دانشگاه آزاد اسلامی واحد ارسنجان

مجله علمی پژوهشی اکوفیزیولوژی گیاهی
سال یازدهم، شماره سی و هفتم، ۱۳۹۸

اعتبارسنجی ضریب خاموشی نور و ارزیابی کارایی مصرف نور کنجد با کاربرد کودهای مختلف زیستی و شیمیایی

محمدجواد مصطفوی[۱]، مهدی نصیری‌محلاتی[۲]، علیرضا کوچکی[۲]

دریافت: ۹۵/۹/۲۸ پذیرش: ۹۶/۹/۲

چکیده

به منظور ارزیابی کارایی مصرف نور در گیاه کنجد در شرایط مصرف کودهای زیستی و شیمیایی و محاسبه ضریب خاموشی نور، آزمایشی در سال ۱۳۹۲ در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۱۰ تیمار و سه تکرار انجام شد. تیمارها شامل کاربرد کودهای زیستی نیتروکسین، بیوفسفر، بیوسولفور، ترکیب نیتروکسین-بیوفسفر، ترکیب نیتروکسین-بیوفسفر-بیوسولفور، کودهای شیمیایی اوره، سوپرفسفات‌تریپل، ترکیب اوره-سوپرفسفات‌تریپل، ترکیب اوره-سوپرفسفات‌تریپل-گوگرد و شاهد (بدون مصرف کود) بود. نتایج نشان داد که ضریب خاموشی نور گیاه کنجد برابر با ۰/۷ مقداری قابل قبول بود. کودهای زیستی و شیمیایی شاخص سطح برگ و کارایی مصرف نور کنجد را افزایش دادند و بطور کلی کودهای شیمیایی کارایی مصرف نور را بیشتر از کودهای زیستی افزایش داند. بالاترین شاخص سطح برگ (۳/٤۲) و (۳/۳۲) به ترتیب مربوط به تیمارهای سه‌گانه و دوگانه شیمیایی بود. کارایی مصرف نور در تیمارهای ترکیبی کودهای زیستی و شیمیایی، بخصوص ترکیب سه‌گانه زیستی و شیمیایی (به ترتیب برابر با ۱/۳٤ و ۱/٤۱)، بیشتر از کاربرد منفرد آن کودها بود. کود اوره با مقدار کارایی مصرف نور ۱/۳٤، کارایی مصرف نور کنجد را بیشتر از نیتروکسین (۱/۱٤) افزایش داد در حالی که میزان افزایش آن در تیمارهای سوپرفسفات تریپل (۱/۲٦) و بیوفسفر (۱/۲۵) تقریبا یکسان بود. بنابراین توصیه می‌شود که کوددهی به کنجد بصورت ترکیبی از چند کود متفاوت زیستی یا شیمیایی انجام شود تا با تامین حداکثری نیاز تغذیه‌ای گیاه، کارایی مصرف نور بیشتری نیز به دست آید.

واژه‌های کلیدی: اعتبارسنجی، بیوفسفر، بیوسولفور، شاخص سطح برگ، نیتروکسین

مصطفوی، م.ج.، م. نصیری محلاتی و ع.ر. کوچکی. ۱۳۹۸. اعتبارسنجی ضریب خاموشی نور و ارزیابی کارایی مصرف نور کنجد با کاربرد کودهای مختلف زیستی و شیمیایی. مجله اکوفیزیولوژی گیاهی. ۳۷: ۱۳۳-۱۲۱.

۱- دانشجوی دکتری اگرواکولوژی، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران- مسئول مکاتبات. mj.mostafavi@stu.um.ac.ir

۲- استاد گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

مقدمه

مدل‌های مورد استفاده در کشاورزی شامل دو نوع مدل‌های تجربی و مکانیسم‌گرا هستند که نقش، جایگاه و کاربرد دقیق انواع مدل‌ها به‌خصوص مدل‌های مکانیسم‌گرا در پژوهش‌های کشاورزی ایران بدلیل نوپا بودن هنوز بخوبی شناخته شده نیست (نصیری‌محلاتی، ۱۳۸۷ب). معادله قانون بیر-لامبرت[1] یکی از ساده‌ترین مدل‌های کاربردی در کشاورزی است که از آن برای محاسبه میزان جذب تشعشع فعال فتوسنتزی[2] توسط گیاه استفاده می‌شود (رضوی و همکاران، ۱۳۹۶؛ نصیری‌محلاتی، ۱۳۸۷ب). با توجه به اینکه نور بدلیل قابل ذخیره نیست، یکی از عوامل محدود کننده عملکرد گیاهان زراعی است بنابراین توانایی گیاه در افزایش کسر جذب نور از کل مقدار نور در دسترس از اهمیت بسیاری برخوردار است (یزدانی بیوکی و همکاران، ۱۳۹۳؛ عامری و نصیری‌محلاتی، ۱۳۸۷). بر این اساس در صورتیکه یک گونه بتواند ضمن جذب کسر بیشتری از نور، آن را با ضریب تبدیل بالاتری هم به زیست‌توده تبدیل کند، در تولید بیشتر زیست‌توده و محصول نیز موفق‌تر خواهد بود.

ضریب خاموشی نور[3] که نقش مهمی در استفاده بهینه از نور دارد و قابلیت یک گونه در جذب نور رسیده به سطح کانوپی را نشان می‌دهد پس از محاسبه نسبت تشعشع عبوری از کانوپی به تشعشع بالای آن، با محاسبه شیب خط رگرسیون بین شاخص سطح برگ و تشعشع دریافتی گیاه بدست می‌آید (رضوی، ۱۳۹۳). مقادیر این ضریب به شاخص سطح برگ، زاویه تابش نور، زاویه برگ‌ها و وضعیت قرار گرفتن آن‌ها بستگی دارد به طوری که وجود برگ‌های عمودی بیشتر برای اجازه نفوذ نور به داخل تاج پوشش (کاهش مقدار ضریب خاموشی نور) و برخورد نور به برگ‌های بیشتر در مقادیر کم تابش منجر به افزایش سرعت تبادل کربن (کینیری و همکاران، ۱۹۹۹) در گیاهانی می‌شود که از لحاظ فیزیولوژیکی با محدودیت منبع مواجه هستند. بنابراین واکنش گیاه به شرایط محیطی نیز می‌تواند مقادیر ضریب خاموشی نور برای گیاه را تغییر دهد. از این رو استفاده از ضریب خاموشی نور محاسبه شده در تحقیقات قبلی بدون اعتبارسنجی[4] داده‌های حاصل از مدل خالی از اشکال نیست.

بطور کلی تولید محصول نه تنها به جذب نور، بلکه به کارایی مصرف نور (RUE) نیز وابسته است که بیانگر میزان تولید زیست‌توده گیاه به ازای مصرف واحد نور جذب شده است (رضوی، ۱۳۹۳؛ کاویگلیا و همکاران، ۲۰۰۱). در واقع رابطه‌ای خطی بین زیست‌توده تولیدی و تشعشع تجمعی دریافتی گیاه وجود دارد از این رو کارایی مصرف نور بصورت شیب خط رگرسیون بین میزان ماده خشک تجمعی و مقدار تشعشع جذب شده تجمعی در طول دوره رشد (جهان و همکاران، ۲۰۱۳؛ لیندکوییست و همکاران ۲۰۰۵) تعریف می‌شود.

کنجد با نام علمی *Sesamum indicum* L. گیاهی دانه روغنی و بسیار مقاوم به گرما و خشکی است (خواجه‌پور، ۱۳۸۹). جنبه‌های قابل توجه اقتصادی و اهمیت روغن‌های گیاهی در ارتقای سلامت جامعه، به همراه کیفیت بی‌نظیر روغن کنجد (اوزون و چاگیرگان، ۲۰۰۶؛ منصوری، ۱۳۸۸) سبب جلب توجه محققان و کشاورزان به جنبه‌های گوناگون بهبود عملکرد و تولید محصول این گیاه با ارزش شده است. امروزه با توجه به تغییر دیدگاه‌ها نسبت به کشاورزی مرسوم، بر اصول کشاورزی پایدار تاکید بسیاری می‌شود. از این رو تحقیقات بسیاری بر روی امکان جایگزینی نهاده‌های بوم‌سازگاری همچون کودهای زیستی به جای کودهای شیمیایی انجام می‌شود. با توجه به اینکه گیاه کنجد که تابحال کمتر مورد توجه اصلاح‌گران گیاهی بوده است، توقع کمی نسبت به حاصلخیزی خاک دارد و عملکرد آن کمتر تحت تاثیر منابع تغذیه‌ای شیمیایی نیز قرار می‌گیرد (مصطفوی و همکاران، ۱۳۹۵)؛ بنابراین به نظر می‌رسد که می‌توان عمده نیاز تغذیه‌ای این گیاه را با استفاده از کودهای زیستی نیز تامین کرد تا ضمن پرهیز از پیامدهای نامطلوب کودهای شیمیایی همچون ایجاد آلودگی‌های زیست‌محیطی، فرسایش خاک و سایر صدمات اکولوژیکی و اقتصادی، ضمن تضمین حفظ و ارتقای سلامت محیط زیست و پایداری تولید، در جهت نیل به کشاورزی پایدار گام برداشت. کودهای زیستی که ترکیبی از مواد نگهدارنده با یک یا چند نوع ریزجاندار مفید خاکزی یا مواد متابولیکی آن‌ها می‌باشند، از سویی با سازوکارهای مختلفی همچون تثبیت زیستی نیتروژن، افزایش جذب و فراهمی عناصر غذایی همچون روی، آهن و مولیبدن، تولید انواعی از هورمون‌های گیاهی و آنزیم‌ها، سبب تعدیل رشد و توسعه گیاه، فراهمی انواع ویتامین‌ها و از سویی دیگر رقابت با پاتوژن‌ها و غیره (باقری و همکاران، ۱۳۹۰؛ مصطفوی و همکاران، ۱۳۹۳؛ جهان و نصیری‌محلاتی، ۱۳۹۱) رشد و عملکرد گیاه و در نتیجه شاخص‌های وابسته به آن را بهبود بخشند.

با وجود اینکه نور از دیدگاه اکولوژی تولید اهمیت فراوانی دارد و مدیریت بهینه آن می‌تواند بر تولید محصول تاثیر قابل

1- Beer-Lambert law
2- Photosynthetic active radiation (PAR)
3- Light extinction coefficient (K)
4- Validation

توجهی داشته باشد ولی کارایی مصرف نور بسیاری از گیاهان به ویژه گیاهان فراموش شده (مانند کنجد) و دارویی کمتر مورد ارزیابی قرار گرفته است. بنابراین هدف از انجام این پژوهش، ارزیابی و مقایسه کارایی مصرف نور کنجد در شرایط کاربرد منفرد و چندگانه کودهای مختلف زیستی و شیمیایی با یکدیگر، در جهت بررسی امکان جایگزینی نهاده‌های زیستی با نهاده‌های شیمیایی برای تولید این گیاه بود.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در سال زراعی ۹۲-۱۳۹۱ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد واقع در ۱۰ کیلومتری شرق مشهد انجام شد. قالب طرح، بلوک‌های کامل تصادفی با ۱۰ تیمار و سه تکرار بود. تیمارها شامل ۱. کود زیستی نیتروکسین (Ni) حاوی باکتری‌های *Azotobacter* و *Azospirillum* (منبع زیستی نیتروژن)، ۲. کود زیستی بیوفسفر (BP) حاوی باکتری‌های *Pseudomonas* و *Bacillus* (منبع زیستی فسفر)، ۳. کود زیستی بیوسولفور (TB) حاوی باکتری *Thiobacillus* به‌همراه مقدار توصیه شده گوگرد (منبع زیستی گوگرد قابل دسترس)، ٤. ترکیب دوگانه تیمارهای ۱ و ۲ (Ni + BP؛ منبع زیستی نیتروژن و فسفر)، ۵. ترکیب سه‌گانه تیمارهای ۱، ۲ و ۳ (Ni + BP + TB؛ منبع زیستی نیتروژن، فسفر و گوگرد)، ٦. کود شیمیایی اوره (U؛ منبع شیمیایی نیتروژن)، ۷. کود شیمیایی سوپرفسفات تریپل (P؛ منبع شیمیایی فسفر)، ۸. ترکیب دوگانه تیمارهای ٦ و ۷ (U + P؛ منبع شیمیایی نیتروژن و فسفر)، ۹. ترکیب دو تیمار ٦ و ۷ به‌علاوه‌ی میزان گوگرد (S) مصرف شده در تیمار ۳ (U + P + S؛ منبع شیمیایی نیتروژن، فسفر و گوگرد) و ۱۰. شاهد (بدون کود) بود که همگی تیمارهای مذکور به هنگام کاشت اعمال شد.

قبل از کاشت از خاک نمونه‌برداری و به آزمایشگاه ارسال شد که نتیجه آن در جدول ۱ آمده است. مقدار ۲۰ تن در هکتار کود دامی پوسیده شده به خاک اضافه و با استفاده از بیل دستی بصورت متناسب پخش شد. سپس مزرعه دیسک زده شد و جوی و پشته‌هایی با فاصله نیم متر ایجاد و نهایتا کرت‌بندی انجام شد. طول و عرض هر کرت به ترتیب ٤ و ۳ متر و درون هر کرت ٦ ردیف با فاصله ۵۰ سانتی‌متر ایجاد شد. کاشت بذرها در عمق ۲ تا ۳ سانتی‌متری، بر روی پشته‌ها و با تراکم ۲۰ بوته در مترمربع (فاصله بین و روی ردیف کاشت به ترتیب ۵۰ و ۱۰ سانتی‌متر) انجام شد. فاصله بین هر دو کرت مجاور در بلوک یک متر و فاصله بین هر دو بلوک ۱/۵ متر بود.

جدول ۱- نتایج آزمایش خاک قطعه زمین مزرعه آزمایشی (عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری)

بافت خاک	pH	شوری (دسی‌زیمنس بر متر)	کربن آلی (درصد)	ماده آلی (درصد)	نیتروژن (قسمت در میلیون)	فسفر (قسمت در میلیون)	پتاسیم (قسمت در میلیون)
لوم سیلتی	۸/۷٦	۱/۲	۰/٤۳	۰/۹۵	۱۵/۵	۱۲/۲	۳۲۱

در پژوهش حاضر از کنجد تک ساقه توده محلی اسفراین که یکی از توده‌های مورد کشت و کار منطقه مشهد است استفاده شد. در تیمارهای تلقیحی، تلقیح بذرها با کودهای زیستی نیتروکسین و بیوفسفر قبل از کاشت و در زیر سایه انجام شد. سپس به داخل کیسه‌ای کدر و بدون قابلیت نفوذ نور خورشید ریخته شد و پس از انتقال به مزرعه بلافاصله کاشته شد. کاربرد بیوسولفور نیز با توجه به دستورالعمل شرکت تولید کننده، پس از ترکیب با گوگرد پودری و همزمان با کشت انجام شد. کودهای شیمیایی بصورت نواری در حاشیه خط کاشت بکار برده شدند. اولین آبیاری مزرعه بلافاصله پس از کاشت و آبیاری دوم ۳ روز پس از کاشت انجام شد و پس از آن دور آبیاری ۷ روزه بود. وجین‌علف‌های هرز مزرعه بصورت دستی در چهار مرحله و تا بسته شدن پوشش گیاهی انجام شد و وجین دستی علف‌ها هرز رشد یافته بر روی مرز کرت‌ها نیز تا پایان فصل رشد ادامه یافت.

اندازه‌گیری‌ها

نمونه‌برداری جهت تعیین روند شاخص سطح برگ و میزان تجمع ماده خشک بصورت تخریبی، هر ۷ روز یکبار و از سه بوته تصادفی انجام شد. اولین نمونه‌برداری سه هفته پس از کاشت و داده‌برداری نهایی ۱۱۲ روز پس از کاشت انجام شد. با استفاده از دستگاه اندازه‌گیری سطح برگ[1] میزان سطح برگ نمونه‌ها اندازه‌گیری شد و در آخر داده‌های حاصل جهت محاسبه شاخص سطح برگ (LAI) مورد استفاده قرار گرفت.

[1] Leaf Area Meter

سپس نمونه‌ها به مدت ٤٨ ساعت در آون با دمای ۷۵ درجه خشک شده و اندازه‌گیری وزن خشک آن‌ها با ترازوی دیجیتال آزمایشگاهی با دقت ۰/۰۱ گرم انجام شد.

تغییرات روزانه شاخص سطح برگ با برازش تابع لجستیکی با نقطه اوج (معادله ۱) به داده‌های اندازه‌گیری شده برآورد شد (مصطفوی، ۱۳۹۳).

$$Y = \frac{a + b.4.(exp(-(t-c))/d))}{(1+exp(-(t-c)/d))^2} \quad \text{(معادله ۱)}$$

که در آن Y شاخص سطح برگ، b حداکثر شاخص سطح برگ، c زمان رسیدن به حداکثر شاخص سطح برگ، a و d ضرایب معادله و t روز پس از سبز شدن می باشد. سپس با استفاده از معادله ۲، کسر تشعشع جذب‌شده (F_{abs}) روزانه هر تیمار محاسبه شد (فرانچسکانگی، ۲۰۰٦).

$$F_{abs} = 1 - exp(-K \times LAI) \quad \text{(معادله ۲)}$$

که در آن K ضریب خاموشی نور و LAI شاخص سطح برگ گیاه است. میزان تشعشع روزانه خورشیدی نیز (I_T) برای عرض جغرافیایی مشهد به روش ارائه‌شده توسط گودریان و فانلار (۱۹۹۳) با احتساب ساعات آفتابی محاسبه و درنهایت میزان کل تشعشع جذب‌شده روزانه توسط کانوپی (I_{abs}) نیز محاسبه شد (معادله ۳).

$$I_{abs} = I_T \times F_{abs} \quad \text{(معادله ۳)}$$

اعتبارسنجی ضریب خاموشی نور

در پژوهش حاضر به منظور صرفه‌جویی در وقت و هزینه، با توجه به مقادیر گزارش شده در پژوهش جهان و همکاران (۱۳۹۱) و نصیری‌محلاتی (۱۳۸۷الف) از ضریب خاموشی نور گزارش شده در مطالعات قبلی استفاده شد و تنها یکبار در طول فصل رشد در زمان تخمینی اوج سطح برگ)، شاخص سطح برگ و همچنین تشعشع عبور کرده از لایه‌های مختلف کانوپی هر کرت با استفاده از سپتومتر خطی[1] Sunscan (مدل Delta T, UK) و دو پایه ثابت فلزی که بر روی آن‌ها پله‌هایی با فاصله ۲۰ سانتی‌متر وجود داشت (شکل ۱) اندازه‌گیری شد (لانتینخا و همکاران، ۱۹۹۹) و داده‌های حاصل جهت اعتبارسنجی داده‌های پیش‌بینی شده مدل (معادله ٤) مورد استفاده قرار گرفت.

جهت اندازه‌گیری تشعشع عبور کرده از هر لایه کانوپی ابتدا به منظور اطمینان از تاثیرناپذیری دستگاه سپتومتر از پایه‌های فلزی، پس از نصب پایه‌ها، عدد مربوط به تشعشع اندازه‌گیری شده توسط دستگاه در شرایط استفاده و عدم استفاده از پایه‌های فلزی قرائت و با یکدیگر مقایسه شدند که با یکدیگر اختلافی نداشتند. نصب پایه‌ها در هر کرت به گونه‌ای انجام شد که پس از قرار گرفتن دستگاه سپتومتر هیچ‌گونه سایه‌اندازی بر روی آن وجود نداشته باشد سپس با استفاده از ابزار تراز، وضعیت این پایه‌ها از نظر عمودی (نسبت به زمین) و افقی (نسبت به یکدیگر) به دقت تنظیم شد. با قرار دادن دستگاه سپتومتر بر روی هر پله از پایه‌ها، مقدار تشعشع ورودی هر لایه از بالاترین لایه کانوپی تا پایین‌ترین لایه برگ‌دار اندازه‌گیری شد، به گونه‌ای که تشعشع عبوری اندازه‌گیری شده مربوط به هر لایه برابر با جذب تشعشع آن لایه و لایه‌های قبلی از کل مقدار تشعشع رسیده به بالای کانوپی بود. پس از اندازه‌گیری تشعشع عبوری لایه‌ها، برگ‌های هر لایه نیز بصورت جداگانه برداشت و سطح برگ آن‌ها اندازه‌گیری شد. برای تعیین اعتبار مدل استفاده شده جهت محاسبه مقدار نور رسیده به پایین هر لایه کانوپی (I در معادله ٤) ابتدا با استفاده از معادله بیر-لامبرت (معادله ٤)، ضمن مشخص بودن تشعشع اولیه (I_0) و ضریب خاموشی نور (K)، با جایگذاری مقادیر اندازه‌گیری شده‌ی شاخص سطح برگ (LAI) مربوط به هر لایه کانوپی، مقدار پیش‌بینی شده تشعشع عبوری مدل (مقادیر شبیه‌سازی شده مدل) بدست آمد و در نهایت با استفاده از جذر میانگین مربعات خطا[2]، میزان اعتبار مدل برای پیش‌بینی مقادیر تشعشع عبوری از کانوپی سنجیده شد (معادله‌های ۵ و ٦؛ نصیری‌محلاتی، ۱۳۸۷ب).

$$I_{li} = I_0 \times exp(-K \times \quad \text{(معادله ٤)}$$

که در آن I_{li}، I_0 و LAI_{li} به ترتیب تشعشع بالا، پایین و شاخص سطح برگ لایه i ام کانوپی است.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(S_i - } \quad \text{معادله ۵}$$

$$RMSE\ (\%) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(S_i - } \quad \text{معادله ٦}$$

که در آن‌ها O_i و S_i به ترتیب مشاهده i ام و مقدار شبیه‌سازی شده آن، n تعداد مشاهدات و $\bar{O}$ میانگین مشاهدات است.

1- Linear ceptometer

2- Root mean square error (RMSE)

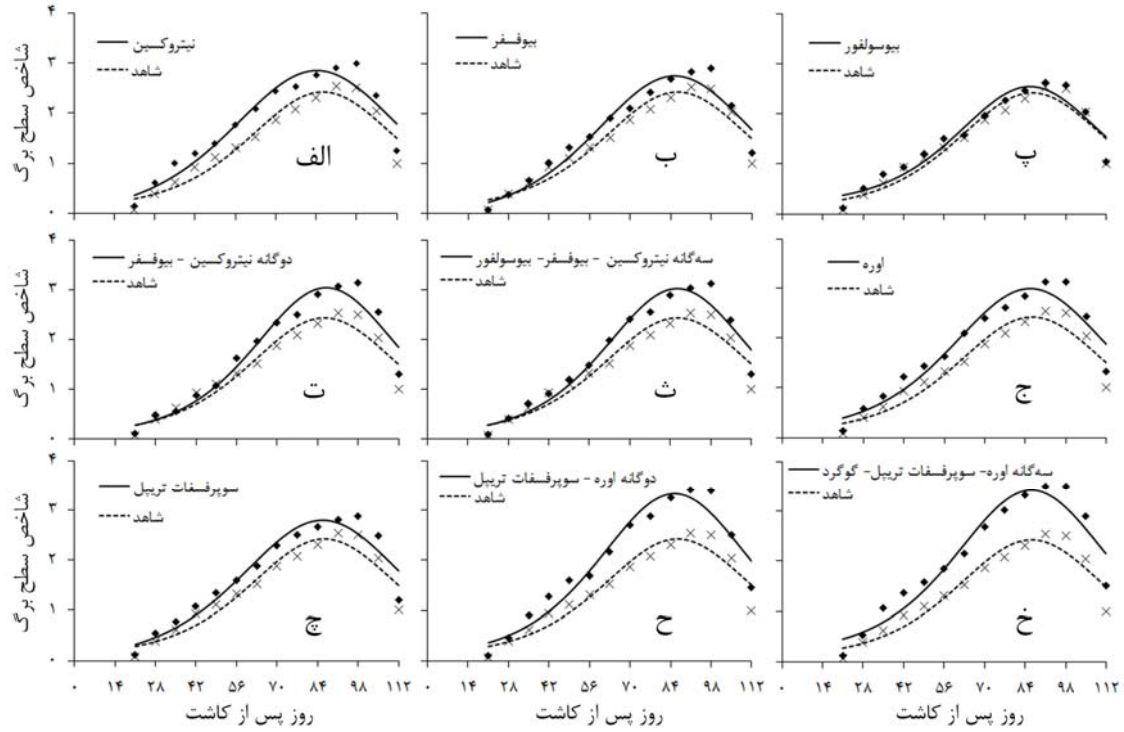
شکل ۱- پایه‌های تعبیه شده و نحوه قرارگیری سپتومتر خطی جهت اندازه‌گیری تشعشع لایه‌های مختلف کانوپی در هر کرت آزمایشی

پس از اعتبارسنجی مدل و حصول اطمینان از اعتبار مدل برای مقادیر پیش‌بینی شده تشعشع جذب شده کنجد، کارایی مصرف نور گیاه برحسب $g\ MJ^{-1}$ از طریق محاسبه شیب خط رگرسیون بین تشعشع تجمعی جذب‌شده توسط کانوپی ($MJ\ m^{-2}$) و کل وزن خشک گیاه ($g\ m^{-2}$) محاسبه شد. جهت برازش تابع به داده‌های شاخص سطح برگ و رسم شکل‌ها به ترتیب از برنامه‌های SlideWrite و MS Excel بهره گرفته شد.

نتایج و بحث

شاخص سطح برگ

تغییرات شاخص سطح برگ کنجد در طول فصل رشد در تیمارهای کودی مختلف روند نسبتا یکسانی داشت، به طوری که در ابتدای فصل، رشد کند و تدریجی داشت و با تولید برگ‌های بیشتر توسط گیاه و تقریبا در تمامی تیمارها کمی قبل از شروع گلدهی (حدود ۳۵ روز پس از کاشت)، با سرعت زیادی افزایش یافت و پس از گلدهی کامل و کاسته شدن از روند افزایشی مرحله قبل، کلیه تیمارها هنگام شروع رسیدگی فیزیولوژیک به حداکثر مقدار شاخص برگ رسیده و پس از آن کاهش یافتند (شکل ۲). پس از توسعه شاخص سطح برگ و سایه‌اندازی برگ‌ها بر روی یکدیگر، گسترش روزانه سطح برگ به مقدار ماده خشک اختصاص یافته به برگ ها بستگی خواهد داشت (نصیری‌محلاتی، ۱۳۷۸الف). در گیاهان زراعی دانه‌ای، پیر شدن برگ ها عمدتا تحت تاثیر رشد دانه‌ها و انتقال مجدد نیتروژن از برگ‌ها به دانه‌ها قرار دارد (سینکلیر و همکاران، ۲۰۰۳) بنابراین با نزدیک شدن به پایان فصل رشد و افزایش انتقال مجدد، روند پیری برگ‌ها و در نتیجه کاهش شاخص سطح برگ شدت بیشتری می‌یابد.



شکل ۲- روند تغییرات شاخص سطح برگ (LAI) کنجد در تیمارهای کودهای زیستی نیتروکسین (الف)، بیوفسفر (ب)، بیوسولفور (پ)، ترکیب دوگانه نیتروکسین و بیوفسفر (ت)، ترکیب سه‌گانه نیتروکسین، بیوفسفر و بیوسولفور (ث)، کودهای شیمیایی اوره (ج)، سوپرفسفات تریپل (چ)، ترکیب دوگانه اوره و سوپرفسفات تریپل (ح) و سه‌گانه ترکیب اوره، سوپرفسفات تریپل و گوگرد (خ) در مقایسه با شاهد

در طول دوره رشد گیاه، تیمار شاهد کمترین شاخص سطح برگ را داشت و همچنین با اختلافی اندک، تیمار بیوسولفور روندی مشابه و مقادیری نزدیک با تیمار شاهد داشت. با توجه به شکل ۲ به نظر می‌رسد تیمارهای دوگانه و سه‌گانه شیمیایی با عرضه کافی مواد غذایی برای گیاه، توانسته‌اند از همان ابتدای فصل موجب تولید برگ‌های بیشتر و بنابراین شاخص سطح برگ بیشتر گردند، چنان‌که هرچند اختلافی در بین تیمارها در زمان رسیدن به حداکثر شاخص سطح برگ دیده نمی‌شد، حداکثر شاخص سطح برگ در نقطه اوج روندهای تغییر سطح برگ، مربوط به تیمارهای سه‌گانه شیمیایی و دوگانه شیمیایی با مقادیر به ترتیب ۳/٤۲ و ۳/۳۲ بود و در رتبه‌های بعدی تیمارهای سه‌گانه شیمیایی، دوگانه شیمیایی و اوره با شاخص سطح برگ ۳/۰۳ و ۳/۰۱ و ۲/۹۸ قرار گرفتند. در نقطه اوج، شاخص سطح برگ تیمارهای نیتروکسین (۲/۸۵)، بیوفسفر (۲/۷۵) و سوپرفسفات تریپل (۲/۷۸) بسیار به هم نزدیک و اختلاف آن‌ها ناچیز بود اما با تیمارهای شاهد (۲/٤۲) و تیوباسیلوس (۲/٥٤) و همچنین تیمارهای ترکیبی زیستی و شیمیایی اختلاف قابل توجهی داشت. بطور کلی به نظر می‌رسد کاربرد ترکیبی کودهای شیمیایی و زیستی در قیاس با کاربرد تکی آن‌ها توانسته نیازهای تغذیه‌ای و عرضه مواد برای گیاه جهت توسعه سطح برگ را بهتر فراهم سازد. یافته‌های سجادی‌نیک و یدوی (۱۳۹۲) و جهان و همکاران (۲۰۱۳) نشان دادند که کاربرد نیتروکسین با تامین نیتروژن و تحریک رشد گیاه موجب بهبود رشد و افزایش شاخص برگ کنجد شد.

مطالعات یزدان دوست همدانی (۱۳۸۲) نیز نشان داد که مصرف کودهای نیتروژنه در اوائل فصل رشد سبب گسترش سطح برگ و افزایش ظرفیت فتوسنتزی گیاه و تولید مواد پرورده بیشتر می‌گردد. همچنین البراک (۲۰۰٦) گزارش کرد که نیتروژن سبب افزایش تعداد برگ و شاخص سطح برگ در کلزا می‌شود. این محقق بیان داشت که جذب نیتروژن توسط گیاه سبب افزایش رشد، تولید شاخه فرعی بیشتر و در نتیجه افزایش شاخص سطح برگ می شود. همچنین بر اساس نتایج مطالعات آترندیم و همکاران (۲۰۰۹) کود نیتروژن اثر مثبت و معنی‌داری بر تعداد برگ در گیاه ذرت داشته است به طوری که با افزایش مصرف کود نیتروژن تا ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار بیشترین تعداد برگ حاصل شده است. بالا بودن شاخص سطح برگ سبب

افزایش میانگین سرعت رشد محصول در دوره رشد گیاه شده که این امر در نهایت منجر به افزایش تولید ماده خشک می گردد.

همچنین حمیدی و همکاران (۱۳۸۵) گزارش دادند که تلقیح بذر ذرت علوفه ای با آزوسپیریلوم، تعداد برگ های بالایی بلال و تعداد برگ در هر بوته را افزایش داد. آن ها نیز دلیل این امر را وجود روابط مثبت بین گیاه و باکتری دانستند و اعلام داشتند که احتمالا باکتری آزوسپیریلوم از طریق تولید هورمون های محرک رشد، عملکرد و ویژگی های مرتبط با آن منجر به افزایش عملکرد علوفه سیلویی شد. نظارت و غلامی (۱۳۹۰) نیز نتایجی همسو با یافته‌های این پژوهش درمورد کاربرد کودهای زیستی حاوی آزوسپریلوم و همچنین سودوموناس در بهبود رشد و عملکرد ذرت گزارش دادند. نتایج پژوهش‌های بسیاری همچون پژوهش‌های خرم‌دل و همکاران (۱۳۸۷) و خرم‌دل و همکاران (۱۳۸۹) درباره گیاه سیاهدانه و پل و ساویترو (۲۰۰۳) درباره کنجد، بر تاثیر مثبت مصرف ترکیبی کودهای زیستی با بکدیگر یا با ترکیب با کودهای شیمیایی بر بهبود شاخص‌های رشد تاکید می‌کند که می‌تواند حاصل تولید هورمون‌های محرک رشد و همچنین تامین هرچه بهتر عناصر غذایی برای گیاه باشد.

با توجه به این که عامل مهم موثر بر رشد و تولیدات گیاهی میزان جذب نور توسط برگ‌ها و تبدیل آن‌ها به مواد فتوسنتزی است، افزایش میزان برگ در مزرعه باعث افزایش میزان جذب نور خواهد شد که در نهایت می‌تواند منجر به افزایش تولید ماده خشک و عملکرد شود.

اعتبارسنجی ضریب خاموشی نور (K)

در آزمایش حاضر، ضریب خاموشی نور برای کنجد ۰/۷ (نصیری‌محلاتی، ۱۳۸الف؛ جهان و همکاران، ۱۳۹۱) در نظر گرفته شد و پس از آن با محاسبه مقادیر تخمینی مدل از تشعشع عبوری از کانوپی، سنجش اعتبار آن با استفاده از داده‌های مشاهده شده و با بهره‌گیری از جذر میانگین مربعات خطا انجام شد که نتایج آن در جدول ۲ آمده است.

جدول ۲- جذر میانگین مربعات خطا و اعتبار مدل برای مقادیر پیش‌بینی شده میزان تشعشع عبوری از کانوپی کنجد

	تیمارهای آزمایش									
	شاهد	نیتروکسین (N)	بیوفسفر (BP)	بیوسولفور (BS)	دوگانه‌ی N:BP	سه‌گانه‌ی N:BP:BS	اوره (U)	سوپرفسفات تریپل (P)	دوگانه‌ی U:P	سه‌گانه‌ی U:P:S
RMSE*	۱/۷۲	۱/۳٤	۱/۳۱	۱/۳۲	۱/۳۲	۱/۸٦	۱/۹٤	۱/۹۲	۱/٤۷	۱/٦٤
RMSE (%)**	۱٤/۵	۱۱/۰۲	۱۰/۲٤	۹/۹۵	۹/۰۳	۱٤/۰۸	۱۵/۷۲	۱٦/۳۸	۱۱/۰۲	۱۲/٦٦
اعتبار مدل	خوب	خوب	خوب	عالی	عالی	خوب	خوب	خوب	خوب	خوب

* و ** به ترتیب، جذر میانگین مربعات خطا و درصد جذر میانگین مربعات خطا هستند

درصد RMSE یا RMSE (%) اختلاف نسبی بین داده‌های شبیه‌سازی شده و مشاهدات را نشان می‌دهد و توصیف خوبی را از قابلیت مدل ارائه می‌کند (نصیری‌محلاتی، ۱۳۸۷ب) و چنانچه مقدار آن کمتر از ۱۰٪ باشد شبیه‌سازی عالی، بین ۲۰-۱۰٪ خوب، بین ۳۰-۲۰٪ متوسط و بیشتر از ۳۰٪ ضعیف خواهد بود (نصیری‌محلاتی، ۱۳۸۷ب؛ جامیسون و همکاران ۱۹۹۱). بر این اساس اعتبار مدل برای مقدار شبیه‌سازی شده تشعشع عبوری از کانوپی در تیمارهای مختلف، دامنه‌ای از ۹/۰۳ تا ۱٦/۳۸ درصد را شامل می‌شد که نشان‌دهنده اعتبار عالی تا خوب پیش‌بینی مدل است. بنابراین با اطمینان از دقت داده‌های حاصل از برآورد تشعشع جذب شده توسط کانوپی می‌توان از آن‌ها برای اندازه‌گیری کارایی مصرف نور در تیمارهای مختلف آزمایش استفاده کرد.

کارایی مصرف نور

بصورت قراردادی، شیب خط رگرسیون خطی بین ماده خشک کل و مقدار تجمعی تشعشع جذب شده گیاه به عنوان کارایی مصرف نور در نظر گرفته می‌شود (گالاگر و بیسکو، ۱۹۷۸؛ مونتیث، ۱۹۹٤). نتایج این تحقیق بر افزایش کارایی مصرف نور در نتیجه‌ی کاربرد کود برای گیاه کنجد دلالت داشت. بر این اساس و با توجه به شکل ۳، کارایی مصرف کنجد در تیمار شاهد ۱/۱٤ گرم بر مگاژول بدست آمد که از سویی کمترین مقدار محاسبه شده برای تیمارهای مختلف آزمایش بود و از سوی دیگر اختلاف اندکی با کارایی مصرف نور تیمار بیوسولفور (۱/۱۷ گرم بر مگاژول) داشت. به‌طور بدیهی کم بودن کارایی مصرف نور در این دو تیمار ناشی از کم بودن ماده خشک

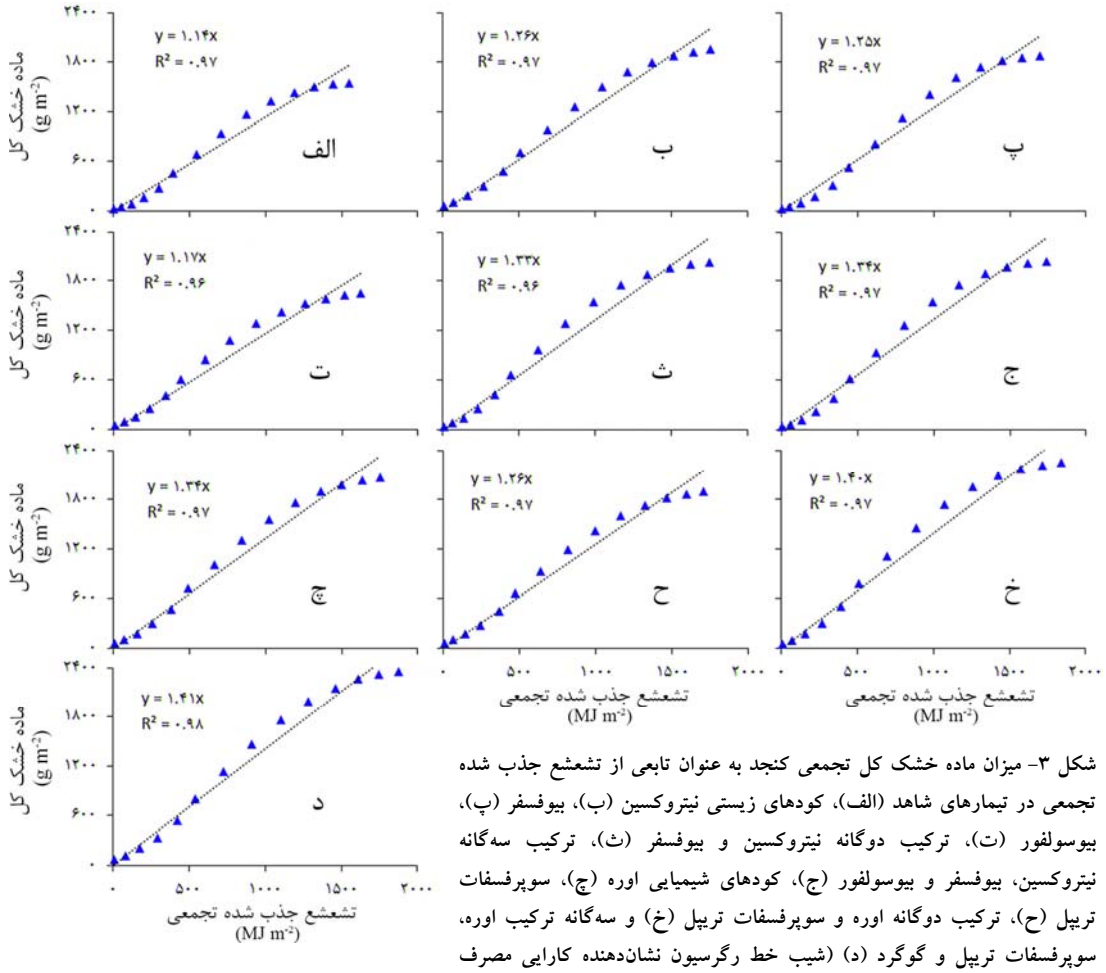
تولیدی آن‌ها بود که درمورد تیمار بیوسولفور به نظر می‌رسد میکروارگانیسم‌های فعال این کود نتوانسته‌اند نیازهای عمده تغذیه‌ای کنجد را برطرف و تولید زیست‌توده این گیاه را افزایش چندانی دهند. نتایج مشابهی از این لحاظ در پژوهش‌های رضوی و همکاران (۱۳۹٦) و یزدانی بیوکی (۱۳۹۳) گزارش شده است. بالاترین مقادیر کارایی مصرف نور برای تیمارهای کود زیستی ۱/۳٤ و ۱/۳۳ گرم بر مگاژول (به ترتیب مربوط به تیمارهای سه‌گانه و دوگانه زیستی؛ شکل‌های ۳-ج و ۳-ث) و برای تیمارهای کود شیمیایی ۱/٤۱ گرم بر مگاژول (به ترتیب مربوط به تیمارهای سه‌گانه و دوگانه شیمیایی؛ شکل‌های ۳-د و ۳-خ) بود. کارایی مصرف نور در تیمارهای نیتروکسین و اوره (تامین‌کننده زیستی و شیمیایی نیتروژن) ۱/۲٦ و ۱/۳٤ گرم بر مگاژول، در تیمارهای بیوفسفر و سوپرفسفات تریپل (تامین‌کنندگان زیستی و شیمیایی فسفر) ۱/۲۵ و ۱/۲٦ گرم بر مگاژول ثبت شد. بر این اساس اولا کاربرد کود اوره در مقایسه با کاربرد کود نیتروکسین کارایی مصرف نور کنجد را به میزان بیشتری افزایش داد و ثانیا کارایی مصرف نور کنجد در اثر مصرف کودهای شیمیایی افزایش بیشتری نسبت به کودهای زیستی پیدا کرد اما با این وجود مقدار افزایش کارایی مصرف نور در تیمارهای کود زیستی نیز در مقایسه با شاهد، به جز در تیمار بیوسولفور، مقداری قابل توجه بود. عوامل مدیریتی، محیطی و گیاهی، کوددهی، دما، محل کشت و تنش‌های محیطی بر کارایی مصرف نور مؤثر هستند (بورد، ۲۰۰۰). اختلاف در کارایی مصرف نور می‌تواند به سبب اختلاف در تخصیص مواد بین ریشه و شاخساره و یا بدلیل تفاوت در جذب تشعشع فعال فتوسنتزی باشد که هر دوی آن‌ها می‌توانند از وضعیت تغذیه‌ای گیاه تاثیر پذیرند (بورد، ۲۰۰۰). با توجه به اینکه ارتباط مستقیمی بین کارایی مصرف نور و زیست‌توده شاخساره وجود دارد، در شرایط کمبود عناصر غذایی میزان بیشتری از مواد به ریشه اختصاص می‌یابد و در نتیجه زیست‌توده شاخساره و در ادامه، کارایی مصرف نور کاهش می‌یابد (یزدانی بیوکی و همکاران، ۱۳۹۳).

کارایی مصرف نور در تیمارهای بیوفسفر و سوپرفسفات تریپل مقادیری نزدیک به هم داشت، از این رو به نظر می‌رسد کاربرد کود زیستی بیوسولفور برای کنجد به جای کود شیمیایی فسفاته برای این گیاه منطقی و قابل توجیه باشد. ریزجانداران موثر حل‌کننده فسفات موجود در بیوفسفر (سودوموناس) با تولید اسیدهای آلی و آنزیم‌های فسفاتاز به نحو کارآمدی موجب افزایش حلالیت فسفات‌های معدنی کم‌محلول (نظیر سنگ فسفات) و آزاد شدن فسفر از ترکیبات آلی می‌شوند (حمیدا و همکاران، ۲۰۰٦). از سویی دیگر، ترشح اسید و کاهش موضعی اسیدیته خاک، بخصوص در خاک‌های آهکی ایران، در انحلال کانی‌های مختلف و افزایش شکل قابل جذب عناصر غذایی مانند پتاسیم، منیزیم و کبالت نیز موثر است (مصطفوی، ۱۳۹۳) و با رفع محدودیت‌های معمول دسترسی به این عناصر، در تامین نیاز گیاه به آن‌ها و رشد بیشتر گیاه و در نتیجه افزایش کارایی مصرف نور موثر باشد. یافته‌های آزمایش با نتایج تحقیق قبادی و همکاران (۱۳۹۰) که بهبود رشد و عملکرد سیب‌زمینی را در نتیجه کاربرد کودهای زیستی فسفاته گزارش کرد همسو است.

مقدار افزایش کارایی مصرف نور کنجد در تیمار بیوسولفور کم‌تر از سایر تیمارهای آزمایش بود (شکل ۳). برخلاف میکروارگانیسم‌های موثر کودهای نیتروکسین و بیوسولفور که هتروتروف هستند و از مواد آلی خاک تغذیه می‌کنند، میکروارگانیسم‌های بیوسولفور شیمیوتروف‌اند و منبع انرژی آن‌ها مواد معدنی است. در صورت مهیا بودن شرایط برای فعالیت، مصرف بلندمدت و مستمر این کود بیوسولفور (صالح‌راستین، ۱۳۸۰) با ترشح اسید سولفوریک در خاک، می‌تواند کربنات کلسیم را تبدیل به گچ و شوری خاک را کاهش دهد و از طرفی با کاهش اسیدیته خاک‌های آهکی، می‌تواند در انحلال عناصر در خاک موثر باشد (صیامی و بشارتی، ۱۳۹۱). از این رو به نظر می‌رسد طول دوره آزمایش برای ظهور اثر مثبت بیوسولفور کافی نبوده و این امر موجب دستیابی به چنین نتیجه‌ای شده است.

می‌توان اختلافات موجود در کارایی مصرف نور تیمارهای زیستی در مقایسه با متناظر آن‌ها در کودهای شیمیایی (چه کاربرد تکی و چه ترکیبی کودها) را به این نسبت داد که کودهای شیمیایی (مانند اوره) با عرضه سریع‌تر مواد مغذی به محیط رشد گیاه در مقایسه با کودهای زیستی -که برای تامین نیازهای تغذیه‌ای گیاه متکی به شرایط مناسب محیطی و زمان کافی برای فعالیت میکروارگانیسم‌های خود دارد- موجب رفع سریعتر نیاز تغذیه‌ای گیاه می‌شود و درباره گیاه کنجد توسط رضوانی‌مقدم و همکاران، (۱۳۸۹) سجادی‌نیک و همکاران (۱۳۹۲) و درباره گیاه ذرت توسط نظارت و غلامی (۱۳۹۰) گزارش شده است. رضوی و همکاران (۱۳۹٦) گزارش کردند که تیمارهای مختلف کودهای شیمیایی و زیستی و آلی تاثیر معنی‌داری بر میزان تشعشع جذب‌شده تجمعی و در نتیجه کارایی مصرف نور پنیرک داشت که در این بین، کودهای شیمیایی و زیستی و ترکیب سه‌گانه کود زیستی نیتروکسین-بیوفسفر-بیوسولفور بیشترین تاثیر را در جهت افزایش کارایی مصرف نور پنیرک داشت. یزدانی بیوکی و

همکاران (۱۳۹۳) نیز گزارش دادند مصرف کود شیمیایی اوره در مقایسه با شاهد در دو منطقه یزد و مشهد سبب افزایش کارایی مصرف نور مرزنجوش وحشی شد.



شکل ۳- میزان ماده خشک کل تجمعی کنجد به عنوان تابعی از تشعشع جذب شده تجمعی در تیمارهای شاهد (الف)، کودهای زیستی نیتروکسین (ب)، بیوفسفر (پ)، بیوسولفور (ت)، ترکیب دوگانه نیتروکسین و بیوفسفر (ث)، ترکیب سه‌گانه نیتروکسین، بیوفسفر و بیوسولفور (ج)، کودهای شیمیایی اوره (چ)، سوپرفسفات تریپل (ح)، ترکیب دوگانه اوره و سوپرفسفات تریپل (خ) و سه‌گانه ترکیب اوره، سوپرفسفات تریپل و گوگرد (د) (شیب خط رگرسیون نشان‌دهنده کارایی مصرف نور است)

با وجود اینکه نتایج این آزمایش برتری نسبی کارایی مصرف نور کنجد در نتیجه کاربرد کودهای شیمیایی نسبت به کودهای زیستی نشان داد اما بایستی این نکته توجه داشت که با مدیریت بهینه زراعی، کودهای زیستی با فراهم بودن شرایط مناسب برای فعالیت میکروارگانیسم‌های موثر آن‌ها و در بلند مدت، برتری‌های خود را نسبت به کودهای شیمیایی نشان می‌دهند و با بهبود شرایط حاصلخیزی خاک و پرهیز از نارسایی‌های اقتصادی و زیست‌محیطی مربوط به کاربرد کودهای شیمیایی تولید محصول و باروری خاک در بلندمدت را تضمین می‌کند (رضوی و همکاران، ۱۳۹۶؛ صیامی و بشارتی، ۱۳۹۱؛ صالح‌راستین، ۱۳۸۰). از این رو بسیاری از محققان به اثرات بلندمدت استفاده از کودهای زیستی در عرصه‌های کشاورزی تاکید دارند.

با توجه به شکل‌های مربوط به کارایی مصرف نور کنجد در تیمارهای مختلف آزمایش (شکل‌های ۳-الف تا ۳-د) به‌نظر می‌رسد دو مرحله برای نوع تابعیت ماده خشک تجمع یافته به ازای مجموع تشعشع فعال فتوسنتزی جذب شده توسط گیاه، یکی از اوایل مراحل رشد تا اواسط نیمه دوم طول رشد گیاه و یکی دیگر تا پایان طول دوره رشد گیاه وجود دارد، چنان که در مرحله اول، کارایی مصرف نور بیشتر از مرحله دوم است. از این رو در صورت تقسیم طول دوره رشد به دو دوره، می‌توان دو کارایی مصرف نور با مقادیری متفاوت برای آن‌ها قائل شد. با توجه به شکل‌های ۲ و ۳، مرحله کاهش شیب خط رگرسیونی قابل برازش به داده‌ها با مرحله‌ی ثبات و سپس کاهش شاخص

سطح برگ گیاه مطابق بوده است. از این رو به نظر می‌رسد کاهش رشد کنجد در مرحله دوم رشد خود که با پیر شدن برگ‌ها و کاهش شاخص برگ در اواخر دوره رشد انجام گرفته است، موجب عدم امکان استفاده کارای گیاه از منبع نوری در دسترس آن‌ها جهت تولید ماده خشک بیشتر شده باشد. گالاگر و بیسکو (۱۹۷۸) معتقدند گیاه در مرحله رشد سریع خود بالاترین کارایی مصرف نور را دارد. از سوی دیگر به عقیده سلطانی (۱۳۸۸) بدلیل اینکه در برخی گیاهان، ترکیب بیوشیمیایی بافت دانه با بافت گیاه تفاوت دارد، در طول دوره پر شدن دانه بخشی از انرژی تولیدی ناشی از فتوسنتز در گیاه صرف ساخت ترکیبات غنی از انرژی مثل روغن می‌شود و این امر موجب کاهش کارایی مصرف نور می‌شود. این امر در مورد کنجد که گیاهی دانه روغنی با درصد بالای روغن و پروتئین و درصد کم کربوهیدرات در دانه خود است کاملا صادق است و بنابراین می‌تواند به میزان قابل توجهی نتیجه بدست آمده این پژوهش را توجیه کند. از طرفی دیگر، انتقال مجدد نیتروژن در گیاه بخصوص در مراحل پایانی رشد با کاهش غلظت نیتروژن در برگ‌ها موجب پایین آمدن کارایی استفاده از تشعشع کاهش خواهد شد. نتایج پژوهش‌های گوناگونی درباره گیاهان بسیاری همچون چغندر قند و گندم نشان داده است که کارایی مصرف نور ممکن است تحت تأثیر عوامل دیگری همچون مرحله پر شدن دانه، ژنوتیپ گیاهی، شرایط اقلیمی و محیطی، مدیریت زراعی، سن اندام‌های گیاهی مانند ریشه و برگ (که همگی بر ظرفیت فتوسنتزی گیاه اثرگذارند) قرار می‌گیرد (پارسا و همکاران، ۱۳۸٦؛ سلطانی و هوگن‌بوم، ۲۰۰۷).

نتیجه‌گیری

یافته‌ها نشان داد که ضریب خاموشی نور ۰/۷ برای کنجد مقداری قابل قبول بود و بطور کلی کاربرد کودهای مختلف زیستی و شیمیایی کارایی مصرف نور کنجد را بهبود بخشید. در مجموع کاربرد کودهای شیمیایی کارایی مصرف نور را بیشتر از کودهای زیستی افزایش داد و در هر دو نوع کود، کاربرد ترکیبی آن‌ها موجب بهبود تاثیر آن‌ها بر گیاه و افزایش بیشتر کارایی مصرف نور در مقایسه با کاربرد تکی هرکدام از آن‌ها بود. کاربرد کود اوره تاثیر بیشتری را نسبت به نیتروکسین بر کارایی مصرف نور داشت در حالی که میزان افزایش این شاخص در تیمارهای سوپرفسفات تریپل و بیوفسفر تقریبا یکسان و هم‌اندازه بود. بنابراین می‌توان چنین اظهار داشت که جهت بهبود کارایی مصرف نور کاربرد کودهای زیستی و شیمیایی بایستی بصورت ترکیبی از چندین کود متفاوت انجام پذیرد تا ضمن رفع حداکثری نیاز تغذیه‌ای گیاه، کارایی بیشتری برای مصرف نور به وجود آید؛ با توجه به اینکه استفاده از هر دو کود شیمیایی و زیستی کارایی مصرف نور را افزایش داد، با درنظر گرفتن جنبه‌های مثبت کودهای زیستی در برابر معضلات ناشی از کودهای شیمیایی، جایگزینی کودهای زیستی با کودهای شیمیایی و استفاده ترکیبی از آن‌ها جهت تغذیه گیاه و بهبود کارایی مصرف نور کنجد پیشنهاد می‌گردد.

سپاسگزاری

بدین‌وسیله از کلیه کارکنان محترم مزرعه تحقیقاتی دانشگاه فردوسی مشهد بخاطر همکاری‌های صمیمانه ایشان و همچنین معاونت پژوهشی دانشگاه فردوسی مشهد بخاطر تامین بودجه این تحقیق از محل اعتبارات این معاونت (شماره ۲٦۵۵۸) تشکر و قدردانی می‌شود.

منابع

باقری، ف.، ح. روحانی، م. فلاحتی رستگار و ر. صابری‌ریسه. ۱۳۹۰. بررسی پدیده تنوع فازی در *سودوموناس*‌های فلورسنت و نقش آن در کنترل قارچ بیمارگر *Gaeumannomyces graminis* var. tritici عامل بیماری پاخوره گندم. دانش گیاه‌پزشکی ایران. شماره ۲: ۲۰۸-۱۹۹.

پارسا، س.، ع. کوچکی، م. نصیری‌محلاتی و ع.ر. قائمی. ۱۳۸٦. تغییرات فصلی دریافت و کارایی مصرف نور در چغندر قند. پژوهش‌های زراعی ایران. جلد ۵، شماره ۲: ۲۳۸-۲۲۹.

جهان، م. و م. نصیری‌محلاتی. ۱۳۹۱. حاصلخیزی خاک و کودهای بیولوژیک (رهیافتی اگرواکولوژیک). انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد. ۲۵۰ صفحه.

حمیدی، ا.، ا. قلاوند، م. دهقان شعار، م.ج. ملکوتی، ا. اصغرزاده، و ر. چوکان. ۱۳۸۵ . اثرات کاربرد باکتری‌های محرک رشد گیاه (PGPR) بر عملکرد ذرت علوفه‌ای. پژوهش و سازندگی. شماره ۷۰: ۲۲-۱٦.

خرم‌دل، س.، ع. کوچکی، م. نصیری‌محلاتی و ر. قربانی. ۱۳۸۷. اثر کاربرد کودهای بیولوژیک بر شاخص‌های رشدی سیاهدانه (*Nigella*

sativa L.). پژوهش‌های زراعی ایران. جلد ٦، شماره ۲: ۲۹٤-۲۸۵.

خرم‌دل، س.، ع. کوچکی، م. نصیری‌محلاتی و ر. قربانی. ۱۳۸۹. اثر کودهای بیولوژیک بر عملکرد و اجزای عملکرد گیاه دارویی سیاهدانه (*Nigella sativa* L.). پژوهش‌های زراعی ایران. جلد ۸، شماره ۵: ۷٦٦-۷۵۸.

خواجه‌پور، م.ر. ۱۳۸۹. گیاهان صنعتی. انتشارات جهاد دانشگاهی اصفهان. ۵۷۱ صفحه.

رضوانی‌مقدم، پ.، ع.ا. محمد آبادی و ر. مرادی. ۱۳۸۹. بررسی تاثیر کودهای شیمیایی و آلی بر عملکرد و اجزای عملکرد گیاه کنجد (*Sesamum indicum* L.) در تراکم‌های مختلف کاشت. بوم‌شناسی کشاورزی. جلد ۲، شماره ۲: ۲٦۵-۲۵٦.

رضوی، س.ا.ر. ۱۳۹۳. جذب و کارایی مصرف نور در گیاه دارویی پنیرک (*Malva sylvestris* L.) تحت تأثیر منابع مختلف کودهای آلی، زیستی، شیمیایی و کشت مخلوط با شنبلیله. پایان‌نامه کارشناسی ارشد اگرواکولوژی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد.

رضوی، س.ا.ر.، م. جهان، م. نصیری‌محلاتی و ک. حاج محمدنیا قالیباف. ۱۳۹٦. جذب و کارایی مصرف نور در گیاه دارویی پنیرک (*Malva sylvestris* L) تحت تأثیر منابع مختلف کودهای آلی، زیستی، شیمیایی و کشت مخلوط با شنبلیله. پژوهش‌های زراعی ایران (در دست چاپ).

سجادی‌نیک، ر. و ع.ر. یدوی. ۱۳۹۲. بررسی اثر کود نیتروژن، ورمی کمپوست و نیتروکسین بر شاخص های رشد، مراحل فنولوژیک و عملکرد دانه کنجد. مجله الکترونیک تولید گیاهان زراعی. شماره ۲: ۹۹-۷۳.

سلطانی، ا. ۱۳۸۸. مدل‌سازی ریاضی در گیاهان زراعی. انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد. ۱۷۵ صفحه.

صالح‌راستین، ن. ۱۳۸۰. کودهای بیولوژیک و نقش آن‌ها در راستای نیل به کشاورزی پایدار. مجموعه مقالات ضرورت تولید صنعتی کودهای بیولوژیک در کشور. انتشارات سنا. ۲۵۵ صفحه.

صیامی، ا. و ح. بشارتی. ۱۳۹۱. روند آزادسازی آهن و روی بر اثر اکسایش زیستی گوگرد. پژوهش‌های خاک. جلد ۲٦، شماره ۳: ۲٦۷-۲۵۵.

عامری، ع. و م. نصیری‌محلاتی. ۱۳۸۷. اثرات سطوح مختلف نیتروژن و تراکم بر میزان تولید گل و مواد مؤثره و کارایی مصرف نور در گیاه دارویی همیشه‌بهار (*Calendula officinalis* L.). نشریه پژوهش و سازندگی. شماره ۸۱: ۱٤٤-۱۳۳.

قبادی، م.، ش. جهانبین، ر. مطلبی‌فرد و خ. پرویزی. ۱۳۹۰. تأثیر کودهای زیستی فسفاته بر عملکرد و اجزای عملکرد سیب زمینی. دانش کشاورزی و تولید پایدار. جلد ۲۱، شماره ۲: ۱۳۰-۱۱۷.

کافی، م.، ا. زند، ب. کامکار، ف. عباسی و م. مهدوی‌دامغانی. ۱۳۹۲. فیزیولوژی گیاهی (جلد اول). انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد. ٦۷٦ صفحه.

مصطفوی، م.ج. ۱۳۹۳. تأثیر کودهای شیمیایی و بیولوژیک بر فنولوژی و عملکرد کمی و کیفی کنجد (*Sesamum indicum* L.) در شرایط اقلیمی مشهد. پایان‌نامه کارشناسی ارشد اگرواکولوژی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد.

مصطفوی، م.ج.، م. نصیری‌محلاتی و ع. کوچکی. ۱۳۹۳. اثر کاربرد منابع مختلف تغذیه ای زیستی و شیمیایی بر اجزای عملکرد و عملکرد کنجد. مجموعه مقالات سیزدهمین همایش علوم زراعت و اصلاح نباتات ایران و سومین همایش علوم و تکنولوژی بذر ایران، ٤ تا ٦ شهریور، کرج.

مصطفوی، م.ج.، م. نصیری‌محلاتی و ع. کوچکی. ۱۳۹۵. تاثیر کاربرد کودهای زیستی و شیمیایی بر عملکرد کمی و کیفی کنجد (*Sesamum indicum* L.) در شرایط اقلیمی مشهد. کشاورزی بوم‌شناختی. جلد ٦، شماره ۱: ۱۹۷-۲۱۲.

منصوری، س.ا. ۱۳۸۸. تحقیقات به‌نژادی و به‌زراعی گیاهان دانه روغنی در ایران دستاوردها و چشم‌انداز. مجموعه مقالات همایش ملی گیاهان دانه روغنی. ۱ و ۲ مهر، اصفهان.

نصیری‌محلاتی، م. ۱۳۸۷الف. اکولوژی تولید محصولات زراعی، در: زراعت نوین، ع. کوچکی، و م. خواجه‌حسینی. انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد. ۷۰٤ صفحه.

نصیری‌محلاتی، م. ۱۳۸۷ب. مدلسازی، در: زراعت نوین، ع. کوچکی، و م. خواجه‌حسینی. انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد. ۷۰٤ صفحه.

نظارت، س. و ا. غلامی. ۱۳۹۰. بررسی تاثیر باکتری‌های محرک رشد گیاه (*Azospirillum* و *Pseudomonas*) بر رشد و عملکرد گیاه ذرت (*Zea mays* L.). زراعت. شماره ۹۱: ۵۱-٤٤.

یزدان دوست همدانی، م. ۱۳۸۲. مطالعه تاثیر مصرف نیتروژن بر عملکرد، اجزای عملکرد و تجمع نیترات در ارقام سیب زمینی. علوم

کشاورزی ایران. جلد ۳٤، شماره ٤: ۹۸۵-۹۷۷.

یزدانی بیوکی، ر.، م. بنایان‌اول، ح.ر. خزاعی و ح. سودایی‌زاده. ۱۳۹۳.بررسی عملکرد و کارایی مصرف نور مرزنجوش وحشی (*Origanum vulgare* subsp. virid) در پاسخ به کودهای اوره و آزوکمپوست. تولید گیاهان زراعی. جلد ۷، شماره٤: ۱۲۲-۱۰۳.

Al-Barrak, K.M. 2006. Irrigation interval and nitrogen level effects on growth and yield of canola (*Brassica napus* L.). Science Journal of King Faisal University Basis of Applied Science, 7 (1): 87-103.

Ather Nadeem, M., Iqbal, Z., Ayub, M., Mubeen, K., and Ibrahim, M. 2009. Effect of nitrogen application on forage yield and quality of maize sown alone and in mixture with legumes. Pakistani Journal of Life Society Science, 7 (2): 161-167.

Board, J. 2000. Light interception efficiency and light quality affect yield compensation of soybean at low plant population. Crop. Science, 40: 1285-1294.

Caviglia, O.P., and Sadras, V.O. 2001. Effect of nitrogen supply on crop conductance, water- and radiation use efficiency of wheat. Fields Crop Research, 69: 259-266.

Francescangeli, N., Sangiacomo, M.A. and Marti, H. 2006. Effects of plant density in broccoli on yield and radiation use efficiency. Scientia Horticulturae, 110: 135-143.

Gallagher, J.N. and Biscoe, P.V. 1978. Radiation absorption, growth and yield of cereals. Journal of Agricultural Science (Camb.), 91: 47-60.

Goudriaan, J., and Van Laar, H.H. 1993. Modelling Potential Crop Growth Processes. Kluwer Academic Press.

Hameeda, B., Rupela, O.P., Reddy, G., and Satyavani, K. 2006. Application of plant growth-promoting bacteria associated with composts and macrofauna for growth promotion of pearl millet (*Pennisetum glaucum* L.). Biology and Fertility of Soils, 44: 260-266.

Jahan, M., Nassiri Mahallati, M., Amiri, M.B. and Ehyayi, H.R. 2013. Radiation absorption and use efficiency of sesame as affected by biofertilizers inoculation in a low input cropping system. Industrial Crops and Products, 43: 606-611.

Jamieson, P.D., Porter, J.R., and Wilson, D.R. 1991. A test of the computer simulation model ARCWHEAT1 on wheat crops grown in New Zealand. Field Crops Research 27, 337–350.

Kiniry, J.R., Tischler, C.R. and Van Esbroeck, G.A. 1999. Radiation use efficiency and leaf CO_2 exchange for divers C4 grasses. Biomass and Bioenergy, 17: 95-112

Lantinga, E.A., Nassiri, M. and Kropff, M.J. 1999. Modelling and measuring vertical light absorption within grass±clover mixtures. Agricultural and Forest Meteorology, 96: 71-83

Lindquist, J.L., T.J. Arkebauer, D.T. Walters, K.G. Cassman and A. Dobermann. 2005. Maize radiation use efficiency under optimal growth conditions. Agronomy Journal, 97: 72-78.

Monteith, J.L. 1994. Validity of the correlation between intercepted radiation and biomass. Agricultural and Forest Meteorology, 68: 213-220.

Paul, I.K. and Savithru, K. 2003. Effect of biofertilizers vs perfected chemical fertilization for sesame grown in summer rice fallow. Journal of Tropical Agriculture, 41: 47-49.

Sinclair, T.R., J. R. Farias, N. Neumaier, and A. L. Nepomuceno. 2003. Modelling nitrogen accumulation and use by soybean. Field Crops Research, 81: 149-158

Soltani, A., and Hoogenboom, G. 2007. Assessing crop management options with crop simulation models based on generated weather data. Field Crops Research, 103: 198–207.

Uzun, B., and Cagirgan, M.I. 2006. Comparison of determinate and indeterminate lines of sesame for agronomic traits. Field Crops Research, 96: 13-18.

Validation of light extinction coefficient and evaluation of the light use efficiency of Sesame with the application of various biological and chemical fertilizers

M.J. Mostafavi[1], M. Nassiri Mahallati[2], A. Koocheki[2]

Received: 2016-12-18 Accepted: 2017-11-23

Abstract

In order to evolution of radiation use efficiency (RUE) of sesame in the condition of using biological and chemical fertilizers and calculation of light extinction coefficient (K), an experiment was conducted in the year 2013 in RCBD design with 3 replications and 10 treatments. Treatments included biological fertilizers of Nitroxin, Biophosphor, Biosulfur, the mixture of Nitroxin-Biophosphor (Ni+BP), the mixture of Nitroxin-Biophosphor-Biosulfur (Ni+BP+TB) and chemical fertilizers of Urea, Triple superphosphate, the mixture of Urea-Triple superphosphate (U+P), the mixture of Urea-Triple superphosphate-Sulfur (U+P+S) and Control. Results showed that light extinction coefficient of 0.7 was an acceptable value. Biological and chemical fertilizers increased leaf area index (LAI) and RUE of Sesame and generally, chemical fertilizers increased RUE more in comparison of biological fertilizers. The highest value of LAI (3.42 and 3.32) belonged to U+P+S and U+P. RUE values in mixture treatments of biological and chemical fertilizers especially for Ni+BP+TB and U+P+S (1.34 and 1.41 respectively) were greater than its values in the sole application of fertilizers. Urea increased radiation use efficiency of sesame (1.34) more than Nitroxin (1.14), while the amount of increase of radiation use efficiency in triple superphosphate (1.26) and Biophosphor (1.25) was almost identical. Therefore, it is recommended that fertilization of sesame be done by using the mixture of some different biological or chemical fertilizers in order to maximizing RUE by compliment of plant nutritional needs.

Keywords: Biophosphor, biosulfur, lai, nitroxin, validation

1- PhD Student of Agroecology, Agronomy and Plant Breeding Department, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran
2- Professor of Agronomy and Plant Breeding Departement, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran