Archive of SID

نشریه زراعت و فناوری زعفران
جلد ۳، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۴ ص. ۲۱۶-۲۰۳

Saffron Agronomy & Technology
Vol. 3, No. 3, Fall 2015, P. 203-216

بررسی ضریب خاموشی، روند جذب و کارایی مصرف نور در زعفران (*Crocus sativus* L.)

سیده ملیحه میرهاشمی[۱]، محمد بنایان[۲*]، احمد نظامی[۳] و مهدی نصیری محلاتی[۳]

تاریخ دریافت: ۲۹ دی ۱۳۹۳ تاریخ پذیرش: ۲۴ فروردین ۱۳۹۴

چکیده

در گیاهان زراعی شاخص سطح برگ، ضریب خاموشی و کارایی مصرف نور از مهم‌ترین خصوصیات اکوفیزیولوژیکی محسوب می‌شوند که در ارزیابی میزان نور جذب شده، تولید ماده خشک و عملکرد مؤثرند. در این پژوهش برای تعیین روند تغییرات شاخص سطح برگ، تعیین ضریب خاموشی و کارایی مصرف نور در مزرعه یک‌ساله و دوساله زعفران، آزمایشی در چهار سال زراعی از سال ۱۳۹۰ تا ۱۳۹۳ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد انجام شد. کشت در دو سال زراعی ۱۳۹۱-۱۳۹۰ و ۱۳۹۲-۱۳۹۱ با استفاده از بنه‌های زعفران با گروه وزنی ۱۵-۱۳ گرم و با تراکم ۵۰ بوته در مترمربع انجام شد. برای تعیین شاخص سطح برگ و وزن خشک اندام‌های هوایی زعفران، نمونه‌برداری تخریبی، طی فصل رشد در فواصل زمانی ۱۴ روز یک‌بار انجام شد. نتایج نشان داد که با افزایش حداکثر شاخص سطح برگ زعفران از ۰/۳۳ در مزرعه یکساله به ۱/۸۱ در مزرعه دوساله، ضریب خاموشی نور در مزرعه یک‌ساله و دوساله به ترتیب از ۱/۲۰ به ۰/۵۴ کاهش یافت. روند افزایش شاخص سطح برگ در زعفران با کسر تابش جذب شده در هر چهار سال آزمایش هم‌خوانی داشت، به طوری‌که کسر تابش جذب شده با افزایش شاخص سطح برگ به تدریج افزایش یافت و با دریافت میانگین ۱۰۸۳ واحد حرارتی در مزرعه یک‌ساله و ۱۰۳۴ واحد حرارتی در مزرعه دوساله به حداکثر خود رسید. مقدار میانگین دوساله کارایی مصرف نور زعفران نیز در مزارع یک‌ساله و دوساله به ترتیب معادل ۰/۶۸ و ۱/۷۳ گرم بر مگاژول تابش فعال فتوسنتزی به دست آمد. بر این اساس، با افزایش سن مزرعه و شاخص سطح برگ در زعفران، ضریب خاموشی نورکاهش و به تبع آن میزان جذب و کارایی مصرف نور افزایش می‌یابد.

کلمات کلیدی: تابش، سن زعفران، شاخص سطح برگ، وزن خشک

مقدمه

میزان تابش خورشیدی در خارج از اتمسفر زمین که به سطحی عمود بر جهت تابش می‌رسد، ثابت خورشیدی نامیده شده و در حدود ۱۳۶۷ ژول بر متر مربع در ثانیه است (Jones, 1994). در حدود ۵۰ درصد از کل تابش خورشیدی که به سطح زمین می‌رسد در محدودهٔ ۷۰۰-۴۰۰ نانومتر قرار دارد و تابش فعال فتوسنتزی (PAR) یا به طور ساده نور نامیده می‌شود (Nassiri Mahallati, 2008). از مجموع ۱۰۰ درصد انرژی نورانی دریافت شده توسط برگ تنها ۵ درصد به کربوهیدرات برای تولید زیست توده تبدیل می‌شود، مابقی انرژی به صورت طول موج‌های غیرقابل جذب (۶۰ درصد)، انعکاس و عبور (۸

۱- دانشجوی دکتری اکولوژی گیاهان زراعی دانشگاه فردوسی مشهد.
۲- دانشیار دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد.
۳- استاد دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد.
(*- نویسنده مسئول: banayan@um.ac.ir)

www.SID.ir

Archive of SID

درصد)، اتلاف گرما (۸ درصد) و متابولیسم (۱۹ درصد) هدر می‌رود (Campillo et al., 2012). مقدار تابش جذب شده توسط گیاه به عوامل متعددی از قبیل سطح برگ (که انعکاس نور را تحت تاثیر قرار می‌دهد)، شکل و نحوه قرارگیری برگ در کانوپی (Nassiri Mahallati, 2008a; Campillo et al., 2012)، زاویه برگ، ضخامت و غلظت کلروفیل (که عبور نور را تحت تأثیر قرار می‌دهد)، ارتفاع خورشید و توزیع تابش مستقیم و پراکنده خورشید بستگی دارد (Campillo et al., 2012).

برای استفاده بهینه گیاه از تابش خورشیدی، بخش اعظمی از تابش باید توسط اندام فتوسنتز کننده جذب شود. برگ واحد اصلی و فعال فتوسنتزی است (Kafi, 2008; Campillo et al., 2012)، بنابراین کارایی آن در جذب و استفاده از انرژی خورشیدی تعیین کننده تولید و عملکرد گیاه است (Campillo et al., 2012). جذب نور در کانوپی علاوه بر شاخص سطح برگ (LAI) به آرایش برگ‌ها در کانوپی نیز بستگی دارد. متداول‌ترین روش برای توصیف آرایش برگ‌ها در کانوپی، زاویه برگ‌ها نسبت به ساقه است که توسط ضریب خاموشی نور (K) بیان می‌شود. ضریب خاموشی در واقع نسبت مساحت سایهٔ یک برگ برروی زمین به مساحت خود برگ است. چنانچه برگ کاملاً افقی بوده و جهت تابش کاملاً عمودی باشد، مساحت سایه با مساحت برگ برابر بوده و مقدار K برابر یک خواهد بود. با تغییر زاویه برگ نسبت به افق و یا تغییر زاویه تابش، مقدار K کمتر یا بیشتر از یک خواهد شد (Nassiri Mahallati, 2008a). مینک و همکاران (Meinke et al., 1996) با تعیین ضریب خاموشی نور طی اوایل رشد در گندم بهاره نشان دادند که همزمان با افزایش LAI مقدار K کاهش یافت، به طوری‌که با افزایش LAI تا مقدار یک، مقدار K از ۲ به ۰/۴۵ کاهش یافت. با این حال افزایش شاخص سطح برگ به مقادیر بالاتر از یک کاهش چشم‌گیری در مقدار K نشان نداد. این محققین نشان دادند که چنانچه مقدار حداکثر شاخص سطح برگ (LAI_{max}) بالا باشد مقادیر بالاتر K طی مراحل اولیه رشد گیاه از اهمیت زیادی برخوردار نیست، ولی چنانچه LAI_{max} پایین باشد، همانند آنچه در تولید گندم دیم غالباً به چشم می‌خورد، مقادیر بالای K طی مراحل اولیه رشد حائز اهمیت است (Meinke et al., 1996). همچنین مطالعه ضریب خاموشی نور در آفتاب‌گردان نشان داد که با افزایش LAI تا مقدار۳، مقدار K از ۴ به ۰/۸۳ کاهش یافت (Zaffaroni & Schneiter, 1989). با معلوم بودن شاخص سطح برگ، ضریب خاموشی نور و میزان تابش روزانه می‌توان میزان تابش جذب شده توسط کانوپی (مگاژول در متر مربع) را براساس قانون لامبرت محاسبه کرد (Sinclair & Muchow, 1999).

مفهوم کارایی مصرف نور در تجزیه و تحلیل رشد گیاه کاربرد وسیعی دارد (Kemanian et al., 2004). کارایی مصرف نور میزان ماده خشک تولید شده (گرم در مترمربع) به ازای هر واحد تابش جذب شده (مگاژول در مترمربع) توسط جامعه گیاهی می‌باشد (Monteith, 1977; Kazemi et al., 2011) که در مطالعات اکولوژیکی، فیزیولوژیکی و مدل‌های رشد گیاه اهمیت و کاربرد فراوانی دارد، بخصوص گیاهانی که رشد آنها توسط شرایط نامناسب اقلیمی، کمبود آب و مواد غذایی محدود نشده باشد (Ruimy et al., 1995; Rosati et al., 2004). کارایی مصرف نور براساس کل تابش خورشیدی برای گیاهان سه کربنه در حدود ۱ تا ۱/۵ و برای گیاهان چهار کربنه در حدود ۱/۵ تا ۲ گرم بر مگاژول است (Monteith, 1977). سینکلر و ماچو(Sinclair & Muchow, 1999) حداکثر راندمان مصرف نور را در گیاهان چهارکربنه برای نیشکر، ذرت و سورگوم به ترتیب ۲ ، ۱/۷۷ و ۱/۴۰ گرم بر مگاژول و برای گیاهان سه کربنه سیب زمینی، آفتابگردان و برنج به ترتیب ۱/۷ ، ۱/۵۶ و ۱/۴۶ گرم بر مگاژول گزارش کرده‌اند.

www.SID.ir

Archive of SID

زعفران گیاهی از خانواده زنبقیان[1]، تریپلوئید، عقیم (Dhar et al., 1998)، علفی، چندساله، بدون ساقه و کورم‌دار (Abrishami, 1997; Kafi, 2002) و یکی از گران‌بهاترین گونه‌های گیاهی در جهان می‌باشد (Hassan-Beygi et al., 2010). این گیاه به جهت خصوصیات منحصر به فرد خود از جمله عطر، طعم و رنگ زرد از قدیم ارزش فراوانی داشته (Zohary & Hopf, 1994; Ghorbani & Koocheki, 2006) و در پخت و پز و صنایع نساجی جایگاه ویژه‌ای را به خود اختصاص داده است (Basker & Negbi, 1983; Kafi & Showket, 2006). همچنین به دلیل خواص ویژه دارویی نظیر سیتوتوکسیک[2]، ضدسرطان[3] و آنتی تومور[4] در صنایع دارویی کاربرد فراوان دارد (Abdullaev & Frenkel, 1999). به همین دلایل، زعفران گران‌ترین چاشنی غذایی جهان شناخته شده است (Winterhalter & Straubinger, 2000; Grilli-Caiola, 2004). تولید سالانه زعفران در جهان حدود ۲۴۵ تن برآورد شده است که ایران با ۹۳/۷ درصد تولید در راس کشورهای تولید کننده قرار دارد (Douglas et al., 2014; Ghorbani, 2006). در سال ۱۳۹۰ میزان تولید زعفران ایران ۲۵۴۰۶۰/۴ کیلوگرم گزارش شده است که خراسان رضوی با تولید ۱۹۵۵۱۵ کیلوگرم در جایگاه نخست قرار دارد (Ministry of Agriculture Jihad of Iran, 2013). با تمام اهمیتی که این گیاه در اقتصاد و اشتغال‌زایی مناطق مختلف کشور دارد ولی در عرصه پژوهش بدلیل مشکل بودن تحقیق روی گیاهان چندساله، از نظر مطالعات فیزیولوژیکی کمتر مورد توجه محققین قرار گرفته است.

با وجود اینکه برآورد و محاسبه خصوصیات اکوفیزیولوژیکی گیاهان در مطالعات فیزولوژیکی و مدل‌های شبیه‌سازی رشد گیاهان از اهمیت زیادی برخوردار است هنوز مقادیر آنها برای بسیاری از گیاهان مهم و استراتژیک مشخص نشده است. در زعفران که گیاهی چند ساله است انتظار می‌رود شاخص سطح برگ طی سال‌های مختلف افزایش یابد و به دنبال آن ضریب خاموشی، جذب و کارایی مصرف نور طی سال‌های متوالی متفاوت باشد. بر این اساس این تحقیق به منظور محاسبه مقادیر پایه ضریب خاموشی، جذب و کارایی مصرف نور زعفران در مزارع یک‌ساله و دوساله انجام شد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد از سال ۱۳۹۰ آغاز و در سال ۱۳۹۳ به اتمام رسید. در این آزمایش داده‌های مربوط به زعفران یکساله طی دو سال زراعی ۱۳۹۱- ۱۳۹۰ و ۱۳۹۲- ۱۳۹۱ و داده‌های مربوط به زعفران دوساله طی دو سال زراعی ۱۳۹۲- ۱۳۹۱ و ۱۳۹۳- ۱۳۹۲ جمع آوری شد. مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد با عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۱۶ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۹ درجه و ۳۶ دقیقه شرقی و ارتفاع ۹۸۵ متری از سطح دریا در ۱۰ کیلومتری شرق مشهد واقع شده است. خاک منطقه مورد آزمایش دارای بافت سیلتی لومی بود که نتایج حاصل از تجزیه شیمیایی آن در جدول ۱ ارائه شده است.

در سال‌های ۱۳۹۱- ۱۳۹۰ و ۱۳۹۲- ۱۳۹۱ عملیات آماده‌سازی و کشت به طور همزمان و به صورت زیر انجام شد: اوایل بهار معادل ۲۵ تن در هکتار کود گاوی پوسیده به زمینی با مساحت ۸۰۰ متر مربع اضافه شد، سپس با رتیواتور تا عمق ۲۰ سانتیمتری با خاک مخلوط شد. در شهریورماه عملیات خاک‌ورزی شامل شخم، دو دیسک عمود برهم و تسطیح زمین با استفاده از دستگاه لولر انجام و سپس جهت سهولت نمونه‌برداری کرتهایی به ابعاد ۲× ۲ مترمربع ایجاد شد. قبل از

1- Iridaceae
2- Cytotoxic
3- Anti-carcinogenic
4- Anti-tumour

www.SID.ir

Archive of SID

کاشت بنه‌های زعفران جداسازی و بنه‌های با وزن ۱۵- ۱۳ گرم جهت کاشت انتخاب شدند. زعفران در ۲۵ شهریور هر سال با تراکم ۵۰ بوته در مترمربع و عمق کاشت ۱۰ سانتیمتر کشت شد. در سال ۱۳۹۲- ۱۳۹۱ و ۱۳۹۳- ۱۳۹۲ در مزارع زعفران دوساله مقدار ۲۵ تن در هکتار کود گاوی پوسیده قبل از اولین آبیاری به زمین اضافه شد.

در هرچهار فصل رشد، آبیاری اول در ۱۶ مهرماه و عملیات سله شکنی به منظور تسهیل در سبز شدن بنه‌های زعفران پس از گاورو شدن زمین انجام شد، بعد از اتمام گلدهی کود نیتروژن به میزان ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار مصرف و آبیاری دوم نیز انجام شد. آبیاری‌های بعدی تا انتهای فصل رشد در ۴ نوبت صورت پذیرفت. کنترل علفهای هرز طی فصل رشد بصورت دستی انجام شد.

به منظور تعیین شاخص‌های رشدی، نمونه‌برداری تخریبی پس از سبز شدن بوته‌ها هر ۱۴ روز یکبار انجام و تا زمان زرد شدن کامل برگها ادامه یافت (در مواردی که به دلیل بارش و یخبندان خاک نمونه‌گیری امکان پذیر نبود، فاصله نمونه‌برداری‌ها بیشتر می‌شد). در هر نمونه‌گیری سه بوته از چهار قسمت مختلف زمین خارج و در نهایت دوازده بوته جهت اندازه‌گیری سطح برگ و وزن خشک به آزمایشگاه منتقل شد. سطح برگ گیاهان در آزمایشگاه توسط دستگاه سطح برگ سنج مدل LI 3100C اندازه‌گیری شد.

جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک محل اجرای آزمایش

Table 1- Physical and chemical characteristics of soil in experimental site

رس Clay (%)	شن Sand (%)	سیلت Silt (%)	اسیدیته pH	هدایت الکتریکی EC (dS m^{-1})	ماده آلی OM (%)	نیتروژن کل N_{total} (ppm)	فسفر قابل جذب $P_{ava.}$ (ppm)	پتاسیم قابل استفاده $K_{ava.}$ (ppm)
18.7	35.3	46.0	7.90	1.00	0.62	658	11.5	350

سپس نمونه‌ها جهت تعیین وزن خشک به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد در آون قرار داده شدند.

شاخص سطح برگ (LAI) روزانه از یک تابع غیرخطی بر اساس سن گیاه (TT) برآورد شد (معادله۱):

$$LAI = \exp(\alpha) \times ((TT - TT_e)^{\wedge} \beta \times (TT_{el} - TT)^{\wedge} \lambda \quad (۱)$$

که در این رابطه، TT، زمان حرارتی تجمعی یا درجه روز رشد، TT_eزمان حرارتی مورد نیاز برای ظهور برگها، TT_{el} زمان حرارتی مورد نیاز برای پایان رشد برگ که در آن برگها بطور کامل زرد شده و شاخص سطح برگ به صفر می‌رسد، و α، β و λ ضرایب معادله هستند.

برای محاسبه زمان حرارتی تجمعی یا مجموع درجه روز رشد (TT) از معادله ۲ استفاده شد (Jame & Cutforth, 2004):

$$TT_j = \sum_{i=1}^{j} (T - T_b) \quad (۲)$$

که در آن T: میانگین دمای روزانه برحسب درجه سانتی‌گراد، Tb دمای پایه رشد زعفران برحسب درجه سانتی‌گراد (۲°C) و j : تعداد روزهای بعد ازاولین آبیاری است.

به منظور محاسبه ضریب خاموشی نور، تابش لحظه‌ای در سطح و پایین کانوپی با استفاده از دستگاه اکیوپار مدل ال پی ۸۰[1] اندازه‌گیری شد، به این صورت که همزمان با نمونه‌برداری‌های سطح برگ و ماده خشک، اندازه‌گیری تابش در هشت نقطه از زمین مورد نظر در فاصله ساعات ۱۱ تا ۱۳ انجام شد. بدین منظور در هر نقطه شش اندازه‌گیری عمود برهم در بالای کانوپی و شش اندازه‌گیری در پایین کانوپی (سه اندازه‌گیری در امتداد ردیفها و سه اندازه‌گیری عمود بر جهت

1- AccuPAR LP-80

www.SID.ir

Archive of SID

ردیف‌های کاشت) صورت گرفت. در نهایت در هر مرحله اندازه‌گیری در مجموع ۴۸ عدد از تابش رسیده به پایین کانوپی ثبت شد. با معلوم بودن شاخص سطح برگ، میزان نور رسیده به پایین کانوپی (PAR) و نور رسیده به بالای کانوپی (PAR_0)، ضریب خاموشی نور (k) با استفاده از لگاریتم نسبت نور عبور کرده (PAR/PAR_0) ln در مقابل شاخص سطح برگ و بر اساس معادله ۳ به‌دست آمد (Soltani, 2009):

$$\ln(\frac{PAR}{PAR_0}) = -K \times LAI \qquad (۳)$$

برای محاسبه نور جذب شده روزانه (معادله ۴) ابتدا تابش روزانه رسیده به بالای کانوپی بر اساس عرض جغرافیایی، فصل سال، طول روز، ضریب عبور اتمسفر و ساعت آفتابی منطقه مشهد طبق روش خودریان و وان لار (Goudriaan & Van Laar, 1993) برآورد شد.

$$PAR_a = I_0 \times 0.5 \times (1-p)(1-\exp(-K \cdot LAI)) \quad (MJ.m^{-2}) \qquad (۴)$$

PAR_a نور جذب شده توسط کانوپی (مگاژول بر متر مربع)، I_0 نور رسیده به بالای کانوپی (مگاژول بر متر مربع)، P؛ ضریب انعکاس، K ضریب خاموشی نور و LAI شاخص سطح برگ می‌باشد (Nassiri Mahallati, 2008b). در نهایت کارایی مصرف نور از طریق محاسبه شیب خط رگرسیون بین ماده خشک و میزان تابش جذب شده تجمعی محاسبه گردید (Nassiri Mahallati, 2008a; Peter, 2010).

به منظور تجزیه و تحلیل داده‌ها، برازش روابط مورد نظر و رسم شکل‌ها از نرم افزار اسلاید رایت و اکسل استفاده شد.

نتایج و بحث

شاخص سطح برگ

نتایج این آزمایش نشان داد که روند توسعه سطح برگ زعفران طی فصل رشد غیرخطی بود و مانند سایر گیاهان از جمله گندم و کلزا از تابع سیگموئیدی پیروی کرد. به طور کلی درجه حرارت عامل اصلی تعیین‌کننده توسعه سطح برگ به ویژه در مراحل آغازین رشد است (Kropff & Van Laar, 1993; Nassiri Mahallati, 2008a). بنابراین در این بررسی سعی شد شاخص سطح برگ با استفاده از فرمول مربوطه (معادله۱)، توسط زمان حرارتی تجمعی برازش داده شود. روند تغییرات شاخص سطح برگ زعفران در مزارع یکساله و دوساله در طول فصل رشد برای هر چهار سال آزمایش مشابه و غیرخطی بود (شکل ۱)، به طوری که با افزایش دمای هوا و با دریافت حدود ۵۰۰ واحد حرارتی (که بصورت تجمعی از اولین روز آبیاری محاسبه شده بود) شاخص سطح برگ به صورت نمایی و بسیارکند افزایش یافت. در ادامه شاخص سطح برگ روند خطی پیدا کرد و در مزرعه یک‌ساله زعفران به ترتیب برای سال اول و دوم با دریافت حدود ۹۱۸ و ۱۰۷۷ واحد حرارتی (شکل ۱- الف) و در مزرعه دوساله زعفران به ترتیب برای سال اول و دوم با دریافت حدود ۱۰۹۵ و ۹۶۱ واحد حرارتی (شکل ۱- ب) به حداکثر مقدار خود رسید. پس از این مرحله به دلیل زرد شدن برگها روند کاهشی در شاخص سطح برگ مشاهده گردید.

در مزرعه یک‌ساله زعفران بیشترین شاخص سطح برگ (۰/۴۰) در سال اول ملاحظه گردید (شکل ۱- الف)، به طوری که در ۱۸۳ روز بعد از اولین آبیاری (۱۹ فروردین) و با دریافت ۹۱۸ واحد حرارتی حداکثر شاخص سطح برگ در سال اول مشاهده شد. در سال دوم نیز بیشترین مقدار شاخص سطح برگ (۰/۳۰) در ۱۵۶ روز پس از اولین آبیاری (۲۱ اسفند) و با دریافت ۱۰۷۷ واحد حرارتی بدست آمد (شکل ۱- الف). در مزرعه دوساله زعفران بیشترین شاخص سطح برگ (۲/۰۸) در سال دوم ملاحظه شد (شکل ۱- ب)، به طوری که در ۱۷۶ روز بعد از اولین آبیاری (۱۲ فروردین) و با دریافت ۹۶۱ واحد حرارتی حداکثر شاخص سطح برگ در سال دوم مشاهده شد. در سال اول نیز بیشترین مقدار شاخص سطح برگ (۱/۶۷) در ۱۵۸ روز پس از اولین آبیاری (۲۳ اسفند) و با دریافت ۱۰۹۵ واحد حرارتی بدست آمد (شکل ۱- ب). میانگین کم‌ترین مقدار شاخص سطح

www.SID.ir

Archive of SID

برگ در مزارع یکساله و دوساله زعفران به ترتیب معادل ۰/۰۳ و ۰/۰۷ در اواسط پاییز، و میانگین حداکثر شاخص سطح برگ در مزارع یکساله و دوساله زعفران به ترتیب معادل ۰/۳۳ و ۱/۸۱ بسته به میانگین دمای منطقه در اواخر اسفند و یا اوایل فروردین بدست آمد (شکل۱- الف و ب) و پس از آن با خشک‌شدن بعضی از برگ‌ها شاخص سطح برگ شروع به کاهش نمود و در اواخر اردیبهشت به صفر رسید.

در این پژوهش که طی دو سال در مزرعه زعفران یک‌ساله و دو سال در مزرعه زعفران دوساله انجام شد نتایج نشان داد که زعفران یک‌ساله به طور میانگین با دریافت حدود ۱۰۸۳ واحد حرارتی می‌تواند حداکثر شاخص سطح برگ (۰/۳۳) را داشته باشد و زعفران دوساله نیز به طور میانگین با دریافت حدود ۱۰۳۴ درجه روز حرارت می‌تواند حداکثر شاخص سطح برگ (۱/۸۱) را داشته باشد. در گیاهانی نظیر زنیان (*Carum copticum*) (Mirhashemi, 2006) و رازیانه (*Foeniculum vulgar*) (Ranjbar, 1012) نیز که دارای برگ‌های نازک و ظریفی هستند حداکثر شاخص سطح برگ در کشت خالص به ترتیب ۱/۴ و ۰/۱۶ گزارش شد. طبق اطلاعات مندرج در شکل ۱ (الف و ب) هرچند با افزایش سن زعفران شاخص سطح برگ به دلیل افزایش تعداد بنه مادری و جوانه‌های جانبی طی سال-های متمادی رشد، افزایش می‌یابد ولی میانگین حداکثر شاخص سطح برگ در زعفران دوساله از ۱/۸۱ تجاوز نمی‌کند، این امر به دلیل باریک‌بودن برگ‌های زعفران و عدم پوشش مناسب در طی فصل رشد می‌باشد. این عدد بیشتر از مقدار گزارش شده توسط سپاسخواه و همکاران (Sepaskhah et al., 2013; Yarami, 2008) است که حداکثر شاخص سطح برگ زعفران دوساله را حدود ۰/۹ گزارش کردند، همچنین شیر محمدی (Shirmohammadi-Aliakbarkhani, 2002) که بیشترین مقدار شاخص سطح برگ زعفران سه‌ساله را معادل ۱/۲۴ بیان نمود که در ۱۷۳ روز بعد از کاشت (۲۰ فروردین) به دست آمد.

هر چند محاسبه شاخص سطح برگ در آزمایش آن‌ها (Shirmohammadi-Aliakbarkhani, 2002; Yarami, 2008; Sepaskhah et al., 2013) تحت شرایط رژیم‌های مختلف آبیاری محاسبه شده بود. لازم به ذکر است که در طرح مذکور (Shirmohammadi-Aliakbarkhani, 2002) کشت زعفران با استفاده از بنه‌های با متوسط وزن ۳/۸ گرم انجام شد و همان‌طور که نصیری محلاتی و همکاران (Nassiri Mahallati et al., 2007) اظهار داشتند با افزایش وزن بنه، تعداد جوانه جانبی و شاخص سطح برگ افزایش می‌یابد، دلیل بالا بودن میانگین حداکثر شاخص سطح برگ در پژوهش حاضر نسبت به مطالعات دیگر(Shirmohammadi-Aliakbarkhani, 2002; Yarami, 2008; Sepaskhah et al., 2013) انتخاب بنه‌های با وزن بالا (۱۵ – ۱۳ گرم) هنگام کشت بود.

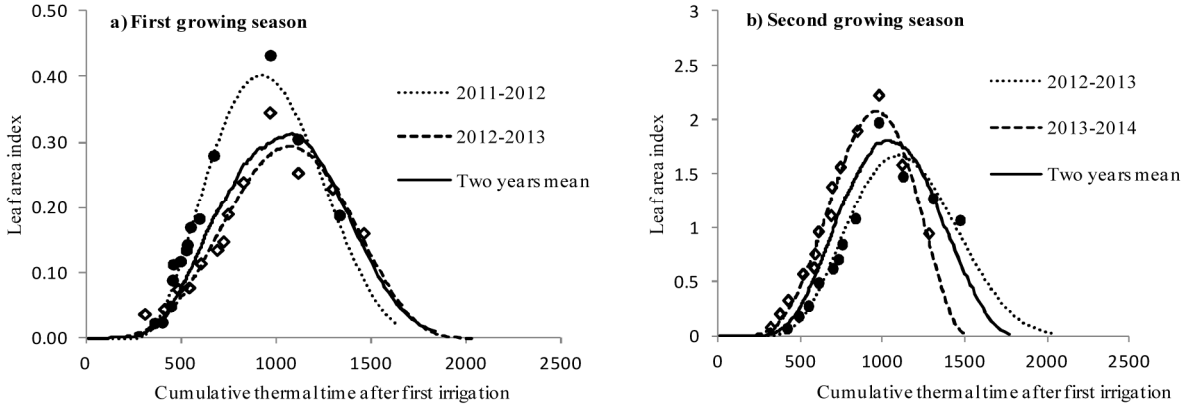
ضریب خاموشی نور

لگاریتم کسر نور عبور کرده از کانوپی در زعفران یک‌ساله و دو ساله در هر چهار سال آزمایش با افزایش شاخص سطح برگ به طور خطی کاهش یافت (شکل۲). شیب منحنی لگاریتم نسبت نور عبور کرده در برابر شاخص سطح برگ که نشان‌دهنده ضریب خاموشی نور است در مزرعه یک‌ساله زعفران در سال اول و دوم به ترتیب ۱/۰۹ (شکل ۲- الف) و ۱/۳۰ (شکل ۲- ب) به دست آمد. ضریب خاموشی نور در مزرعه دوساله زعفران در سال اول و دوم نیز به ترتیب ۰/۶۳ (شکل ۲- ج) و ۰/۴۵ (شکل ۲- د) به دست آمد. میرهاشمی و همکاران (Mirhashemi et al., 2012) نیز ضریب خاموشی نور معادل ۰/۶۰ را برای زعفران گزارش نمودند که با نتایج این پژوهش هم‌خوانی دارد. مقدار میانگین ضریب خاموشی نور در مزارع زعفران یک‌ساله و دوساله مورد بررسی در این تحقیق به ترتیب معادل ۱/۲۰ و ۰/۵۴ به‌دست آمد. ضریب خاموشی نور در سال اول کشت زعفران بیشتر از یک به دست آمد این امر می‌تواند به

www.SID.ir

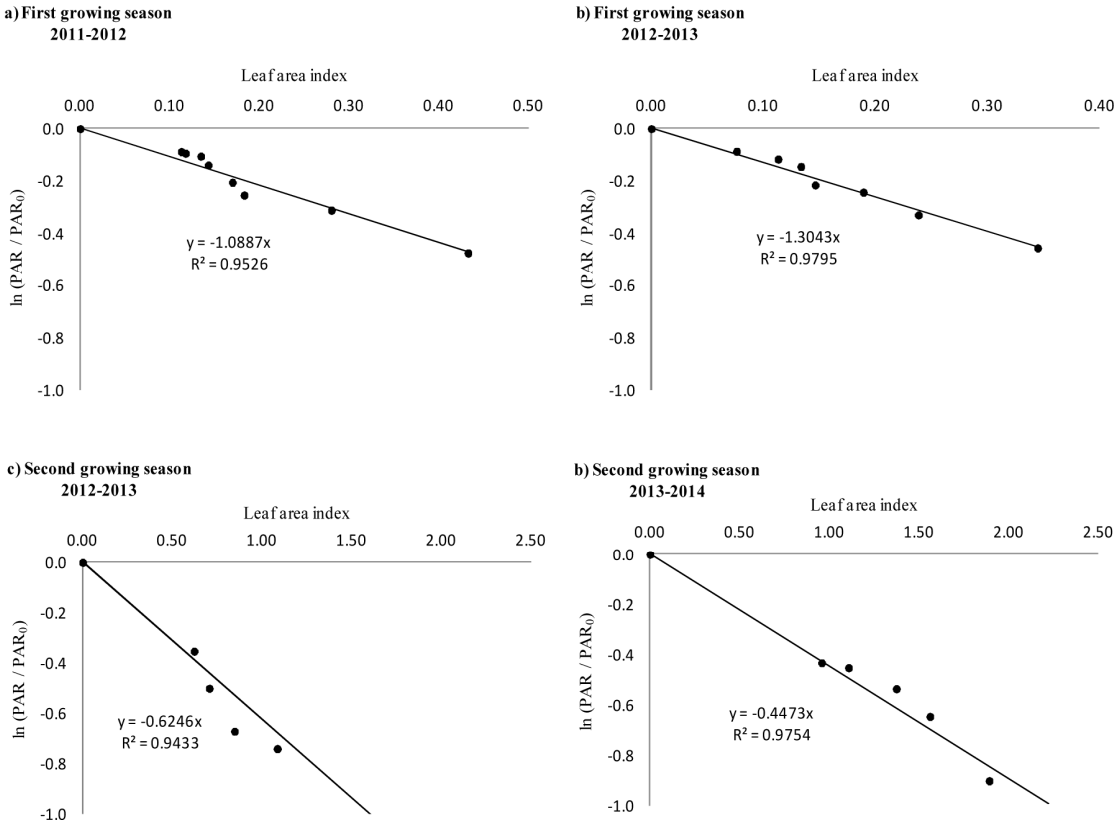
Archive of SID

دلایل زیر مربوط باشد: ۱- شاخص سطح برگ پایین تر از ۰/۵ در زعفران یک‌ساله، ۲- آرایش منحصر به فرد برگ‌های زعفران که در ابتدای ظهور عمودی بوده و به تدریج و با طویل شدن برگ‌ها از حالت عمودی به حالت افقی تغییر می‌کند.



شکل ۱- روند تغییرات شاخص سطح برگ زعفران یکساله و دوساله در طول فصل رشد

Figure 1- Leaf area index trend during the first and second growing season.



شکل ۲- تغییرات نسبت نور عبور کرده در برابر شاخص سطح برگ زعفران یکساله و دوساله (شیب منحنی نشان دهنده ضریب خاموشی نور است).

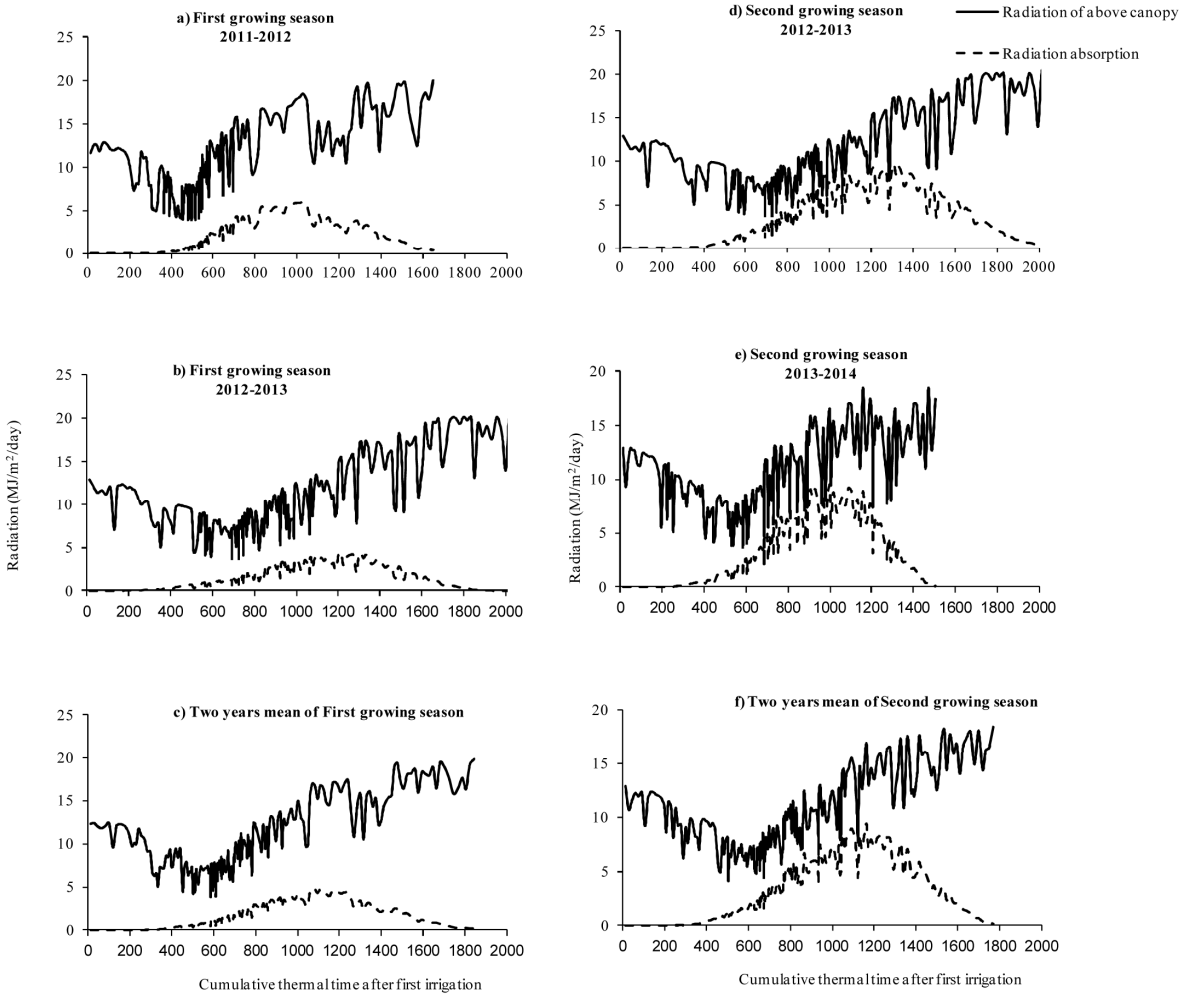
Figure 2- Fraction of transmitted radiation vs. leaf area index of saffron in first and second growing season (The slope of curve demonstrate light extinction coefficient).

www.SID.ir

Archive of SID

دلیل دوم فقط زمانی قابل قبول است که ضریب خاموشی نور در طی یک فصل رشد و در زعفران یک‌ساله محاسبه شود ولی زمانی که سن زعفران در نظر گرفته شود و ضریب خاموشی بین سن یک‌ساله و دوساله زعفران بررسی شود آرایش برگ‌ها را نمی‌توان دلیل مناسبی دانست زیرا در هر دو سن زعفران (یک-ساله و دوساله) در طی فصل رشد نحوه آرایش برگ‌ها یکسان است، بنابراین با توجه به سن زعفران، پایین بودن شاخص سطح برگ دلیل منطقی‌تری برای ضریب خاموشی نور بالاتر از یک به نظر می‌رسد.

محققین دیگر نیز برای گیاهانی نظیر گندم بهاره (Meinke et al., 1996) و آفتابگردان (Zaffaroni & Schneiter, 1989) گزارش کردند که در شرایطی که شاخص سطح برگ پایین تر از ۰/۵ باشد K بیشتر از یک به دست می‌آید و با افزایش LAI به سمت یک، ضریب خاموشی نور به سرعت به سمت عددی کمتر از یک کاهش می‌یابد و سپس به یک عدد ثابت می‌رسد که با افزایش LAI، ضریب خاموشی نور تغییر زیادی نمی‌کند. در زعفران نیز با افزایش حداکثر شاخص سطح برگ (LAI_{max}) از ۰/۳۳ در مزرعه یک‌ساله (شکل ۱- الف) به ۱/۸۱ در مزرعه دوساله (شکل ۱- ب)، ضریب خاموشی نور در مزارع از ۱/۲۰ به ۰/۵۴ کاهش یافت.



شکل ۳- روند جذب نور زعفران یکساله و دوساله طی فصل رشد

Figure 3- Trend of absorbed radiation during first and second growing season of saffron.

www.SID.ir

Archive of SID

بنابراین می‌توان نتیجه گرفت در زعفران با افزایش شاخص سطح برگ تا مقدار ۰/۳، ضریب خاموشی نور بیشتر از یک به‌دست می‌آید همانند آنچه در زعفران یک‌ساله مشاهده شد و با افزایش سن زعفران از یک‌ساله به دوساله و افزایش شاخص سطح برگ به سمت یک، ضریب خاموشی نور نیز به سمت عددی کمتر از یک کاهش یافت. با توجه به نتایج این تحقیق بین زعفران یک‌ساله و دوساله، به نظر می‌رسد چنانچه ضریب خاموشی نور در سنین بالای زعفران (سه‌ساله به بالا) نیز بررسی شود مقدارK تفاوت زیادی نسبت به زعفران دوساله نخواهد داشت و به یک عدد ثابت طی سال‌های آینده خواهد رسید.

جذب نور

در شکل ۳ تغییرات تابش رسیده به بالای کانوپی و تابش جذب شده توسط کانوپی زعفران یک‌ساله و دوساله در هر چهار سال آزمایش نشان داده شده است. طبق اطلاعات مندرج در شکل ۳ همزمان با دوره رشد کند زعفران (قبل از دریافت ۵۰۰ واحد حرارتی) (شکل۱) تابش در بالای کانوپی در حال کاهش می‌باشد، و با شروع دوره رشد سریع شروع به افزایش می‌کند و تا پایان فصل رشد و زرد شدن برگها افزایش تابش در بالای کانوپی همچنان ادامه دارد (شکل۳). هر چند زعفران دارای فنولوژی و دوره رشد خاص می‌باشد، ولی با این وجود توانسته به نحو مطلوبی از تابش کل ورودی استفاده نماید. به طوری که همزمان با افزایش میزان کل تابش ورودی، شاخص سطح برگ و جذب نور در کانوپی زعفران افزایش یافت (شکل ۱و۳).

با مقایسه شکل‌های ۱ و ۴ مشاهده می‌شود که متناسب با افزایش شاخص سطح برگ در زعفران یک‌ساله و دوساله کسر تابش جذب شده توسط کانوپی در هر چهار سال آزمایش به تدریج افزایش یافت، به طوری که بیشترین کسر تابش جذب شده متناسب با زمان وقوع بیشترین شاخص سطح برگ زعفران بود، سپس به دلیل کاهش شاخص سطح برگ تا انتهای دوره رشد کسر تابش جذب شده روند نزولی در پیش گرفت. در مزرعه یک‌ساله و دوساله، زعفران با دریافت میانگین ۵۰۰ واحد حرارتی دوره رشد کند را سپری می‌کند و میزان میانگین کسر تابش جذب شده در این مدت نیز بسیار کم می‌باشد (شکل ۱و۴). کسر تابش جذب شده با افزایش شاخص سطح برگ به تدریج افزایش یافته و با دریافت میانگین ۱۰۸۳ واحد حرارتی در مزرعه یکساله (شکل۴- الف) و ۱۰۳۴ واحد حرارتی در مزرعه دوساله (شکل۴- ب) به حداکثر خود رسید. با توجه به افزایش حداکثر شاخص سطح برگ (LAI_{max}) زعفران از ۰/۳۳ در مزرعه یک‌ساله (شکل۱- الف) به ۱/۸۱ در مزرعه دوساله زعفران (شکل۱- ب)، کسر تابش جذب شده توسط کانوپی زعفران از۳۰ درصد در مزرعه یک‌ساله (شکل۴- الف) به ۶۲ درصد در مزرعه دوساله (شکل۴- ب) افزایش یافت. از آنجایی که در مزارع دوساله نسبت به یک‌ساله تعداد بنه‌های مادری و بدنبال آن شاخص سطح برگ بیشتر است، جذب نور توسط کانوپی زعفران افزایش می‌یابد بنابراین به نظر می‌رسد که تراکم ۵۰ بوته در مترمربع برای کشت زعفران در سال اول تراکم مناسبی نیست هرچند تراکم مطلوب بوده و در اکثر مطالعات نیز به عنوان تراکم مناسب ذکر شده است (Ghalavand & Abdollahian Noghani, 1994; Rezvani Moghaddam et al., 2013). به این ترتیب می‌توان با انتخاب بنه‌های با وزن مناسب و افزایش تراکم کاشت، پوشش کانوپی زعفران را در سال اول افزایش داد تا میزان جذب نور در سال اول افزایش یابد و از هدر رفت نور جلوگیری شود.

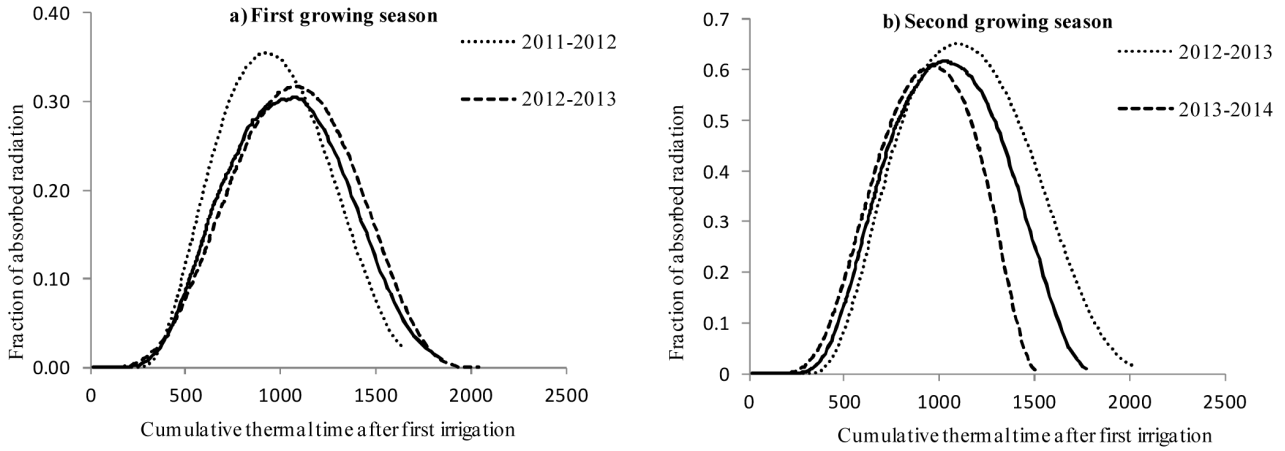
کارایی مصرف نور

در هر چهار سال آزمایش تجمع ماده خشک اندام هوایی زعفران با مجموع تابش فعال فتوسنتزی ارتباط خطی داشت که

www.SID.ir

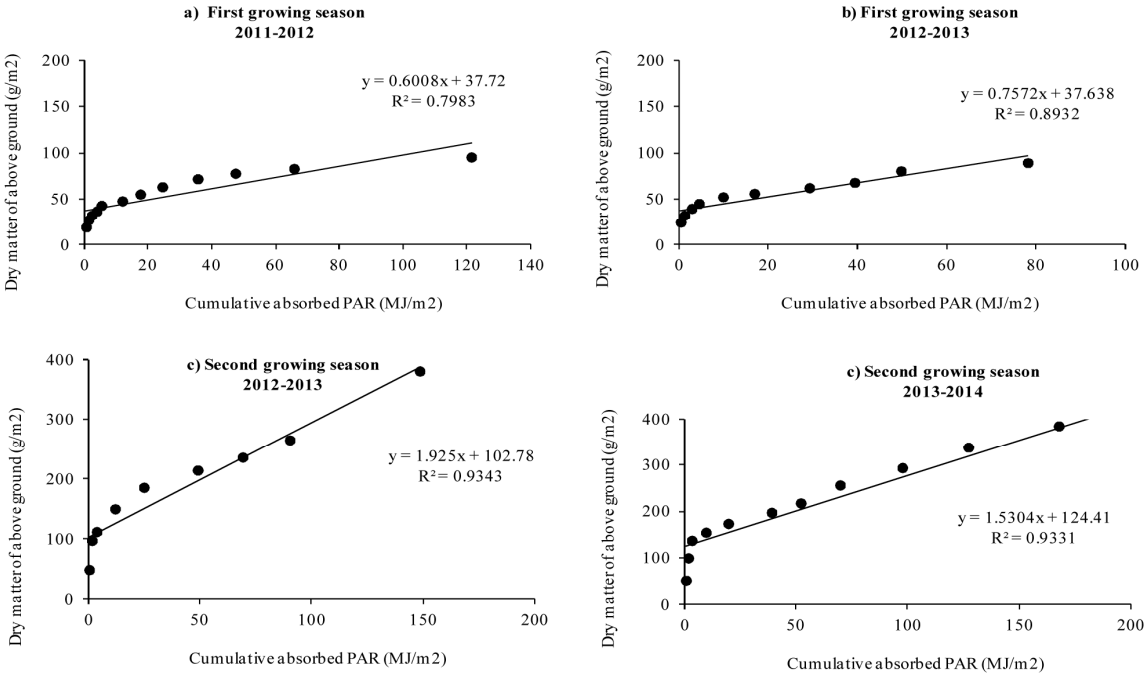
Archive of SID

شیب خط رگرسیونی برازش یافته بین این دو صفت بیانگر کارایی مصرف نور می‌باشد (شکل ۵). کارایی مصرف نور در زعفران یک‌ساله در سال اول آزمایش ۰/۶۰ (شکل ۵- الف) و در سال دوم ۰/۷۶ (شکل ۵- ب)گرم بر مگاژول تابش فعال فتوسنتزی و در زعفران دوساله در سال اول آزمایش ۱/۹۳ (شکل ۵- ج) و در سال دوم ۱/۵۳ (شکل ۴- د)گرم بر مگاژول تشعشع فعال فتوسنتزی به دست آمد.



شکل ٤- کسر تابش جذب شده زعفران یکساله و دوساله طی فصل رشد

Figure 4- Fraction of absorbed radiation during first and second growing season of saffron.



شکل ۵- ارتباط بین مجموع تابش فعال فتوسنتزی جذب شده و وزن خشک اندام هوایی زعفران یکساله و دوساله (شیب خط رگرسیون، نشان دهنده کارایی مصرف نور است)

Figure 5- The relationship between cumulative absorbed PAR and saffron dry matter of above ground in first and second growing season (The slope of regression line indicates radiation use efficiency).

www.SID.ir

Archive of SID

براین اساس مقدار میانگین بدست آمده از دو سال آزمایش برای کارایی مصرف نور زعفران یک‌ساله و دوساله به ترتیب معادل ۰/۶۸ و ۱/۷۳ گرم بر مگاژول تابش فعال فتوسنتزی می‌باشد. میرهاشمی و همکاران (Mirhashemi et al., 2012) نیز کارایی مصرف نور معادل ۰/۴۰ گرم بر مگاژول را برای زعفران گزارش نمودند.

هرچند ضریب خاموشی نور (Robertson et al., 2001) و کارایی مصرف نور هر دو از پارامترهای کلیدی می‌باشند که در بیشتر مدل‌های شبیه‌سازی گیاهان زراعی به کاربرده می‌شوند (Robertson et al., 2001; Rizzalli et al., 2002; Albrizio & Steduto, 2005)، اما تحقیقات در زمینه تعیین ضریب خاموشی و کارایی مصرف نور درگیاهان دارویی و استراتژیک نظیر زعفران تاکنون انجام نشده و در مورد سایر گیاهان دارویی بسیار اندک است. در این زمینه میانگین کلی کارآیی مصرف نور گیاه دارویی سیر و کنجد طی فصل رشد به ترتیب ۲ گرم بر مگاژول تابش فعال فتوسنتزی (Rizzalli et al., 2002) و ۱/۱۹گرم بر مگاژول محاسبه شده است (Jahan et al., 2013). محققین دیگر کارایی مصرف نور گیاه دارویی ریحان (*Ocimum basilicum*) را در چین اول، ۱/۲۷ گرم بر مگاژول و در چین دوم، ۲/۱۹ گرم بر مگاژول محاسبه کردند (Alizadeh et al., 2010). همچنین کارآیی مصرف نور مرزه که خاصیت دارویی نیز دارد، در کشت خالص بین ۱/۳۲ تا ۱/۷۰ گرم بر مگاژول گزارش شد (Hassanzadeh Aval et al., 2014). کارایی مصرف نور گیاه دارویی شنبلیله (*Trigonella foenum-graecum*) بین ۱/۴۲ تا ۱/۷۴ گرم بر مگاژول بدست آمد (Kazemi et al., 2015).

نتیجه‌گیری

با توجه به این‌که شاخص سطح برگ، ضریب خاموشی و کارایی مصرف نور از خصوصیات اکوفیزیولوژیکی مهم در ارزیابی جذب نور، میزان رشد، تولید و عملکرد گیاهی محسوب می‌شوند تاکنون پژوهشی در این خصوص در رابطه با زعفران انجام نشده است. جمع بندی نتایج حاصل از چهار سال اجرای این آزمایش در مزرعه نشان داد که شاخص سطح برگ زعفران طی سال‌های متوالی پس از کاشت بنه‌ها، همواره افزایش یافت، اما به دلیل باریک بودن برگ‌ها و در نتیجه عدم پوشش کامل کانوپی طی فصل رشد، حداکثر شاخص سطح برگ از ۱/۸۱ بیشتر نشد. از این رو در زعفران پایین بودن شاخص سطح برگ، اهمیت و ضرورت محاسبه ضریب خاموشی نور را به ویژه در مراحل ابتدایی رشد توجیه می‌نماید. زیرا با افزایش سن مزرعه و شاخص سطح برگ زعفران، ضریب خاموشی نور از بالاتر از یک در زعفران یک‌ساله به زیر یک در زعفران دوساله کاهش یافت و به تبع آن میزان جذب و کارایی مصرف نور افزایش می‌یابد. بنابراین با توجه به اهمیت خصوصیات اکوفیزولوژیکی مورد بررسی در فتوسنتز و افزایش ماده خشک گیاهی و نیز با توجه به تغییرپذیری آنها در زمانها و عرض‌های جغرافیایی و شرایط مدیریتی متنوع نظیر استفاده از بنه‌های با وزن متفاوت جهت کشت، تراکم کاشت، استفاده یا عدم استفاده از مواد مغذی، تنش‌های محیطی، کنترل یا عدم کنترل علف‌های هرز و سن مزرعه زعفران، پیشنهاد می‌شود شاخص سطح برگ، ضریب خاموشی و کارایی مصرف نور در یک طرح جامع و کاربردی طی سال‌های متمادی رشد این گیاه و در عرض جغرافیایی و شرایط مدیریتی متفاوت محاسبه شود تا بتوان مقادیر مناسبی از آنها را با برقراری روابط ریاضی بین این عوامل محاسبه نمود. بدیهی است محاسبه خصوصیات مطرح شده در اعمال مدیریت مناسب کاشت و تولید مزارع زعفران مؤثر و مفید خواهد بود و نتایج بهتری را نصیب کشاورزان و بهره برداران این محصول خواهد نمود.

www.SID.ir

Archive of SID

منابع

Abdullaev, F.I., and Frenkel, G.D. 1999. Saffron in biological and medical research. In: M. Negbi (Ed.). Saffron, *Crocus sativus* L. Harwood Academic Publishers, Australia. p. 103–114.

Abrishami, M.H. 1997. Persian Saffron: A Comprehensive Cultural and Agricultural History. Astan Quds Razavi Publications. Mashhad. (In Persian).

Albrizio, R., and Steduto, P. 2005. Resource use efficiency of field-grown sunflower, sorghum, wheat and chickpea I. Radiation use efficiency. Agricultural and Forest Meteorology 130:254–268.

Alizadeh, Y., Koocheki, A., and Nassiri Mahallati, M. 2010. Evaluation of radiation use efficiency of intercropping of bean *(Phaseolus vulgaris*) and herb sweet basil (*Ocimum basilicum*) Journal of Agroecology 2(1): 85-94. (In Persian with English Summary).

Basker, D., and Negbi, M. 1983. Uses of saffron. Economic Botany 37: 228–236.

Campillo, C., Fortes, R., and Prieto, M.H. 2012. Solar radiation effect on crop production. In Elisha B. Babatunde (eds.). Solar Radiation. ISBN: 978-953-51-0384-4, In Tech, p. 167-194. Available from: http://www.intechopen.com/books/solar-radiation/solar-radiation-effect-on-crop-production

Dhar, A.K., Sapru, R., and Rekha, K. 1998. Studies in saffron in Kashmir. Crop Improvement 15(1): 48-52.

Douglas, M.H., Smallfield, B.M., Wallace, A.R., and McGimpsey, J.A. 2014. Saffron (*Crocus sativus* L.): The effect of mother corm size on progeny multiplication, flower and stigma production. Scientia Horticulturae 166:50–58.

Ghalavand, A., and Abdollahian Noghani, M. 1994. Study ecological adaption and effect of plant density and planting method on yield of native saffron bulks of Iran. Proceedings of the Second Conference of Saffron and Medical Plants Cultivation. Gonabad, Iran. (In Persian).

Ghorbani, M. 2006. The economics of saffron in Iran. Acta Horticulturae 739:321–331.

Ghorbani, R., and Koocheki, A. 2006. Organic saffron in Iran: prospects and challenges. Acta Horticulturae 739: 369-374.

Goudriaan, J., and Van Laar, H.H., 1994. Modelling Potential Crop Growth Processes. Kluwer Academic Press. Dordrcht, the Netherlands, 238p.

Grilli-Caiola, M. 2004. Saffron reproduction biology. Acta Horticulture 650: 25-39.

Hassan-Beygi, S.R., Ghanbarian, D., and Farahmand, M. 2010. Prediction of saffron crocus corm mass by geometrical attributes. Scientia Horticulturae 124:109–115.

Hassanzadeh Aval, F., Mirhashemi, S.M., Kazemi, M., and Bannayan, M. 2014. Evaluation of advantage, competition and radiation absorption and use efficiency of summer savory (*Satureja hortensis* L.) and Persian clover (*Trifolium resupinatum* L.) intercropping in Mashhad region. Iranian Journal of Crop Sciences. 16(3): 191-208. (In Persian with English Summary).

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: 606-661.

Jame, Y.W., and Cutforth, H.W. 2004. Simulating the effects of temperature and seeding depth on germination and emergence of spring wheat. Agricultural and Forest Meteorology. 124: 207–218.

Jones, H.G. 1994. Plants and Microclimate: A Quantitative Approach to Environmental plant Physiology. Cambridge University Press, UK.

Kafi, M. 2008. Crop production physiology. In A. Koocheki and M. Khajeh Hosseini (eds.). Modern

www.SID.ir

Archive of SID

Agronomy. Jehade Daneshgahi Mashhad Publications. Mashhad. p. 362-387. (In Persian).

Kafi, M., and Showket, T. 2006. A comparative study of saffron agronomy and production systems of Khorasan (Iran) and Kashmir (India). Acta Horticulturae 739: 123-132.

Kafi, M., Rashed Mohasel, H., Koocheki, A., and Filabi, A. 2002. Saffron: Production and Processing Technology. Zaban va Adab Publications, Mashhad. p. 276. (In Persian).

Kazemi, M., Hasan Abadi, H., and Tavakoli, H. 2011. Potato Production Management. Amozesh va Tarvij Keshavarzi Press. p. 156. (In Persian).

Kazemi, M., Mirhashemi, S.M., Hassanzadeh Aval, F., and Bannayan, M. 2015. Ecological intensification by increasing of radiation use efficiency in a low input agroecosystem of Fenugreek. Iranian Journal of Applied Ecology. 10(3): 65-74. (In Persian with English Summary).

Kemanian, A.R, Stöckle, C.O., and Huggins, D.R. 2004. Variability of barley radiation-use efficiency. Crop Science 44:1662–1672.

Kropff, M.J., and Van Laar, H.H. 1993. Modelling Crop-weed Interactions. CAB International, UK.

Meinke, H., Goudriaan, J., Hammer, G.L., and Keating, B.A. 1996. Light interception in spring wheat: the extinction coefficient during early growth. In Fourth Congress of the European Society for Agronomy, Veldhoven-Wageningen, Netherland, 7-11 July 1996, p. 184-185.

Ministry of Agriculture Jihad of Iran, 2013. 2011 Agricultural Statistics. http://www.maj.ir. (In Persian).

Mirhashemi, S.M. 2006. Evaluation of Ajowan and Fenugreek intercropping based on organic agriculture. MSc dissertation, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran. (In Persian with English Summary).

Mirhashemi, S.M., Bannayan, M., Nezami, A., and Nassiri Mahallati, M. 2012. Evaluation of extinction coefficient and radiation use efficiency of saffron (*Crocus sativus*). IV International Saffron Symposium "Advances in Saffron Biology, Technology and Trade. Kashmir.

Monteith, J.L. 1977. Climate and the efficiency of crop production in Britain. Philosophical Transactions of Royal Society of London B 281, 277-/294.

Nassiri Mahallati, M. 2008a. Crop production ecology. In A. Koocheki and M. Khajeh Hosseini (eds.). Modern Agronomy. Jehade Daneshgahi Mashhad Publications, Mashhad. p. 362-387. (In Persian).

Nassiri Mahallati, M. 2008b. Modeling. In A. Koocheki and M. Khajeh Hosseini (eds.). Modern Agronomy. Jehade Daneshgahi Mashhad Publications, Mashhad. p. 420-445. (In Persian).

Nassiri Mahallati, M., Koocheki, A., Boroumand Rezazadeh, Z., Tabrizi, L. 2007. Effects of corm size and storage period on allocation. Journal of Iranian Field Crop Research. 5(1):155-166. (In Persian with English Summary).

Peter, F. 2010. Radiation use efficiency in spring barley under drought: a crosstalk between survival strategy and canopy structure. Central Eropean Agriculture 11(1):83-92.

Ranjbar, F. 2012. Assessment of growth indices and yield of intercropped fennel (*Foeniculum vulgar*), sesame (*Sesamum indicum*) and bean (*Phaseolus vulgaris*). MSc dissertation, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran. (In Persian with English Summary).

Rezvani Moghaddam, P., Khorramdel, S., Amin Ghafori, A., and Shabahang, J. 2013. Evaluation of growth and yield of saffron (*Crocus sativus* L.) affected by spent mushroom compost and corm density. Journal of Saffron Research. 1(1): 13-26. (In Persian with English Summary).

Rizzalli, R.H., Villalobos, F.J., and Orgaz, F. 2002. Radiation interception, radiation-use efficiency and dry matter partitioning in garlic (*Allium sativum* L.). European Journal of Agronomy 18:33-43.

Robertson, M.J., Silim, S., Chauhan, Y.S., and Ranganathan, R. 2001. Predicting growth and development of

www.SID.ir

Archive of SID

pigeonpea biomass accumulation and partitioning. Field Crops Research 70:89-100.

Rosati, A., Metcalf, S.G., and Lampinen, B.D. 2004. A simple method to estimate photosynthetic radiation use efficiency of canopies. Annals of Botany 93:567-574.

Ruimy, A., Jarvis, P.G., Baldocchi, D.D., and Saugier, B. 1995. CO_2 fluxes over plant canopies and solar radiation: a review. Advances in Ecological Research 26:1-68.

Sepaskhah, A.R., Amini-Nejad, M., and Kamgar-Haghighi, A.A. 2013. Developing a dynamic yield and growth model for saffron under different irrigation regimes. International Journal of Plant Production 7 (3): 473-503.

Shirmohammadi-Aliakbarkhani, Z. 2002. Using crop water stress index to determine crop water stress and irrigation scheduling of saffron. M.Sc. Thesis, Irrigation and Drainage, Irrigation Department, Shiraz University, Iran. (In Persian with English Summary).

Sinclair, T.R., and Muchow, R.C. 1999. Radiation use efficiency. Advances in Agronomy 65: 215-265.

Soltani, A. 2009. Mathematical Modeling in Field Crops. Jehade Daneshgahi Mashhad Publications. Mashhad. p. 175. (In Persian).

Winterhalter, P., and Straubinger, M. 2000. Saffron. Renewed interest in an ancient spice. Food Reviews International 16:39–59.

Yarami, N. 2008. Determination of crop evapotranspiration and crop coefficient of saffron using water-balance lysimeter. MSc dissertation, Irrigation Department, Shiraz University, Iran. (In Persian with English Summary).

Zaffaroni, E., and Schneiter, A.A. 1989. Water-use efficiency and light interception of semi-dwarf and standard height sunflower hybrids grown in different row arrangements. Agronomy Journal 81: 831-886.

Zohary, D., and Hopf, M. 1994. Domestication of Plants in the Old World, 2nd ed. Clarendon Press, Oxford.

www.SID.ir

Archive of SID

Evaluation of the Extinction Coefficient, Radiation Absorption and Use Efficiency of Saffron (*Crocus sativus* L.)

Seyyedeh Maliheh Mirhashemi[1], Mohammad Bannayan[*2], Ahmad Nezami[3] and Mahdi Nassiri Mahallati[3]

1, 2 and 3. PhD. Student in crop ecology, Associate Professor and Professor , Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran, Respectively.
*(*Corresponding Author E-mail:* banayan@um.ac.ir*)*

Received: 19 January, 2015 **Accepted:** 13 April, 2015

Abstract:

Leaf area index, light extinction coefficient and radiation use efficiency are important eco-physiological characteristics for realization of crops growth, development and radiation absorption. In order to determine the leaf area index (LAI), light extinction coefficient (K) and radiation use efficiency (RUE) of saffron during the first and second growing seasons, four experiments were started in 2011 and ended in 2014, at the Research Farm of the Agriculture Faculty, the Ferdowsi University of Mashhad, Iran. Saffron corms with weights between 13 to15 g and density of 50 plant.m^2 were cultivated in 2011 and 2012. In all experimental years during the growing season, crop sampling was taken for required measurements including the leaf area index and shoot dry weight of saffron once every 14 days. The results showed that by increasing the age of saffron from 1 year to two years, the maximum LAI of saffron increased from 0.33 to 1.81, and light extinction coefficient decreased from 1.20 to 0.54. The increasing trend of LAI was coincident with fraction of absorbed radiation for all four years of the experiment. In the first and the second growing seasons, the amount of fraction of absorbed radiation gradually increased with increasing LAI and at 1083 and 1034 GDD reached its maximum value, respectively. In saffron farms when the plant was one year old and two years old, the mean value of RUE was 0.68 and 1.73 g.MJ^{-1} PAR, respectively. These results indicate that by increasing the saffron age and LAI, the value of K decreases and consequently radiation absorption and use efficiency will increase.

Keywords: *Dry matter, Leaf area index, Radiation, Saffron age.*

www.SID.ir