Iranian Journal of Field Crop Science
Vol 52, No 2, Summer 2021 (145-156)
DOI: 10.22059/ijfcs.2020.285762.654677

علوم گیاهان زراعی ایران
دورهٔ ۵۲، شمارهٔ ۲، تابستان ۱۴۰۰ (ص۱۵۶-۱۴۵)

مطالعه اگرواکولوژیکی سیستم‌های کشت مضاعف گندم در نظام‌های فشرده، پایدار و ارگانیک

آرام گورویی*[۱]، امیر آینه‌بند[۲]، افراسیاب راهنما[۳]

۱و۲و۳- به‌ترتیب دانشجوی دکتری، استاد و دانشیار گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز.

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱۰/۱۲ - تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱/۳۰)

چکیده

این آزمایش در طی دو فصل تابستان و زمستان سال زراعی ۹۸ -۱۳۹۷ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه شهید چمران اهواز اجرا شد. آزمایش به‌صورت طرح کرت‌های یک‌بار خردشده و در قالب پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. فاکتور اصلی، نوع سیستم کشاورزی در سه سطح شامل کشاورزی رایج (فشرده)، کشاورزی ارگانیک و کشاورزی پایدار (تلفیقی از کشاورزی فشرده و ارگانیک) و فاکتور فرعی، نوع گیاه زراعی پیش‌کاشت در توالی با گندم شامل کاشت گیاهان زراعی ماش، ذرت، کنجد و آیش (نکاشت) بود. عملکرد کمی (عملکرد و اجزای عملکرد) و کیفی (پروتئین دانه)، بررسی شاخص‌های انتقال مواد فتوسنتزی در گندم و کربن آلی خاک، پس از یک کشت مضاعف اندازه‌گیری شدند. نتایج نشان داد که بیشترین (۵٤۵/۰٤ گرم در مترمربع) و کمترین (٤۰۹/۲۸ گرم در مترمربع) عملکرد دانه گندم به‌ترتیب در الگوی کشت فشرده و ارگانیک به‌دست‌آمد. در مقابل و با تغییر نوع سیستم از فشرده به ارگانیک، میزان پروتئین دانه به‌طور معنی‌داری افزایش یافت (از ۸/۳ به ۹/٦ درصد). در بین کشت‌های مضاعف مورد بررسی، کشت مضاعف ماش- گندم، بیشترین (۵۳۵/٤۷ گرم در مترمربع) عملکرد را دارا بود. از سوی دیگر، بیشترین میزان انتقال مجدد و جاری مواد فتوسنتزی، به‌ترتیب به الگوی کشاورزی ارگانیک و کشت مضاعف ماش- گندم و الگوی کشاورزی فشرده و کشت مضاعف ماش- گندم تعلق داشت. وضعیت کربن آلی خاک نشان داد که بیشترین میزان کربن آلی خاک (۳۳/۱۸ میلی‌گرم در گرم) در الگوی کشاورزی ارگانیک و کشت مضاعف ذرت- گندم به‌دست آمد. بهبود میزان کربن آلی خاک در الگوی کشاورزی پایدار و ارگانیک، به‌علت استفاده از مواد آلی (کمپوست و ورمی‌کمپوست) و مدیریت بقایای گیاهی بود. در مجموع و از دیدگاه اکولوژی گیاهان زراعی، روش کشاورزی پایدار با توالی ماش- گندم، سیستم زراعی مطلوب‌تری خواهد بود.

واژه‌های کلیدی: انتقال مجدد، کشاورزی ارگانیک، کربن آلی خاک، عملکرد دانه گندم.

Agroecological study of wheat double cropping systems in conventional, sustainable and organic production agricultural systems

Aram Gorooei*[1], Amir Aynehband[2], Afrasiab Rahnama[3]
1,2,3. Plant Production and Genetics Department, Agriculture Faculty, Shahid Chamran University of Ahvaz
(Received: January 2, 2020 - Accepted: April 18, 2020)

ABSTRACT

This study was conducted during summer and winter of 2018- 2019 in the agricultural research field of Shahid Chamran University. Experimental design was split- plot based on RCBD with three replications. The main plot was the type of agricultural system in three levels including conventional (Conv), organic (Org) and sustainable (Sust) (integrated between Conv and Org) and sup- plot was the type of pre-cultivated crop in sequence with wheat including cultivation of mung bean (M- W), corn (C- W), sesame (S- W) and fallow (F- W). Yield quantity (yield and its component) and quality (grain protein), an estimate of photosynthesis matter transfer index of wheat and soil organic carbon (SOC) after one double-cropping were measured. The result showed that the highest (545.04 g/m2) and the lowest (409.28 g/m2) seed yields were obtained in Conv and Org respectively. In contract, with the changing type of system from Conv to Org, grain protein was increased significantly (from 8.3 to 9.6 %). In addition, the highest (535.47 g/m2) yield of wheat was obtained from M- W double cropping. On the other hands the highest remobilization and current photosynthesis matter were obtained in the organic agricultural system with M- W and conventional with M- W double cropping. The situation of SOC showed that the highest (33.18 mg/g) SOC was obtained in the organic agricultural system with C- W double cropping. The reason for improving SOC in the organic and sustainable agricultural system was application of organic matter (compost and vermicompost) and crop residue management. Totally, from the crop ecology point of view, sustainable agricultural method with a sequence of M- W was the most desirable system.

Keywords: Organic agriculture, remobilization, sesame, soil organic carbon, wheat grain yield.

* Corresponding author E-mail: a-goroie@stu.scu.ac.ir

مقدمه

هدف کشاورزی پایدار، ایجاد سیستم‌های تولیدی بادوام و نظام‌مند است که تضادی با دیدگاه‌های زیست‌محیطی و اقتصادی- اجتماعی نداشته باشد و به ثبات در تولید همراه با حفظ منابع پایه تأکید دارد (Brower, 2004). با وجود مشکلات مرتبط با کشاورزی فشرده همچون آلودگی محیط، فرسایش خاک، کاربرد سموم و کودهای شیمیایی، کشاورزی ارگانیک با افزایش فراهمی مواد آلی در خاک، به‌عنوان یک راهکار برای کاهش اثرات نامطلوب کشاورزی فشرده گرفته می‌شود؛ هرچند که میزان کل تولید در کشاورزی ارگانیک کمتر از کشاورزی فشرده گزارش شده است. این شکاف عملکرد، با عنوان "تفاوت ساختاری بین عملکرد سیستم‌های کشاورزی مختلف" یک نگرانی در رابطه با پتانسیل کشاورزی ارگانیک به‌عنوان راهکاری پایدار برای تأمین نیاز غذایی رو به رشد انسانی و خوراک دام می‌باشد (Schrama *et al.*, 2018). البته Robertson *et al.* (2014) بیان داشتند که با گذشت زمان، شکاف عملکرد بین بوم‌نظام کشاورزی ارگانیک و فشرده کاهش خواهد یافت.

از سوی دیگر، توالی گیاهان زراعی که از اصول کشاورزی پایدار محسوب می‌شود، در واقع یک راه‌کار شناخته شده زراعی است که باعث بهبود عملکرد گیاهان زراعی خواهد شد. در چند سال اخیر، به‌علت جایگزین شدن سیستم‌های تک‌کشتی و پیشرفت فناوری، جذابیت استفاده از تناوب گیاهی علمی کاهش یافته است (Aynehband, 2005; Sindelar *et al.*, 2015). بهبود عملکرد گیاه زراعی، کاهش ریسک تولید در طول سال و افزایش سود، از جمله مزایای به‌کارگیری تناوب صحیح محصولات زراعی است (Williams *et al*., 2012; Liebig *et al*., 2014). به‌علاوه، بهبود در ساختار خاک، فراهمی بهتر عناصر غیر نیتروژنه و کاهش ترکیبات سمی و آللوپاتیک، از جمله مهم‌ترین فواید غیر نیتروژنه توالی گندم-بقولات بیان شد (Coulter *et al*., 2011; Schlegelet *et al*., 2019). Abdulahi (2016) با بررسی توالی‌های مختلف کشت برای گیاه گندم در منطقه کرمانشاه بیان داشت که عملکرد دانه گندم در کشت متوالی نسبت به سایر تناوب‌ها کاهش داشت. همچنین بیان داشت که با توجه به این‌که عملکرد دانه گندم در توالی با آیش نسبت به توالی با سایر محصولات زراعی (نخود، ماشک و گلرنگ) برتری نداشت (در یک کلاس آماری قرار گرفت)، بنابراینبنابراین، حفظ و جایگزینی گیاهان زراعی در توالی سودمندتر بود. همچنین اظهار شد که برتری عملکرد دانه گندم در توالی با لوبیا و آفتابگردان در مقایسه با تک‌کشتی، به‌دلیل تعداد و طول سنبله و تعداد دانه در سنبله‌ی بیش‌تر بود. Debeake & Hilaire (1997) بیان داشتند که طی نه سال آزمایش، عملکرد دانه گندم در تناوب های زراعی مختلف شرایط کم‌نهاده تفاوت معنی‌داری نداشت، اما در شرایط مصرف متوسط نهاده و کم‌آبیاری و نیز مصرف زیاد نهاده و آبیاری کامل، تفاوت معنی‌دار بین عملکرد گندم در تناوب‌های مختلف مشاهده شد. بنابراین نتیجه گرفتند که در انتخاب نوع تناوب زراعی، علاوه بر نوع گیاه بایستی سایر عوامل مدیریت زراعی نیز در نظر گرفته شوند.

در مجموع و با توجه به مطالب گفته شده، هدف از اجرای این پژوهش، مطالعه خصوصیات اکوفیزیولوژیکی گندم تحت تأثیر تغییر نوع الگوی کشاورزی از فشرده به ارگانیک در نظام‌های مختلف کشت مضاعف بود.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در طی دو فصل تابستان و زمستان سال زراعی ۹۸ -۱۳۹۷ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه شهید چمران اهواز اجرا شد. آزمایش به‌صورت طرح کرت‌های یک‌بار خردشده در قالب پایه بلوک‌های کامل تصادفی و با سه تکرار انجام شد. فاکتور اصلی نوع سیستم کشاورزی در سه سطح بود که عبارتند از: ۱- کشاورزی رایج (فشرده): شرایطی که تمامی نهاده‌های کودی و مبارزه با آفات در این سیستم به‌صورت شیمیایی (استفاده از سم رانداپ قبل از کاشت برای کنترل علف هرز غالب

مزرعه (مرغ) انجام گرفت ولی در این سیستم کشاورزی، بقایا مدیریت نشد؛ ۲- کشاورزی پایدار: این سیستم تلفیقی از ارگانیک و فشرده بود که در آن از نهاده‌های کودی شیمیایی و غیرشیمیایی (برای گیاهان ماش، کنجد و گندم معادل ۷/۵ تن در هکتار کمپوست و پنج تن در هکتار ورمی‌کمپوست و برای ذرت معادل ۱۰ تن در هکتار کمپوست و ۷/۵ تن در هکتار ورمی‌کمپوست) استفاده شد و مبارزه با آفات، به‌صورت تلفیقی صورت گرفت. همچنین ۱۵ درصد از بقایای گیاهی سال قبل (برای ماش: معادل ۴۱۵، ذرت معادل: ۲۱۶ و کنجد معادل: ۶۵۶ گرم در متر مربع) به خاک برگردانده شد و ۳- کشاورزی ارگانیک: در این سیستم تمامی نهاده‌های کودی به‌صورت آلی و غیرشیمیایی بود به‌گونه‌ای که برای گیاهان ماش، کنجد و گندم معادل ۱۵ تن در هکتار کمپوست و ۱۰ تن در هکتار ورمی‌کمپوست و برای ذرت معادل ۲۰ تن در هکتار کمپوست و ۱۵ تن در هکتار ورمی‌کمپوست استفاده شد. به‌علاوه محلول‌پاشی هیومیک اسید در مرحله‌ی ۵۰ درصد از گرده‌افشانی گندم صورت گرفت و مبارزه با آفات و بیماری‌ها به‌صورت مکانیکی انجام شد. به‌علاوه ۳۰ درصد از بقایای گیاهی سال قبل (برای ماش معادل: ۸۳۰، ذرت معادل: ۴۳۲ و کنجد معادل: ۱۳۱۲ گرم در متر مربع) به خاک برگردانده شد. فاکتور فرعی نوع گیاه زراعی پیش کاشت در کشت مضاعف با گندم و شامل کاشت گیاهان زراعی ماش، ذرت، کنجد و آیش (نکاشت) بود. کاشت گیاهان در دو مرحله صورت گرفت؛ مرحله‌ی اول شامل کشت گیاهان تابستانه قبل از گندم و مرحله دوم شامل کشت گندم بود. اولین آبیاری همزمان با تاریخ کاشت هر کدام از گیاهان مورد مطالعه بود. برای ماش، تراکم ۴۰۰ هزار بوته در هکتار، رقم CN- 9- 3، میزان N- P- K معادل ۵۰- ۵۰- ۳۰ کیلوگرم در هکتار، تاریخ کاشت ۱۵ تیرماه سال ۹۷ و تاریخ برداشت اواسط مهر ۱۳۹۷ بود. برای کنجد، تراکم ۲۰۰ هزار بوته در هکتار، رقم داراب ۱۴، میزان N- P- K معادل ۵۰-۵۰- ۷۵ کیلوگرم در هکتار تاریخ کاشت ۱۵ تیرماه سال ۹۷ و تاریخ برداشت اواخر مهر ۱۳۹۷ در نظر گرفته شد. برای ذرت، تراکم ۷۵ هزار بوته در هکتار، رقم S.C.704، میزان N- P- K معادل ۱۰۰-۱۰۰- ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار، تاریخ کاشت چهار مرداد سال ۹۷ و تاریخ برداشت اواسط آبان ۱۳۹۷ بود و برای گندم، تراکم ۴۰۰۰۰۰۰ بوته در هکتار، رقم چمران دو، میزان N- P- K معادل ۱۰۰-۱۰۰- ۱۱۰ کیلوگرم در هکتار در نظر گرفته شد و تاریخ کاشت ۲۱ آذر سال ۹۷ و تاریخ برداشت اواخر اردیبهشت ۱۳۹۸ بود.

بررسی خصوصیات کمی و کیفی گندم

بوته‌ها از مساحتی معادل دو مترمربع که شامل ردیف‌های میانی در هرکرت بود برداشت شد. عملکرد و اجزای عملکرد گندم شامل تعداد دانه در بوته، وزن تک‌سنبله، هزار دانه و کاه، عملکرد زیستی و دانه و شاخص برداشت و میزان پروتئین دانه اندازه‌گیری شد.

اندازه‌گیری وضعیت کربن آلی خاک پس از کشت مضاعف

برای اندازه‌گیری کربن آلی خاک، یک روز پس از برداشت گندم، نمونه‌های خاک از عمق ۱۵ سانتی‌متری اولیه خاک برداشت و هوا خشک شدند و سپس به روش والکی‌بلک (Walkley and Black)، میزان کربن آلی آن‌ها اندازه‌گیری شد.

شاخص های بررسی انتقال ماده‌ی خشک عبارتند از:

= انتقال مجدد ماده‌ی خشک (گرم در بوته) وزن اندام هوایی به‌جز دانه در زمان رسیدگی – حداکثر ماده‌ی خشک تولیدشده در زمان گرده‌افشانی (۱)

(۲) حداکثر ماده‌ی خشک تولیدشده در زمان گرده‌افشانی/ انتقال ماده‌ی خشک = کارآیی انتقال مجدد

(۳) ۱۰۰ × عملکرد دانه / انتقال مجدد ماده‌ی خشک= سهم انتقال مجدد در عملکرد دانه

(۴) انتقال مجدد ماده‌ی خشک –عملکرد دانه = میزان فتوسنتز جاری (گرم در بوته)

(۵) حداکثر ماده‌ی خشک تولیدشده در زمان گرده‌افشانی/ فتوسنتز جاری ماده‌ی خشک = کارآیی فتوسنتز جاری

(۶) ۱۰۰ × عملکرد دانه / انتقال جاری ماده‌ی خشک سهم فتوسنتز جاری ماده خشک در عملکرد دانه

برای برآورد میزان انتقال مجدد (انتقال مواد از اندام‌های رویشی به دانه) و انتقال جاری مواد فتوسنتزی، بیست بوته در زمان گرده‌افشانی و بیست بوته در زمان رسیدگی برداشت شدند و پس از خشک کردن (قراردادن در آون با دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۷۲ ساعت یا بیشتر تا زمان تثبیت وزن خشک نهایی)، وزن خشک آن‌ها اندازه‌گیری شد و با استفاده از روابط ۱ تا ۶، شاخص‌های مورد نظر محاسبه شد. در این روابط، کاهش ناشی از تنفس در نظر گرفته نشده است و فرض شده است که تنفس برای شرایط محیطی مورد استفاده در این بررسی یکسان است.

تجریه آماری نتایج به کمک نرم افزار SAS نسخه ۳/۴ و مقایسه میانگین‌ها به‌روش دانکن در سطح احتمال پنج درصد انجام گرفت.

نتایج و بحث

عملکرد و اجزای عملکرد

نتایج این آزمایش نشان می‌داد که همان‌طورکه انتظار می‌رفت، عملکرد دانه گندم تحت تاثیر نوع الگوی تولید قرار گرفت، به‌گونه‌ای که بیشترین (۵۰۴/۵ گرم در متر مربع) عملکرد دانه گندم در سیستم تک‌کشتی فشرده به‌دست آمد. این برتری دور از انتظار نبود، زیرا سیستمی پرنهاده همراه با کاربرد نهاده‌های شیمیایی خاص است. البته نکته ارزشمند در این نتایج این است که هرچند عملکرد دانه گندم در روش پایدار (که در حقیقت حدواسطی بین روش فشرده و ارگانیک بود) کمتر از روش فشرده بود، ولی به‌لحاظ آماری، تفاوت معنی‌داری نداشت (پایدار: ۵۱۴/۳۴ و فشرده: ۵۴۵/۹۷ گرم در متر مربع) (جدول ۱).

این مساله نشان می‌دهد که امکان کاهش کاربرد برخی نهاده‌ها مانند کود شیمیایی و جایگزینی آن‌ها با برخی نهاده‌های غیرشیمیایی (مانند کود زیستی و بقایای گیاهی) بدون افت قابل توجهی در عملکرد دانه وجود دارد. به‌هرحال، همانطور که پیش‌بینی می‌شد، کمترین عملکرد دانه (۴۰۹ گرم در متر مربع) در شرایط ارگانیک به‌دست آمد (جدول ۱). از دلایل این کاهش می‌توان از یک به تفاوت در نوع نهاده مصرفی اشاره داشت، زیرا نهاده‌های شیمیایی به‌سرعت توسط گیاه جذب و متابولیزه می‌شوند، درحالی‌که نهاده‌های آلی و زیستی، نیازمند یک فاصله زمانی جهت قابل جذب شدن توسط گیاه (مانند تبدیل بقایای گیاهی به مواد معدنی) یا تأثیرگذاری بر روی گیاه می‌باشند (مانند کودهای زیستی). نکته دیگری که باعث کاهش عملکرد گیاهان فعلی در سیستم‌های ارگانیک می‌شود و معمولاً کمتر مورد توجه می‌قرار می‌گیرد این است که ارقام فعلی موجود، اساساً برای روش پرنهاده اصلاح شده‌اند. بنابراین هر گونه کاهش در مصرف نهاده‌های شیمیایی با تغییر در نوع آن‌ها، افت عملکرد گیاه را به‌دنبال خواهد داشت. بدیهی است این مشکل تا زمانی‌که ارقام خاص بر مبنای کشاورزی ارگانیک اصلاح شوند ادامه خواهد داشت. در این رابطه، محققان بیان داشتند که مصرف کود نیتروژنه در زمان مناس،ب به دلیل کاهش محدودیت مبدأ و افزایش دوام سطح برگ، موجب افزایش تعداد دانه در سنبله و نهایتاً افزایش عملکرد دانه می‌شود (Spiertz and Ellen, 2008). همچنین محققان با بررسی سیستم‌های مختلف کشاورزی و ارقام مختلف گندم نشان دادند که سیستم کشاورزی فشرده، به‌علت در دسترس بودن بیشتر عناصر غذایی و همچنین استقرار و توسعه سریع‌تر گیاه، از تعداد و وزن هزار دانه و در نهایت عملکرد دانه بیشتری برخودار بود (Mayer *et al.*, 2015).

بررسی اجزای عملکرد نشان می‌دهد از آن‌جاکه وزن هزار دانه در الگوی‌های مختلف کشت تفاوت معنی‌داری نداشت، به‌نظر می‌رسد که صفت تعداد دانه در وهله اول و سپس وزن تک‌سنبله که خود تابعی از تعداد و وزن دانه‌هاست، بیشترین تأثیر را بر وضعیت عملکرد دانه داشته‌اند. در ادامه، زمانی‌که شاخص‌های کیفی مانند پروتئین دانه مورد بررسی قرار گیرد، مشخص می‌شود که برخلاف روند عملکرد کمی دانه، الگوی کشاورزی فشرده در مقایسه با الگوی ارگانیک به‌طور معنی‌داری درصد پروتئین دانه کمتری دارا می‌باشد (۹/۶ در ارگانیک و ۸/۳ در الگوی فشرده) (جدول ۱).

جدول ۱- مقایسه میانگین اثر نوع سیستم کشاورزی (Conv: فشرده، Sust: پایدار و Org: ارگانیک) و نوع کشت مضاعف (M-W: ماش- گندم، C-W: ذرت- گندم، S-W: کنجد- گندم و F-W: آیش- گندم) بر خصوصیات کمی و کیفی گندم

Table 1. Mean comparison of the effect of type of agriculture systems (Conv: conventional, Sust: sustainable and Org: organic) and type of double cropping (M-W: mungbean- wheat, C- W: corn- wheat, S- W: sesame- wheat and F- W: fallow- wheat) on quantitative and qualitative characteristics of wheat yield

Treatment	Grain number/plant	1000 Grain weight(g)	Ear weight (g)	Straw weight(g/m^2)	Biological yield(g/m^2)	Grain yield(g/m^2)	Harvest Index (%)	Grain Protein (%)
Agriculture Systems								
Conv	35.47a	42.78a	1.52a	322.3a	867.34a	545.04a	62.97b	8.38b
Sust	33.37b	41.89a	1.38b	165.47b	679.81b	514.34a	76.4a	9.66a
Org	27.35c	42.52a	1.24c	205.61b	614.89c	409.28b	66.7ab	9.66a
Double Cropping Systems								
M-W	31.66c	43.22a	1.413a	219.37a	754.84a	535.47a	71.3a	10.01a
C-W	33.93a	42.81ab	1.44a	250. 5a	736.63ab	486.08ab	66.45a	9.99a
S-W	35.16a	41.08b	1.4a	197.26a	697.33b	500.07ab	73.1a	8.69ab
F-W	27.5c	42.48ab	1.27b	257.3a	693.93b	436.6	64a	8.24b
Interactions								
Conv								
M-W	34.5b	44.01a	1.56ab	235.93bc	839.527b	603.6a	72a-d	8.712cd
C-W	39.4a	42.35ab	1.65a	346.92ab	906.847a	559.92ab	62.71b-e	11.66a
S-W	37.4a	41.91ab	1.56ab	322.82ab	863.515ab	540.6a-c	61.74c-e	8.88b-d
F-W	30.6cd	42.86ab	1.32cde	383.52a	859.467ab	475.94c-f	55.4e	8.92bcd
Sust								
M-W	34b	43.27ab	1.439bc	259.2bc	809.637b	550.4abc	68.18b-e	9.66b
C-W	33.2bc	39.26c	1.38cd	166.04dc	663.799c	497.7bcde	75.03a-c	8.5d
S-W	38.9a	43.51ab	1.37c-e	85.98d	610.383cd	524.4bcd	85.93a	8.5d
F-W	27.4e	41.53b	1.33c-e	150.62dc	635.419cd	484.8bcde	76.69ab	9.5bc
Org								
M-W	26.5ef	42.4ab	1.241ef	162.95dc	615.355cd	452.4def	73.72a-d	12.12a
C-W	29.2de	41.62b	1.295d-f	238.6bc	639.232cd	400.5fg	62.58b-e	12a
S-W	29.2de	43ab	1.276d-f	182.97dc	618.097cd	435.12ef	70.9bcd	7.339e
F-W	24.5f	43.05ab	1.178f	237.84bc	586.894g	400.5g	59.87de	7.65e

حروف مشابه در هر ستون، نشان‌دهنده عدم تفاوت معنی‌دار بین تیمارها می‌باشد.

Similar letters in the same column indicate non- significant difference between treatments.

دو دلیل برای این وضعیت می‌توان بیان نمود؛ اول این‌که بیشتر بودن تعداد دانه گندم در کشاورزی فشرده (۳۵/۴۷) (جدول ۱) باعث شده است که پروتئین، بین مخازن بیشتری توزیع شود؛ بنابراین سهم هر مخزن (دانه) به لحاظ ذخیره پروتئین کاهش یافته است (با این استدلال که وزن هزار دانه، تفاوت معنی‌داری با کشاورزی ارگانیک نداشته است). دلیل دوم برای این تفاوت می‌تواند این نکته باشد که ترکیبات آلی و زیستی در مقایسه با نهاده‌های شیمیایی، به‌تدریج و دیرتر عناصر مورد نیاز گیاه به‌ویژه نیتروژن را در اختیار گیاه قرار می‌دهند (تجزیه بقایای گیاهی به مواد معدنی و همچنین اوج فعالیت کودهای زیستی). به‌نظر می‌رسد که این مساله باعث خواهد شد که در انتهای دوره رشد گیاه، عناصر به‌ویژه نیتروژن به میزان کافی در اختیار گیاه قرار گرفت و همراه با انتقال ماده خشک به دانه، سهم پروتئین نیز بهبود یافته است. در این راستا محققان اظهار داشتند که سیستم همیاری گندم– باکتری در توالی‌های گیاهی با خانواده بقولات، با تأمین نیتروژن اضافی برای گیاه، حتی در شرایط نامناسب نیز در افزایش پروتئین‌های دانه نقش مؤثر و مفیدی دارد. بهبود درصد پروتئین دانه با تثبیت زیستی نیتروژن به کمک نیتروزوموناس توسط محققان گزارش شده است (Nielsen *et al*., 2018).

بخش دوم این آزمایش، بررسی وضعیت عملکرد و اجزای عملکرد گندم در نظام‌های کشت مضاعف بود. نتایج آن نشان داد که توالی ماش- گندم، بیشترین (۵۳۵/۴۷ گرم در متر مربع) و آیش- گندم کمترین (۴۳۶/۶ گرم در متر مربع) عملکرد دانه را تولید کرد (جدول ۱). با وجود تفاوت در عملکرد گندم پس از گیاهان ماش، ذرت و کنجد، این اختلاف‌ها معنی‌دار نشد. اگرچه در بین گیاهان زراعی، کاشت گندم پس

از کنجد، کمترین عملکرد دانه (۴۸۶/۰۸ گرم در متر مربع) را تولید کرد، اما نکته قابل توجه این است که حضور گیاهان زراعی (بقولات، غلات و دانه‌های روغنی) قبل از گندم، از عدم حضور آن‌ها (آیش) بهتر است (جدول ۱). یک دلیل قابل استناد برای این وضعیت می‌تواند این نکته باشد که در کشاورزی فشرده، بخشی از نهاده‌های شیمیایی مصرفی به‌ویژه کودها، توسط گیاه تابستانه مورد استفاده قرار نگرفته و در خاک باقیمانده است و در ادامه توالی، توسط گندم مصرف شده است. همچنین برخی ترکیبات آلی مانند بقایای گیاهی گیاهان تابستانه مصرف شده ممکن است به دلیل تجزیه کند، معدنی شدن آن‌ها دیرهنگام صورت گرفته است که باعث شده است که بخشی از عناصر معدنی آن در خاک باقی بماند و توسط گیاه گندم در توالی جذب شود. این دو فرضیه می‌تواند توجیهی برای برتری حضور گیاهان تابستانه در مقایسه با آیش تابستانه باشد. ولی به‌هرحال، برتری عملکرد گندم در توالی پس از ماش، با هر دو عامل اثرات مفید نیتروژن زیستی و اثرات مفید غیرنیتروژنه در ارتباط خواهد بود. این مزیت حضور بقولات در توالی گندم در ادامه باعث شده که به‌لحاظ کیفی نیز بیشترین میزان پروتئین دانه گندم (۱۰/۰۱ درصد) در توالی ماش- گندم به‌دست آید؛ هرچند که به لحاظ آماری، تفاوتی با حضور با سایر گیاهان ندارد، ولی به‌هرحال در مجموع عدم حضور گیاهان در توالی با گندم (آیش) به‌طور معنی‌داری کمترین پروتئین دانه (۸/۲۴ درصد) را در مقایسه با حضور گیاهان در توالی با گندم را دارا بود (جدول ۱). محققان اظهار داشتند که اختلاف عملکرد بین نظام‌های تولید ارگانیک و فشرده در گندم، احتمالاً تحت تاثیر دو عامل می‌باشد؛ اول این‌که اثرات فراهم‌سازی شرایط مطلوب تولید در نظام کشاورزی ارگانیک و کشت مضاعف با مدیریت گندم زمستانه برای مثال در دسترس بودن مواد مغذی خاک، سایر عوامل باروری خاک که در جهت بهبود محتوای ماده آلی خاک استفاده می‌شوند، اسیدیته، ساختار خاک و غیره طولانی‌مدت حاصل می‌شود و دیگری، زمان آزادسازی نیتروژن خالص توسط حبوبات در توالی‌های تعیین شده می‌باشد (Mayer *et al.*, 2015).

نتایج اجزای عملکرد بین الگوهای کشت مضاعف نشان می‌دهد که رابطه معکوسی بین وزن و تعداد دانه در توالی ماش- گندم وجود داشت؛ هرچند که سایر اجزای عملکرد مانند وزن تک‌سنبله، وزن کاه و عملکرد زیستی در این توالی برتر از سایر الگوهای کشت مضاعف می‌بود. بنابراین برتری عملکرد دانه تحت تاثیر حضور ماش قبل از گندم در مقایسه با حضور ذرت و کنجد قبل از گندم، اساساً به‌دلیل بیشتر بودن وزن هزار دانه (۴۳/۲۲ گرم) در این تیمار بود، در حالی‌که عکس این حالت در توالی کنجد- گندم روی داد، به‌گونه‌ای که در این توالی، کمترین وزن هزار دانه (۴۱ گرم) و بیشترین تعداد دانه (۳۵/۱۶) تولید شد، اما به‌هرحال عملکرد گندم پس از کنجد، کمتر از حضور گندم پس از ماش (۵۰۰/۰۷ گرم در متر مربع) بود (جدول ۱). این نتایج بیان‌گر این است که تأثیر صفت وزن هزار دانه، بیشتر از صفت تعداد دانه بوده است. به‌هرحال در مجموع، بیشترین عملکرد دانه گندم (۶۰۳/۶ گرم در متر مربع) در توالی ماش- گندم و در الگوی فشرده به‌دست آمد، درحالی‌که بیشترین پروتئین دانه (۱۲/۱۲درصد) در همین توالی (ماش- گندم) ولی در الگوی ارگانیک حاصل شد (جدول ۱). از نتایج به‌دست آمده می‌توان چنین استنباط نمود که رشد اولیه گندم در توالی با کنجد، به‌علت تغذیه اولیه به‌وسیله کودهای شیمیایی (الگوی فشرده) و آلی (ارگانیک) مناسب بوده است، اما در ادامه گیاه برای گسترش بیشتر سطوح فتوسنتز کننده و همچنین پرشدن دانه‌های تولیدشده با کمبود مواد غذایی روبرو شده است که دلیل این امر را می‌توان تخلیه عناصر غذایی توسط ریشه‌های گسترده و قوی کنجد از نقاط مختلف خاک بیان نمود. در مقابل، حضور ماش قبل از گندم در توالی سبب شده است تا نیتروژن تثبیت شده توسط ریشه‌های ماش، به‌آرامی در خاک رها شود و در دسترس گیاه قرار گیرد. Siadat *et al.* (2009) در تحقیقات خود در منطقه ملاثانی اهواز نشان دادند که عملکرد گندم در

توالی با یونجه، به‌ترتیب بیشتر از عملکرد این گیاه در توالی با کلزا، ذرت، آیش و کنجد بود. آن‌ها از جمله دلایل برتری این توالی کشت را افزایش بهبود نیتروژن خاک و استفاده کاراتر گندم از نیتروژن حاصل از همزیستی نسبت دادند.

جدول ۲- همبستگی ساده بین صفات عملکرد و اجزای عملکرد گندم

Table 2. Simple correlation between wheat yield and its component

Treatment	Grain number/plant	1000 Grain weight	Straw weight	Ear weight	Grain yield	Biological yield	Grain Protein
Grain number/plant	1						
1000 Grain weight	-0.01 ns	1					
Straw weight	0.135 ns	0.04 ns	1				
Ear weight	0.5**	-0.12 ns	0.6**	1			
Grain yield	0.73**	0.08 ns	0.35 *	0.59**	1		
Biological yield	0.58**	0.09 ns	0.76**	0.87**	0.58**	1	
Grain Protein	0.26 ns	-0.089 ns	-0.12 ns	0.28 ns	0.39*	0.15 ns	1

**، * و ns: به‌ترتیب معنی‌دار در سطح یک و پنج درصد و غیر معنی‌دار (0.05≤).

**, * and ns: significant at 1% and 5% of probability levels and non- significant, respectively (≤0.05).

نتایج همبستگی بین صفات نشـان داد (جدول ۲) که عملکـرد دانـه بـا صـفات تعداد دانه در سنبله، وزن هزار دانه، کاه و سنبله، عملکرد زیستی و پروتئین دانه همبستگی مثبت و معنی‌دار داشت. وجود همبستگی مثبت و معنی‌دار بین عملکرد دانه و وزن کاه می‌تواند نشان دهنده آن باشد که سهمی از ذخایر ساقه در مراحل پرشدن دانه، به دانه منتقل شده است. همچنین با بررسی وضعیت همبستگی بین تعداد دانه و وزن هزار دانه نیز می‌توان دریافت که افزایش تعداد دانه، باعث کاهش وزن هزار دانه شد.

بررسی شاخص‌های انتقال مواد فتوسنتزی

سیستم فشرده به لحاظ شاخص‌های میزان فتوسنتز جاری (۳۹۷/۲۸ میلی‌گرم در بوته)، کارآیی فتوسنتز (۱/۰۱) و سهم فتوسنتز جاری (۷۲/۹) در مقایسه با سایر سیستم‌ها از برتری معنی‌داری برخوردار بود (جدول ۳)، درحالی‌که سیستم پایدار به لحاظ شاخص‌های میزان انتقال مجدد (۱۷۰/۳۳ میلی‌گرم در بوته) و کارآیی آن (۰/۴۲) و سهم انتقال مجدد (۳۳/۸)، الگوی برتری محبود (جدول ۳). این نتایج نشان می‌دهد که آن‌دسته از شاخص‌هایی که در ارتباط با فتوسنتز جاری مطرح می‌باشند، در سیستم فشرده برتر هستند؛ در مقابل آن‌دسته شاخص‌هایی که در ارتباط با انتقال مجدد مطرح می‌باشند، در سیستم پایدار برترند. به‌نظر می‌رسد که فراهمی سریع‌تر عناصر در کودهای شیمیایی و سازگاری بیشتر رقم گندم با نظام‌های فشرده همگی باعث شده است تا بوته‌های گندم، دوره رشدی، سطح برگ و ارتفاع مطلوب‌تری داشته باشند این مساله، توان فتوسنتزی گیاهان را بهبود داده است و با تداوم سبزینگی، وابستگی آن‌ها را به ذخایر انتقال مجدد کمتر کرده است. در مقابل در شرایط تلفیقی (نظام پایدار) که ترکیبی از نهاده‌های شیمیایی و آلی به‌کار گرفته شده است، احتمالاً در ابتدای رشد، شرایط مطلوب‌تر بوده است و گیاه در اواخر دوره رشدی با محدودیت تولید کربوهیدرات‌های جاری توسط سطوح فتوسنتز کننده روبرو شده است؛ در نتیجه سهم ذخایر انتقال مجدد در پر شدن دانه‌های تولید شده افزایش یافته است. در این رابطه محققان بیان داشتند که تأمین به موقع نیتروژن موجب می‌شودکه گیاه برای پرکردن دانه، به‌دلیل شاخص سطح برگ بالاتر، به‌طور عمده از فتوسنتز جاری استفاده کند، در نتیجه سهم فرایند انتقال مجدد در عملکرد دانه کاهش می‌یابد. از بین عواملی که می‌تواند موجب ایجاد تغییرات در مقادیر انتقال مجدد ماده خشک شود، می‌توان به شرایط آب و هوایی، نوع خاک، رقم و مدیریت زراعی اشاره کرد (Seyed Sharifi & Haydari, 2015).

در مقابل، بوم‌نظام ارگانیک به لحاظ شاخص‌های مرتبط با فتوسنتز جاری (میزان فتوسنتز جاری، کارآیی فتوسنتز و سهم آن) از کمیت پایین‌تری در مقایسه با نظام فشرده برخوردار است؛ هرچند که در

برخی موارد، این تفاوت معنی‌دار نشده است. نکته دیگر، بیشتر بودن کمیت شاخص سهم انتقال مجدد در ارگانیک (۲۸/۴) در مقایسه با فشرده (۲۷/۱) است (جدول ۳) که با توجه به فرمول محاسبه این شاخص، به‌نظر می‌رسد که عامل این برتری، کمتر بودن عملکرد دانه ارگانیک (۴۰۹/۲۸ گرم در متر مربع) در مقایسه با عملکرد دانه فشرده (۵۴۵/۰۴ گرم در مترمربع) یا به‌عبارتی مخرج کسر باشد (جدول ۱). همچنین به‌نظر می‌رسد که در کشاورزی ارگانیک، گیاه سهم زیادی از انرژی خود را به تولید دانه اختصاص داده است و در ادامه به‌دلیل محدودیت سطوح فتوسنتزکننده جهت پر کردن مقاصد فیزیولوژیکی تولید شده (دانه‌ها)، وابستگی گیاه به توزیع مجدد ذخایر غذایی موجود در اندام‌های رویشی افزایش یافت. بررسی سیستم‌های کشت مضاعف نیز نشان داد که کمیت شاخص‌های مرتبط با انتقال مجدد در سیستم ماش- گندم (۱۵۲/۲۸ میلی‌گرم در بوته) بیشتر بود، درحالی‌که توالی آیش- گندم، بیشترین (۳۴۰/۸ میلی‌گرم در بوته) کمیت را برای شاخص‌های مرتبط با فتوسنتز جاری نشان می‌داد (جدول ۲). این مسأله نشان می‌دهد که حضور گیاهان مختلف بقولات، غلات و دانه‌های روغنی از یک‌سو و حضور یا عدم حضور گیاه زراعی (گیاه زراعی- آیش) از سوی دیگر، تأثیرات متفاوتی بر دو بخش رشد رویشی قبل از گرده‌افشانی و رشد زایشی پس از گرده‌افشانی خواهد داشت. با توجه به این‌که حضور بقولات (ماش) در توالی با تثبیت زیستی نیتروژن و در دسترس قرار دادن آن به‌صورت پیوسته و تدریجی، شرایط رویشی مطلوب‌تری قبل از گرده‌افشانی نسبت به سایر تیمارها ایجاد کرده است، این مساله با توزیع دوباره مواد ذخیره شده در اندام‌های رویشی و پر شدن دانه‌های گندم در انتهای دوره رشدی که سهم فتوسنتز جاری به مرور کاهش یافته است، نقش به‌سزایی در بهبود عملکرد دانه داشته است. Zhu *et al.* (2006) نشان دادند هنگامی‌که سطح نیتروژن استفاده شده در خاک در محدوده ۲۲۵ تا ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار بود، عملکرد دانه گندم در وهله اول به‌طور عمده تحت تاثیر جذب مواد فتوسنتزی اندام‌های سبز (فتوسنتز جاری) و پس از آن تحت تاثیر باز توزیع مواد خشک تجمع یافته در اندم‌های رویشی قبل از گرده‌افشانی بود. به‌نظر می‌رسد این تفاوت‌ها، تحت تأثیر عواملی همچون نوع گیاه تابستانه، تأثیر گیاه قبلی بر رشد اولیه گندم، اثر نوع عملیات زراعی در گیاه تابستانه بر گندم و همچنین میزان نهاده‌های مصرفی در گیاه تابستانه بستگی خواهد داشت. به هر حال با بررسی برهمکنش تیمارهای آزمایش مشخص می‌شود که توالی ماش- گندم در شرایط ارگانیک، بیشترین میزان شاخص انتقال مجدد (۲۲۸/۴۲ میلی‌گرم در بوته)،کارآیی انتقال مجدد (۶۲/۷۶) و سهم انتقال مجدد (۴۹/۹۵) را داشته است، درحالی‌که توالی آیش- گندم در شرایط ارگانیک، بیشترین کمیت کارآیی فتوسنتز جاری (۳۰۵/۹۵ میلی‌گرم در بوته) و سهم فتوسنتز جاری (۸۳/۰۱) را دارا بود (جدول ۳). این مساله نشان می‌دهد که اگرچه هر دو فاکتور نظام کشت و نوع کشت مضاعف بر شاخص‌های کارآیی مواد فتوسنتزی تأثیرگذارند، ولی به‌نظر می‌رسد که میزان تأثیرگذاری نظام کشت (ارگانیک)، بیشتر از سایر تیمارها بوده است، زیرا شاخص‌های فوق در هر دو توالی ماش- گندم و آیش- گندم در نظام ارگانیک، برتر از سایر نظام‌های کشت بودند.

بررسی‌ها نشان داد که توزیع و در دسترس قرار گرفتن نیتروژن و مواد غذایی در زمان نامناسب از دوره رشدی گیاه، موجب می‌شود که گیاه به‌نوعی در شرایط تنش قرار گیرد و تعادل منبع و مخزن به هم بخورد، در چنین شرایطی ظرفیت مخزن (ظرفیت مخزن= اندازه مخزن × فعالیت مخزن)، بیشتر از منبع است و میزان انتقال ماده خشک افزایش می‌یابد تا بتواند بخشی از نیاز شدید مخازن (دانه‌ها) را برآورد نماید (Asseng & Van Herwaarden, 2003). Liu *et al.* (2010) و Dawson *et al.* (2008) میزان مشارکت انتقال مجدد ماده خشک ذخیره شده در اندام‌های رویشی قبل از گرده افشانی برای پر شدن دانه و بهبود عملکرد را بین ۵۳/۶ درصد تا ۸۲/۴ درصد گزارش

دادند. به‌علاوه مشخص شد که بیشترین عملکرد دانه گندم در تناوب دو ساله ذرت-گندم و نه ساله گندم-ذرت-کاهو حاصل به‌دست آمد که تناوب ذرت-گندم، بیشترین عملکرد کمی و کیفی را دارا بود، به‌گونه‌ای که درصد پروتئین دانه از ۱۰/۷۰ الی ۱۳/۱۲ درصد در بین تیمارهای مختلف متفاوت بود.

جدول ۳- مقایسه میانگین اثر نوع سیستم کشاورزی (Conv: فشرده، Sust: پایدار و Org: ارگانیک) و نوع کشت مضاعف (M-W: ماش- گندم، C-W: ذرت- گندم، S-W: کنجد- گندم و F-W: آیش- گندم) بر شاخص‌های انتقال مواد فتوسنتزی در گندم.

Table 3- Mean comparison of the effect of type of agriculture systems (Conv: conventional, Sust: sustainable and Org: organic) and type of double cropping (M-W: mungbean- wheat, C- W: corn- wheat, S- W: sesame- wheat and F- W: fallow- wheat) on photosynthetic material transfer in wheat.

Treatment	Remobilization (mg/plant)	Efficiency of Remobilization	Portion of Remobilization in Grain yield	Current Photosynthesis(mg/plant)	Efficiency of Current Photosynthesis	Portion of Current Photosynthesis in Grain yield
Agricultural Systems						
Conv	148.5ab	0.372b	27.1b	397.28a	1.01a	72.9a
Sust	170.33a	0.42a	33.8a	331.98b	0.83b	66.15b
Org	120.91b	0.36b	28.43ab	292.57b	0.95ab	71.56ab
Double Cropping Systems						
M-W	189.65a	0.458a	37.3a	333.93a	0.79b	62.66b
C-W	134.17b	0.33b	27.01bc	357.71a	0.93ab	72.98ab
S-W	162.91ab	0.43a	32.6ab	330a	0.88b	72.98 ab
F-W	99.58c	0.318b	22.17c	340.8a	1.115a	77.82a
Intractions						
Conv						
M-W	164.52cd	0.57b	27.08c-f	437.76a	1.06ab	72.91b-e
C-W	152.28c-e	0.35b-d	27.05c-f	412.2ab	0.95bc	72.95b-e
S-W	164.52c	0.57b	29.99c-e	382.17a-c	0.95bc	70c-e
F-W	121.14ef	0.346b-d	25.23e-g	356.97b-d	1.07ab	75.7a-c
Sust						
M-W	178.16bc	0.39b	34.95bc	356.97cd	0.75de	65.04ef
C-W	164. 2c	0.35b-d	33cd	333.32cd	0.75c-e	66.99de
S-W	217.8ab	0.57a	42.17ab	300.24d	0.8c-e	57.82fg
F-W	121.14d-f	0.39bc	25.23d-f	359.46b-d	1.07ab	74.76b-d
Org						
M-W	228.42a	62.76a	49.95a	300.24e	0.75e	50.04g
C-W	121.14fg	0.29de	20.98fg	327.6cd	1.1ab	79.02ab
S-W	121.14f	0.346c-e	27.05d-f	307.59d	0.9b-d	74.18b-d
F-W	62.76g	0.29e	16.98g	305.95d	1.2a	83.01a

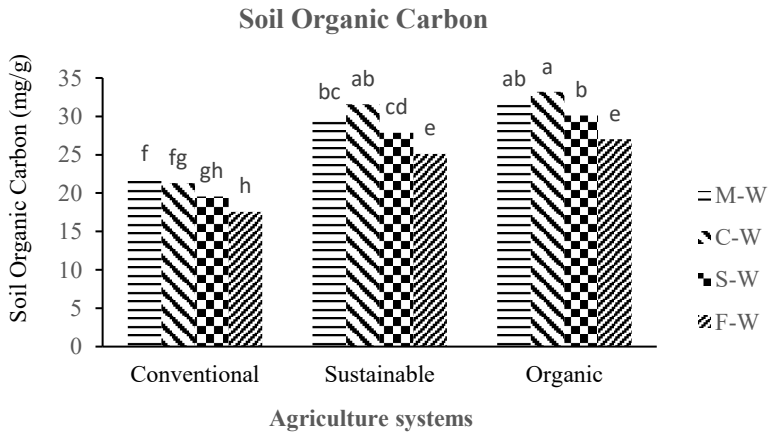
حروف مشابه در هر ستون، نشان‌دهنده عدم تفاوت معنی‌دار بین تیمارها می‌باشد.

Similar letters in the same column indicate non- significant difference between treatments.

بررسی وضعیت کربن آلی خاک

نتایج این پژوهش نشان داد که وضعیت کربن آلی خاک تحت تأثیر هر دو تیمار نوع الگوی کشت و کشت مضاعف قرار گرفت (شکل ۱)، به‌گونه‌ای که بیشترین میزان کربن آلی در الگوی ارگانیک (۳۰/۴۵ میلی‌گرم در گرم) و کمترین در الگوی فشرده (۲۰/۵ میلی‌گرم در کیلوگرم) مشاهده شد. به‌علاوه با بررسی سیستم‌های کشت مضاعف مشخص شد که بیشترین و کمترین میزان کربن خاک، به‌ترتیب در کشت مضاعف ذرت- گندم (۲۸/۶۸ میلی‌گرم در گرم) و آیش- گندم (۲۳/۲۲ میلی‌گرم در کیلوگرم) به‌دست آمد. در ادامه مشخص شد که در الگوی کشت ارگانیک و پایدار در تمام کشت مضاعف‌های انتخاب شده، میزان کربن آلی خاک بیشتر از روش فشرده بود. این برتری، در الگوی کشت ارگانیک و کشت مضاعف ذرت- گندم (۳۳/۱۸ میلی‌گرم در گرم) نمود بیشتری داشت که با الگوی

کشت پایدار و کشت مضاعف ذرت- گندم (۳۱/۵۷ میلی‌گرم در گرم) تفاوت معنی‌داری نداشت (شکل ۱). به‌نظر می‌رسد گیاه ذرت که از گیاهان چهارکربنه محسوب می‌شود، در جذب و انتقال کربن به خاک در الگوی کشت مضاعف از برتری بیشتری برخوردار بود. به‌علاوه در الگوی ارگانیک و پایدار، به‌علت استفاده از کودهای آلی و مدیریت بقایای گیاهی، فعالیت میکروارگانیسم‌های خاک افزایش می‌یابد و این امر باعث برتری وضعیت کربن آلی خاک در این الگوهای کشت نسبت به فشرده شده است. گزارش شده است که تغییرات وضعیت کربن در لایه سطحی خاک (صفر تا ۱۵ سانتی‌متر) در سطح وسیعی تحت تأثیر نوع مدیریت کشاورزی و نوع گیاه انتخابی است. این مساله بر فعالیت و تنوع جوامع زیستی خاک و همچنین نقل و انتقالات کربن به خاک تأثیرات متفاوتی دارد (Lamb *et al*., 2011). محققان با بررسی الگوهای کشت مضاعف برنج نشان دادند که بیشترین میزان کربن آلی خاک در کشت مضاعف سویا- برنج و کمترین آن در کشت مضاعف برنج- تنباکو و پیاز- برنج به‌دست آمد. آن‌ها بیان داشتند که کاهش کربن آلی خاک در توالی برنج با تنباکو و پیاز، به علت کم بودن یا عدم زیست‌توده بقایای گیاهی است که به خاک برگردانده می‌شوند (Ratnayake *et al*., 2017).



شکل ۱- مقایسه میانگین اثر برهمکنش تیمارهای نوع سیستم کشاورزی (Conventional: فشرده، Sustainable: پایدار و Organic: ارگانیک) و نوع کشت مضاعف (M-W: ماش- گندم، C-W: ذرت- گندم، S-W: کنجد- گندم و F-W: آیش- گندم) بر کربن آلی خاک

Figure 1. Mean comparison of the effect of agricultural system types (conventional, sustainable and organic) and type of double cropping (M-W: mungbean- wheat, C- W: corn- wheat, S- W: sesame- wheat and F- W: fallow- wheat) on soil organic carbon.

نتیجه‌گیری کلی

در مجموع نتایج حاصل از این آزمایش نشان داد که بیشترین (۶۰۳/۶ گرم در متر مربع) عملکرد دانه گندم، در الگوی کشاورزی فشرده و کشت مضاعف ماش- گندم به‌دست آمد که از لحاظ آماری تفاوت معنی‌داری با الگوی کشاورزی پایدار نداشت. این امر نشان می‌دهد که حذف درصدی از نهاده‌های شیمیایی و جایگزین کردن آن‌ها با استفاده از نهاده‌های آلی و زیستی در مدیریت الگوی کشاورزی به‌صورت پایدار، نه تنها کاهش چشمگیری در عملکرد دانه گندم نداشته است، بلکه از لحاظ هزینه‌های زیست‌محیطی و اکولوژیکی موثر واقع خواهد شد. به‌علاوه کیفیت دانه (درصد پروتئین دانه) در بوم‌نظام پایدار، بیشتر از فشرده بود (۹/۶۶ در مقابل ۸/۳۸ درصد). در ادامه نتایج نشان داد که بیشترین (۲۲۸/۴۲) انتقال مجدد مواد فتوسنتزی ذخیره شده در اندام‌های گیاهی قبل از گرده‌افشانی، در الگوی ارگانیک و کشت مضاعف گندم- ماش حاصل شد. در مقابل، میزان و سهم

فتوسنتز جاری در الگوی کشاورزی فشرده و کشت مضاعف ماش- گندم بیشتر از سایر تیمارهای آزمایشی بود. در نهایت با بررسی وضعیت کربن آلی خاک مشخص شد که در الگوی ارگانیک و پایدار، میزان کربن آلی خاک به نحو چشمگیری بیشتر از الگوی فشرده بود. بنابراین از دیدگاه اکولوژی گیاهان زراعی، روش کشاورزی پایدار با توالی ماش- گندم سیستم زراعی مطلوب‌تری خواهد بود.

REFERENCES

1. Abdulahi, A. (2016). Effect of different crop rotations on grain yield and some agronomic traits of wheat (*Triticum aestivum* L.) in dry land conditions of Kermanshah. *Agroecology Journal*, *8*(3), 373-384. (In Persian)
2. Asseng, S. & Van Herwaarden, A. F. (2003). Analysis of the benefits to wheat yield from assimilates stored prior to grain filling in a range of environments. *Plant Soil*, 256, 217–239.
3. Aynehbanb, A. (2005). Alternate Crop Rotation. *Mashhad University Press*, P, 420. (In Persian)
4. Dawson, J. C., Huggins, D. R. & Jones, S. S. (2008). Characterizing nitrogen use efficiency in natural and agricultural ecosystems to improve the performance of cereal crops in low- input and organic agricultural systems. *Journal of Field Crops Research,* 107, 89-101.
5. Debaeke, P. & Hilaire, A. (1997). Production of rained and irrigated crops under different crop rotations and input Levels in southwestern France. *Canadian Journal of Plant Science*, 77(4), 539-548.
6. Lamb, E. G., Kennedy, N. & Siciliano, S. D. (2011). Effects of plant species richness and evenness on soil microbial community diversity and function. *Journal of Plant and Soil*, 338(2), 483-495.
7. Liu, E., Y. Changrong, M., Xurong, H., Wenqing, H. B., So, D., Linping, L., Qin, L. & Tinglu, F. (2010). Long term effect of chemical fertilizer, straw, and manure on soil chemical and biological properties in north-west China. *Geoderma*, 150, 173-180.
8. Mayer, J., Gunst, L., Mäder, P., Samson, M. F., Carcea, M., Samson, O., Carcea, V. N., Thomasen, I. K. & Dubois, D. (2015). Productivity, quality and sustainability of winter wheat under long-term conventional and organic management in Switzerland. *European Journal of Agronomy*, 65, 27-39.
9. Nielsen, D.C. & M.F. Vigil. (2018). Wheat yield and yield stability of eight dry land crop rotations. *Agronomy Journal*, 110, 594–601.
10. Philip Robertson, G., Gross, K. L., Hamilton, S. K., Landis, D. A., Schmidt, T. M., Snapp, S. S. & Swinton, S. M. (2014). Farming for ecosystem services: An ecological approach to production agriculture. *Bioscience*, 64 (5), 404-415.
11. Ratnayake, R. R., Perera, B. M. A. C. A., Rajapaksha, R. P. S. K., Ekanayake, E. M. H. G. S., Kumara, R. K. G. K., & Gunaratne, H. M. A. C. (2017). Soil carbon sequestration and nutrient status of tropical rice based cropping systems: Rice-Rice, Rice-Soya, Rice-Onion and Rice-Tobacco in Sri Lanka. *Catena*, 150, 17-23.
12. Robertson, G. P., Gross, K. L., Hamilton, S. K., Landis, D. A., Schmidt, T. M., Snapp, S. S. & Swinton, S. M. (2014). Farming for ecosystem services: an ecological approach to production agriculture. *Bioscience*. 2004, 61–65.
13. Schlegel, A. J., Assefa, Y., Haag, L. A., Thompson, C. R. & Stone, L. R. (2019). Yield and overall productivity under long-term wheat-based crop rotations: 2000 through 2016. *Agronomy Journal*, 111(1), 264-274.
14. Schrama, M., De Haan, J. J., Kroonen, M., Verstegen, H. & Van der Putten, W. H. (2018). Crop yield gap and stability in organic and conventional farming systems. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 256, 123-130.
15. Seyed Sharifi. R. & Haydari, S. M. S. (2015). Effects of bio fertilizers on growth indices and contribution of dry matter remobilization in wheat grain yield. *Plant Research Journal,* 28 (2), 327-343. (In Persian)
16. Siadat, S. A., Hemayati, S. S., Fathi, G. & Mashadi, A. A. (2009). Determination of the most suitable crop rotation systems in Ahwaz region. *Iranian Journal of Crop Sciences*, 11(2), 174-192. (In Persian)
17. Sindelar, A. J., Schmer, M. R., Jin, V. L., Wienhold, B. J. & Varvel, G. E. (2015). Long-term corn and soybean response to crop rotation and tillage. *Agronomy Journal*, 107(6), 2241-2252.
18. Spiertz, J. H. & Ellen, J. J. (2008). Effects of nitrogen on crop development and grain growth of winter wheat in relation to assimilation and utilization of assimilates and nutrients. *Journal of Agriculture Science*, 26, 210-231.
19. Walkley, A. & Black, C. A. (1934). An examination of the digestion method for determining soils organic Matter and a proposed modification of chromic acid titration method. *Soil Science*, 33, 29- 38.

20. Williams, J. R., Pachta, M. J., Claassen, M., Roozeboom, K., Llewelyn, R. & Bergtold, J. S. (2012). Risk analysis of tillage and crop rotation alternatives with winter wheat. *Journal of Agriculture Applied Economy*, 44, 561–576.
21. Zhu, G. X., Midmore, D. J., Yule, D. F. & Radford, B. J. (2006). Effect of timing of defoliation on wheat (*Triticum aestivum*) in central Queensland 2. N uptake and relative N use efficiency. *Field Crops Research*, 96, 160-167.