نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد ۱۵، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۶، ص. ۵۷۴-۵۵۹

Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 15, No. 3, Fall. 2017, p. 559-574

بررسی عملکرد و کارآیی نیتروژن و فسفر در کشت مخلوط ردیفی گندم و کلزای پاییزه

علیرضا کوچکی[۱*]- فرانک نوربخش[۲]- مصطفی چشمی[۳]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۰۳/۳۱
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۱۰/۱۹

چکیده

به‌منظور بررسی عملکرد و کارآیی نیتروژن و فسفر در کشت مخلوط گندم- کلزا، آزمایشی در سال زراعی ۹۳-۱۳۹۲ در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه فردوسی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. تیمارهای آزمایش شامل: کشت خالص گندم (ارقام الوند و فلات)، کشت خالص کلزا (ارقام اکاپی و زرفام) و کشت مخلوط کلزا و گندم به‌صورت ردیفی با نسبت‌های ۱:۱، ۲:۲ و ۳:۳ بودند. نتایج به‌دست آمده از این آزمایش نشان داد که بیشترین عملکرد اقتصادی و بیولوژیک گندم و کلزا پس از کشت خالص، در تیمار کشت سه ردیفی مشاهده شد. همچنین بالاترین نسبت برابری زمین از تیمار الوند- اکاپی (۳:۳) به‌دست آمد. بالاترین کارایی فیزیولوژیک نیتروژن و فسفر گندم مربوط به کشت خالص رقم فلات بود و در مورد کلزا در تیمار فلات- زرفام ۲:۲ مشاهده شد. بیشترین کارایی مصرف نیتروژن و فسفر گندم بعد از کشت خالص الوند، در تیمار الوند- اکاپی ۳:۳ مشاهده شد. تیمارهای الوند- اکاپی ۳:۳ برای گندم و کشت خالص رقم اکاپی برای کلزا بیشترین کارایی جذب نیتروژن و فسفر را داشت. در مجموع با توجه به مشاهدات این آزمایش و از آن‌جایی‌که بیشترین میزان کارایی جذب و مصرف عناصر در تیمارهای کشت سه ردیفی مشاهده شد، به‌نظر می‌رسد الگوی کشت مخلوط سه ردیفی گندم و کلزا شرایط مناسب‌تری برای استفاده بهتر از عناصری همچون نیتروژن و فسفر دارا می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: شاخص برداشت، کارایی جذب، کارایی فیزیولوژیک، کارایی مصرف، کشت مخلوط

مقدمه

افزایش تولیدات کشاورزی در طی قرن بیستم حاصل فشرده‌سازی با نهاده‌های خارجی است، ولی این فشرده‌سازی موجب ایجاد برخی اثرات جانبی نظیر فرسایش خاک، آلودگی محیطی توسط مواد شیمیایی کشاورزی، مسمومیت ناشی از مصرف بی‌رویه کودها، ظهور جمعیت علف‌های هرز و آفات مقاوم به مواد شیمیایی شده است. بر این اساس تنوع سیستم‌های زراعی به‌عنوان راه‌حلی مناسب جهت رفع برخی از مشکلات کشاورزی مدرن پیشنهاد شده است (Poggio, 2005).

استفاده از کشت مخلوط به‌عنوان یکی از روش‌های مؤثر در کشاورزی پایدار، ضمن افزایش تنوع بوم‌شناختی و اقتصادی، سبب افزایش عملکرد در واحد سطح، ثبات عملکرد در شرایط نامطلوب محیطی، افزایش کمیت و کیفیت محصول، افزایش راندمان مصرف آب، کنترل فرسایش خاک، کاهش مصرف سموم و آفت‌کش‌های شیمیایی و ثبات در اکوسیستم‌های زراعی خواهد شد (Jahan, 2005; Pindo-vasques *et al*., 2000). با این حال سیستم کشت مخلوط زمانی سودمند است که منابع محیطی مورد نیاز دو گونه به‌طور مناسبی از یکدیگر جدا باشند. غالباً در کشت مخلوط عملکرد یک یا هر دو گونه زراعی در مقایسه با کشت خالص آن‌ها کمتر است ولی ترکیب عملکرد آن‌ها بیشتر خواهد بود (Koocheki *et al*., 2005). نتایج آزمایشی که کوچکی و همکاران (Koocheki *et al*., 2005) به‌منظور بررسی تأثیر کشت مخلوط گندم (*Triticum aestivum*) و کلزا (*Brassica napus*) بر عملکرد انجام دادند، نشان داد که اثر کشت مخلوط ردیفی گندم و کلزا بر عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت معنی‌دار بود و بیشترین عملکرد دانه گندم و کلزا در تیمار ردیفی ۳:۳ و کمترین میزان آن در کشت خالص گندم و کلزا مشاهده شد. همچنین آزمایش مشابه دیگری با هدف ارزیابی عملکرد، اجزای عملکرد و تنوع و تراکم علف‌های هرز در کشت مخلوط ردیفی گندم و کلزا انجام شد (Koocheki *et al*., 2014) که نتایج آن نشان داد که اثر الگوهای مختلف کشت مخلوط بر وزن خشک و شاخص

۱- استاد، گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
۲- دکتری اگرواکولوژی، گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
۳- دانشجوی دکتری اکولوژی، گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
(*- نویسنده مسئول: (Email: akooch@um.ac.ir
DOI: 10.22067/gsc.v15i3.47741

تنوع شانون علف‌های هرز معنی‌دار بود، بیشترین و کمترین میزان وزن خشک علف‌های هرز به‌ترتیب در تیمار کشت خالص گندم و کشت مخلوط سه ردیفی مشاهده شد. بیشترین مقادیر عملکرد بیولوژیک و عملکرد دانه نیز در کشت خالص به‌دست آمد و در الگوهای مخلوط بیشترین عملکرد بیولوژیک و عملکرد دانه در تیمار سه ردیفی مشاهده شد. کوچکی و همکاران (Koocheki *et al*., 2014) چنین جمع‌بندی نمودند که کشت مخلوط با افزایش تنوع، باعث کاهش تعداد و وزن خشک علف‌های هرز گردید و به‌طور کلی، بهترین نتایج در الگوی سه ردیف گندم+ سه ردیف کلزا مشاهده شد. محال و همکاران (Mahale *et al*., 2008) طی بررسی عملکرد کنجد (*Sesamum indicum*) در کشت مخلوط با بادام زمینی (*Arachis hypogaea*) در نسبت‌های مختلف کاشت بیان داشتند که عملکرد هر دو گونه زمانی که به نسبت ۳:۱ (کنجد+بادام زمینی) کشت شدند، نسبت به زمانی‌که به نسبت ۱:۳ و۱:۲ کشت شدند، بیشتر بود ولی در کل در کشت مخلوط، عملکرد دو گونه بالاتر از تک کشتی بود.

مطالعات زیادی بر این موضوع تأکید می‌کنند که با افزایش میزان کود نیتروژن در خاک، کارایی استفاده از نیتروژن کاهش می‌یابد (Salvagiotti *et al*., 2009). به گزارش هارپر و همکاران (Harper *et al*., 1987) از مجموع کود نیتروژنه مصرفی در زراعت ذرت در حدود ۵۲–۷۳ درصد جذب نشده و تلف می‌گردد و این مقدار در زراعت گندم زمستانه ۴۱–۲۱ درصد (Mazaheri, 1993) برآورد گردیده است. هاگینز و همکاران (Huggins and Pan, 1993) اظهار داشتند اگر خاک به لحاظ نیتروژن آلی و بیوماس میکروبی غنی باشد، بدون کاربرد کود نیتروژن، عملکرد بالایی به‌دست می‌آید. بی‌شک تحقیقات در زمینه نظام‌های زراعی که قادر به استفاده بهتر از نیتروژن مصرفی بوده و از کارایی مصرف نیتروژن بالاتری برخوردار باشند امری ضروری است (Mahler *et al*., 1994).

تأمین فسفر نیز یکی از مهم‌ترین عوامل تولید محصول با کیفیت و کمیت بالا می‌باشد. مصرف فسفر غیر از تأثیر در مراحل توسعه ریشه و شاخه‌زایی، در مراحل زایشی و پر شدن دانه نیز بسیار مؤثر است. با این حال مصرف بیش از حد فسفر نه تنها باعث افزایش محصول نمی‌گردد، بلکه به‌تدریج در خاک نیز تثبیت می‌شود. علاوه بر آن مصرف بیش از حد این عنصر در شرایط کمبود آب و خشکسالی موجب تشدید تنش خشکی و اسمزی و کاهش محصول می‌گردد (Malakouti and Sepehr, 2003).

از آن‌جایی‌که کشت مخلوط در مناطق خشک و نیمه‌خشک مانند ایران می‌تواند به‌عنوان یک راهکار به‌منظور حداکثر استفاده از تشعشع خورشیدی و منابع غذایی و آبی به‌کار رود (Koocheki *et al*., 2009) و همچنین گندم و کلزا به‌عنوان دو محصول مهم و استراتژیک محسوب می‌شوند، این آزمایش با هدف تعیین بهترین مدل کشت مخلوط گندم و کلزا و اندازه‌گیری کارایی استفاده از عناصر انجام شد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در سال زراعی ۹۳–۱۳۹۲، در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه فردوسی مشهد با عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۱۵ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۶ درجه و ۲۸ دقیقه شرقی، به‌صورت فاکتوریل بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی انجام شد. تیمارهای آزمایش شامل: کشت خالص گندم، کشت خالص کلزا و کشت مخلوط کلزا و گندم به‌صورت ردیفی با نسبت‌های ۱:۱، ۲:۲ و ۳:۳ بودند، به این ترتیب که در نسبت ۱:۱، یک ردیف کلزا و یک ریف گندم، در نسبت ۲:۲، دو ردیف گندم و دو ردیف کلزا و در نسبت ۳:۳ سه ردیف کلزا و سه ردیف گندم کشت شد. ابعاد هر کرت ۲ × ۳ و فاصله بین کرت‌ها ۰/۵ متر و فاصله بین تکرارها نیز ۱ متر در نظر گرفته شد. کشت دو گیاه در اوایل مهرماه به‌صورت هم‌زمان صورت گرفت و برای این منظور، ارقام اکاپی و زرفام برای کلزا و ارقام الوند و فلات برای گندم در نظر گرفته شد. تراکم مورد نظر برای کشت گندم و کلزا به‌ترتیب ۳۲۰ و ۸۰ بوته در متر مربع بود. در هنگام آماده‌سازی زمین در شهریورماه، ۱۵۰ کیلوگرم کود سوپر فسفات تریپل و ۱۰۰ کیلوگرم کود اوره در هکتار و در مراحل بعدی رشد دو نوبت کود اوره به‌صورت سرک هر بار به میزان ۵۰ کیلوگرم در هکتار داده شد. نمونه‌برداری جهت تعیین وزن خشک به‌صورت تصادفی و از مساحتی معادل ۰/۲۵ متر مربع (۰/۵ × ۰/۵) و با رعایت اثر حاشیه‌ای انجام شد. به‌منظور اندازه‌گیری وزن خشک، پس از ثابت شدن وزن نمونه‌ها (قرار دادن نمونه‌ها به مدت ۴۸ ساعت در آون در دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد) از ترازویی با دقت ۰/۰۰۱ گرم استفاده شد و اندازه‌گیری میزان نیتروژن بافت‌های گیاهی، با دستگاه میکروکجلدال و روش هضم تر انجام شد (Ashraf *et al*., 2006). میزان فسفر بافت‌های گیاهی نیز با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر و روش اولسن اندازه‌گیری شد. عملکرد دانه نیز پس از حذف اثرات حاشیه‌ای در هر کرت تعیین شده و بر اساس آن شاخص‌های کارایی نیتروژن با استفاده از معادلات (۱) تا (۳) تعیین شد (Salvagiotti, 2009):

معادله ۱)

۱۰۰× (مقدار نیتروژن قابل جذب خاک در متر مربع / مقدار نیتروژن زیست توده در متر مربع) = کارایی جذب نیتروژن (درصد)

معادله ۲)

(مقدار نیتروژن زیست توده در متر مربع / وزن دانه در متر مربع) = کارایی فیزیولوژیک نیتروژن (کیلوگرم بذر بر کیلوگرم نیتروژن بوته)

معادله ۳)

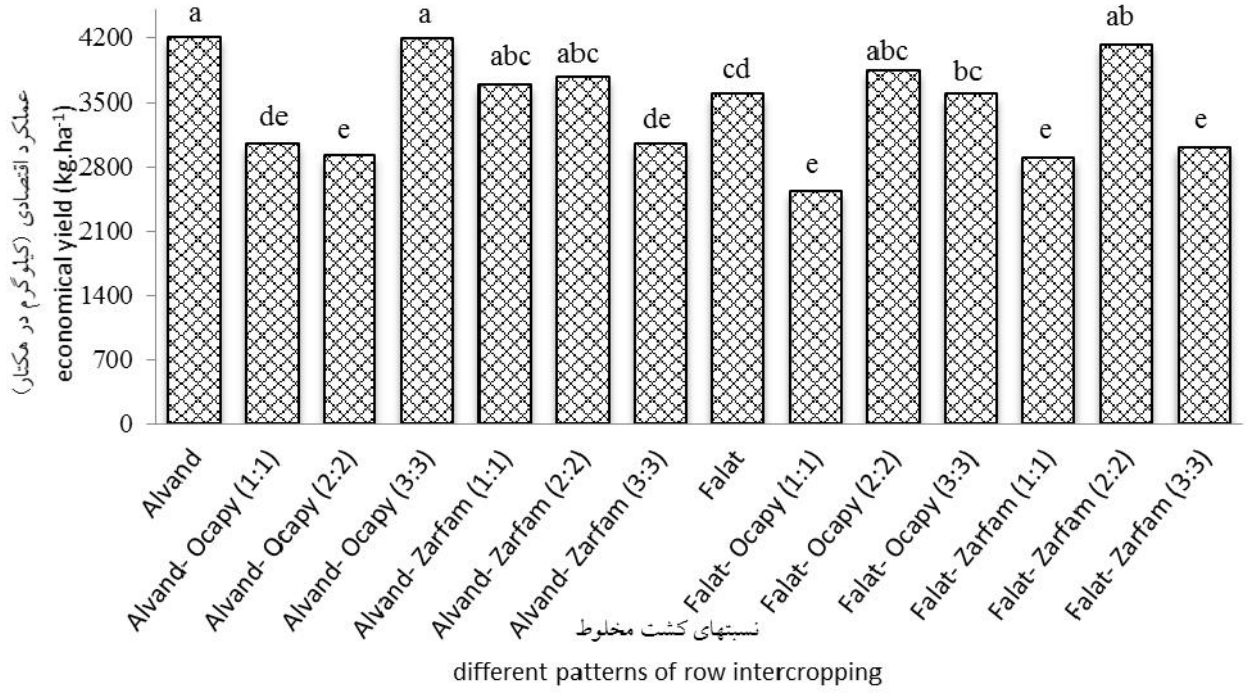
(مقدار نیتروژن قابل جذب خاک در متر مربع / عملکرد دانه در متر مربع) = کارایی مصرف نیتروژن (کیلوگرم بذر بر کیلوگرم نیتروژن قابل جذب در خاک)

محاسبه شاخص‌های کارایی فسفر نیز مشابه نیتروژن انجام شد.

جدول ۱- خصوصیات فیزیکوشیمیایی نمونه خاک مزرعه

Table 1- Physicochemical characters of soil sample

بافت Soil Texture	وزن مخصوص ظاهری Bulk Density ($gr.cm^{-3}$)	کربن آلی (٪) Organic carbon	پتاسیم (٪) Potassium	فسفر (٪) Phosphorus	نیتروژن کل (٪) Total Nitrogen	اسیدیته pH	هدایت الکتریکی Electrical conductivity ($dS.m^{-1}$)
لومی-سیلتی Silty- loam	1.4	0.195	0.02	0.002	0.09	8.12	2.67



شکل ۱- مقایسه میانگین عملکرد اقتصادی گندم در نسبت‌های مختلف کشت مخلوط بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد

Figure 1- Mean comparison of economical yield of wheat in different patterns of row intercropping based on Duncan's multiple range test at level 5%

عملکرد دانه و بیولوژیک پس از حذف اثرات حاشیه‌ای در انتهای فصل رشد تعیین شد و ارزیابی کشت مخلوط نیز با استفاده از شاخص نسبت برابری زمین[1] (معادله ۴) انجام شد (Vandermeer, 1992).

معادله ۴) $$LER = \sum_{c}^{n} \frac{Yci}{Ycm}$$

که در این معادله، Yci: عملکرد هر جزء در مخلوط و Ycm: حداکثر عملکرد تک کشتی آن جزء می‌باشد.

برای تجزیه و تحلیل داده‌ها از نرم افزار SAS ver.9.1 استفاده شد و مقایسه میانگین‌ها نیز بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد صورت گرفت.

خصوصیات فیزیکی و شیمیایی نمونه خاک مزرعه مورد آزمایش در جدول ۱ آورده شده است.

نتایج و بحث

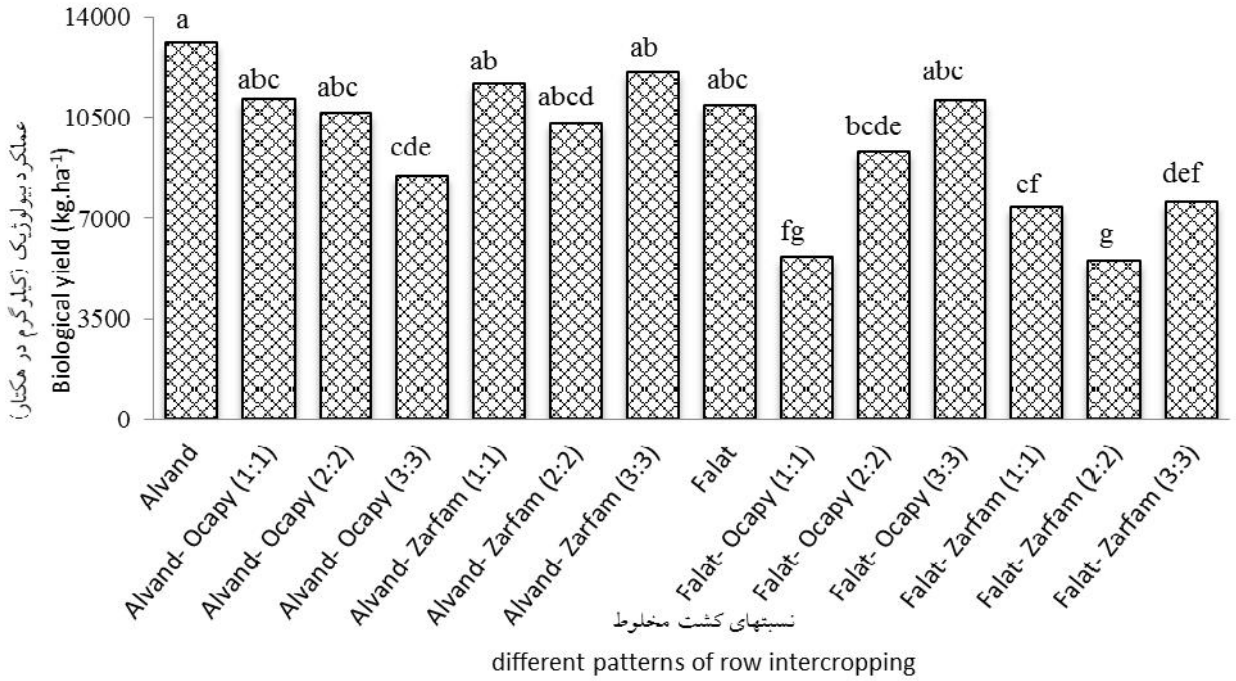
عملکرد اقتصادی و بیولوژیک گندم

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر نسبت‌های مختلف کشت مخلوط بر عملکرد اقتصادی گندم معنی‌دار ($p<۰/۰۱$) بود. بیشترین عملکرد دانه در گندم، در کشت خالص رقم الوند با

1- Land Equivalent Ratio (LER)

۴۱۹۹/۷۷ کیلوگرم در هکتار مشاهده شد و نسبت فلات – اکاپی (۱:۱) با ۲۵۳۶/۴۴ کیلوگرم در هکتار، کمترین میزان را به خود اختصاص دادند (شکل ۱).

بررسی نتایج حاصل از مقایسه میانگین‌ها نیز نشان داد که اگرچه تیمار کشت خالص گندم بیشترین میزان عملکرد دانه را داشت، با این حال از بین الگوهای کشت مخلوط، بیشترین عملکرد دانه مربوط به الگوی کاشت ۳ ردیفی (نسبت (۳:۳) الوند– اکاپی) بود (شکل ۱). به‌طور کلی، علت افزایش محصول در زراعت مخلوط را می‌توان به استفاده بهتر و کاراتر گیاهان از عوامل محیطی مانند آب، مواد غذایی و نور نسبت داد. کوچکی و همکاران (Koocheki *et al*., 2014) در بررسی کشت مخلوط گندم و کلزا و جمشیدی و همکاران (Jamshidi *et al*., 2011) در کشت مخلوط ذرت (*Zea mays*) و لوبیا چشم بلبلی (*Vigna unguiculata*) بیان کردند که بیشترین عملکرد دانه در کشت خالص به‌دست آمد. کوچکی و همکاران (Koocheki *et al*., 2014) در بررسی کشت مخلوط گندم و کلزا گزارش نمودند که بیشترین مقادیر عملکرد بیولوژیکی و عملکرد دانه در کشت خالص به‌دست آمد و در الگوهای مخلوط بیشترین عملکرد بیولوژیک و عملکرد دانه در تیمار سه ردیفی مشاهده شد. نتایج آزمایش دیگری که کوچکی و همکاران (Koocheki *et al*., 2009) به‌منظور بررسی عملکرد در کشت مخلوط گندم و کلزا انجام دادند نیز مؤید نتایج آزمایش حاضر می‌باشد. آن‌ها گزارش نمودند که بیشترین عملکرد دانه گندم و کلزا در کشت مخلوط از تیمار ردیفی ۳:۳ مشاهده شد. نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که از بین نسبت‌های مورد بررسی در این آزمایش بیشترین و کمترین میزان عملکرد بیولوژیک برای گندم به‌ترتیب در کشت خالص رقم الوند و کشت مخلوط فلات– زرفام (۲:۲) مشاهده شد (شکل ۲).



شکل ۲- مقایسه میانگین عملکرد بیولوژیک گندم در نسبت‌های مختلف کشت مخلوط بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد

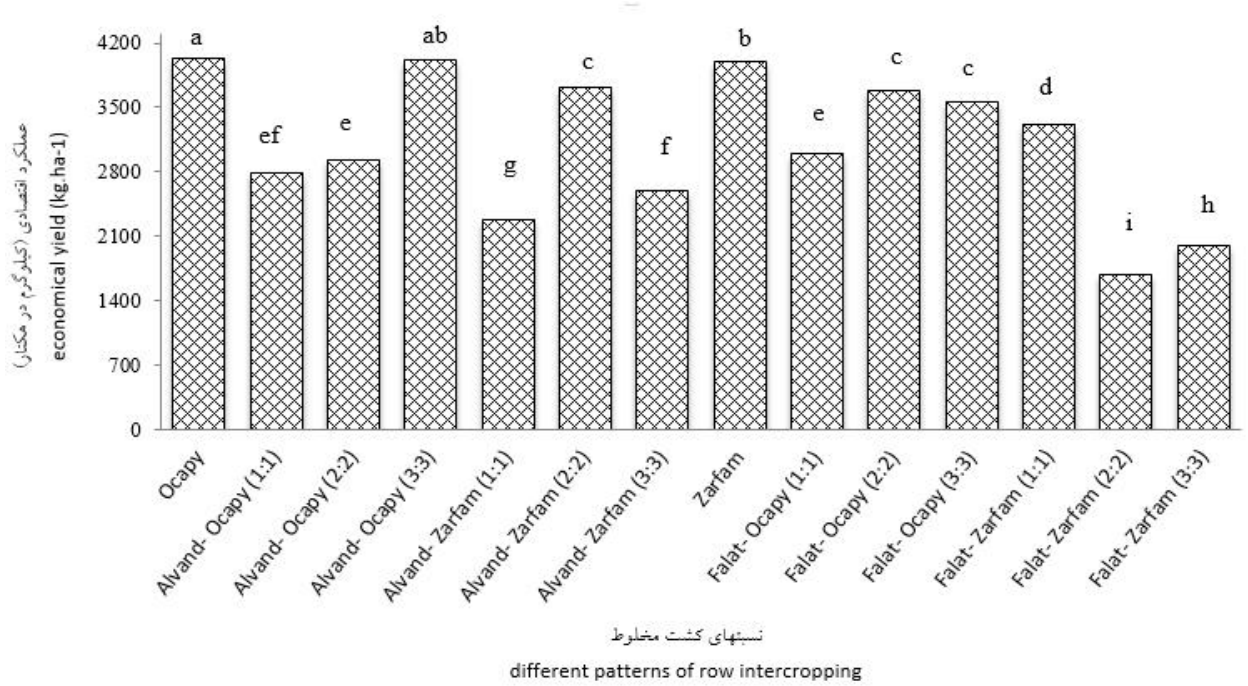
Figure 2- Mean comparison of biological yield of wheat in different patterns of row intercropping based on Duncan's multiple range test at level 5%

بعضی از پژوهشگران اعتقاد دارند که عملکرد بیولوژیک و همچنین عملکرد دانه در کشت مخلوط نسبت به تک کشتی کاهش می‌یابد (Jamshidi *et al*., 2011). در مطالعه قنبری و همکاران (Ghanbari *et al*., 2010) روی کشت مخلوط ذرت و کدو (*Cucurbita pepo*) اعلام شد که عملکرد بیولوژیک ذرت در کشت مخلوط نسبت به تک کشتی کاهش یافت. به نظر می‌رسد افزایش رقابت در تیمارهای کشت مخلوط و کاهش دسترسی به منابع مورد نیاز سبب کاهش عملکرد نسبت به تک کشتی می‌شود.

عملکرد اقتصادی و بیولوژیک کلزا

از بین تیمارهای مورد بررسی در این آزمایش بیشترین و کمترین

میزان عملکرد اقتصادی (به‌ترتیب با ۴۰۳۴/۵۴ و ۱۶۹۱/۹۸ کیلـوگرم در هکتار) از کشت خالص رقم اکاپی و کشت مخلوط فـلات- زرفـام (۲:۲) به‌دست آمد (شکل ۳).



شکل ۳- مقایسه میانگین عملکرد اقتصادی کلزا در نسبت‌های مختلف کشت مخلوط بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد

Figure 3- Mean comparison of economical yield of canola in different patterns of row intercropping based on Duncan's multiple range test at level 5%

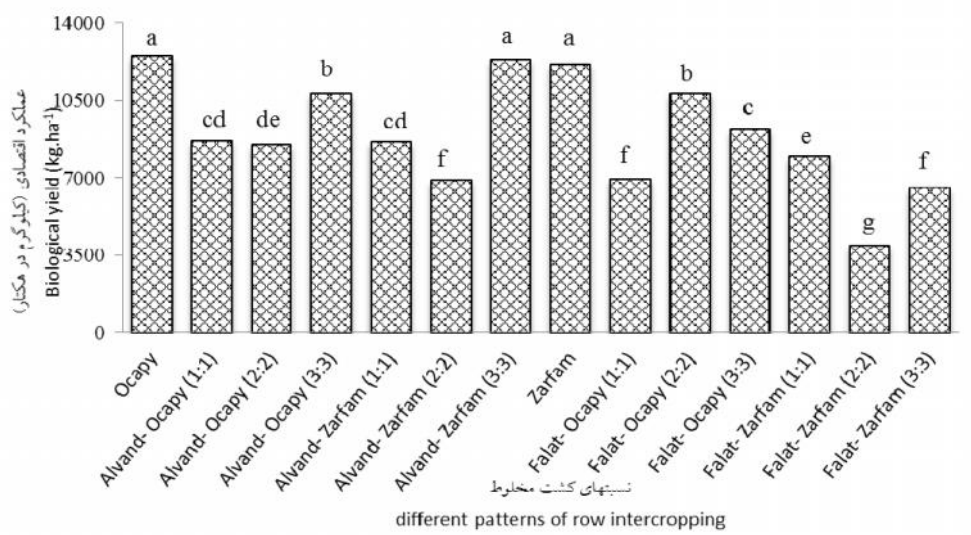
در بررسی حمزه ای و سـیدی (Hamzeyi and Seyedi, 2012) بر روی کشت مخلوط گندم و کلزا، بیشترین میـزان عملکـرد کلـزا در تیمار کشت خالص این گیاه مشاهده شـد. ذوالفقـار علـی و همکـاران (Zulfiqar *et al*., 2000) هـم کـاهش عملکـرد کلـزا را در کشـت مخلوط با گندم نسبت به تک کشتی این گیاه گزارش کردند.

نتایج تجزیه واریانس عملکرد بیولوژیک کلزا نشان داد که کشـت خالص رقم اکاپی و کشت مخلـوط فـلات – زرفـام (۲:۲) بـه‌ترتیـب، بیشترین و کمترین عملکرد بیولوژیک کلزا را به خود اختصاص دادنـد (شکل ۴).

به نظر می‌رسد در این مورد نیز به علت رقابت بین گونه‌ای میـان گندم و کلزا در کشت مخلوط، عملکرد بیولوژیک کاهش یافتـه اسـت. موی نیهان و سـیمونز (Moynihan and Simmons, 1996) نشـان دادنـد کـه کشـت مخلـوط جـو (*Hordeum vulgare*)- یونجـه (*Medicago sativa*) سبب کاهش عملکرد بیولوژیک جو بین ۱۶ تـا ۷۶ درصد در مقایسه با کشت خالص آن مـی‌شـود. در بـین الگوهـای مختلف مخلوط نیز بالاترین عملکرد بیولوژیکی در الگوی کشـت سـه ردیفی الوند- زرفام (۳:۳) با ۱۲۹۶۱/۳۳ کیلوگرم در هکتـار بـه‌دسـت آمد. در مطالعه کـوچکی و همکـاران (Koocheki *et al*., 2014) بـر روی کشت مخلوط گندم و کلزا نیز بالاترین میزان عملکرد بیولوژیک در کلزا بعد از کشت خالص در تیمار سه ردیفی گندم- کلـزا مشـاهده شد.

نسبت برابری زمین

در تمامی تیمارهای مورد آزمایش نسبت برابری زمین بـالاتر از ۱ بود (جدول ۲). نسبت برابری زمین بیشتر از یـک مـی‌توانـد ناشـی از کارایی مصرف نور بالاتر در کشت مخلوط نسـبت بـه کشـت خـالص باشد (Javanshir *et al*., 2000). همچنین هنگامی که نسبت برابری زمین بیش از یک باشد نشان‌دهنده‌ی وجود روابط متقابل مثبـت بـین اجزای گیاهی مخلوط، نسبت به کشت خـالص بـوده و بیـان‌کننـده‌ی برتری کشت مخلوط نسبت به خـالص اسـت. در تحقیـق حمـزه‌ای و سـیدی (Hamzeyi and Seyedi, 2012) نیـز بـه منظـور تعیـین مناسب‌ترین ترکیب کشت مخلوط گنـدم و کلـزا، در کلیـه تیمارهـای کشت مخلوط نسبت برابری زمین بالاتر از یک بود.



شکل ٤- مقایسه میانگین عملکرد بیولوژیک کلزا در نسبت‌های مختلف کشت مخلوط بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد

Figure 4- Mean comparison of biological yield of canola in different patterns of row intercropping based on Duncan's multiple range test at level 5%

جدول ۲- نتایج مقایسه میانگین نسبت برابری زمین کشت مخلوط گندم و کلزا

Table 2- Results of mean comparison of land equivalent ratio in row intercropping of wheat and canola

تیمارها Treatments	نسبت برابری زمین Land Equivalent Ratio
الوند- اکاپی (۱:۱) Alvand- Ocapy (1:1)	1.02 fg
الوند-زرفام (۱:۱) Alvand- Zarfam (1:1	1.18 ef
فلات-اکاپی (۱:۱) Falat- Ocapy (1:1)	1.01 g
فلات-زرفام (۱:۱) Falat- Zarfam (1:1)	1.35 de
الوند-اکاپی (۲:۲) Alvand- Ocapy (2:2)	1.01 fg
الوند-زرفام (۲:۲) Alvand- Zarfam (2:2)	1.64 bc
فلات-اکاپی (۲:۲) Falat- Ocapy (2:2)	1.79 ab
فلات-زرفام (۲:۲) Falat- Zarfam (2:2)	1.46 cd
الوند-اکاپی (۳:۳) Alvand- Ocapy (3:3)	1.89 a
الوند-زرفام (۳:۳) Alvand- Zarfam (3:3)	1.04 fg
فلات-اکاپی (۳:۳) Falat- Ocapy (3:3)	1.89 bc
فلات-زرفام (۳:۳) Falat- Zarfam (3:3)	1.02 fg

اعداد با حروف مشترک در هر ستون دارای اختلاف معنی‌دار ($P<0.05$) با آزمون چند دامنه‌ای دانکن نمی‌باشند

Numbers followed by the same letters are not significantly different based on Duncan's multiple range test ($P<0.05$)

بیشترین میزان نسبت برابری زمین در کشت مخلوط الوند- اکاپی (۳:۳) مشاهده شد و کمترین آن مربوط به کشت مخلوط فلات- اکاپی (۱:۱) بود (جدول ۲). کوچکی و همکاران (Koocheki *et al.*, 2014) در کشت مخلوط گندم و کلزا به نتیجه مشابهی دست یافتند که با نتیجه آزمایش حاضر مطابقت دارد. ذوالفقار علی و همکاران (Zulfiqar *et al.*, 2000) نیز در کشت مخلوط گندم و کلزا اعلام کردند که نسبت برابری زمین در کلیه تیمارهای کشت مخلوط بیشتر از یک بود.

کارایی فیزیولوژیک نیتروژن و فسفر گندم

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که تفاوت معنی‌داری ($p<۰/۰۱$) بین تیمارهای مختلف کشت مخلوط از نظر کارایی فیزیولوژیک نیتروژن و فسفر وجود داشت. بیشترین و کمترین کارایی فیزیولوژیک نیتروژن در کشت خالص رقم فلات و کشت مخلوط الوند- اکاپی ۲:۲ به‌ترتیب با ۶۲/۲۵ و ۱۳/۳۴ کیلوگرم بذر بر کیلوگرم نیتروژن مشاهده شد (جدول ۳).

جدول ۳- مقایسه میانگین کارایی فیزیولوژیک، کارایی جذب و کارایی مصرف نیتروژن گندم در کشت مخلوط

Table 3- Mean comparison of Physiological efficiency, absorption efficiency and nitrogen use efficiency of wheat in the intercropping

تیمارها Treatments	نیتروژن Nitrogen		
	کارایی فیزیولوژیک Nitrogen physiological efficiency ($kg.kg^{-1}$)	کارایی جذب Nitrogen absorption efficiency (%)	کارایی مصرف Nitrogen use efficiency ($kg.kg^{-1}$)
خالص الوند Alvand	20.33 i	41.32 d	30.33 a
الوند- اکاپی (۱:۱) Alvand- Ocapy (1:1)	20.26 i	43.90 c	22.59 i
الوند– اکاپی (۲:۲) Alvand- Ocapy (2:2)	13.34 l	45.33 b	23.64 h
الوند- اکاپی (۳:۳) Alvand- Ocapy (3:3)	38.34 d	50.67 a	29.20 b
الوند- زرفام (۱:۱) Alvand- Zarfam (1:1)	29.55 g	43.51 cd	20.42 k
الوند-زرفام (۲:۲) Alvand- Zarfam (2:2)	30.74 f	43.65 cd	27.91 d
الوند- زرفام (۳:۳) Alvand- Zarfam (3:3)	18.09 j	44.76 bc	21.53 j
خالص فلات Falat	62.25 a	39.31 ef	24.67 g
فلات-اکاپی (۱:۱) Falat- Ocapy (1:1)	24.79 h	35.98 f	28.89 d
فلات-اکاپی (۲:۲) Falat- Ocapy (2:2)	17.54 j	40.75 e	26.85 e
فلات-اکاپی (۳:۳) Falat- Ocapy (3:3)	14.71 k	34.61 fg	25.77 f
فلات-زرفام (۱:۱) Falat- Zarfam (1:1)	45.81 c	29.65 i	18.23 m
فلات-زرفام (۲:۲) Falat- Zarfam (2:2)	33.80 e	30.66 h	19.33 l
فلات-زرفام (۳:۳) Falat- Zarfam (3:3)	52.88 b	32.76 g	28.14 b

اعداد با حروف مشترک در هر ستون دارای اختلاف معنی‌دار ($P<0.05$) با آزمون چند دامنه‌ای دانکن نمی‌باشند

Numbers followed by the same letters are not significantly different based on Duncan's multiple range test ($P<0.05$)

بر اساس نظر مول و همکاران (Moll *et al*., 1982) عواملی چون: پتانسیل جذب و انتقال نیترات در گیاه، پتانسیل انتقال مجدد عناصر، مورفولوژی ریشه، مکانیسم‌های بیوشیمیایی و فیزیولوژیکی متفاوت در اسیمیلاسیون نیترات گیاهان موجب اختلاف در کارآیی زراعی و فیزیولوژیکی نیتروژن در آن‌ها می‌شود. کارآیی فیزیولوژیک نیتروژن توانایی گیاه یا سیستم را در افزایش عملکرد در پاسخ به نیتروژن جذب شده نشان می‌دهد و به‌عبارت دیگر حاکی از پتانسیل گیاه یا سیستم در استفاده از نیتروژن جذب شده در جهت تولید می‌باشد (Lopez- Bellido and Lopez-Bellido, 2001). در مورد فسفر نیز بیشترین و کمترین کارایی فیزیولوژیک مربوط به تیمارهای کشت خالص رقم فلات و کشت مخلوط الوند- اکاپی (۱:۱) مشاهده شد (جدول ۴).

جدول ٤- مقایسه میانگین کارایی فیزیولوژیک، کارایی جذب و کارایی مصرف فسفر گندم در کشت مخلوط گندم- کلزا

Table 4- Mean comparison of Physiological efficiency, absorption efficiency and phosphorus use efficiency of wheat in the intercropping

تیمارها Treatments	فسفر Phosphorus		
	کارایی فیزیولوژیک Phosphorus physiological efficiency ($kg.kg^{-1}$)	کارایی جذب Phosphorus absorption efficiency (%)	کارایی مصرف Phosphorus use efficiency ($kg.kg^{-1}$)
خالص الوند Alvand	23.98 bc	26.28 d	23.82 a
الوند- اکاپی (۱:۱) Alvand- Ocapy (1:1)	9.61 e	24.59 f	21.33 cd
الوند– اکاپی (۲:۲) Alvand- Ocapy (2:2)	11.54 de	22.29 h	21.85 bc
الوند- اکاپی (۳:۳) Alvand- Ocapy (3:3)	20.50 cd	29.44 a	22.37 b
الوند- زرفام (۱:۱) Alvand- Zarfam (1:1)	19.76 cd	23.79 g	16.71 g
الوند-زرفام (۲:۲) Alvand- Zarfam (2:2)	17.04 d	28.65 b	19.68 e
الوند- زرفام (۳:۳) Alvand- Zarfam (3:3)	11.67 de	25.83 e	20.12 e
خالص فلات Falat	31.69 a	16.51 k	21.15 d
فلات-اکاپی (۱:۱) Falat- Ocapy (1:1)	24.15 bc	12.60 m	11.66 i
فلات-اکاپی (۲:۲) Falat- Ocapy (2:2)	28.65 ab	21.57 i	18.54 f
فلات-اکاپی (۳:۳) Falat- Ocapy (3:3)	11.45 de	27.22 c	18.12 f
فلات-زرفام (۱:۱) Falat- Zarfam (1:1)	30.08 ab	14.36 l	13.11 h
فلات-زرفام (۲:۲) Falat- Zarfam (2:2)	26.35 bc	24.59 f	12.46 h
فلات-زرفام (۳:۳) Falat- Zarfam (3:3)	14.67 d	20.04 j	17.18 g

اعداد با حروف مشترک در هر ستون دارای اختلاف معنی‌دار ($P<0.05$) با آزمون چند دامنه‌ای دانکن نمی‌باشند

Numbers followed by the same letters are not significantly different based on Duncan's multiple range test ($P<0.05$)

علت پایین بودن کارایی فیزیولوژیک فسفر در تیمار الوند- اکاپی (۱:۱) را می‌توان به دلیل پایین بودن میزان فسفر در این تیمار دانست (Rezvani Moghadam and Seyedi, 2014). به نظر می‌رسد به‌کارگیری تراکم‌های مطلوب دو گونه در کشت مخلوط موجب اشغال مناسب نیچ‌های خالی و افزایش جذب عناصرغذایی در واحد سطح و کاهش میزان تلفات می‌گردد که این امر می‌تواند در بهبود میزان کارایی استفاده از عناصر مؤثر باشد. از سوی دیگر، آزمایش خاک مورد مطالعه، حاکی از حضور اندک موادآلی در خاک است، کمبود موادآلی موجب کاهش رشد ریشه و همچنین رشد اندام هوایی می‌گردد، که متعاقب آن میزان عملکرد نیز کاهش می یابد و این موضوع، کاهش کارآیی استفاده از عناصر را به دنبال خواهد داشت (Rezvani Moghadam and Seyedi, 2014). از آن‌جایی‌که کارآیی فیزیولوژیک به ژنتیک گیاه و توان گیاه در استفاده از عناصرغذایی بستگی دارد، تفاوت معنی‌دار بین کارآیی فیزیولوژیک ارقام مختلف توجیه‌پذیر است و نتایج آزمایش نشان‌دهنده توانایی بهتر رقم فلات در مقایسه با رقم الوند در استفاده از عناصر جذب شده برای تولید عملکرد می‌باشد.

کارایی جذب نیتروژن و فسفر گندم

تیمارهای مختلف کشت مخلوط گندم و کلزا از نظر کارایی جذب نیتروژن و فسفر با یکدیگر تفاوت معنی‌داری ($p<۰/۰۱$) داشتند، به‌طوری‌که بیشترین درصد کارایی جذب نیتروژن در تیمار الوند- اکاپی (۳:۳) و کمترین آن در تیمار فلات - زرفام (۱:۱) به‌ترتیب با ۵۰/۶۷ و ۲۹/۶۵ درصد مشاهده شد (جدول ۳). بالا بودن کارآیی جذب نیتروژن گندم در تیمار فلات- اکاپی (۳:۳) گویای آن است که در این تیمار تلفات نیتروژن در خاک کمتر از تیمارهای دیگر بود و علت آن را می‌توان به عملکرد نسبتاً بالا در این تیمار نسبت داد. این نتایج با مشاهدات به‌دست آمده از آزمایشات رحیمی زاده و همکاران (Rahimizadeh *et al*., 2011) مطابقت دارد. در مورد کارایی جذب فسفر بیشترین میزان این کارایی از تیمارالوند- اکاپی (۳:۳) و کمترین آن از تیمار فلات- اکاپی (۱:۱) به‌دست آمد (جدول ۴). همانند کارایی جذب نیتروژن در فسفر نیز رابطه مستقیم بین کارایی جذب و عملکرد وجود دارد (Alizade *et al*., 2009). تیمار الوند- اکتاپی (۳:۳) از بیشترین و تیمار فلات- اکتاپی (۱:۱) از کمترین میزان عملکرد برخوردار است بنابراین بالا بودن و کم بودن کارایی جذب در این تیمارها را می‌توان به میزان عملکرد آن‌ها و توانایی بالاتر این تیمارها در جذب فسفر نسبت داد. از آن‌جایی‌که میزان کارایی جذب عناصر به خصوصیات ریشه و توان گیاه در جذب عناصر بستگی دارد، کمبود موادآلی در خاک به دلیل اثر منفی بر رشد ریشه، توانایی گیاه در جذب عناصر را کاهش می‌دهد که متعاقب آن میزان کارایی جذب عناصر کاهش پیدا می‌کند. در خاک‌های ایران به دلیل کمبود موادآلی، مهم‌ترین عامل محدودکننده در استفاده از عناصر، کارایی پایین جذب عناصر است. کشت مخلوط با اشغال فضاها به‌صورت مطلوب و استفاده مناسب از عناصر و کاهش میزان تلفات تا حدی موجب بهبود استفاده از عناصر غذایی می‌گردد. با توجه به نتایج آزمایش، انتخاب تراکم و الگوی کشت مناسب در افزایش توان گیاه در جذب عناصر غذایی مؤثر به نظر می‌رسد.

کارایی مصرف نیتروژن و فسفر گندم

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها در مورد کارایی مصرف نیتروژن و فسفر نشان داد که تفاوت معنی‌داری ($p<۰/۰۱$) بین تیمارهای مختلف کشت مخلوط از نظر کارایی مصرف نیتروژن و فسفر وجود داشت. بیشترین و کمترین کارایی مصرف نیتروژن به‌ترتیب در کشت خالص رقم الوند و تیمار فلات- زرفام (۱:۱) مشاهده شد. از بین تیمارهای کشت مخلوط نیز بالاترین کارایی مصرف نیتروژن مربوط به تیمار الوند- اکاپی (۳:۳) بود (جدول ۳). کارایی مصرف نیتروژن دارای رابطه نزدیکی با عملکرد دانه می‌باشد و مقادیر بالاتر کارایی مصرف نیتروژن در عملکرد بالاتر به‌دست می‌آید (Svecnjack and Rangel, 2006). در آزمایش حاضر نیز بیشترین میزان عملکرد در کشت خالص الوند و تیمار الوند- اکاپی (۳:۳) مشاهده شد (شکل ۱) و از این طریق می‌توان بالا بودن کارایی مصرف نیتروژن در این تیمارها را توجیه کرد. در مورد کارایی مصرف فسفر نیز نتایج مشابهی به‌دست آمد به این صورت که کشت خالص رقم الوند بیشترین کارایی مصرف فسفر را داشت و بعد از آن تیمار الوند- اکاپی (۳:۳) قرار گرفت (جدول ۴). افزایش کارایی مصرف فسفر در گیاهان زراعی نشان‌دهنده این موضوع است که چگونه این گیاهان به شکلی مؤثر این عنصر دسترس را به عملکرد اقتصادی تبدیل می‌کند (Salvagiotti *et al*., 2009). بالا بودن کارایی مصرف فسفر در این تیمارها افزایش میزان عملکرد را توجیه می‌کند. نتایج به‌دست آمده با آزمایشات علیزاده و همکاران (Alizade *et al*., 2009) مطابقت می‌کند. کارآیی مصرف عناصر در واقع حاصل ضرب کارایی فیزیولوژیک و کارایی جذب عناصر است و بنابراین کاهش و یا افزایش هرکدام از این‌ها می‌تواند بر میزان کارایی مصرف نیز مؤثر باشد. نتایج آزمایش نشان می‌دهد تیماری که بیشترین میزان کارایی جذب عناصر را به همراه داشت، دارای بیشترین میزان کارایی مصرف نیز بود. در واقع به نظر می‌رسد تیمار مذکور ضمن داشتن توانایی بهتر در جذب عناصرغذایی، در استفاده از عناصر جذب شده برای تولید عملکرد نیز موفق عمل نموده. به نظر می‌رسد انتخاب مناسب گونه‌ها در کشت مخلوط و به‌کارگیری نسبت مناسب اختلاط برای آن‌ها، ضمن فراهم آوردن شرایط برای رشد بهتر گونه ها، توان جذب گیاهان برای عناصر غذایی را بالا می‌برد و بهبود کارایی مصرف عناصر غذایی را به همراه خواهد داشت.

کارایی فیزیولوژیک نیتروژن و فسفر کلزا

بالاترین کارایی فیزیولوژیک نیتروژن و فسفر کلزا در کشت مخلوط فلات- زرفام (۲:۲) به‌ترتیب با ۳۳/۲۹ و ۱۱/۰۸ کیلوگرم بر کیلوگرم مشاهده شده (جدول ۵ و ۶).

جدول ۵- مقایسه میانگین کارایی فیریولوژیک، کارایی جذب و کارایی مصرف نیتروژن کلزا در کشت مخلوط گندم- کلزا

Table 5- Mean comparison of Physiological efficiency, absorption efficiency and nitrogen use efficiency of canola in the intercropping

تیمارها Treatments	نیتروژن Nitrogen		
	کارایی فیزیولوژیک Nitrogen physiological efficiency ($kg.kg^{-1}$)	کارایی جذب Nitrogen absorption efficiency (%)	کارایی مصرف Nitrogen use efficiency ($kg.kg^{-1}$)
خالص اکاپی Ocapy	26.12 i	69.71 a	23.45 a
الوند- اکاپی (۱:۱) Alvand- Ocapy (1:1)	27.65 efgh	58.17 abc	16.49 cd
الوند– اکاپی (۲:۲) Alvand- Ocapy (2:2)	27.21 fgh	55.28 cd	17.48 cd
الوند- اکاپی (۳:۳) Alvand- Ocapy (3:3)	27.83 defg	68.88 ab	21.04 abc
الوند- زرفام (۱:۱) Alvand- Zarfam (1:1)	29.51 cd	82.55 cde	18.12 cd
الوند–زرفام (۲:۲) Alvand- Zarfam (2:2)	29.86 bc	48.87 cdef	18.58 bcd
الوند- زرفام (۳:۳) Alvand- Zarfam (3:3)	28.19 cdefg	40.71 defg	20.91 abc
خالص زرفام Zarfam	26.72 fghi	58.78 abc	18.92 abcd
فلات–اکاپی (۱:۱) Falat- Ocapy (1:1)	26.59 ghi	50.98 cd	19.45 abcd
فلات–اکاپی (۲:۲) Falat- Ocapy (2:2)	31.45 ab	48.45 cde	17.58 cd
فلات–اکاپی (۳:۳) Falat- Ocapy (3:3)	29.54 c	46.74 cdef	19.27 abcd
فلات–زرفام (۱:۱) Falat- Zarfam (1:1)	28.41 cdef	64.81 cdef	20.33 abcd
فلات–زرفام (۲:۲) Falat- Zarfam (2:2)	32.29 a	31.82 g	15.69 d
فلات–زرفام (۳:۳) Falat- Zarfam (3:3)	29.09 cde	39.34 efg	23.25 ab

اعداد با حروف مشترک در هر ستون دارای اختلاف معنی‌دار ($P<0.05$) با آزمون چند دامنه‌ای دانکن نمی‌باشند

Numbers followed by the same letters are not significantly different based on Duncan's multiple range test ($P<0.05$)

جدول ٦- مقایسه میانگین کارایی فیزیولوژیک، کارایی جذب و کارایی مصرف فسفر کلزا در کشت مخلوط گندم- کلزا

Table 6- Mean comparison of Physiological efficiency, absorption efficiency and Phosphorus use efficiency of canola in the intercropping

تیمارها Treatments	فسفر Phosphorus		
	کارایی فیزیولوژیک Phosphorus physiological efficiency ($kg.kg^{-1}$)	کارایی جذب Phosphorus absorption efficiency (%)	کارایی مصرف Phosphorus use efficiency ($kg.kg^{-1}$)
خالص اکاپی Ocapy	2.43 d	19.85 a	13.45 a
الوند- اکاپی (۱:۱) Alvand- Ocapy (1:1)	3.31 bcd	17.63 bcd	12.52 h
الوند– اکاپی (۲:۲) Alvand- Ocapy (2:2)	3.94 bcd	17.83 bcd	12.78 f
الوند- اکاپی (۳:۳) Alvand- Ocapy (3:3)	4.19 bcd	18.30 bcd	12.94 de
الوند- زرفام (۱:۱) Alvand- Zarfam (1:1)	3.11 cd	17.85 bcd	12.60 g
الوند-زرفام (۲:۲) Alvand- Zarfam (2:2)	3.54 bcd	15.93 ef	12.97 d
الوند- زرفام (۳:۳) Alvand- Zarfam (3:3)	4.58 bcd	18.25 bcd	13.31 b
خالص زرفام Zarfam	9.56 a	17.00 de	12.76 f
فلات-اکاپی (۱:۱) Falat- Ocapy (1:1)	6.28 b	16.97 def	12.77 f
فلات-اکاپی (۲:۲) Falat- Ocapy (2:2)	4.65 bcd	18.46 abc	13.19 c
فلات-اکاپی (۳:۳) Falat- Ocapy (3:3)	4.18 bcd	18.65 ab	12.87 e
فلات-زرفام (۱:۱) Falat- Zarfam (1:1)	5.95 bc	17.81 bcd	13.01 d
فلات-زرفام (۲:۲) Falat- Zarfam (2:2)	11.08 a	15.55 f	12.39 i
فلات-زرفام (۳:۳) Falat- Zarfam (3:3)	4.53 bcd	17.07 cde	12.89 f

اعداد با حروف مشترک در هر ستون دارای اختلاف معنی‌دار ($P<0.05$) با آزمون چند دامنه‌ای دانکن نمی‌باشند

Numbers followed by the same letters are not significantly different based on Duncan's multiple range test ($P<0.05$)

کمترین کارایی فیزیولوژیک نیتروژن نیز در کشت خالص رقم اکاپی مشاهده شد (جدول ۵). در مورد فسفر نیز تیمار فلات- زرفام (۲:۲) از بیشترین کارایی فیزیولوژیک و کشت خالص رقم اکاپی از کمترین میزان کارایی فیزیولوژیک برخوردار بودند (جدول ۶). در بعضی از مطالعات گزارش شده است که کارایی فیزیولوژیک با افزایش میزان عملکرد دانه کاهش می‌یابد (Delogu *et al*., 1998; Mahler *et al*., 1994). البته این موضوع در ارقام مختلف متفاوت است. در آزمایش حاضر نیز با افزایش میزان عملکرد کارایی فیزیولوژیک نیتروژن و فسفر کاهش یافته که با نتایج این مطالعات هماهنگ است.

کارایی فیزیولوژیک توانایی گیاه را در استفاده از عناصر جذب شده و تولید عملکرد نشان می‌دهد و تا حد زیادی به ژنتیک گیاه بستگی دارد. از این رو تفاوت کارایی فیزیولوژیک بین ارقام مختلف توجیه‌پذیر است. اعمال هرگونه تیماری که شرایط را برای رشد مطلوب گیاه و افزایش عملکرد گیاه فراهم سازد، موجب افزایش صورت کسر (وزن دانه) و متعاقب آن افزایش کارایی فیزیولوژیک عناصر می‌گردد. از میان نسبت‌های مختلف کشت مخلوط، تیمارهایی که شرایط بهتری برای رشد و تولید عملکرد فراهم می‌سازند، با کارایی فیزیولوژیک بهتری نیز همراه بودند.

به نظر می‌رسد انتخاب مناسب گونه‌ها و نسبت‌های کشت مخلوط، موجب بهبود استفاده از نور، عناصر غذایی، فتوسنتز و نهایتاً تولید عملکرد بهتر می‌شود که از این طریق می‌توان افزایش کارایی فیزیولوژیک عناصر را انتظار داشت. به‌طور کلی به‌کارگیری تراکم‌های مطلوب دو گونه در کشت مخلوط موجب اشغال مناسب نیچ‌های خالی و افزایش جذب عناصرغذایی در واحد سطح و کاهش میزان تلفات می‌گردد که این امر می‌تواند در بهبود میزان کارآیی استفاده از عناصر مؤثر باشد.

کارایی جذب نیتروژن و فسفر کلزا

کشت خالص رقم اکاپی و مخلوط فلات- زرفام (۲:۲) به‌ترتیب بیشترین و کمترین درصد کارایی جذب هم برای نیتروژن و هم برای فسفر را دارا بودند (جدول ۵ و ۶). کارایی جذب نیتروژن، میزان توانایی گیاه برای جذب نیتروژن خاک را بیان می‌کند و همبستگی بالایی با ماده خشک، سطح فتوسنتزکننده و در نهایت عملکرد دانه دارد (Toosi *et al*., 2011). از آن‌جایی‌که کشت خالص رقم اکاپی از بالاترین میزان عملکرد برخوردار بوده است بنابراین بالاترین میزان کارایی جذب را نیز به خود اختصاص داده است. پایین بودن کارایی جذب نیتروژن و فسفر در مخلوط فلات- زرفام (۲:۲) را می‌توان به دلیل پایین بودن عملکرد دانه و تلفات بالای نیتروژن (Rahimizadeh *et al*., 2011) در این تیمار دانست. اشغال نیچ‌های موجود به‌صورت مطلوب، توزیع بهتر ریشه گیاهان در پروفیل خاک، افزایش توان جذب عناصرغذایی توسط گیاه، افزایش نسبت ریشه به اندام هوایی و کاهش میزان تلفات عناصر غذایی موجب بهبود کارایی جذب عناصر غذایی می‌گردد. کشت مخلوط با ایجاد شرایط مذکور می‌تواند تا حدی در افزایش کارایی جذب عناصر مؤثر باشد.

کارایی مصرف نیتروژن و فسفر کلزا

میزان کارایی مصرف نیتروژن و فسفر در بین تمامی تیمارها متفاوت بود. بیشترین کارایی مصرف نیتروژن با ۲۳/۴۵ کیلوگرم بذر بر کیلوگرم نیتروژن خاک مربوط به کشت خالص رقم اکاپی بود و کمترین آن با ۱۵/۶۹ کیلوگرم بذر بر کیلوگرم نیتروژن خاک در تیمار فلات -زرفام (۲:۲) مشاهده شد (جدول ۵). در پژوهش‌های مختلف اشاره شده است که کارایی مصرف نیتروژن دارای رابطه نزدیکی با عملکرد دانه می‌باشد و مقادیر بالاتر کارایی مصرف در عملکردهای بالا به‌دست می‌آید (Huggins and Pan, 1993). در مورد فسفر نیز همانند نیتروژن بالاترین و پایین‌ترین کارایی مصرف به‌ترتیب در تیمارهای کشت خالص رقم اکاپی و فلات- زرفام (۲:۲) مشاهده شد (جدول ۶). کارایی پایین مصرف فسفر در تیمار ذکر شده را می‌توان در ارتباط با pH نسبتاً بالای خاک آزمایش (۸/۱۲) دانست. در گزارشات مختلف بیان شده است که در pH قلیایی ممکن است فسفر با عناصری مانند کلسیم واکنش داده و ترکیبات نامحلولی را در خاک تولید کند. به‌طوری‌که در بسیاری از خاک‌های آهکی با pH قلیایی به‌ویژه در نواحی نیمه خشک، به دلیل وفور کربنات‌های معدنی مانند کربنات کلسیم کمبود فسفر مشاهده می‌شود (Seyedi *et al*., 2013).

نتیجه‌گیری

نتایج این آزمایش نشان داد که بیشترین عملکرد بیولوژیک و دانه پس از کشت خالص در تیمار کشت سه ردیفی مشاهده شد. این موضوع هم در مورد گندم و هم در مورد کلزا قابل مشاهده شد. بالاترین میزان LER نیز از تیمار کشت سه ردیفی به‌دست آمد. نتایج به‌دست آمده با نتایج بسیاری از آزمایشات دیگر مطابقت دارد (Hamzeyi and Seyedi, 2012; Koocheki *et al*., 2009 and 2014). در بین دو رقم گندم، رقم الوند و در بین دو رقم کلزا، رقم اکاپی از بالاترین میزان عملکرد برخوردار بودند. این مسئله برتری این دو رقم را نسبت به دو رقم مقابل نشان می‌دهد. همچنین بالاترین کارایی‌های مصرف نیتروژن و فسفر بعد از کشت خالص مربوط به تیمارهای کشت سه ردیفی بود. تیمارهای الوند- اکاپی ۳:۳ برای گندم و کشت خالص رقم اکاپی برای کلزا بیشترین کارایی جذب نیتروژن و فسفر را داشت. در مجموع با توجه به مشاهدات این آزمایش می‌توان الگوی کشت سه ردیفی را الگوی مناسبی به منظور دستیابی به عملکرد مناسب و استفاده بهتر از عناصری همچون نیتروژن و فسفر در مورد گندم و کلزا پیشنهاد داد.

سپاسگزاری

بودجه این طرح از محل پژوهه طرح ۲/۲۸۱۱۷ معاونت پژوهشی دانشگاه فردوسی مشهد تأمین شده است که بدین‌وسیله سپاسگزاری می‌شود.

References

1. Alizade, Y., Koocheki, A., and Nassiri Mahallati, M. 2009. Evaluation of radiation use efficiency of intercropping of bean (*Phaseolus vulgaris* L.) and herb sweet basil (*Ocimum basilicum* L.). Journal of Agroecology 2 (1): 605-705. (in Persian).
2. Ashraf, M., Qasim, A., and Zafar, I. 2006. Effect of nitrogen application rate on the content and composition of oil, essential oil and minerals in black cumin (*Nigella sativa* L.) Seeds. Science of Food and Agriculture 86: 871-876. (in Persian).
3. Delogu, G., Cattivelli, L., Pecchioni, N., De Flacis, D., Maggiore, T., and Stanca, A. M. 1998. Uptake and agronomic efficiency of nitrogen in winter barley and winter wheat. European Journal of Agronomy 9: 11-20.
4. Dobermann, A. 2006. Nitrogen use efficiency in cereal systems. Available at: http//www. Regional.org .au/asa/2006/plenary/soil/dobermann. Accessed 12 June 2011.
5. Ghanbari, A., Ghadiri, H., Ghaffari Moghadam, M., and Safari, M. 2010. Evalution of Corn (*Zea mays*) Squash (*Cucurbita* sp.) Intercropping System and Their Effects on Weed Control. Iranian Journal of Field Crop Science 41 (1): 43-55. (in Persian).
6. Hamzeyi, J., and Seyedi, M. 2012. Determine the most appropriate combination of Intercropping wheat and canola based on agronomy index, total yield and land equivalent ratio. Journal of Crop Production and Processing 2 (5): 109-119. (in Persian).
7. Harper, L. A., Sharpe, R. R., Langdale, G. W., and Giddens, J. E. 1987. Nitrogen cycling in a wheat crop: Soil, plant and aerial nitrogen transport. Agronomy Journal 79: 965-973.
8. Huggins, D. R., and Pan, W. L. 1993. Nitrogen efficiency component analysis: an evaluation of cropping system differences in productivity. Agronomy Journal 85: 898-905.
9. Jahan, M. 2005. Ecological aspects of intercropping of chamomile (*Chamomilla Marticaria* L.) and Marigold (*Calendula officinalis* L.) along with manure. Master degree thesis in agronomy, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad. (in Persian).
10. Jamshidi, Kh., Mazaheri, D., Majnoon Hosseini, N., Rahimiyan Mashhadi, H., and Peyghambari, A. 2011. Investigation of Corn/Cowpea Intercropping Effect on Suppresing the Weeds. Iranian Journal of Field Crop Sciences 42 (2): 233-241. (in Persian).
11. Javanshir, A., Dabagh Mohamadi Nasab, A., Hamidi, A., and Gholipour, M. 2000. Intercropping ecology. Jahad Daneshgahi, Mashhad. (in Persian).
12. Koochaki, A., Fallahpour, F., Khorramdel, S., and Jafari, L. 2014. Intercropping wheat (*Triticum aestivum* L.) with canola (*Brassica napus* L.) and their effects on yield, yield components, weed density and diversity. Journal of Agroecology 6 (1):11-20. (in Persian).
13. Koochaki, A., Fallahpour, F., Khorramdel, S., and Rostami, L. 2009. Effect of row intercropping wheat (*Triticum aestivum* L.) with canola (*Brassica napus* L.) on the yield. First National Conference on Oilseeds. (in Persian).
14. Koocheki, A., Gholami, A., Mahdavi Damghani, A., and Tabrizi, L. 2005. Principles of organic agriculture. Ferdowsi University of Mashhad Press. (in Persian).
15. Lopez-Bellido, L., Lopez-Bellido, R. J., and Redondo, R. 2005. Nitrogen efficiency in wheat under rainfed Mediterranean conditions as affected by split nitrogen application. Field Crops Research 94: 86-97.
16. Lopez-Bellido, R. J., and Lopez-Bellido, L. 2001. Efficiency of nitrogen in wheat under Mediterranean condition: effect of tillage, crop rotation and N fertilization. Field Crops Research 71: 31-64.
17. Mahale, M. M., Nevase, V. B., and Chavan, P. G. 2008. Yield of sesame (*Sesamum indicum*) and groundnut (*Arachis hypogaea*) as influenced by different. Intercropping ratios and sulphur levels. Legume Research 31: 268-271.
18. Mahler, R. L., Koehler, F. E., and Lutcher, L. K. 1994. Nitrogen source, timing of application and placement: Effects on winter wheat production. Agronomy Journal 86: 637-642.
19. Malakouti, M. J., and Sepehr, A. 2003. Optimum nutrition in oilseeds: an effective step in achieving self-sufficiency in oil. Khaniran, Tehran. (in Persian).
20. Mazaheri, D. 1993. Intercropping. Tehran University Press. (in Persian).
21. Moll, R. H., Kamprath, E. J., and Jackson, W. A. 1982. Analysis and interpretation of factors which contribute to efficiency of nitrogen utilization. Agronomy Journal 74: 562-564.
22. Moynihan, M., and Simmons, S. R. 1996. Intercropping annual medic with conventional height and semi dwarf barley grown for grain. Agronomy Journal 88: 823-828.
23. Pinedo-Vasquez, M., Padoch, C., McGrath, D., and Ximenes, T. 2000. Biodiversity as a product of smallholders' strategies for Overcoming changes in their natural and social landscapes: A report prepared by the unu/plec Amazonia cluster. PLEC News and Views.
24. Poggio, S. L. 2005. Structure of weed communities occurring in monoculture and intercropping of field pea and barley. Agriculture, Ecosystems & Environment 109: 48-58.

25. Rahimizadeh, M., Zare Feizabadi, A., and Kashani, V. 2011. Investigation of nitrogen use efficiency in wheat-based double cropping systems under different rate of nitrogen and return of crop residue. Iran Agricultural Research 9 (2): 211-221. (in Persian with English abstract).
26. Rezvani Moghadam, P., and Seyedi, M. 2014. The role of organic and biological fertilizers in phosphorus and potassium uptake by Nigella sativa. Horticultural Sciences 28 (1): 43-53. (in Persian).
27. Salvagiotti, F., Castellarin, J. M., Miralles, D. J., and Pedrol, H. M. 2009. Sulfur fertilization improves nitrogen use efficiency in wheat by increasing nitrogen uptake. Field Crops Research 113: 170-177.
28. Seyedi, M., Rezvani Moghadam, P., and Nasiri Mahalati, M. 2013. Use efficiency and nitrogen harvest index in Nigella Sativa in different periods of weed competition. Plant Production Research 20 (1): 141-156. (in Persian).
29. Svecnjak, Z., and Rengel, Z. 2006. Nitroge utilization efficiency in canola cultivars at grain harvest. Plant and Soil 283: 229-307.
30. Toosi, P., Esfahani, M., Rabiei, M., and Rabiei, B. 2011. Effect of Concentration and Time of Supplementary Nitrogen Fertilizer Application on Yield and NUE of Rapeseed (*Brassica napus* L.) as a Second Crop in Paddy Field. Iranian Journal of Field Crop Science 42 (2): 387-396. (in Persian with English abstract).
31. Vandermeer, J. H. 1992. The ecology of intercropping. Cambridge University Press.
32. Zulfiqar, A. M., Malik, A., and Akhtar Cheema, M. 2000. Studies on determining a suitable canola-wheat intercropping pattern. International Journal of Agriculture and Biology 2: 42-44.

Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 15, No. 3, Fall. 2017, p. 559-574

نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد ۱۵، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۶، ص. ۵۷۴-۵۵۹

Assessment of Yield and Use Efficiency of Nitrogen and Phosphorus in Row Intercropping of Wheat and Canola

A. Koocheki[1*]- F. Nourbakhsh[2]- M. Cheshmi[3]

Received: 21-06-2015
Accepted: 09-01-2016

Introduction

Intercropping is one of the most effective approaches for developing sustainable agriculture which causes control of soil erosion, decreasing usage of agrochemicals, increasing biodiversity, yield in area unit, quantity and quality of the product and it finally makes stability in agronomical ecosystems. Many researchers consider the multiple cropping as the most important factor for increasing the diversity of cultures in agricultural ecosystems. Increasing crop diversity through intercropping can be effective to improve the ecological functions and ecosystem services.

The aim of this study was to determine the best pattern of wheat and canola intercropping based on yield and nutrition use efficiency.

Materials and Methods

In order to study the effects of intercropping on yield and nitrogen and phosphorus use efficiency, a field experiment was conducted as randomized complete block design (RCBD) at Agricultural Research Station, Ferdowsi University of Mashhad, Iran, during 2012-2013 growing season. Experimental treatments were included planting patterns of wheat (Alvand and Falat cultivars) and canola (Ocapy and Zarfam cultivars) intercropping with ratios of 1:1, 2:2, 3:3 and sole cropping of them with three replications. The size of each plot was 6 m^2 and distance between plots and blocks were 0.5 and 1 m, respectively. Planting of wheat and canola cultivars were done with densities of 320 and 80 plant per m^2, respectively, at the same time.

Nitrogen content of plant was determined by microkejeldal machine and wet digestion method. Phosphorus content was measured by spectrophotometer machine and Olsen method. Land equivalent ratio (LER) was used to evaluate the advantage of the intercropping. Analysis of variance was done with SAS ver 9.1 software and means were compared with Duncan's test at the 5% level of probability.

Results and Discussion

The results showed that the highest economical yield was obtained from sole cropping of Alvand (4199.77 kg ha^1). Treatment of Alvand-Ocapy intercropping (3:3) had the highest economical yield within different patterns of intercropping. The highest and lowest biological yield of wheat were revealed from sole cropping of Alvand and Falat-Zarfam intercropping (2:2), respectively. The sole cropping of Ocapy and Falat-Zarfam intercropping (2:2) had the highest (4034.54 kg ha^{-1}) and lowest (1691.98 kg ha^1) economical yield of canola. The highest and lowest amounts of canola biological yield were obtained from sole cropping of Ocapy and Falat-Zarfam intercropping (2:2), respectively. Land equivalent ratio (LER) in all different patterns of intercropping was more than one which shows advantage of the intercropping. The highest LER was obtained from Alvand-Ocapy intercropping (3:3). The highest nitrogen and phosphorus physiological efficiency were observed in sole cropping of Falat cultivar (wheat) and in the case of canola was obtained from Falat-Zarfam intercropping (2:2). The sole cropping of Alvand and Alvand-Ocapy intercropping (3:3) had the highest use efficiency of nitrogen and phosphorus, respectively. The highest amount of nitrogen and phosphorus uptake was obtained from Alvand- Ocapy intercropping (3:3) and sole cropping of Ocapy (respectively, for wheat and canole).

1- Professors of Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad
2- PhD in Agro-ecology, Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad
3- PhD Student of Ecology, Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad
(*- Corresponding Author Email: akooch@um.ac.ir)

Conclusions

The results of this study indicated that treatment of Alvand- Ocapy intercrroping (3:3) had the highest economical yield, land equivalent ratio and also the highest amount of nitrogen and phosphorus uptake. This planting pattern can be suggested to obtain proper yield of wheat and canola as well as appropriate amount of nitrogen and phosphorus uptake.

Keywords: Harvest index, Intercropping, Physiological efficiency, Uptake efficiency, Use efficiency