نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد ۷، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۴، ص. ۴۲۴-۴۱۲

Journal of Agroecology
Vol. 7, No. 3, Fall 2015, p. 412-424

ارزیابی جذب و کارآیی مصرف نور توسط کانوپی کشت مخلوط شنبلیله (*Trigonella foenum-graecum* L.) و شوید (*Anethum graveolens* L.)

مهدی یوسف‌نیا[۱]، محمد بنایان اول[۲*] و سرور خرم‌دل[۳]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۰۵/۰۶
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۰۶/۰۱

چکیده

سیستم‌های کشت مخلوط یکی از روش‌های مدیریت صحیح تولید محصولات زراعی است که منجر به بهبود جذب و کارآیی مصرف منابع توسط گیاهان می‌شود. با همین هدف به منظور ارزیابی اثرات کشت مخلوط نواری بر میزان جذب و کارآیی مصرف نور شنبلیله (*Trigonella foenum-graecum* L.) و شوید (*Anethum graveolens* L.) آزمایشی در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار و با شش تیمار در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد در سال زراعی ۹۳-۱۳۹۲ اجرا شد. تیمارهای آزمایشی شامل ۲۰٪ شنبلیله + ۸۰٪ شوید، ۴۰٪ شنبلیله + ۶۰٪ شوید، ۶۰٪ شنبلیله + ۴۰٪ شوید، ۸۰٪ شنبلیله + ۲۰٪ شوید و کشت خالص دو گیاه بود. نمونه‌برداری از ۲۰ روز پس از سبز شدن تا مرحله رسیدگی به صورت تصادفی (برای هر کدام از گیاهان از سطح چهار بوته) به فواصل تقریبی دو هفته یک‌بار جهت محاسبات تغییرات سطح برگ و وزن خشک برداشت شد. میزان تشعشع روزانه خورشیدی برای عرض جغرافیایی مشهد به روش ارائه شده توسط خودریان و فان لار محاسبه گردید. سپس مقادیر بر اساس تعداد ساعات آفتابی استخراج شده از داده‌های ایستگاه هواشناسی مرکز اقلیم‌شناسی خراسان اصلاح و نور جذب شده روزانه برای هر دو گونه محاسبه شد. نتایج نشان داد که شاخص سطح برگ، میزان جذب نور، تجمع ماده خشک و کارآیی مصرف نور شنبلیله و شوید در تمام تیمارهای کشت مخلوط نسبت به تک‌کشتی افزایش پیدا کرد. بالاترین شاخص سطح برگ شنبلیله در ۶۹ روز پس از سبز شدن در تیمار ۶۰٪ شنبلیله + ۴۰٪ شوید با ۰/۹۹ و کمترین میزان آن در کشت خالص با ۰/۶۲ به دست آمد. بیشترین و کمترین شاخص سطح برگ شوید در همین زمان به ترتیب در کشت مخلوط ۶۰٪ شنبلیله + ۴۰٪ شوید با ۰/۳۷ و کشت خالص با ۰/۲۳ مشاهده شد. روند افزایش تجمع ماده خشک شنبلیله و شوید در همه تیمارها ۳۰ روز پس از کاشت وارد مرحله رشد خطی شده و به سرعت شروع به افزایش نمود و در حدود ۶۹ روز پس از کاشت (مرحله حصول حداکثر سطح برگ)، به حداکثر میزان خود به ترتیب برابر با ۲۲۹۸/۳۳ و ۹۹۴/۶۷ گرم بر مترمربع رسید و سپس به دلیل زرد شدن و تا حدودی ریزش برگ‌ها روند تقریباً ثابتی به صورت کاهشی در پیش گرفت. میانگین کارآیی مصرف نور شنبلیله و شوید در طول فصل رشد به ترتیب از ۰/۶۵ و ۰/۳۵ در تیمار کشت خالص تا ۰/۹۴ و ۰/۷۲ گرم بر مگاژول تشعشع فعال فتوسنتزی در تیمار ۴۰٪ شنبلیله + ۶۰٪ شوید متغیر بود.

واژه‌های کلیدی: جذب نور، شاخص سطح برگ، کشت مخلوط ردیفی، ماده خشک کل

مقدمه

تمایل به تولید گیاهان دارویی و تقاضا برای این محصولات طبیعی در جهان روز به روز در حال افزایش می‌باشد. از اواسط قرن بیستم و به دنبال مشخص شدن پیامدهای منفی ناشی از مصرف داروهای شیمیایی، گیاهان دارویی در بسیاری از موارد جایگزین داروهای شیمیایی شدند (Carruba et al., 2002). با توجه به احتمال بروز اثرات منفی ناشی از مصرف انواع مواد شیمیایی روی کمیت و کیفیت ترکیبات مؤثره گیاهان دارویی امروزه در جهت بهبود شرایط زراعی و افزایش کارآیی، روش‌هایی در علوم جدید مورد توجه قرار گرفته‌اند که کشت مخلوط از جمله این روش‌ها می‌باشد (Awal et al., 2006).

کشت مخلوط به کشت دو یا تعداد بیشتری از گیاهان با یکدیگر در یک قطعه زمین در یک زمان گفته می‌شود (Xin & Tong,

۱، ۲ و ۳- به ترتیب دانشجوی کارشناسی ارشد اگرواکولوژی، دانشیار و استادیار گروه زراعت دانشگاه فردوسی مشهد
(*-نویسنده مسئول: Email: banayan@ferdowsi.um.ac.ir)

1986). در سیستم‌های زراعی همواره باید به دنبال روش‌هایی برای افزایش تولید عملکرد در گیاهان بود. از جمله روش‌های مهم برای رسیدن به این امر بالا بردن بهره‌وری استفاده از منابع طبیعی مانند آب و مواد غذایی خاک، تشعشع خورشید، دی‌اکسیدکربن اتمسفر و استفاده مؤثر از سطح زمین‌های کشاورزی می‌باشد. نتایج برخی آزمایشات نشان‌دهنده افزایش کارآیی مصرف نور (Awal et al., 2006; Tsubo et al., 2001)، عناصر غذایی (Rowe et al., 2005)، آب (Walker & Ogindo, 2003) و زمین (Jahansooz et al., 2007) در سیستم‌های کشت مخلوط نسبت به تک‌کشتی می‌باشد که در این میان، نور جزء مهمترین منابع مصرفی در رشد و نمو گیاهان می‌باشد، به طوری‌که با افزایش کارآیی آن می‌توان سطح تولید محصولات را افزایش داد (Awal et al., 2006)، همچنین از آن‌جا که نور قابلیت ذخیره شدن ندارد، می‌تواند محدودیت بیشتری را در پی داشته باشد (Awal et al., 2006). شدت نور خورشید در یک منطقه نسبتاً ثابت است و می‌توان از آن به عنوان منبعی نام برد که به طور کارآمدتری نسبت به سایر منابع مصرفی بر تولید محصولات زراعی تأثیرگذار است.

کشت مخلوط یکی از راهکارهای زراعی برای افزایش جذب و مصرف نور است که منجر به بهبود تولید محصولات زراعی و افزایش عملکرد اقتصادی می‌شود (Gao et al., 2008). از سوی دیگر، در کشت‌های مخلوط اعتقاد بر این است که کشت‌های مخلوط بیشتر به واسطه افزایش جذب نور (Tsubo et al., 2005)، از طریق افزایش طول دوره جذب (مثل کشت‌های تأخیری و برتری زمانی) یا در نتیجه پوشش بیشتر سطح خاک (برتری مکانی) سبب افزایش بهره‌وری سیستم‌های زراعی می‌شوند (Zhang et al., 2008). در واقع در زراعت‌های تک‌کشتی همواره مقادیری از تشعشع فتوسنتزی به دلیل وجود فضاهای خالی در کانوپی تلف می‌شود. مقدار این تلفات در زراعت‌های مخلوط به دلیل پوشش بیشتر سطح خاک کاهش یافته و در نتیجه میزان جذب تشعشع کل به نسبت تک‌کشتی بیشتر می‌شود (Awal et al., 2006). کوچکی و همکاران (Koocheki et al., 2009) با بررسی کشت مخلوط نواری ذرت (*Zea mays* L.) و لوبیا (*Phaseolus vulgaris* L.) بر جذب و کارآیی مصرف نور گزارش نمودند که کارآیی مصرف نور هر دو گیاه در تمامی تیمارهای مخلوط بالاتر از خالص بود. ژانگ و لی (Zhang et al., 2003) در مطالعه‌ای با بررسی کشت تأخیری کتان (*Linum usitatissimum* L.) با گندم (*Triticum asetivum* L.) گزارش کردند که بین کارآیی مصرف نور تک‌کشتی و کشت مخلوط اختلافی وجود نداشت، ولی افزایش میزان تشعشع جذب شده عامل اصلی افزایش عملکرد در کشت مخلوط نسبت به خالص بود. تسوبو و همکاران (Tsubo et al., 2001) در بررسی کشت مخلوط ذرت و لوبیا به صورت سری‌های افزایشی گزارش کردند که مقدار کل تشعشع جذب شده در مخلوط بیشتر از تک‌کشتی است و علت آن را برتری کشت مخلوط این دو گیاه نسبت به تک‌کشتی به واسطه بهبود جذب تشعشع کل دانستند. آبرام و سینگ (Abraham et al., 1984) پس از اندازه‌گیری میزان جذب نور در کشت خالص سورگوم (*Sorghum bicolor* L.) و مخلوط آن با لوبیا، ماش (*Vigna radiate* L.)، بادام‌زمینی (*Arachis hypogaea* L.) و سویا (*Glycine max* L.) دریافتند که در تمامی تیمارهای کشت مخلوط جذب نور بیشتر از کشت خالص بود.

طی سه دهه گذشته مطالعات زیادی روی کارآیی مصرف نور در سیستم‌های کشت مخلوط با دامنه وسیعی از ترکیب گیاهان زراعی در سایر نقاط دنیا صورت گرفته است (Corlett et al., 1992; Black & Ong, 2000). با این‌حال، کمبود این نوع مطالعات به ویژه در زمینه گیاهان دارویی در ایران کاملاً محسوس است. بنابراین، با توجه به اهمیت موضوع، این تحقیق با هدف ارزیابی جذب و کارآیی مصرف نور در کشت مخلوط ردیفی بر اساس سری‌های جاگزینی شوید (*Anethum graveolens* L.) و شنبلیله (*Trigonella foenum-graecum* L.) در شرایط آب و هوایی مشهد اجرا شد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد، واقع در ۱۰ کیلومتری جنوب شرقی شهر مشهد (عرض جغرافیایی، ۳۶ درجه و ۱۵ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی، ۵۶ درجه و ۲۸ دقیقه شرقی، ارتفاع از سطح دریا ۹۸۵ متر) در سال زراعی ۹۳-۱۳۹۲ انجام شد. متوسط بارندگی سالیانه ۲۸۶ میلی‌متر و حداکثر و حداقل دمای مطلق سالانه در این منطقه به ترتیب ۴۲ و ۲۷/۸- درجه سانتی‌گراد می‌باشد. آب و هوای منطقه بر طبق روش تقسیم‌بندی اقلیمی آمبرژه سرد و خشک می‌باشد (Hossienpanahi, 2008).

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک قبل از کاشت (عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متر)
Table 1- Physico-chemical characteristics of cultivated soil (0-30 cm)

نیتروژن کل (پی‌پی‌ام) Total nitrogen (ppm)	فسفر (پی‌پی‌ام) P (ppm)	پتاسیم قابل دسترس (پی‌پی‌ام) Available K (ppm)	اسیدیته pH	هدایت الکتریکی (دسی‌زیمنس بر متر) EC ($dS.m^{-1}$)
15.5	25	119	7.47	1.2

قبل از انجام آزمایشات مزرعه‌ای، بـه منظـور تعیـین خصوصـیات فیزیکی و شیمیایی خاک نمونه‌برداری بـه صـورت تصـادفی از زمـین محل اجرای آزمایش انجـام شـد. نتـایج تجزیـه فیزیکـی- شـیمیایی خصوصیات خاک در جدول ۱ نشان داده شده است.

شـش نسـبت جـایگزینی دو گیـاه شـنبلیله و شـوید شـامل ۲۰٪ شنبلیله + ۸۰٪ شـوید،۴۰٪ شـنبلیله + ۶۰٪ شـوید، ۶۰٪ شـنبلیله + ۴۰٪ شوید،۸۰٪ شنبلیله + ۲۰٪ شـوید و کشـت خـالص دو گیـاه بـه عنوان تیمار مدنظر قرار گرفتند.

عملیات کاشت دو گیاه به صورت همزمان در نیمه دوم فـروردین ماه به صورت دستی بر روی چهار ردیف (برای هر گونه) یک در میان با طول سه متر و فاصله بین ردیف ۵۰ سانتی‌متر انجام شد. به منظـور تسهیل در سبز شدن بوته‌ها، اولین آبیاری بلافاصله پـس از کاشـت و آبیاری‌های بعدی به فاصله هر هفت روز یک‌بار تـا آخـر فصـل رشـد انجام شد. برای دستیابی به تراکم‌هـای مـورد نظـر (بـرای شـنبلیله و شوید به ترتیب ۵۰ و ۲۰ بوتـه در مترمربـع) گیاهـان در مرحلـه ۶-۴ برگی تنک شدند. علف‌های هرز به صورت دستی در طول فصل رشد بنا به ضرورت وجین شدند.

نمونه‌برداری از ۲۰ روز پس از سبز شدن تا مرحلـه رسـیدگی بـه صورت تصادفی (برای هر کدام از گیاهـان از سـطح چهـار بوتـه) بـه فواصل تقریبی دو هفته یک‌بار جهت محاسبات تغییرات سطح برگ و وزن خشک برداشت شد. برای انـدازه‌گیـری سـطح بـرگ از دسـتگاه Leaf Area Meter استفاده شد و جهـت انـدازه‌گیـری وزن خشـک، نمونه‌ها در آون با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۷۲ ساعت قـرار داده شدند.

برداشت دو گیاه شوید و شنبلیله همزمان نبـوده و در تـاریخ‌هـای مجزا انجام شد. با توجه به این‌که شنبلیله رشد نامحدود بـوده و فاقـد یکنواختی در رسیدگی می‌باشد، لذا عملیات برداشت این گیـاه زمـانی که قسمت اعظم غلاف‌ها زرد شده بودند و قبل از ریزش پـایین‌تـرین نیام‌ها انجام گرفت. برداشت گیاه شوید نیز در مرحله رسـیدگی کامـل دانه‌ها (مرحله‌ای که دانه‌ها به رنگ سبز مایل به قهوه‌ای شدند) انجام شد، بدین صورت که در هر کرت، نمونه‌گیری از چهار ردیـف وسـط و پس از حذف اثرات حاشیه‌ای انجام گرفت.

میزان تشعشع روزانه خورشیدی برای عرض جغرافیایی مشهد بـه روش ارائه شده توسـط خودریـان و فـان لار (Goudriaan & Van Laar, 1994) محاسبه گردید. سـپس ایـن مقـادیر بـر اسـاس تعـداد ساعات آفتابی استخراج شده از داده‌هـای ایسـتگاه هواشناسـی مرکـز اقلیم‌شناسی خراسان اصلاح و نور جذب شده روزانه برای هر دو گونه بر اساس معادلات (۱) تا (۳) محاسبه شد (Tsubo et al., 2005):

$$I_{abs} = I_0 * (1 - P) * (1- \exp(-K_C * LAI_C) + (-K_B*LAI_B))) \quad (۱)$$

$$I_C = I_{abs} * ((K_C * LAI_C) / ((K_C * LAI_C) + (K_B*LAI_B)) \quad (۲)$$

$$I_B = I_{abs} - I_C \quad (۳)$$

I_{abs}: نور جذب شده توسط کانوپی مخلوط (مگاژول بر مترمربـع)، I_0: نور رسیده به بـالای کـانوپی (مگـاژول بـر مترمربـع)، P: ضـریب انعکاس که برای شنبلیله و شـوید ۰/۰۷ منظـور شـد، K_C و K_B: بـه ترتیب ضریب خاموشی نور شـنبلیله (۰/۶) و شـوید (۰/۴۷)، LAI_C و LAI_B: به ترتیب شاخص سطح برگ شـنبلیله و شـوید و I_C و I_B: بـه ترتیب نور جذب شده توسط کانوپی شنبلیله و شوید است. برای برآورد مقادیر شاخص سطح برگ روزانه از برازش معادله زیر استفاده شد:

$$LAI = a + b * 4 * (\exp(-(x-c)/d))/(1+\exp(-(x-c)/d))^2 \quad (۴)$$

در این معادله، a: عرض از مبدأ، b: زمان رسیدن به حداکثر LAI، c: حداکثر LAI و d: نقطه عطف منحنـی و زمـان ورود رشـد سـطح برگ به مرحله خطی و x: زمان بر حسب روز پس از کاشت است.

سپس تشعشع جذب شده از حاصل‌ضرب نور ورودی شـبیه‌سـازی شده در درصد نور جذب شده به دست آمد و مقدار کل تشعشع جـذب شده به صورت تجمعی از طریق حاصل‌ضرب نور ورودی شبیه‌سـازی

شده در انتگرال کسر تشعشع فعال فتوسنتزی (PAR[1]) جذب شده نسبت به زمان محاسبه گردید. کارآیی مصرف نور (RUE[2]) بر حسب گرم بر مگاژول، از طریق محاسبه شیب خط رگرسیون بین ماده خشک (گرم بر مترمربع) و میزان تشعشع فعال تجمعی (مگاژول بر مترمربع) تعیین شد. برای برآورد مقادیر تجمع ماده خشک روزانه از برازش معادله (۵) استفاده شد:

$$TDM = a / (1 + b * \exp(-c * x)) \quad (۵)$$

در این معادله، TDM: تجمع ماده خشک بر حسب گرم در مترمربع، a: حداکثر تجمع ماده خشک، b: ثابت معادله، c: سرعت رشد نسبی و x: زمان بر حسب روز پس از کاشت است.

داده‌های آزمایش توسط نرم‌افزار SAS ver.9.1 آنالیز و مقایسه میانگین‌ها به روش چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد انجام شد. برای رسم اشکال نیز از نرم‌افزار Excel استفاده شد.

نتایج و بحث

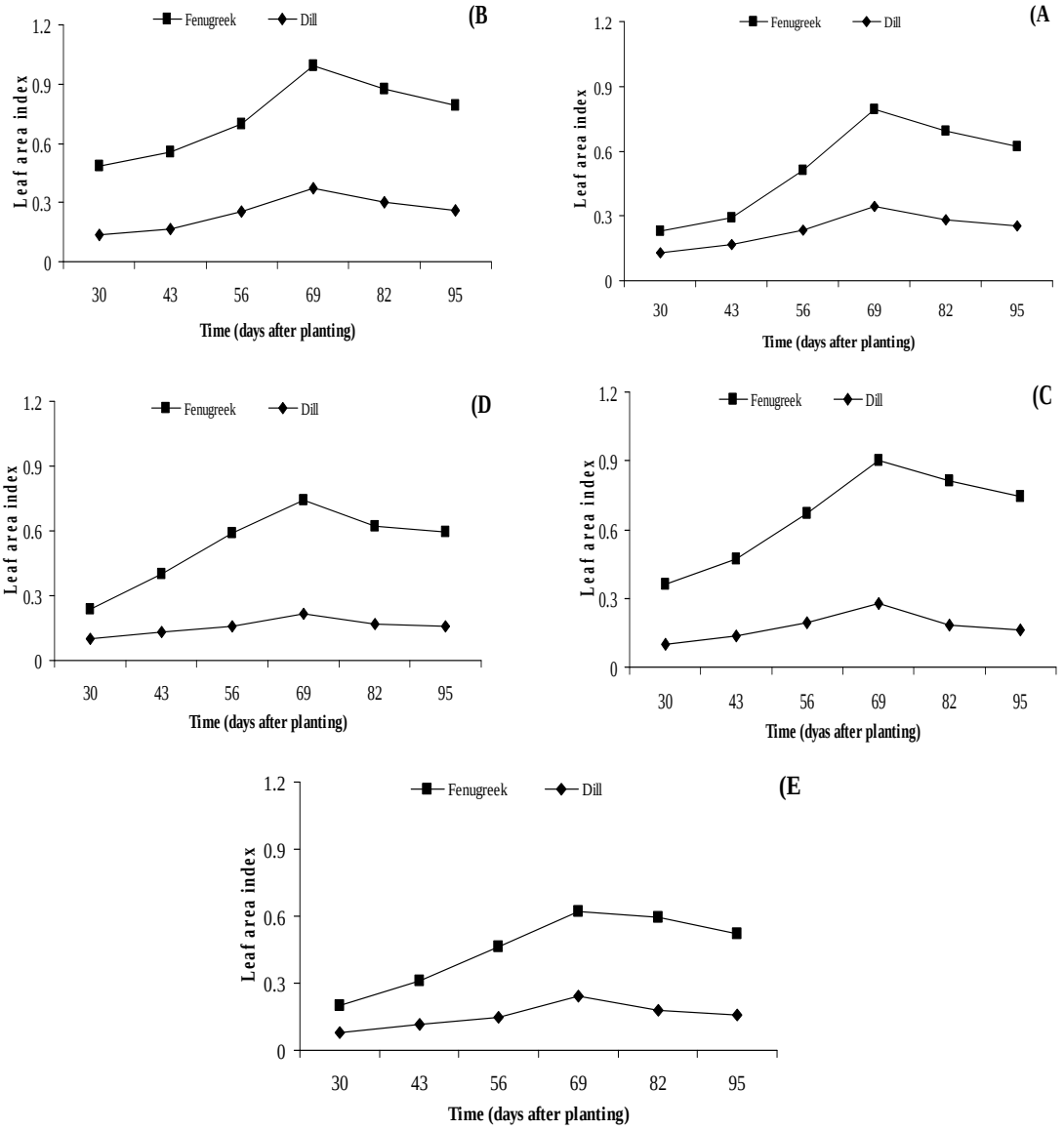
شاخص سطح برگ: نتایج این آزمایش حاکی از روند مشابه تغییرات شاخص سطح برگ شنبلیله و شوید در طول فصل رشد برای تمامی تیمارها بود (شکل ۱). به طوری‌که در ابتدای دوره رشد با گذشت زمان شاخص سطح برگ به کندی افزایش یافت و در ادامه فصل رشد افزایش شاخص سطح برگ برای هر دو گیاه روند خطی پیدا کرد و برای شنبلیله و شوید در حدود ۶۹ روز پس از کاشت به حداکثر مقدار خود رسید. پس از آن به دلیل پیری، زرد شدن و ریزش برگ‌ها روند نزولی در پیش گرفت. کانوپی کشت مخلوط نسبت به حالت تک‌کشتی هر یک از گیاهان، دارای شاخص سطح برگ بالاتری بود (شکل ۱). بالاترین شاخص سطح برگ شنبلیله در ۶۹ روز پس از سبز شدن در تیمار ۶۰٪ شنبلیله + ۴۰٪ شوید با ۰/۹۹ و کمترین میزان آن در کشت خالص با ۰/۶۲ به دست آمد. در این زمان، شاخص سطح برگ شنبلیله برای نسبت‌های ۴۰٪ شنبلیله + ۶۰٪ شوید، ۲۰٪ شنبلیله + ۸۰٪ شوید و ۸۰٪ شنبلیله + ۲۰٪ شوید به ترتیب برابر با ۲۰، ۹ و ۲۵ درصد کمتر از تیمار ۶۰٪ شنبلیله + ۴۰٪ شوید محاسبه گردید. بیشترین و کمترین شاخص سطح برگ شوید در همین زمان به ترتیب در کشت مخلوط ۶۰٪ شنبلیله + ۴۰٪ شوید با ۰/۳۷ و کشت خالص با ۰/۲۳ مشاهده شد. همچنین شاخص سطح برگ شوید در نسبت‌های مخلوط ۲۰٪ شنبلیله + ۸۰٪ شوید، ۴۰٪ شنبلیله + ۶۰٪ شوید و ۸۰٪ شنبلیله + ۲۰٪ شوید به ترتیب ۸، ۲۷ و ۴۳ درصد کمتر از شاخص سطح برگ این گیاه در ترکیب ۶۰٪ شنبلیله + ۴۰٪ شوید بود (شکل ۱).

در کشت مخلوط مرزه (*Satureja hortensis* L.) و شبدر ایرانی (*Trifolium resupinatum* L.) بالاترین LAI شبدر در کشت مخلوط مشاهده شد، به طوری‌که در کمترین تراکم مرزه، بالاترین سطح برگ شبدر به دست آمد، ولی با افزایش تراکم مرزه، سطح برگ شبدر کاهش یافت (Hasanzadeh Aval, 2007). رستمی و همکاران (Rostami et al., 2009) نیز نشان دادند که کشت مخلوط ذرت و لوبیا منجر به افزایش شاخص سطح برگ شد. محققان دیگر نیز افزایش شاخص سطح برگ گیاهان مخلوط نسبت به حالت تک‌کشتی را گزارش کردند (Koocheki et al., 2009; Koocheki et al., 2012; Mukhala et al., 1999). این محققان دلیل این امر را به اصل مساعدت کشت مخلوط به ویژه در شرایط حضور گیاهان تثبیت‌کننده نیتروزن نسبت دادند. بدین ترتیب، وجود اثرات تسهیل-کنندگی و تکمیل‌کنندگی شنبلیله و شوید در کنار یکدیگر منجر به افزایش شاخص سطح برگ در مقایسه با تک‌کشتی گیاهان شد. بنابراین، از آن‌جا که سطح برگ هر گیاه مهمترین اندام رویشی دریافت‌کننده نور می‌باشد، بنابراین می‌توان نتیجه گرفت، کشت مخلوط یکی از راهکارهای مدیریت زراعی مناسب جهت افزایش دریافت نور از طریق بهبود سطح برگ می‌باشد. همچنین با توجه به این مطلب که سرعت رسیدن به بیشینه شاخص سطح برگ، اصلی-ترین عامل تعیین‌کننده میزان تجمع ماده خشک می‌باشد (Milford et al., 1988)، به نظر می‌رسد که بالاترین سرعت رسیدن به بیشینه شاخص سطح برگ برای تولید ماده خشک حداکثر در نسبت مخلوط ۶۰٪ شنبلیله + ۴۰٪ شوید حاصل گردید. مورگادو و ویلی (Morgado & Willey, 2003) نیز در بررسی کشت مخلوط ذرت و لوبیا بیان کردند که شاخص سطح برگ در کشت مخلوط نسبت به تک‌کشتی بیشتر بود. در کشت مخلوط لوبیا و گل گاوزبان (*Borago officinalis* L.) نیز بالاترین LAI گل گاوزبان در کشت مخلوط دو ردیف لوبیا + دو ردیف گل گاوزبان اروپایی به دست آمد (Koocheki et al., 2013).

تجمع ماده خشک: در تیمارهای مختلف کشت مخلوط شنبلیله و شوید در ابتدای دوره رشد به دلیل کوچک بودن بوته‌ها تفاوت

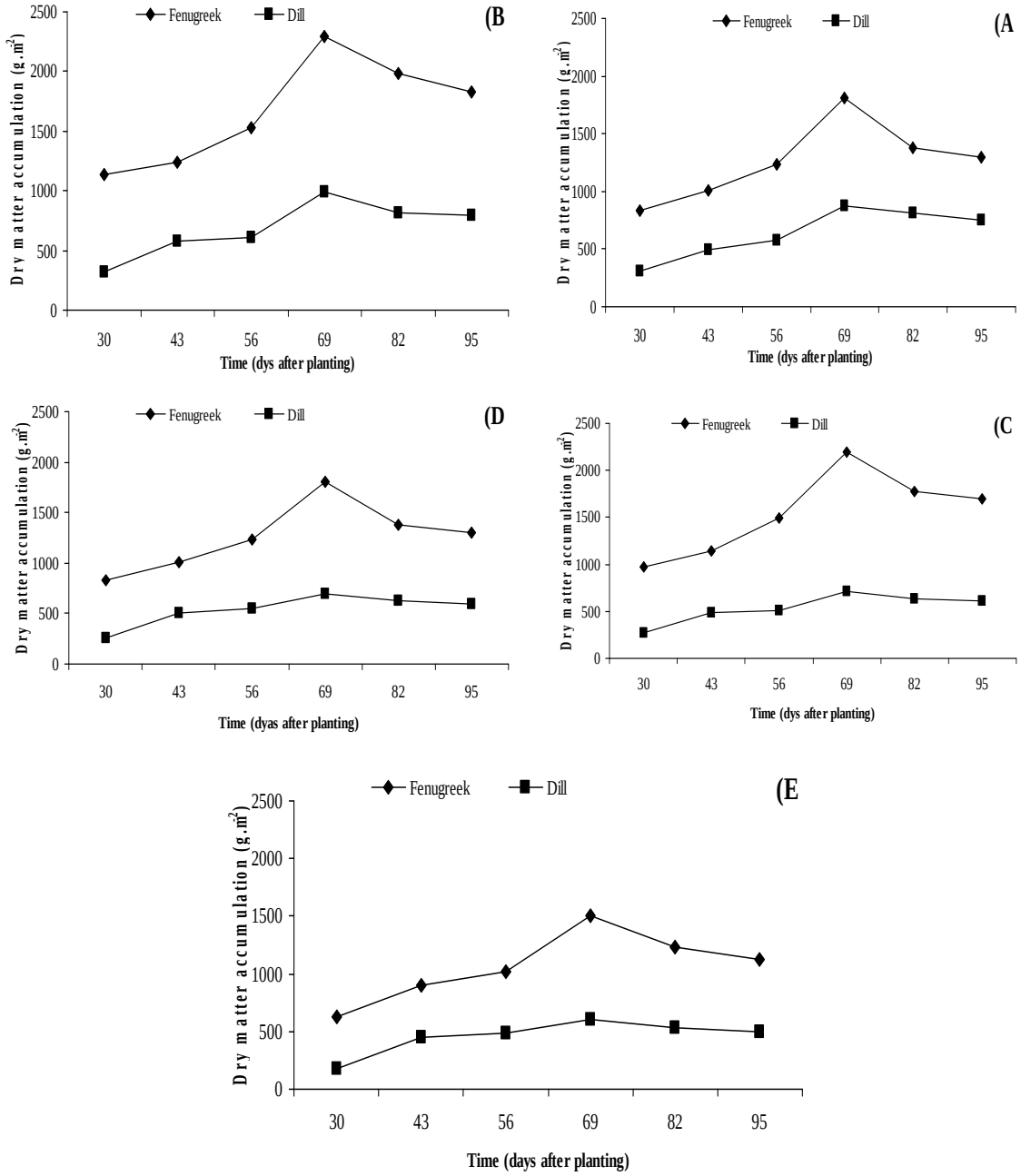
1- Photosyntheticaly active radiation
2- Radiation use efficiency

چندانی بین تیمارهای مختلف کشت مخلوط از نظر روند افزایش وزن خشک مشاهده نشد؛ به طوری‌که روند افـزایش تجمـع مـاده خشـک شنبلیله و شوید در همه تیمارها ۳۰ روز پس از کاشت وارد مرحله رشد خطی شده و به سرعت شروع به افزایش نمود و در حدود ۶۹ روز پس از کاشت (مرحله حصول حداکثر سطح برگ)، به حداکثر میزان خود به ترتیب برابر با ۲۲۹۸/۳۳ و ۹۹۴/۶۷ گرم بر مترمربع رسید و سپس بـه دلیل زرد شدن و تا حدودی ریزش برگ‌ها روند تقریباً ثابتی به صورت کاهشی در پیش گرفت (شکل ۲).



شکل ۱- اثر نسبت‌های کشت مخلوط جایگزینی (الف) ۲۰٪ شنبلیله + ۸۰٪ شوید، ب) ۶۰٪ شنبلیله + ۴۰٪ شوید، ج) ۴۰٪ شنبلیله + ۶۰٪ شوید، د) ۸۰٪ شنبلیله + ۲۰٪ شوید و ه) کشت خالص) بر روند تغییرات شاخص سطح برگ طی روزهای بعد از کاشت

Fig. 1- Effect of intercropping in replacement series (A) 20% fenugreek + 80% dill, B) 60% fenugreek +40% dill, C) 40% fenugreek + 60% dill, D) 80% fenugreek + 20% dill and D) monoculture) on leaf area indices at days after planting



شکل ۲- اثر نسبت‌های کشت مخلوط جایگزینی (الف) ۲۰٪ شنبلیله + ۸۰٪ شوید، ب) ٦۰٪ شنبلیله + ٤۰٪ شوید، ج) ٤۰٪ شنبلیله + ٦۰٪ شوید، د) ۸۰٪ شنبلیله + ۲۰٪ شوید و ه) کشت خالص) بر روند تغییرات میزان تجمع ماده خشک طی روزهای بعد از کاشت

Fig. 2- Effect of intercropping in replacement series (A) 20% fenugreek + 80% dill, B) 60% fenugreek +40% dill, C) 40% fenugreek + 60% dill, D) 80% fenugreek + 20% dill and D) monoculture) on dry matter accumulation at days after planting

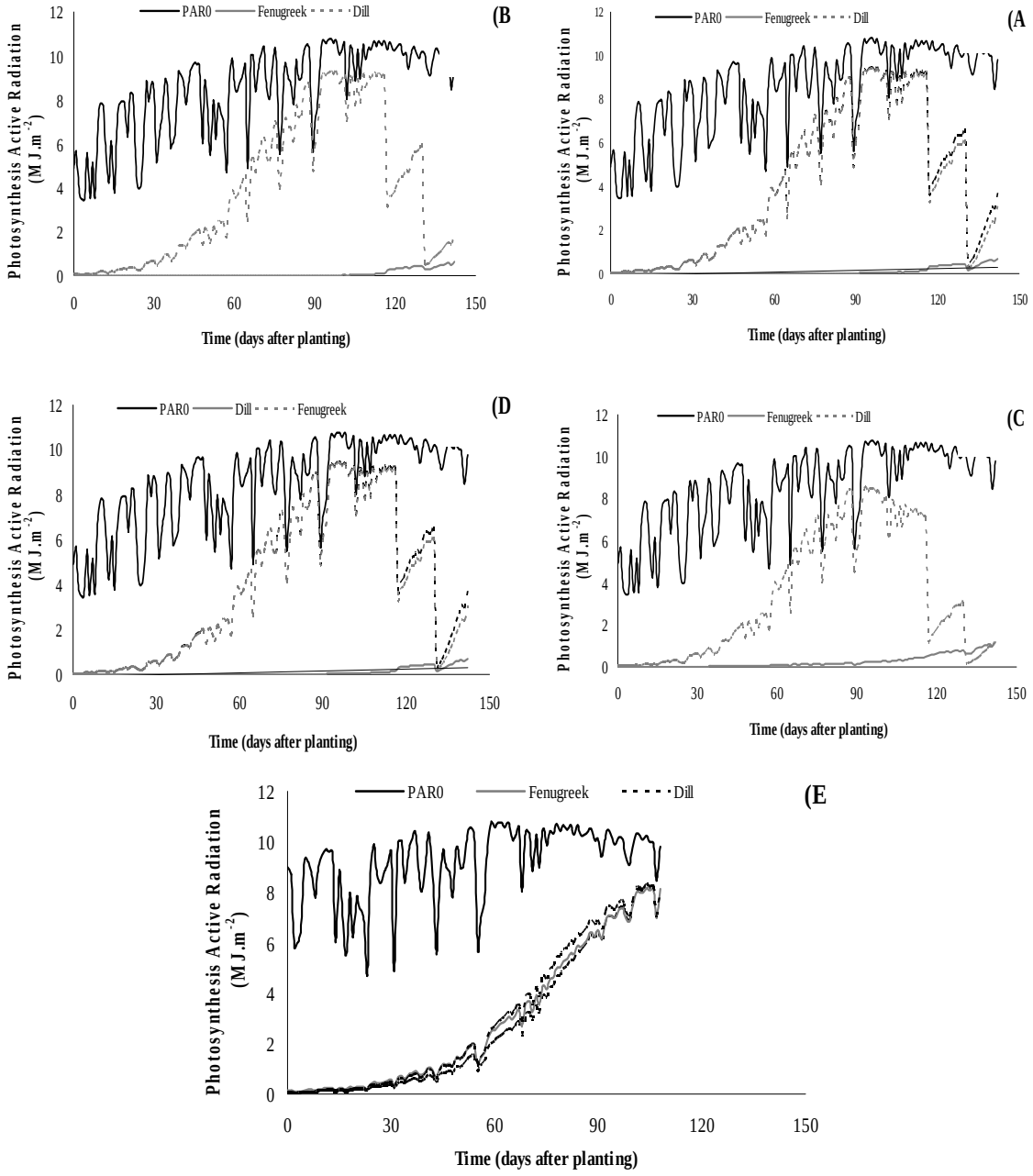
مقادیر تجمع ماده خشک در کلیه تیمارهای کشت مخلوط شنبلیله و شوید در مقایسه با کشت خالص بیشتر بود. در بین تیمارهای کشت مخلوط، بیشترین میزان تجمع ماده خشک گیاه شنبلیله به تیمار ۶۰٪ شنبلیله + ۴۰٪ شوید (۲۲۹۸/۳۳ گرم بر

مترمربع) و کمترین آن در کشت خالص (۱۵۰۵/۵۸ گرم بر مترمربع) اختصاص داشت که این موضوع می‌تواند به علت جذب نور بیشتر توسط کانوپی کشت مخلوط از طریق مجاورت در کنار یکدیگر باشد که در نتیجه میزان تجمع ماده خشک در کشت مخلوط نسبت به کشت خالص افزایش یافته است (شکل ۳). میرهاشمی و همکاران (Mirhashemi et al., 2009) بیان کردند که مقادیر وزن خشک زنیان (*Trachyspermum copticum* L.) در تیمارهای کشت مخلوط با شنبلیله در مقایسه با کشت خالص بیشتر بود. همچنین تیمار مخلوط سه ردیف شنبلیله بالاترین ماده خشک (۲۶۳/۱۴ گرم در مترمربع) را به خود اختصاص داد و با تغییر الگوی کشت مخلوط به سمت کشت خالص از میزان تجمع ماده خشک کاسته شد. نتایج دیگر آزمایشات در رابطه با کشت مخلوط لوبیا و ذرت (Koocheki et al., 2009; Koocheki et al., 2013) و کلزا (*Brassica napus* L.) و گندم (Koocheki et al., 2013) نیز مشخص نمودند که بیشترین ماده خشک تجمعی در تیمارهای کشت مخلوط و کمترین میزان آن در تیمار کشت خالص به دست آمد.

جذب و کارآیی مصرف نور: متناسب با افزایش شاخص سطح برگ (شکل ۱) میزان نور جذب شده توسط کانوپی شنبلیله، شوید در نسبت‌های کشت مخلوط جایگزینی به تدریج افزایش یافت (شکل ۳) که این امر از طریق کاهش اتلاف نور، موجب بهبود کارآیی مصرف نور و نسبت برابری زمین برای تشعشع جذب شد. بیشترین میزان نور جذب شده به نسبت کشت مخلوط ۶۰٪ شنبلیله + ۴۰٪ شوید (حدود ۹۰ درصد) و کمترین آن به کشت خالص (به ترتیب حدود ۶۶ و ۵۹ درصد برای شنبلیله و شوید) اختصاص داشت. جذب نور توسط کانوپی کشت مخلوط نسبت به خالص در تمام نسبت‌های کشت مخلوط جایگزینی به مراتب بالاتر از تک‌کشتی بود که به نظر می‌رسد به علت تغییر ساختار کانوپی شنبلیله و شوید و اثرات مثبت ناشی از حضور این دو گیاه در مجاورت یکدیگر باشد (شکل ۳). سایر محققان نیز افزایش جذب سایر منابع مصرفی از جمله نور را در کشت مخلوط نسبت به خالص گزارش کردند (Rodrigo et al., 2001; Willey, 1990). آن‌ها بیان کردند که استفاده از سیستم‌های کشت مخلوط یک راهکار اکولوژیک ضروری برای بهبود کارآیی جذب و مصرف منابع برای توسعه پایدار تولید محصولات می‌باشد. بنابراین، در سیستم‌های کشت مخلوط منابعی همچون زمین، عناصر غذایی، آب و نور خورشید می‌تواند با کارآیی بیشتر در زمان و مکان به کار برده شوند. از آن‌جا که در بین منابع مورد نیاز برای رشد گیاهان، نور دارای نقش اساسی است (Tsubo et al., 2001)، بنابراین، مطالعه چگونگی جذب و مصرف نور توسط گیاهان به ویژه در خصوص گیاهان دارویی که معمولاً گونه‌هایی بومی و خاص مناطق مختلف کشور هستند، دارای اهمیت بیشتری است.

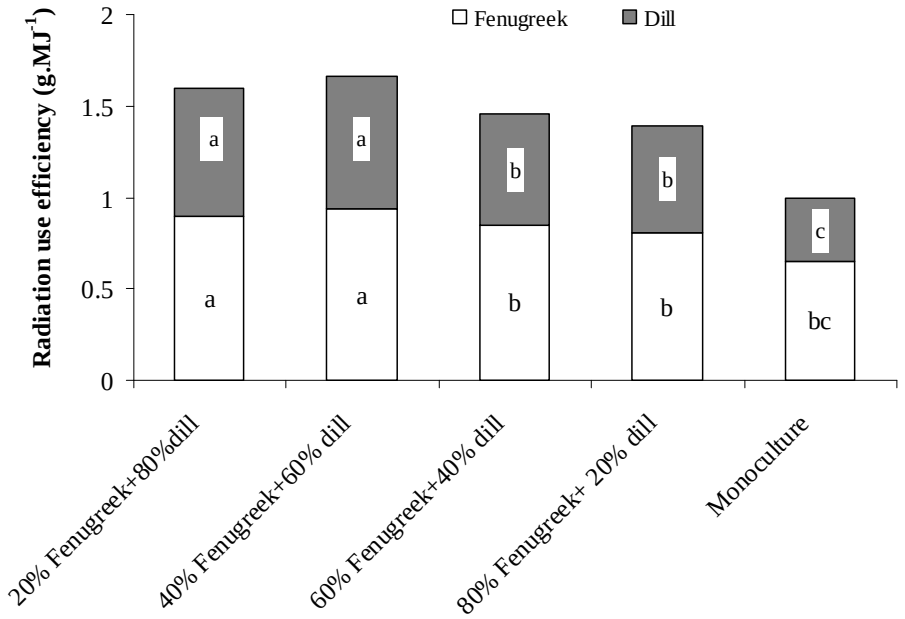
تولید ماده خشک گیاهان اغلب همبستگی مثبت با مقدار تشعشع جذب شده در تک‌کشتی (Monteith et al., 1977) و سیستم‌های کشت مخلوط (Sinclaire et al., 1989) دارد. همان‌طور که در شکل ۴ نشان داده شده است، بالاترین کارآیی مصرف نور شنبلیله و شوید در کشت مخلوط ۶۰٪ شنبلیله + ۴۰٪ شوید (به ترتیب با ۰/۹۴ و ۰/۷۲ گرم بر مگاژول) به دست آمد. کمترین کارآیی مصرف نور هر دو گیاه شنبلیله و شوید به کشت خالص (به ترتیب با ۰/۶۵ و ۰/۳۵ گرم بر مگاژول) اختصاص داشت. میانگین کارآیی مصرف نور شنبلیله نیز در بین نسبت‌های کشت مخلوط جایگزینی از ۰/۸۱گرم بر مگاژول برای ۸۰٪ شنبلیله + ۲۰٪ شوید تا ۰/۹گرم بر مگاژول برای ۲۰٪ شنبلیله + ۸۰٪ شوید متغیر بود. دامنه میانگین کارآیی مصرف نور برای شوید در بین نسبت‌های کشت مخلوط جایگزینی از ۰/۵۸گرم بر مگاژول برای ۸۰٪ شنبلیله + ۲۰٪ شوید تا ۰/۷گرم بر مگاژول برای ۸۰٪ شنبلیله + ۲۰٪ شوید متغیر محاسبه شد (شکل ۴).

همان‌گونه که مشخص است با توجه به افزایش شاخص سطح برگ (شکل ۱) و به تبع آن افزایش پوشش گیاهی بر سطح زمین در نسبت‌های کشت مخلوط ردیفی شنبلیله و شوید در مقایسه با کشت خالص، میزان جذب نور افزایش یافت که این امر علاوه بر افزایش میزان تجمع ماده خشک (شکل ۲)، منجر به کاهش اتلاف نور و بهبود نسبت برابری زمین برای تشعشع جذب شده گردید (شکل ۴). کیامانیوا و آمپوفو (Kyamanywa & Ampofo, 1988) با بررسی اثر چندکشتی لوبیا چشم‌بلبلی–ذرت در مقایسه با تک‌کشتی گزارش نمودند که پوشش گیاهی چندکشتی در مقایسه با تک‌کشتی میزان نور کمتری را عبور داد. کوچکی و همکاران (Koocheki et al., 2009) با بررسی کشت مخلوط لوبیا و ذرت در مقایسه با تک‌کشتی گزارش نمودند که کشت مخلوط در مقایسه با تک‌کشتی میزان نور بیشتری را جذب نمود که این امر منجر به بهبود عملکرد و کارآیی مصرف نور گردید.



شکل ۳- اثر نسبت‌های کشت مخلوط جایگزینی (الف) ۲۰٪ شنبلیله + ۸۰٪ شوید، ب) ۶۰٪ شنبلیله + ۴۰٪ شوید، ج) ۴۰٪ شنبلیله + ۶۰٪ شوید، د) ۸۰٪ شنبلیله + ۲۰٪ شوید و ه) کشت خالص) بر روند تغییرات نور بالای کانوپی و نور جذب شده طی روزهای بعد از کاشت

Fig. 2- Effect of intercropping in replacement series (A) 20% fenugreek + 80% dill, B) 60% fenugreek + 40% dill, C) 40% fenugreek + 60% dill, D) 80% fenugreek + 20% dill and D) monoculture) on radiation trends at top of the canopy and absorbed radiation at days after planting



شکل ٤- اثر تیمارهای کشت مخلوط جایگزینی بر کارآیی مصرف نور شنبلیله و شوید

Fig. 4- Effect of intercropping in replacement series on radiation use efficiency of fenugreek and dill

در کشت مخلوط بادام‌زمینی و ذرت نیز افزایش کارآیی مصرف نور گزارش شد (Awal et al., 2006). کوچکی و همکاران (Koocheki et al., 2012) نیز گزارش کردند که توزیع بهتر نور در کانوپی مخلوط در مقایسه با خالص سبب افزایش کارآیی مصرف نور شد. در آزمایشی دیگر نیز بهبود کارآیی مصرف نور در تک‌کشتی نسبت به مخلوط گزارش شده است (Koocheki et al., 2009). همچنین افزایش کارآیی مصرف نور در کشت مخلوط توسط بسیاری دیگر محققان گزارش شده است (Ceotto & Castelli, 2002; Tsubo & Walker, 2002; Willey, 1990; Keating & Carberry, 1993). همچنین با توجه به این شکل به نظر می‌رسد که رشد اولیه و سریع‌تر شنبلیله در مقایسه با شوید به ویژه در ابتدای فصل رشد و همچنین اثرات تسهیل‌کننده این گیاهان تحت تأثیر تثبیت نیتروژن به واسطه حضور شنبلیله و احتمالاً کاهش درصد حضور علف‌های هرز تحت تأثیر وجود گیاه دارویی شوید باعث بهره‌برداری بهتر از منابع محیطی و به ویژه نور شده که این امر بهبود بیشتر تأثیرپذیری شنبلیله در مقایسه با شوید را تحت تأثیر نسبت‌های کشت مخلوط جایگزینی به دنبال داشته است. علیزاده و همکاران (Alizadeh et al., 2010) با بررسی جذب و کارآیی مصرف نور گزارش کردند که کمترین کارآیی مصرف نور لوبیا در تیمار چهار ردیف ریحان رویشی (*Ocimum basilicum* L.) + دو ردیف لوبیا (۱/۶) و بالاترین کارآیی نور لوبیا در کشت مخلوط ردیفی (۲/۳۸) به دست آمد. آن‌ها یکی از مهم‌ترین دلایل کاهش کارآیی مصرف نور در تیمار چهار ردیف + دو ردیف لوبیا را به تراکم پایین لوبیا، کاهش سطح برگ و همچنین فراهم شدن شرایطی مانند کشت خالص (به دلیل حضور ردیف ها کنار هم) و عدم نفوذ مناسب نور نسبت دادند.

نتیجه‌گیری

به طور کلی، نتایج نشان داد که نسبت‌های کشت مخلوط جایگزینی شنبلیله و شوید منجر به بهبود شاخص سطح برگ، میزان تجمع ماده خشک، جذب نور و کارآیی مصرف نور هر دو گیاه شد. به طوری‌که بالاترین کارآیی مصرف نور شنبلیله و شوید در کشت مخلوط ۶۰٪ شنبلیله + ۴۰٪ شوید (به ترتیب با ۰/۹۴ و ۰/۷۲ گرم بر مگاژول) به دست آمد. همچنین نتایج نشان داد که کشت مخلوط شنبلیله و شوید به طور مشخص جذب نور بالاتر از کشت خالص داشت و در شنبلیله و هم در شوید کارآیی مصرف نور در کشت مخلوط بالاتر از تمامی تیمارها بود. به طور کلی، با افزایش تنوع گیاهان در بوم‌نظام‌های زراعی می‌توان از طریق افزایش پوشش

گیاهی جذب منابع و در نتیجه کارآیی مصرف آن‌ها را بهبود بخشید. بنابراین، با در نظر گرفتن شرایط اکولوژیک تولید گیاهان دارویی، کشت مخلوط را به عنوان یکی از راهکارهای بهبود کارآیی مصرف نور به عنوان یکی از مهمترین عوامل تولید می‌توان مدنظر قرار داد که این موضوع در درازمدت می‌تواند علاوه بر کاهش آلودگی‌های زیست‌محیطی و افزایش کارآیی مصرف منابع از طریق کاهش وابستگی به کودهای شیمیایی نیتروژنه و انرژی‌های فسیلی، افزایش پایداری را برای بوم‌نظام‌های تولید کشور به ارمغان بیاورد.

منابع

1- Abraham, C.T., and Singh, S.P. 1984. Weed management in sorghum-legume intercropping system. Journal Agriculture Science 103: 356-360.

2- 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*). Iranian Journal of Field Crops Research 7(2): 541-555. (In Persian with English Summary)

3- Awal, M.A., Koshi, H., and Ikeda, T. 2006. Radiation interception and use by maize/peanut intercrop canopy. Agriculture, Forest and Meteorology 139: 74-83.

4- Black, C., and Ong, C. 2000. Utilization of light and water in tropical agriculture. Agriculture, Forest and Meteorology 104: 25-47.

5- Carruba, A., Torre, R., and Matranga, A. 2002. Cultivation trials of aromatic and medicinal plants in semiarid Mediterranean environment. Proceeding of International Conference on MAP. Acta Horticulture (ISHS) 576: 207-216.

6- Ceotto, E., and Castelli, F. 2002. Radiation use efficiency in flue-cured tobacco (*Nicotiana tabacum* L.): response to nitrogen supply, climate variability and sink limitations. Field Crops Research 74: 117-130.

7- Corlett, J.E., Black, C.R., Ong, C.K., and Monteith, J.L. 1992. Above- and below-ground interactions in a leucaena/millet alley cropping system. II. Light interception and dry matter production. Agriculture, Forest and Meteorology 60: 73-91.

8- Gao, Y., Duan, A., Sun, J., Li, F., Liu, Z., Liu, H., and Liu, Z. 2009. Crop coefficient and water-use efficiency of winter wheat/spring maize strip intercropping. Field Crops Research 111: 65-73.

9- Goudriaan, J., and Van Laar, H.H. 1994. Modelling Potential Crop Growth Processes. Kluwer Academic Press 239 pp.

10- Hasanzadeh aval, F. 2008. Effect of density on agronomic characteristics and yield of savory and Iranian clover in intercropping. Msc Thesis in Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran. (In Persian with English Summary)

11- Keating, B.A., and Carberry, P.S. 1993. Resource capture and use in intercropping: solar radiation. Field Crops Research 34: 273-301.

12- Koocheki, A., Khorramdel, S., Fallahpour, F., and Melati, F. 2013. Evaluation of radiation absorption and use efficiency in row intercropping of wheat (*Triticum aestivum* L.) and Canola (*Brassica napus* L.). Iranian Journal of Field Crops Research 11(4): 533-542. (In Persian with English Summary)

13- Koocheki, A., Nassiri Mahallati, M., Mondani, F., Feizi, H., and Amirmoradi, S. 2009. Evaluation of radiation interception and use by maize and bean intercropping canopy. Journal of Agroecology 1(1): 13-23.

14- Koocheki, A., Shabahang, J., Khorramdel, S., and Aminghafori, A. 2012. Evaluation of radiation absorption and use efficiency in row intercropping of borage (*Borago officinalis* L.) and bean (*Phaseolus vulgaris* L.). Journal of Agroecology 4(1): 12-19.

15- Kyamanywa, S., and Ampofo, J.K.O. 1988. Effect of cowpea/maize mixed cropping on the incident light at the cowpea canopy and flower trips (*Thysanoptera thripidae*) population density. Crop Protection 7: 186-187.

16- Jahansooz, M.R., Yunusa, I.A.M., Coventry, D.R., Palmer, A.R., and Eamus, D. 2007. Radiation- and water-use associated with growth and yields of wheat and chickpea in sole and mixed crops. European Journal of Agronomy 26: 275-282.

17- Mirhashemi, S.M., Koocheki, A., Parsa, M., and Nassiri Mahallati, M. 2010. Evaluation of growth indices of ajowan and fenugreek in pure culture and intercropping based on organic agriculture. Iranian Journal of Field Crops Research 7(2): 685-694.

18- Monteith, J.L. 1977. Solar radiation and productivity in tropical ecosystems. Journal of Applied Ecology 9: 747-766.
19- Morgado, L.B., and Willey, R.W. 2003. Effects of plant population and nitrogen fertilizer on yield and efficiency of maize-bean intercropping. Pesquisa Agropecuária Brasileira 38: 1257-1264.
20- Mukhala, E., Juger, J.M., and Vanrensburg, L.D. 1999. Dietary nutrient deficiency in small-scale farming communities in south Africa benefits of intercropping maize and beans. Natural Research 19: 629-641.
21- Rodrigo, V.H.L., Stirling, C.M., Teklehaimanot, Z., and Nugawela, A. 2001. Intercropping with banana to improve fractional interception and radiation-use efficiency of immature rubber plantations. Field Crops Research 69: 237-249.
22- Rostami, L., Mondani, F., Khorramdel, S., Koocheki, A., and Nassiri Mahallati, M. 2009. Effect of various corn and bean intercropping densities on weed populations. Weed Research Journal 1(2): 37-50. (In Persian with English Summary)
23- Rowe, E.C., Noordwijk, M.V., Suprayogo, D., and Cadisch, G. 2005. Nitrogen use efficiency of monoculture and hedgerow intercropping in the humid tropics. Plant and Soil 268: 61-74.
24- Sinclaire, T.R., and Horie, T. 1989. Leaf nitrogen, photosynthesis, and crop radiation use efficiency: a review. Crop Science 29: 90-98.
25- Tsubo, M., Walker, S., and Mukhala, E. 2001. Comparisons of radiation use efficiency of mono-/inter-cropping systems with different row orientations. Field Crops Research 71: 17-29.
26- Tsubo, M., Walker, S., and Ogindo, H.O. 2005. A simulation model of cereal-legume intercropping systems for semi-arid regions I. Model development. Field Crops Research 93: 10-22.
27- Zhang, L., Vander Werf, W., Bastiaans, L., Zhang, S., Li, B., and Spiertz, J.H. 2008. Light interception and utilization in relay intercrops of wheat and cotton. Field Crops Research 107: 29-42.
28- Walker, S., and Ogindo, H.O. 2003. The water budget of rainfed maize and bean intercrop. Physics and Chemistry of the Earth 28: 919-926.
29- Willey, R.W. 1990. Resource use in intercropping systems. Agriculture and Water Management 17: 215-231.
30- Xin, N.Q., and Tong, P.Y. 1986. Multiple cropping system and its development orientation in China (a review). Scientia Agricultura Sinica 4: 88-92.
31- Zhang, F., and Li, L. 2003. Using competitive and facilitative interaction in intercropping systems enhances crops productivity and nutrient-use efficiency. Plant and Soil 248: 305-312.

Journal of Agroecology
Vol. 7, No. 3, Fall 2015, p. 412-424

نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد ۷، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۴، ص. ۴۲۴-۴۱۲

Evaluation of radiation use and interception of fenugreek (*Trigonella foenum-graecum* L.) and dill (*Anethum graveolens* L.) intercropping canopy

M. Yousef Nia[1], M. Banayan Aval[2*] and S. Khorramdel[3]
Submitted: 28-07-2013
Accepted: 23-08-2014

Introduction

Intercropping is a sustainable practice used in many developed and developing countries and an essential element of agricultural sustainability. Intercropping by decreasing the inputs through reduced fertilizer and pesticide requirements, minimizes the negative environmental impacts of agriculture (Lithourgidis et al., 2011). It is known that legumes are beneficial to the soil by improving nutrient availability and structure, reducing pest and disease incidence and hormonal effects (Lithourgidis et al., 2011). Biological nitrogen fixation, deriving from the symbiosis of leguminous plants and rhizobium bacteria, is the major benefit of legumes (Launay et al., 2009). The main advantage of intercropping is the more efficient utilization of the available resources and the increased productivity compared to monocropping (Launay et al., 2009). For example, intercropping of maize and bean increased light interception and improved soil moisture conditions compared to monoculture. Intercropping of ajowan and fenugreek improved the efficiency of cropping systems. Intercropping of bean (*Phaseolus vulgaris* L.) and sweet basil (*Ocimum basilicum* L.) had a significant effect on light efficiency and biological yield.

The main goal of this study was to introduce suitable sowing patterns on two medicinal plants production with respect to legume and medicinal plant intercropping such as dill (*Anethum graveolens* L.) and fenugreek (*Trigonella foenum-graecum* L.) based on replacement series.

Materials and methods

A field study was conducted to evaluate radiation absorption and use efficiency in fenugreek and dill in row intercropping as replacement series at Agricultural Research Station of Ferdowsi University during growing season of 2013-2014. Treatments included 20% fenugreek+ 80% dill, 40% fenugreek+ 60% dill, 60% fenugreek+ 40% dill, 80% fenugreek+ 20% dill and their monoculture. As summarized by Sinclair and Gardner (1998), potential crop growth and yield are the result of four processes. First, the radiation interception by crop canopies provides the required energy for crop production. Second, the efficiency of conversion of the intercepted radiation to plant mass which determines the amount of produced dry matter. Third, the time required for plant mass accumulation that determines the total amount of accumulated plant mass. Fourth, the fraction of the accumulated plant mass allocated to the harvestable part that influences crop productivity.

For statistical analysis, analysis of variance (ANOVA) and Duncan's multiple range test (DMRT) were performed using SAS version 9.3 (SAS Institute Inc., Cary, NC, USA).

Total above-ground dry matter ($g.m^{-2}$), TDM, during vegetative stages (i = 1, 2, .., k _ 1, k) was calculated as:

$$TDM_i = \sum_{i=1}^{k} (RUE_i \times F_i \times PAR_i) \qquad (1)$$

Where RUE is radiation use efficiency ($g.MJ^{-1}$ PAR), F is the fraction of radiation intercepted, PAR is photosynthetically active radiation ($MJ.m^{-2}.day^{-1}$), and i is the number of days after emergence (k is the day of flowering). RUE for a vegetative stage was defined as the ratio of TDM to intercepted PAR ($g.MJ^{-1}$ PAR).

With regard to potential crop yield, assuming that TDM reaches a maximum value on the k-th day, TDM during the reproductive stages (i = k + 1, k + 2, ..., n _ 1, n) was given by the following relationship:

1, 2 and 3- Msc student in Agroecology, Associate Professor and Assistant Professor, College of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran, respectively.
(*- Corresponding author Email: banayan@ ferdowsi.um.ac.ir)

$$TDM_i = TDM_k + \sum_{i=k+1}^{n} Y_i \qquad (2)$$

Where Y is harvestable yield (g m^{-2}) and n is the day of maturity. Therefore, as RUE was defined for the reproductive stage as the ratio of Y to intercepted PAR, Y (i.e., maize ears and bean pods) was given by:

$$Y_i = \sum_{i=k+1}^{n} (RUE_i \times F_i \times PAR_i) \qquad (3)$$

Grain yield (i.e., maize kernels and bean seeds) was estimated using the ratio of grain dry mass to Y. In this study, the measured ratio during the 1998/1999 growing season was used (0.69 for maize and 0.72 for beans) (Tsubo, 2000).

Results and Discussion

Results indicated that leaf area index, light absorption, total dry matter accumulation and radiation use efficiency (RUE) of fenugreek and dill increased in all intercropping ratios compared to monoculture. Dry matter production was linearly related to the amount of intercepted PAR. The value of RUE changed over time, partially as a consequence of changes in canopy photosynthetic rates. RUE range for fenugreek was from 0.65 g MJ^{-1} in monoculture to 0.9 g MJ^{-1} in 40% fenugreek + 60% dill. RUE range for dill was from 0.35 g MJ^{-1} in its monoculture to 0.72 g MJ^{-1} in 40% fenugreek+ 60% dill. However, the response of canopy photosynthesis to radiation was complex and depended on incident radiation flux density and individual leaf photosynthetic response. Radiation-use efficiency may be affected by changes of these variables as PAI increased.

Conclusion

Dry matter production was linearly related to the amount of PAR intercepted. RUE changed partially as a consequence of changes in canopy photosynthetic rates. However, the response of canopy photosynthesis to radiation was complex and depended on incident radiation flux density and individual leaf photosynthetic response. According to the results, intercropping of plants of 40% fenugreek + 60% dill can be beneficial in term of ecological management.

Keywords: Leaf area index, Radiation absorption, Row intercropping, Total dry matter

References

Launay, M., Brisson, N., Satger, S., Hauggaard-Nielsen, H., Corre-Hellou, G., Kasynova, E., Ruske, R., Jensen, E.S., and Gooding, M.J. 2009. Exploring options for managing strategies for pea-barley intercropping using a modeling approach. European Journal of Agronomy 31: 85-98.

Lithourgidis, A.S., Dordas, C.A., Damalas, C.A., and Vlachostergios, D.N. 2011. Annual intercrops: an alternative pathway for sustainable agriculture. Australian Journal of Crop Science 5: 396-410.

Tsubo, M., Walker, S., 2002. A model of radiation interception and use by a maize–bean intercrop canopy. Agriculture, Forest and Meteorology 110: 203-215.