملکرد ماده خشک گیاه نسبت داده‌اند.



شکل ۷– روند تجمع ماده خشک کنجد طی فصل رشد در حالت کشت و عدم کشتگیاهان پوششی No Cover Crop، و Cover Crop به ترتیب نشاندهنده عدم کاشت و کاشت گیاهان پوششی می باشد.

کارآیی مصرف نور

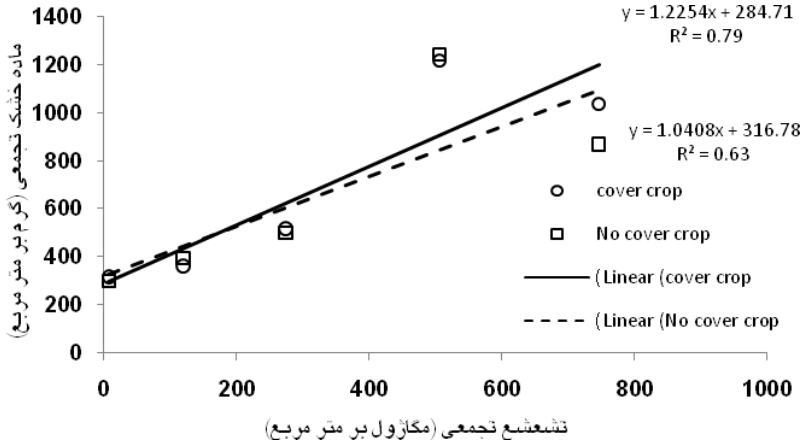
کارآیی مصرف نور کنجد در نتیجه کشت گیاهان پوششی، به اندازه ۰/۱۸ بیشتر از تیمار عدم کشت گیاهان پوششی بود (شکل ۸). شیب خط رگرسیونی برازش یافته به تغییرات ماده خشک تجمعی طی فصل رشد در برابر تشعشع تجمعی جذب شده، بیانگر کارآیی مصرف نور توسط گیاه می‌باشد (۶، ۲۱، ۲۳ و ۳۴).

کارآیی مصرف نور کنجد در نتیجه کاربرد بیوسولفور و نیتروکسین به‌ترتیب ۱/۳۱ (R^2=۰/۷۲) و ۱/۲۴ (R^2=۰/۶۷) و برای بیوفسفر و تیمار شاهد به‌ترتیب ۰/۹۶ (R^2=۰/۵۱) و ۱/۰۹ (R^2=۰/۹۶) بود (شکل ۹). به‌نظر می‌رسد که مزایای ناشی از باکتری‌های همیار موجود در نیتروکسین، مثل تثبیت نیتروژن، ترشح اسیدهای آلی و هورمون‌های رشد، و نیز گوگرد آزاد شده در اثر فعالیت باکتری‌های حل‌کننده گوگرد موجود در بیوسولفور، سبب افزایش کارآیی مصرف نور در گیاهان تحت این تیمارها شد. گوگرد، همانند نیتروژن جزء مهمی از پروتئین‌های گیاهی است. گوگرد در ساختمان اسیدهای آمینه مانند متیونین، سیستین و سیستئین، در تشکیل کلروفیل و نیز در فرآیند تولید روغن در کنجد، سویا و کتان دخالت دارد (۳۹). سلطانی و همکاران (۳۷) گزارش کردند که کارآیی استفاده از تشعشع تحت شرایط مطلوب رشد ثابت است، ولی دماهای نامناسب می‌توانند سبب کاهش آن شوند. بیشتر بودن کارآیی مصرف نور در نتیجه استفاده از نیتروکسین و بیوسولفور در این پژوهش، شاید به دلیل اثر باکتری‌های موجود در این کودها در تخفیف تنش وارده به گیاه (۳۸) و درنقطه‌ی مقابل، بروز تنش بیشتر در تیمار شاهد باشد. جذب نور بیشتر در تیمار شاهد تا حدود ۴۵ روز پس از سبز شدن (شکل ۳)، به‌دلیل کارآیی کم مصرف نور در این تیمار (جدول ۲) منجر به تولید ماده خشک بیشتر نسبت به تیمار کودهای بیولوژیک نشد.

پارسا و همکاران (۱) بیان کردند که ضریب خاموشی و کارآیی مصرف نور، بسته به مدیریت اعمال شده نظیر رقم مورد استفاده، کنترل یا عدم کنترل علف‌های هرز، آبیاری و تنش خشکی و غیره قرار می‌گیرد و لذا می‌تواند در زمان‌ها و مکان‌های مختلف، کمی متفاوت باشد. کولینو و همکاران (۸) گزارش کردند که کارآیی مصرف نور بادام‌زمینی در اثر تنش خشکی کاهش یافت. موریسون و استوارت (۲۴) گزارش کردند که با افزایش تراکم کلزا، کارآیی مصرف نور آن کاهش یافت.

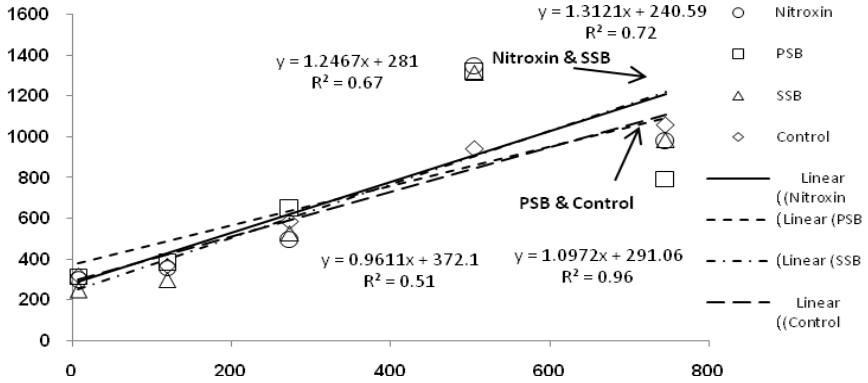
میانگین حداکثر کارآیی مصرف نور برای گیاهان چهار کربنه نیشکر، ذرت و سورگوم به‌ترتیب ۲، ۱/۷۷ و ۱/۴۰ و برای گیاهان سه‌کربنه سیب‌زمینی، آفتابگردان، برنج و جو به‌ترتیب ۱/۷، ۱/۵۶، ۱/۴۶، ۱/۳۹ و ۱/۳۰ گزارش شده است (۳۴). در پژوهش حاضر، میانگین کلی کارآیی مصرف نور کنجد، ۱/۱۹ گرم ماده خشک در متر مربع به ازای مگاژول تشعشع در متر مربع (R^2=۰/۹۵) برآورد گردید (شکل ۱۰).

سلطانی (۴) به نقل از همر و همکاران بیان داشت که در برخی از گیاهان زراعی مثل گیاهان زراعی روغنی، ترکیب بیوشیمیایی بافت دانه متفاوت از بافت گیاه است و در طول دوره‌ی پر شدن دانه که فتوسنتز گیاه صرف ساخت ترکیبات غنی از انرژی مثل روغن می‌شود، ممکن است که کارآیی استفاده از تشعشع کاهش یابد. همچنین، بیان شده است که در برخی از گیاهان، انتقال مجدد نیتروژن باعث کاهش غلظت نیتروژن در برگ‌ها می‌شود که در نتیجه‌ی آن کارآیی استفاده از تشعشع کاهش خواهد یافت (۴). پارسا و همکاران (۱) ضمن بررسی تغییرات کارآیی مصرف نور چغندر قند طی فصل رشد، بیان داشتند که مقدار عددی کارآیی مصرف نور ممکن است تحت تأثیر ژنوتیپ، محیط و مدیریت زراعی تغییر کند، ولی الگوی سیگموئیدی آن به‌ندرت تحت تأثیر عوامل فوق قرار می‌گیرد. به‌نظر می‌رسد که پیدایش، رشد و توسعه و در نهایت پیری اندام‌های گیاهی (شاخ و برگ و ریشه) و نیز عوامل اقلیمی مؤثر بر ظرفیت فتوسنتزی گیاه، این الگو را تحت تأثیر قرار می‌دهند (۲۰).



شکل ۸– میزان ماده خشک تجمعی در کنجد به عنوان تابعی از تشعشع تجمعی در دو حالت کشت و عدم کشت گیاهان پوششی (شیب خط رگرسیون، نشان دهنده کارآیی مصرف نور است).

No Cover Crop، و Cover Crop به ترتیب نشاندهنده عدم کاشت و کاشت گیاهان پوششی می باشد.



شکل ۹– میزان ماده خشک تجمعی کنجد به‌عنوان تابعی از تشعشع تجمعی در نتیجه استفاده از کودهای بیولوژیک (شیب خط رگرسیون، نشان دهنده کارآیی مصرف نور است).

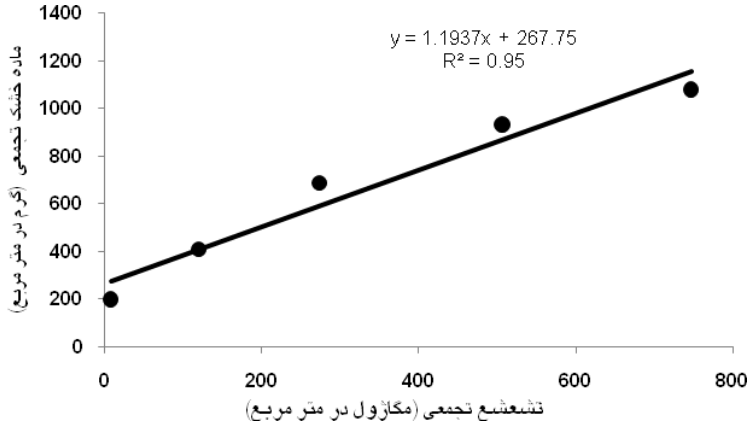
Nitroxin، PSB ، SSB و Control به ترتیب نشاندهنده تلفیق با نیتروکسین، بیوفسفر و بیو سولفور و بدون تلقیح (شاهد) می باشند.

گزارش شده است که الگوی تغییرات کارآیی مصرف نور تا حد زیادی از الگوی تغییرات سطح برگ گیاه پیروی می کند (۱).

برخی محققان (۳۶، ۲۰، ۱۵) بیان کرده‌اند که چنانچه شرایط محیطی برای رشد گیاه مطلوب باشد، تغییرات در کارآیی مصرف نور اندک است و لذا می‌توان حداکثر کارآیی مصرف نور را به‌عنوان ثابت کارآیی مصرف نور در نظر گرفت.

نتیجه‌گیری

بیشترین مقادیر شاخص سطح برگ کنجد در هر دو حالت کشت و عدم کشت گیاهان پوششی، در نتیجه‌ی استفاده از کودهای بیولوژیک حاصل شد (شکل ۱)، همچنین کودهای بیولوژیک نسبت به شاهد در هر دو حالت کشت و عدم کشت گیاهان پوششی، زمان رسیدن به حداکثر شاخص سطح برگ را تسریع نمودند (شکل ۱). به جز دو هفته‌ی آخر فصل رشد، کسر نور جذب شده توسط برگ‌ها در تیمارهای کود بیولوژیک، شیب بیشتری نسبت به شاهد داشت (شکل ۳) و کاملاً منطبق با روند تغییرات شاخص سطح برگ بود. روند تجمع ماده‌ی خشک کنجد (شکل ۶) به‌طور منطقی از روند تغییرات شاخص سطح برگ (شکل ۱) و به‌دنبال آن از روند تغییرات کسر نور جذب شده (شکل ۳)، پیروی کرد و برای کودهای بیولوژیک به‌ویژه در روز شصتم پس از سبز شدن به‌طور چشمگیری بیشتر از شاهد بود.



شکل ۱۰- میزان ماده خشک تجمعی در کنجد به عنوان تابعی از تشعشع تجمعی (شیب خط رگرسیون، نشان دهنده کارآیی مصرف نور است).

از نظر صفات ذکر شده، نیتروکسین و بیوسولفور نسبت به بیوفسفر برتری داشتند، اگرچه عملکرد بیولوژیک و دانه کنجد در نتیجه‌یکاربرد بیوفسفر به اندازه بیوسولفور بود و این دو در رتبه پایین‌تری نسبت به نیتروکسین قرار داشتند،ولی بیشترین شاخص برداشت، میزان روغن و پروتئین دانه را به خود اختصاص دادند و از این نظر (به‌جز درصد روغن) با شاهد تفاوت معنی‌دار داشتند (جدول ۲).

کارآیی مصرف نور کنجد در نتیجه‌ی کشت گیاهان پوششی به اندازه‌ی ۰/۱۸ بیشتر از عدم کشت گیاهان پوششی بود (شکل ۸). همچنین، کارآیی مصرف نور کنجد در نتیجه کاربرد بیوسولفور و نیتروکسین به اندازه ۰/۴۶ بیشتر از بیوفسفر و تیمار شاهد بود (شکل ۹). به‌طور کلی، نتایج این پژوهش نشان داد که استفاده از کودهای بیولوژیک (به‌ویژه بیوسولفور و نیتروکسین) همراه با کشت گیاهان پوششی، می‌تواند سبب استفاده‌ی کارآتر از نور تابیده به کانوپی و جذب شده توسط برگ‌های کنجد گردد. این نکته در مناطق خشک و نیمه‌خشک همچون کشور ما و نیز در مناطقی که نظام‌های کشاورزی کم‌نهاده استقرار و گسترش یافته‌اند، می‌تواند از اهمیت زیادی برخوردار باشد.

قدردانی

بودجه‌ی این طرح (کد ۱۵۰۱۹/۲) از محل اعتبار پژوهه معاونت محترم پژوهشی دانشگاه فردوسی مشهد تأمین شده است که بدینوسیله سپاسگزاری می‌شود. لازم به ذکر است که آقای دکتر مهدی نصیری محلاتی، مجری دوم این پژوهش می‌باشند، ولی اسم ایشان به‌دلیل مقررات مربوط به انتشار مقالات سردبیران نشریات علمی- پژوهشی، در عنوان مقاله نیامده است.

منابع

۱- پارسا، س. ، ع. کوچکی، م. نصیری محلاتی و ع. قائمی. ۱۳۸۶. تغییرات فصلی دریافت و کارآیی مصرف نور در چغندر قند. پژوهش‌های زراعی ایران، ۵(۲): ۲۳۸-۲۲۹.

۲- جهان، م. ۱۳۸۷. بررسی جنبه‌های اگرواکولوژیکی همزیستی ذرت با میکوریز آربوسکولار و باکتری‌های آزادزی تثبیت‌کننده نیتروژن در نظام‌های زراعی رایج و اکولوژیک. پایان‌نامه دکتری زراعت (گرایش اکولوژی)، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد.

۳- رضوانی مقدم، پ. ، ق. نوروزپور، ج. نباتی و ع. ا. محمدآبادی. ۱۳۸۴. بررسی خصوصیات مورفولوژیک، عملکرد دانه و روغن کنجد در تراکم‌های مختلف بوته و فواصل آبیاری. پژوهش‌های زراعی ایران، ۳(۱): ۶۸-۵۷.

۴- سلطانی، ا. ۱۳۸۸. مدل‌سازی ریاضی در گیاهان زراعی. انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد.

۵- کامکار، ب. ، ع. کوچکی، م. نصیری محلاتی و پ. رضوانی مقدم. ۱۳۸۳. ارزیابی کارآیی مصرف نور و رابطه آن با تولید ماده خشک در سه گونه ارزن. پژوهش‌های زراعی ایران، ۲(۲): ۲۰۷-۱۹۶.

۶- نصیری محلاتی، م. ۱۳۷۹. مدلسازی فرآیندهای رشد گیاهان زراعی. (ترجمه). انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد، ۲۸۰ صفحه.

۷- وفابخش، ج. ، م. نصیری محلاتی و ع. کوچکی. ۱۳۸۷. اثر تنش خشکی بر عملکرد و کارآیی مصرف نور در ارقام کلزا (*Brassica napus*

(.L. پژوهش‌های زراعی ایران، ۶(۱): ۲۰۴-۱۹۳.

8- Collino, D. J. , J. L. Dardanelli, R. Sereno, and R. W. Racca. 2001. Physiological responses of Argentine varieties to water stress, light interception, radiation use efficiency and partitioning of assimilates. Field Crops , Respectively, 70: 177-184.
9- El-Habbasha, S. F. , M. S. Abd El Salam and M. O. Kabesh. 2007. Response of two sesame varieties (*Sesamum indicum* L.) to partial replacement of chemical fertilizers by bio-organic fertilizers. Research Journal of Agriculture and Biological Sciences, 3(6): 563-571.
10- Ghosh, D. C. 2000. Growth and productivity of summer sesame (*Sesamum indicum*) as influenced by biofertilizer and growth-regulator. Indian Journal of Agronomy. 45(2): 389-394.
11- Ghosh, D. C. and M. Mohiuddin. 2000. Responseof summer sesame (*Sesamum indicum*) tobiofertilizer and growth regulator. AgriculturalSci. 20(2): 90-92.
12- Hay, R. K. M., and Walker, A. J. 1989. An introduction to the physiology of crop yield. Longman, Essex, GB. 292 p.
13- Jaggard, K. and C. Clark. 2000. Growth of sugar beet crops in 1999. British Sugar Beet Review. 68(1): 6-11.
14- Kamh, M. , W. J. Horst, F. Amer, H. Mostafa and P. Maier. 1999. Mobilization of soil and fertilizer phosphate by cover crops. Plant and Soil. 211: 19-27.
15- Kemanian, A. R. , C. O. Stockle and D. R. Huggins. 2004. Variability of barley radiation use efficiency. Crop Sci. 44: 1662-1672.
16- Kennedy, I. R. , A. T. M. A. Choudhury, M. L. Kecskes, R. J. Roughley and N. T. Hien. 2004. Non-symbiotic bacterial diazotrophs in crop-farming systems: can their potential for plant growth promotion be better exploited? Soil Biology and Biochemistry. 36 (8): 1229-1244.
17- Kokilavani, S. , R. Jagannathan, R. Selvaraju and N. Thavaparakash. 2007. Influence of terminal clipping on growth and yield of sesame varieties. Asian J. Agric. Res, 1(3): 142-145.
18- Kropff, M. J. , Van H. H. Laar. 1993. Modelling crop-weed interactions. CAB International, Wallingford and International Rice Research Institute, Manila.
19- Kumar, S. , P. Pandey and D. K. Maheshwari. 2009. Reduction in dose of chemical fertilizers and growth enhancement of sesame (*Sesamum indicum* L.) with application of rhizospheric competent *Pseudomonas aeruginosa* LES4. European Journal of Soil Biology, 45: 334-340.
20- Lecoeur, J. and B. Ney. 2003. Change with time in potential radiation use efficiency in field pea. Eur. J. Agron, 19: 91-105.
21- Lindquist, J. L. , T. J. Arkebauer, D. T. Walters, K. G. Cassman, A. Dobermann. 2005. Maize radiation use efficiency under optimal growth conditions. Agron. J., 97: 72-78.
22- Milford, G. F. J. , K. Z. Travis, T. O. Pockock, K. W. Jaggard and W. Day. 1988. Growth and dry matter partitioning in sugar beet. J. Agric. Sci. Camb. 110: 301-308.
23- Monteith, J. L. 1977. Climate and the efficiency of crop production in Britain. Phil. Trans. R. Soc. Lond. 281: 277-294.
24- Morrison, M. J. and D. W. Stewart. 1995. Radiation use efficiency in summer rape. Agron. J., 87: 1139-1142.
25- Muchow, R. C. and T. R. Sinclair. 1994. Nitrogen response of leaf photosynthesis and canopy radiation use efficiency in field grown maize and sorghum. Crop Sci, 34: 721-727.
26- Rasmusson, D. C. 1987. An evaluation of ideotype. Crop Sci, 27:1140.
27- Richter. J. , M. Stutzer and I. Schellenberg. 2005. Effects of mycorrhization on the essential oil content and composition of aroma components of marjoram (*Marjorana hortensis*), thyme (*Thymus vulgaris* L.) and caraway (*Carum carvi* L.). 36th International Symposium on Essential Oils, 4-7 September, Budapest, Hungary.
28- Ritcher, G. M. , K. W. Jaggard and R. A. C. Mitchell. 2001. Modeling radiation interception and radiation use efficiency for sugar beet under variable climatic stress. Agric. For. Meteorol, 109: 13-25.
29- Rizzalli, R. H. , F. J. Villalobos, and F. Orgaz. 2002. Radiation interception, radiation use efficiency and dry matter partitioning in garlic (*Allium sativum* L.). Eur. J. Agron, 18: 33-43.
30- Rosati, A., and T. M. Duong. 2003. Estimating photosynthetic radiation use efficiency using incident light and photosynthesis of individual leaves. Ann. Bot, 91: 869-877.
31- Rosati, A. , S. G. Metcalf and B. D. Lampinen. 2004. A simple method to estimate photosynthetic radiation use efficiency of canopies. Ann. Bot. 93: 567-574.
32- Sainju, U. M. 2006. Cover crops for sustaining vegetable production, improving soil and water qualities, and controlling weeds and pests. In: R, Dris, (Ed). Vegetables: Growing Environment and Mineral Nutrition. Binghamton, New York: Hawthorn Press, Inc. p. 281-296.
33- Scott, R. K., and K. W. Jaggard. 2000. Impact of weather, agronomy and breeding on yields of sugar beet grown in UK since 1970. J. Agric. Sci. Camb, 134: 341-352.
34- Sinclair, T. R. and R. C. Muchow. 1999. Radiation use efficiency. Adv. Agron, 65: 215-265.
35- 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.
36- Sinclair, T. R. , J. R. Farias, N. Neumaier, and A. L. Nepomuceno. 2003. Modelling nitrogen accumulation and use by soybean. Field Crops Res, 81: 149-158.
37- Soltani, A. G. Hoogenboom. 2007. Assessing crop management options with crop simulation models based on

generated weather data. Field Crops Res, 103: 198-207.
38- Vessey, J. K. 2003. Plant growth promoting rhizobacteria as biofertilizers. Plant and Soil, 255: 571- 586.
39- Weiss, E. A. , 2000. Oilseed Crops. 2nd Edition. Blackwell Science LTD, Osney Mead, Oxford, OX2 0EL, U. K. Hardback. 374 pp. ISBN: 0-632-05259-7.
40- Werker, A. R., and K. W. Jaggard. 1998. Dependence of sugar beet yield on light interception and evapotranspiration. Agric. For. Meteorol, 89: 229-240.