نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد ۱۱، شماره ۴ ، زمستان ۱۳۹۲، ص. ۶۵۷-۶۴۸

Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 11, No.4, Winter. 2014, p. 648-657

اثر تراکم اردک بر برخی خصوصیات مورفولوژیک و فیزیولوژیک مرتبط با عملکرد شلتوک سه رقم برنج (*Oryza sativa* L.) در کشت ارگانیک برنج-اردک

محمود محمدی[۱]- همت‌اله پیردشتی[۲*]- قاسم آقاجانی مازندرانی[۳]- سید یوسف موسوی طغانی[٤]

تاریخ دریافت:۱۳۹۱/۱۱/۴
تاریخ پذیرش:۱۳۹۲/۵/۱۲

چکیده

به منظور ارزیابی اثر تراکم اردک در مزارع برنج بر برخی از صفات مورفولوژیک و فیزیولوژیک مرتبط با عملکرد شلتوک ارقام برنج (*Oryza sativa* L.)، آزمایشی در سال زراعی۹۱-۱۳۹۰در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری اجرا گردید. این آزمایش به صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در چهار تکرار به اجرا در آمد. دراین آزمایش عامل اصلی تعداد اردک در سه سطح (شامل شاهد، ۴۰۰ و ۸۰۰ اردک در هکتار) و عامل فرعی رقم برنج در سه سطح (شامل طارم به عنوان رقم محلی، شیرودی وقائم به عنوان ارقام اصلاح‌شده) بودند. نتایج حاصل از تجزیه واریانس بیانگر اختلاف کاملاً معنی‌دار تعداد اردک، رقم و برهمکنش آنها از نظر صفات تعداد پنجه، محتوای کلروفیل (SPAD)، کلروفیل a وعملکرد شلتوک بود. نتایج نشان داد که بالاترین مقادیر صفات مورفولوژیک (تعداد پنجه، تعداد برگ و طول ریشه)، صفات فیزیولوژیک (غلظت کلروفیل و عدد SPAD) و عملکرد شلتوک به ترتیب مربوط به تراکم‌های ۸۰۰ و ۴۰۰ اردک در هکتار بوده است. بالاترین میزان عملکرد شلتوک در تیمار ۸۰۰ قطعه اردک در هکتار به ترتیب در ارقام شیرودی (۵/۳ تن در هکتار)، قائم (۴/۳ تن در هکتار) و طارم (۳/۶ تن در هکتار) بدست آمد. رابطه‌ی رگرسیونی بین صفات تعداد پنجه، طول ریشه، عدد SPAD و عملکرد شلتوک با تیمار تراکم اردک در واحد سطح نشان داد که واکنش ارقام برنج نسبت به افزایش میزان این صفات با افزایش تراکم اردک یکسان نبوده است، به‌طوری‌که رقم طارم با بالاترین رابطه‌ی خطی در افزایش میزان این صفات نسبت به ارقام دیگر برتر شناخته شده است. در مجموع نتایج نشان داد استفاده از رقم پابلند و بومی منطقه (رقم طارم) با قدرت رقابتی بالاتر نسبت به ارقام پاکوتاه و اصلاح‌شده (ارقام قائم و شیرودی) همراه با تراکم ۸۰۰ قطعه اردک در هکتار می‌تواند شرایط را برای کشاورزان در دست‌یابی به عملکرد اقتصادی بالاتر فراهم سازد.

واژه‌های کلیدی: برنج، تراکم اردک، رقم، کشاورزی پایدار، عملکرد شلتوک

مقدمه

در سال‌های اخیر لزوم سلامت محصولات تولید شده در نظام‌های مختلف کشاورزی از نظر وجود بقایای سموم، مواد شیمیایی و تأثیر آنها بر سلامت انسان و محیط زیست سبب شده است تا روش‌های تولید و نهاده‌های بکار رفته در تولید آنها مورد توجه خاص قرار گیرند (۶ و ۳۰). در همین زمینه یکی از روش‌هایی که اخیراً به عنوان جایگزینی مناسب در تولید محصولات کشاورزی، بدون استفاده از نهاده‌های شیمیایی و سازگار با محیط زیست در جهان پذیرفته شده است کشاورزی ارگانیک می‌باشد (۷). در این نوع کشاورزی برای تأمین مواد غذایی مورد نیاز گیاه زراعی، از انواع کودهای آلی و برای مبارزه با آفات، بیماری‌ها و علف‌های هرز از مبارزه مکانیکی و بیولوژیکی استفاده می‌گردد (۲۵).

آزمایش‌ها و مطالعات پژوهشی مختلف، نتایج ضد و نقیضی در رابطه با عملکرد تولیدی در کشاورزی ارگانیک نشان می‌دهد (۱، ۲ و ۲۶). گزارش‌های متعددی نشان‌دهنده‌ی کاهش عملکرد در کشاورزی ارگانیک هستند (برای مثال: ۲۸). بررسی‌های انجام شده نشان داد مهمترین دلیل کاهش عملکرد در کشاورزی ارگانیک عمدتاً ناشی از وجود آفات و علف‌های هرز به دلیل محدودیت استفاده از سموم شیمیایی بوده است (۱۶ و ۱۸). این در حالی است که اردک در شالیزار

۱ و ۴- دانشجوی کارشناسی ارشد و کارشناس گروه زراعت، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
۲- دانشیار گروه زراعت، پژوهشکده ژنتیک و زیست فناوری کشاورزی طبرستان، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
(*- نویسنده مسئول: Email: h.pirdashti@sanru.ac.ir)
۳- مربی گروه آبیاری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

برنج به عنوان یک ابزار قدرتمند در مدیریت تلفیقی آفات (IPM)[1] و کنترل علف‌های هرز عمل کرده و باعث کاهش تراکم آفات، بیماری‌ها و علف‌های هرز دراین مزارع می‌شود (۱۰). اردک بسیاری ازعلف‌های هرز کوچک و در حال رشد را که در زیر سطح آب قرار دارند به همراه بذر آنها در بانک بذر خاک، مورد تغذیه قرار داده و با گل‌آلود نمودن آب به کمک منقار و شکل خاص پاهای خود مانع از رسیدن نور کافی به سطح خاک شالیزار شده و در نتیجه ازجوانه‌زنی و رشد مجدد علف‌های هرز در شالیزار به طور چشمگیری جلوگیری می‌کند (۱۵، ۲۷ و ۴۷). همچنین اردک با تغذیه از حشرات به عنوان یک منبع غذایی مهم، باعث کاهش تراکم و خسارت آنها در این مزارع می‌گردد (۴۳). در نتیجه میزان استفاده از علف‌کش‌ها و آفت-کش‌ها برای کنترل تراکم علف‌های هرز و آفات به حداقل مقدار خود خواهد رسید (۲۱ و ۳۱). از مزایای دیگر این نوع از سیستم کشت عدم استفاده از سموم و کودهای شیمیایی در مزارع پایدار برنج است که باعث کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای ناشی از این مواد شیمیایی می‌گردد (۸، ۱۱، ۲۲ و ۴۰). استفاده از اردک در مزارع برنج باعث آلودگی کمتر آب رودخانه‌ها و افزایش تنوع زیستی موجودات آبزی، حشرات و موجودات زنده خاک در این مزارع می‌شود (۵، ۴۵ و ۵۱). علاوه بر این اردک می‌تواند به عنوان یک منبع درآمد جانبی برای کشاورزان‌باشد (۴۰، ۴۲ و ۵۱). همچنین بررسی‌ها نشان می‌دهد استفاده از اردک به عنوان عامل بیولوژیک در بهبود شرایط اکولوژیکی رشد برنج، علاوه بر افزایش تنوع زیستی، افزایش فعالیت برخی از میکروارگانیسم‌های خاک، افزایش کارایی انرژی، افزایش رشد رویشی برنج، باعث افزایش عملکرد برنج نیز می‌گردد (۱۱، ۲۴، ۳۲ ، ۳۶ و ۴۰).

درک تأثیر تراکم اردک در واحد سطح به منظور استفاده بهینه از عوامل اقلیمی و مصرف بهینه نهاده‌های کشاورزی در تولید برنج، از طریق کنترل آفات، بیماری‌ها و علف‌های هرز می‌تواند کمک مؤثری در جهت تولید محصول سالم با کیفیت مطلوب و کاهش مصرف سموم و کودهای شیمیایی نماید. با انتخاب تراکم صحیح اردک در مزارع کشت توأم برنج–اردک می‌توان ضمن حفاظت از محیط زیست، کاهش فرسایش خاک، افزایش عملکرد برنج، میزان بیماری‌های ناشی از مصرف این مواد شیمیایی در شالیزار را کاهش داد (۱۳ و ۳۹).

یو و همکاران (۴۶) با انجام تحقیقاتی در بررسی خصوصیات رویشی و عملکرد ارقام برنج در تراکم ۳۰۰ قطعه اردک در گزارش نمودند که خصوصیات رویشی و میزان عملکرد ارقام برنج در واحد سطح، در این تراکم افزایش معنی‌داری نسبت به تیمار شاهد داشته است. همچنین تحقیقات دیگر نشان داد تراکم ۲۴۰ قطعه اردک در هکتار نیز به دلیل کنترل مناسب تراکم علف‌های هرز، آفات و بیماری‌ها می‌تواند تا حدودی باعث افزایش عملکرد شلتوک ارقام برنج در این مزارع شود (۴ و ۳۷). نتایج مطالعه‌ای دیگر در کشور ژاپن در بررسی میزان تعداد پنجه، تعداد برگ، ارتفاع گیاه برنج، طول ریشه و عملکرد دانه برنج در کشت توأم برنج–اردک نشان داد تراکم ۴۰۰ قطعه اردک در هکتار به دلیل کنترل مناسب تراکم علف‌های هرز، آفات، بیماری‌ها و خروج گازهای نامساعد از زمین این مزارع به میزان ۲۰ تا ۳۰ درصد باعث افزایش عملکرد شلتوک ارقام برنج می‌شود (۴۱). نتایج حسین و همکاران (۱۰) افزایش ۲۰ درصدی تعداد پنجه و تعداد پنجه بارور در تراکم ۴۰۰ قطعه اردک در هکتار را به دلیل کنترل مناسب آفات، بیماری‌ها و علف‌های هرز نشان داد. همچنین وانگ و همکاران (۳۹) نیز افزایش ۱۲ درصدی تعداد پنجه و ۸ درصدی تعداد پنجه بارور را به دلیل کنترل مناسب آفات، بیماری‌ها و علف‌های هرز بیان نمودند. در همین راستا نیز نتایج مشابهی توسط دیگر محققان در رابطه با افزایش تعداد پنجه و تعداد پنجه بارور به دلیل کنترل مناسب تراکم آفات و علف‌های هرز در مزارع کشت توأم برنج–اردک گزارش شده است (۱۵ و ۲۰). این در حالی است که علاوه بر این در سایر پژوهش‌ها، تراکم‌های متفاوتی از ۲۲۵ تا ۸۰۰ عدد اردک در واحد سطح مزارع برنج برای کنترل تراکم علف‌های هرز، آفات و بیماری‌ها توصیه شده است که این موضوع نشان می‌دهد تراکم‌های توصیه‌شده در واحد سطح بستگی به شرایط آب و هوایی، ارقام برنج و نوع اردک مورد بررسی در آزمایش دارد (۲۰، ۳۸، ۴۱، ۴۷ و ۴۹). با توجه به اهمیت تولید محصولات سالم در بوم‌نظام‌های زراعی نظیر برنج آزمایش حاضر با هدف بررسی واکنش برخی از صفات مورفولوژیک و فیزیولوژیک مرتبط با عملکرد شلتوک سه رقم برنج به تراکم اردک در کشت توأم برنج–اردک و تعیین مناسب ترین رقم و تراکم اردک به مرحله اجرا گذاشته شد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در سال زراعی ۹۱–۱۳۹۰ در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری انجام شد. این منطقه در مختصات ۳۶ درجه و ۳۹ دقیقه عرض شمالی و ۵۳ درجه و ۴ دقیقه طول شرقی قرار گرفته است. پس از آماده‌سازی زمین خزانه، بذرهای برنج در آن قرار داده شد و در طول مدت رشد نشای برنج، عملیات تهیه بستر زمین اصلی به مساحت ۱۵۰۰ متر مربع شامل شخم، تسطیح، مرزبندی و ماله‌کشی انجام شد. ابعاد هر کرت ۳۳ متر مربع و عرض پشته‌ها حدود ۵۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. همچنین آرایش بوته‌ها در داخل کرت‌ها به صورت مربعی با فاصله ۲۵ سانتی-متر از یکدیگر و فاصله بین تکرارها یک متر بود. برای تأمین نیاز مواد غذایی ارقام برنج در طول دوره‌ی آزمایش، به ترتیب به میزان ۲۰۰۰، ۱۰۰۰۰ و ۳۴۰ کیلوگرم در هکتار از کودهای حیوانی شامل مرغی،

1- Integrated Pest Management

گاوی و همچنین کود ارگانیک هیومیسل (از منبع کودهای حیوانی و سنگ‌های معدنی) در سه مرحله نشاکاری، پنجه‌زنی و خوشه‌دهی استفاده گردید. نتایج حاصل از تجزیه شیمیایی خاک محل آزمایش قبل از کاشت (جدول ۱)، کودهای حیوانی (جدول ۲) و کود ارگانیک هیومیسل (جدول ۳) ارائه شده است. در این پژوهش تأثیر دو عامل تعداد اردک و رقم برنج در قالب کرت‌های یک بار خرد شده با طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی در چهار تکرار مورد بررسی قرار گرفتند. عامل اصلی تعداد اردک در سه سطح شامل (بدون حضور اردک، تراکم ۴۰۰ قطعه اردک در هکتار و تراکم ۸۰۰ قطعه اردک در هکتار) وعامل فرعی رقم برنج در سه سطح شامل (طارم) به عنوان رقم محلی، شیرودی و قائم به عنوان ارقام اصلاح شده در نظر گرفته شدند. آزادسازی جوجه اردک‌ها از نوع محلی با سن ۳۰ روز، بعد از گذشت ۲۰روز از نشا کاری انجام گرفت. در ضمن برای جداسازی اردک‌ها و اعمال تیمارها، اطراف مزرعه به وسیله‌ی توری‌های فلزی و درون مزرعه به وسیله‌ی توری‌های پلاستیکی از یکدیگر جدا گردیدند و روزانه جهت اجبار فعالیت اردک‌ها برای کنترل بهتر تراکم آفات و علف‌های هرز به میزان ۳۰ درصد کمتر از حد مطلوب تغذیه شدند. همچنین در طول دوره‌ی رشد ارقام برنج برای مبارزه با آفات از جمله کرم ساقه‌خوار برنج از اسپری سیلیس مایع در دو مرحله پنجه‌زنی و خوشه‌دهی (غلظت سه در ۱۰۰۰)، زنبور تریکوگراما (۱۰۰ بسته در هکتار)، فرمون‌های جنسی به تعداد سه کپسول در هکتار برای هر دوره از سیکل زندگی کرم ساقه‌خوار برنج (برای رقم طارم به دلیل زودرس بودن در دو مرحله و برای ارقام دیررس مانند شیرودی و قائم در سه مرحله) و اختلال‌کننده‌های جنسی (۴۰ گرم در هکتار) استفاده شد. همچنین برای مبارزه با علف‌های هرز موجود در شالیزار فقط از مبارزه بیولوژیک توسط اردک‌ها استفاده گردید. کلیهٔ نمونه‌برداری‌ها با استفاده از کوادرات، از درون هر کرت با رعایت اثر حاشیه به طور جداگانه بر اساس دستورالعمل موسسه‌ی تحقیقات بین‌المللی برنج (۱۴) انجام گردید. برای تعیین عملکرد شلتوک ارقام برنج در زمان رسیدگی، یک متر مربع از متن هر کرت آزمایشی از نزدیکی سطح زمین کف‌بر و پس از جداکردن شلتوک از بقایای گیاهی به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد در آون قرار داده و سپس توزین گردید. برای اندازه‌گیری صفات مورفولوژیک تعداد ۴ بوته به‌طور تصادفی از هر کرت برداشت شده و اقدام به اندازه‌گیری صفات طول ریشه، تعداد برگ و تعداد پنجه گردید. شاخص‌های فیزیولوژیک شامل سطح برگ پرچم (سانتی‌متر مربع)، محتوی کلروفیل (عدد SPAD)، محتوی کلروفیل a، کلروفیل b و کلروفیل a+b (میلی‌گرم بر میلی-لیتر) برگ پرچم برای هر نمونه اندازه‌گیری شد (۵). تجزیه واریانس داده‌ها با استفاده از نرم افزار آماری SAS نسخه‌ی ۶/۱۲ (۳۳) انجام و مقایسه میانگین اثرات متقابل صفات با استفاده از روش آزمون حداقل تفاوت معنی‌دارLSD در سطح احتمال پنج درصد صورت گرفت. برای رسم شکل‌ها از برنامه‌ی Sigma plotنسخه‌ی ۱۱ (۲۲) استفاده شد.

جدول ۱- نتایج تجزیه فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش (۳۰-۰ سانتی‌متری)

بافت خاک	هدایت الکتریکی	اسیدیته	مواد آلی	نیتروژن	فسفر	پتاسیم	آهن	روی	منگنز
	دسی‌زیمنس بر متر		(درصد)			(میلی‌گرم در کیلوگرم)			
رسی - سیلتی	۱/۸۴	۷/۲۲	۲/۰۱	۰/۰۲	۸/۷	۲۰۹/۷	۴/۲	۳/۷	۳/۲

جدول ۲- برخی از خصوصیات شیمیایی کودهای الی مورد استفاده

نوع نهاده	هدایت الکتریکی	اسیدیته	نیتروژن	فسفر	پتاسیم	آهن	روی	منگنز	مس
	دسی‌زیمنس بر متر			(درصد)		(میلی‌گرم در کیلوگرم)			
کود مرغی	۱۱/۸۲	۵/۱۴	۲/۹	۱/۳۹	۰/۷۷	۹۵۵	۲۹۸	۲۰۹	۳۶
کودگاوی	۱۳/۶	۳/۷۳	۲/۴	۱/۰۲	۰/۸۱	۱۶۱۱	۵۴	۷۲	۴

جدول ۳- برخی از خصوصیات شیمیایی کود ارگانیک هیومیسل

نوع نهاده	هیومیک اسید	فولویک اسید	نیتروژن	فسفر	پتاسیم	مواد آلی	آهن	روی	مس	بور
کود هیومیسل			(درصد)				(میلی‌گرم در کیلوگرم)			
Hiumiesal	۱۲	۱۱/۸۲	۲	۳	۱۰	۲۰	۲۰۰۰	۵۰۰	۲۰۰	۱۰۰

نتایج و بحث

صفات مورفولوژیک

تعداد پنجه

رقم، تعداد اردک و برهمکنش رقم × تعداد اردک در سطح احتمال یک درصد، تعداد پنجه در کپه را تحت تأثیر قرار دادند (جدول ۴). تعداد پنجه در کپه در تمامی ارقام برنج با افزایش تراکم اردک در واحد سطح سیر افزایشی داشت و حداکثر میزان تعداد پنجه در کپه در تیمار ۸۰۰ قطعه اردک در هکتار به ترتیب در ارقام شیرودی (۲۳ عدد پنجه در کپه)، قائم (۲۱ عدد پنجه در کپه) و طارم (۱۹ عدد پنجه در کپه) بوده است. این در حالی بود که کمترین میزان تعداد پنجه در کپه در تیمار شاهد در رقم‌های شیرودی، قائم و طارم (به ترتیب ۱۵، ۱۴ و ۱۳عدد پنجه در کپه) بود که نسبت به همین ارقام در تیمار ۸۰۰ قطعه اردک در هکتار به ترتیب به میزان ۳۵، ۳۳ و ۳۲ درصد کاهش معنی‌داری داشت. در بین ارقام مورد استفاده در تیمار ۴۰۰ قطعه اردک در هکتار تفاوت معنی‌داری از نظر تعداد پنجه (شیرودی ۱۹، قائم ۱۹ و طارم ۱۸ عدد پنجه در کپه) مشاهده نشد. این در حالی بود که تعداد پنجه در ارقام شیرودی، قائم و طارم در تیمار ۴۰۰ قطعه اردک در هکتار، نسبت به همین ارقام در تیمار شاهد به ترتیب به میزان ۲۲، ۲۷ و ۲۸ درصد افزایش معنی‌داری داشتند (جدول ۵). نتایج حاصل از شیب معادلات در تجزیه رگرسیونی بیانگر آن بود که رقم طارم در بین ارقام مورد استفاده با دارا بودن بالاترین میزان شیب خط ($y = 0.01321x + 11.458$) دارای بیشترین ($R^2=0.87$) و ضریب تبیین میزان رابطه خطی ($P\leq$۰/۰۱) بین تیمار تراکم اردک در واحد سطح و صفت تعداد پنجه در کپه بوده است و از همین نظر ارقام شیرودی و قائم در رده‌های بعدی قرار گرفتند (شکل ۱، B). وانگ و همکاران (۳۷) گزارش نمودند استفاده از اردک در شالیزار برنج، در تغذیه مستقیم و افزایش رشد رویشی برنج (افزایش تعداد پنجه) به دلیل کنترل مناسب آفات، بیماری‌ها و علف‌های هرز نقش بسیار مهمی دارد. چویی و همکاران (۴) ابراز داشتند افزایش مواد غذایی خاک، بهبود خصوصیات خاک زراعی و عوامل محیطی در کشت برنج–اردک باعث افزایش کاملاً معنی‌دار تعداد پنجه در گیاه برنج گردیده است. در همین راستا نتایج مشابهی توسط سایر محققان در رابطه با افزایش تعداد پنجه به دلیل کنترل مناسب آفات و علف‌های هرز در این مزارع گزارش گردیده است (۱۵، ۲۰ و۲۵).

طول ریشه

در این بررسی عامل تعداد اردک و برهمکنش آن با رقم برنج، اثر معنی‌داری ($P\leq$۰/۰۱) در میزان طول ریشه‌ی ارقام برنج داشتند (جدول ۴). کمترین میزان طول ریشه در تمامی ارقام، طارم (۲۵/۶۷ سانتی‌متر)، شیرودی (۲۹/۶۵ سانتی‌متر) و قائم (۲۷/۵۰ سانتی‌متر) در تیمار شاهد دیده شد. در این رابطه ویلینگ و همکاران (۳۶) تراکم بالای علف‌های هرز در تیمار شاهد به دلیل عدم حضور اردک و تداخل ریشه‌ی علف‌های هرز با ریشه‌ی گیاه برنج را دلیلی بر کاهش رشد طولی ریشه‌ی برنج دانستند. این در حالی است که بالاترین میزان طول ریشه به ترتیب در ارقام قائم (۴۰/۷۹ سانتی‌متر)، طارم (۳۸/۴۲ سانتی‌متر) و شیرودی (۳۳/۹۰ سانتی‌متر) مربوط به تیمار ۸۰۰ قطعه اردک در هکتار بوده است که نسبت به همین ارقام در تیمار شاهد به ترتیب به میزان ۳۳، ۳۵ و ۱۳ درصد، افزایش معنی‌دار طول ریشه را به خود اختصاص دادند. رابطه بین صفت طول ریشه با تیمار تراکم اردک در واحد سطح در تجزیه رگرسیونی بین ارقام برنج مورد بررسی در این آزمایش نشان داد که واکنش طول ریشه‌ی ارقام برنج نسبت به افزایش تراکم اردک یکسان نبوده است به‌طوری‌که در تراکم‌های مختلف اردک رقم طارم با بالاترین میزان شیب خط ($y = 0.0167x + 25.033$) و ضریب تبیین ($R^2=0.96$) در افزایش طول ریشه،دارای بالاترین میزان رابطه‌ی خطی ($P\leq$۰/۰۱) نسبت به ارقام دیگر در این آزمایش بود (شکل ۱، A). در همین زمینه گزارش‌های متعددی نشان از نقش بسیار مهم و مؤثر اردک در کنترل تراکم علف‌های هرز مزارع برنج به عنوان عامل بیولوژیک و افزایش طول ریشه ارقام برنج وجود دارد (۱۰، ۱۵ و ۴۷). علاوه بر این، بر اساس یافته‌های اخیر حضور اردک در شالیزارهای برنج با خروج گازهای نامساعد از خاک مزارع باعث تحریک و افزایش رشد طول ریشه ارقام برنج می‌شود (۹ و ۱۱). همچنین نتایج تحقیقات چویی و همکاران (۴) نشان داده است عدم استفاده از سموم شیمیایی در مزارع ارگانیک با بهبود معنی‌دار کیفیت خاک زراعی در گذر زمان، شرایط را برای رشد مطلوب ریشه مهیا می‌سازد.

تعداد برگ

نتایج تجزیه واریانس نشان دهنده‌ی تفاوت معنی‌دار بین رقم و تعداد اردک در سطح احتمال یک درصد از نظر صفت تعداد برگ در بوته بود (جدول ۴). بر اساس نتایج حاصل از میانگین اثرات ساده از میان رقم‌های مورد ارزیابی بالاترین میزان تعداد برگ متعلق به ارقام شیرودی و قائم (به ترتیب ۹۵ و ۹۱ قطعه برگ در بوته) بودند که نسبت به رقم طارم (۸۲ قطعه برگ در بوته) به ترتیب به میزان ۱۴ و ۱۰ درصد افزایش تعداد برگ در بوته ($P\leq$۰/۰۱) را به خود اختصاص دادند (شکل ۲، A). تعداد برگ در بوته با افزایش تراکم اردک در واحد سطح سیر افزایشی داشته و حداکثر تعداد برگ در بوته در تیمار ۸۰۰ قطعه اردک در هکتار (۹۰ قطعه برگ در بوته) حاصل شد که نسبت به تیمار شاهد (۷۰ قطعه برگ در بوته) و ۴۰۰ قطعه اردک در هکتار (۸۲ قطعه برگ در بوته) به ترتیب به میزان ۲۲ و ۹ درصد

افزایش معنی‌دار داشت (شکل ۲، B).

جدول ٤- تجزیه واریانس صفات فیزیولوژیک، مورفولوژیک و عملکرد شلتوک در تیمارهای تعداد اردک و رقم

منابع تغییر	درجه آزادی	عملکرد شلتوک	سطح برگ پرچم	عدد SPAD	کلروفیل a+b	کلروفیل b	کلروفیل a	تعداد برگ	طول ریشه	تعداد پنجه
		میانگین مربعات								
تکرار	۳	۲۰۷/۱۲	۱/۸۲	۱۲/۳۰	۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۰۲	۵۰/۶۹	۲/۸۳	۱/۸۰
تعداد اردک	۲	۱۸۶۳۴۸/۰۰**	۴/۱۸ ns	۱۲۵/۹۴**	۱۱/۲۳**	۱/۵۷**	۴/۴۹**	۱۸۹۷/۵۲**	۳۱۹/۳۱**	۱۷۹/۱۰**
خطای a	۶	۱۱۸۶/۰۰	۵/۲۲	۰/۲۰	۰/۰۱	۰/۰۴	۰/۰۱	۱۹۲/۷۵	۴/۱۷	۰/۳۰
رقم	۲	۴۳۵۷۴/۱۲**	۶/۵۷ ns	۱۰۱/۰۳**	۳/۸۰ ns	۱/۳۹ ns	۰/۶۵**	۹۹/۳۶**	۷/۹۷ ns	۹/۰۲**
تعداد اردک× رقم	۴	۸۴۹۵/۰۰**	۳/۳۳ ns	۹/۴۲**	۱/۸۶**	۰/۸۰**	۰/۴۹**	۵۴/۵۳ ns	۲۹/۷۷**	۵/۶۱**
خطای آزمایشی	۱۸	۱۰۴۶/۸۲	۴/۵۲	۰/۱۵	۰/۰۲	۰/۰۱	۰/۰۷	۳۴/۰۶	۴/۲۱	۰/۹۷
ضریب تغییرات	-	۹/۳۰	۷/۰۰	۱/۲۰	۳/۰۰	۵/۲۰	۳/۰۰	۶/۶۰	۶/۴۰	۵/۴۰

ns: غیر معنی‌دار

*و**- به ترتیب معنی‌دار در سطوح احتمال پنج و یک درصد

در پژوهشی نشان داده شده است که با بهبود شرایط محیطی و کاهش عوامل خسارت‌زا و نامساعد در تولید برنج تعداد برگ افزایش قابل توجهی می‌یابد (۴). در همین راستا بهبود شرایط محیطی و اکولوژیکی در تولید برنج به روش کشت توأم برنج–اردک در تراکم ۳۵۰ قطعه اردک در هکتار توسط محققان گزارش شده است (۱۰ و ۴۷). کنترل بسیار مناسب تراکم آفات، بیماری‌ها و علف‌های هرز در تراکم ۸۰۰ قطعه اردک در هکتار نسبت به سایر تیمارها در این آزمایش باعث افزایش معنی‌دار تعداد برگ در بوته‌ی ارقام برنج مورد بررسی در این آزمایش گردید. در همین زمینه نتیجه‌ی مشابهی در خصوص افزایش تعداد برگ بوته‌ی برنج به دلیل کنترل مناسب آفات، بیماری‌ها و علف‌های هرز در شالیزار در کشت توأم برنج–اردک گزارش شده است (۴۶).

صفات فیزیولوژیک

کلروفیل

بر اساس تجزیه واریانس داده‌ها، هر سه غلظت کلروفیل a، کلروفیل b و کلروفیل a+b تحت تأثیر تیمارهای تعداد اردک و برهمکنش آن با رقم قرار گرفتند و در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شدند. همچنین اثر رقم فقط در صفت کلروفیل a در سطح احتمال یک درصد تفاوت معنی‌دار داشته است (جدول ۴). بررسی اثر متقابل نشان داد بالاترین میزان غلظت کلروفیل a و b در تیمار ۸۰۰ قطعه اردک در هکتار به ترتیب مربوط به ارقام طارم و شیرودی بود. این در حالی بود که در بین ارقام مورد استفاده در تیمار ۸۰۰ قطعه اردک در هکتار تفاوت معنی‌داری در میزان غلظت کلروفیل a+b (شیرودی ۶/۲۲، قائم ۵/۷۷ و طارم ۶/۰۴میلی‌گرم بر میلی‌لیتر) مشاهده نشد. به جز رقم طارم، در سایر ارقام با افزایش تعداد اردک در واحد سطح غلظت کلروفیلb به طور معنی‌داری افزایش یافت (جدول ۵).

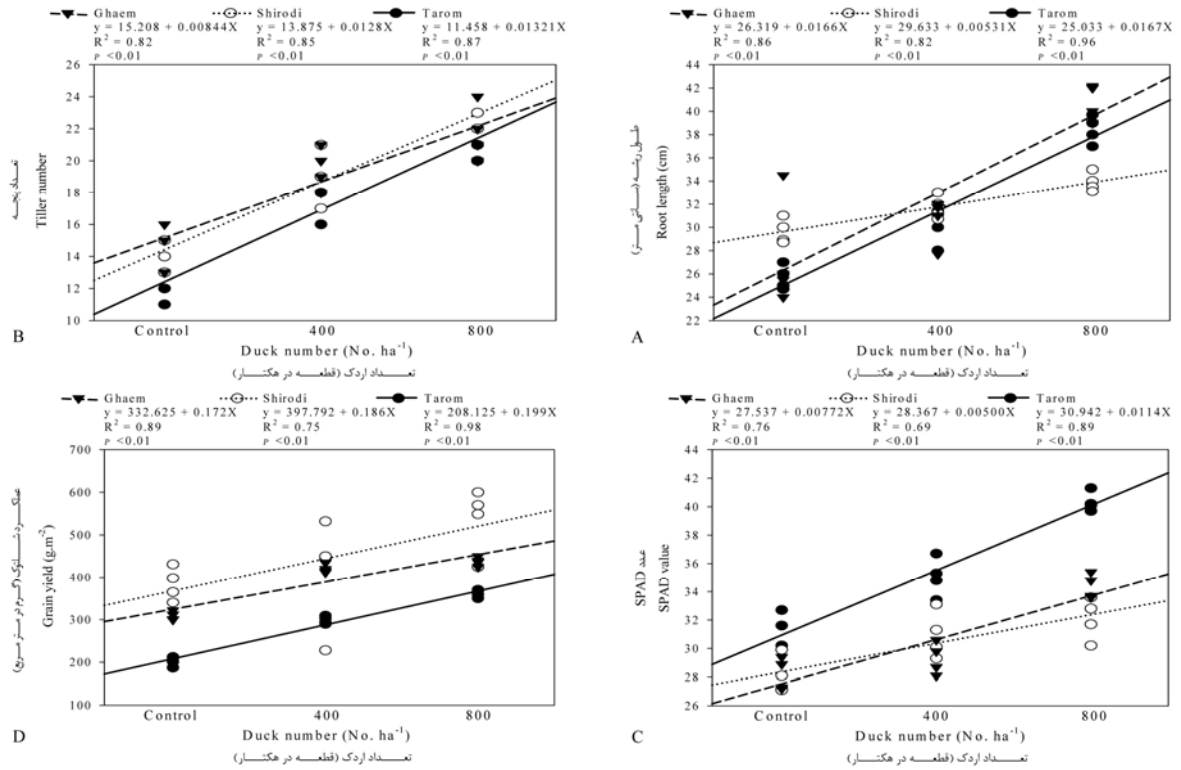
میزان غلظت کلروفیل a در تیمار ۸۰۰ قطعه اردک هکتار برای رقم طارم، شیرودی و قائم به ترتیب برابر با ۳/۵۳، ۳/۵۰ و ۳/۳۸ میلی‌گرم بر میلی‌لیتر به دست آمد که نسبت به تیمار ۴۰۰ قطعه اردک در هکتار به ترتیب به میزان ۱۲ درصد در رقم طارم (۳/۱۳ میلی‌گرم بر میلی‌لیتر)، ۱۶ درصد در رقم شیرودی (۲/۹۶ میلی‌گرم بر میلی‌لیتر) و ۸ درصد در رقم قائم (۳/۱۳ میلی‌گرم بر میلی‌لیتر) افزایش غلظت نشان دادند. لی و همکاران (۲۲) بیان نمودند که استفاده از اردک در شالیزار برنج باعث افزایش معنی‌دار میزان نیتروژن قابل دسترس برای گیاه برنج در خاک این مزارع نسبت به مزارع تک‌کشتی برنج می‌شود. در ارتباط با این موضوع نتایج قاسمی و همکاران (۹) نشان داد افزایش میزان نیتروژن در خاک مزارع رابطهٔ مستقیم با افزایش میزان غلظت کلروفیل a در برگ گیاهان زراعی دارد. در

ارتباط با این موضوع نتایج مشابهی نشان داده است که کاهش میزان نیتروژن در خاک باعث کاهش معنی‌دار کلروفیل a در برگ گیاهان زراعی می‌شود (۳). میزان غلظت کلروفیل b در تیمار ۸۰۰ قطعه اردک در هکتار در رقم شیرودی به میزان ۶۲ درصد نسبت به همین رقم در تیمار شاهد و به میزان ۶ درصد نسبت به رقم طارم در تیمار شاهد افزایش داشت.

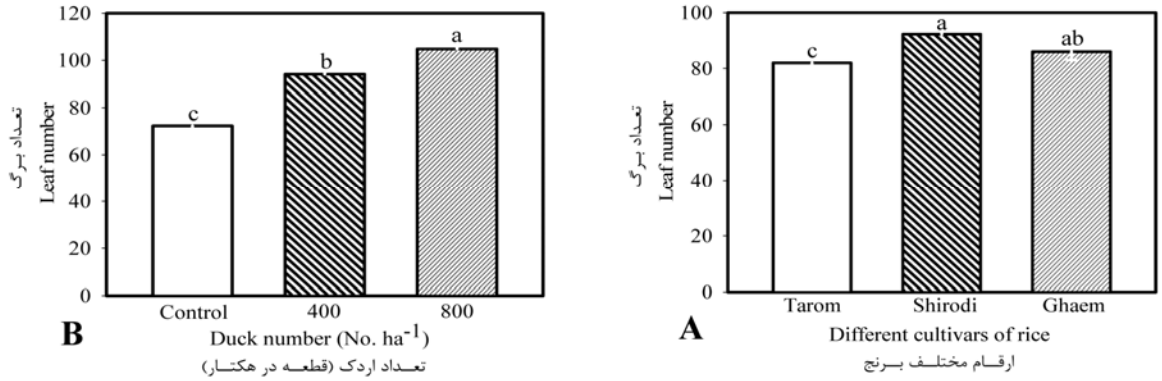
جدول ۵- مقایسه میانگین‌های صفات فیزیولوژیک، مورفولوژیک و عملکرد شلتوک برنج در برهمکنش تیمارهای تعداد اردک × رقم

تعداد اردک (هکتار)	رقم برنج	عملکرد شلتوک (گرم در متر مربع)	محتوای کلروفیل (عدد SPAD)	کلروفیل a+b	کلروفیل b	کلروفیل a	طول ریشه	تعداد پنجه
				(میلی‌گرم بر میلی‌لیتر)			سانتی‌متر	
۰	طارم	۲۲۲/۵۰e	۳۱/۱۷e	۵/۴۴b	۲/۵۸ab	۲/۸۶de	۲۵/۶۷ e	۱۴/۰۰d
	شیرودی	۲۲۴/۵۰e	۲۸/۰۷g	۳/۰۰e	۱/۰۴e	۱/۹۶f	۲۹/۶۵cd	۱۳/۵۰d
	قائم	۱۹۸/۵۰e	۲۸/۲۰g	۳/۶۱d	۱/۶۷d	۱/۹۴f	۲۷/۵۰de	۱۴/۷۵d
۴۰۰	طارم	۲۹۹/۰۰d	۳۲/۰۷d	۵/۵۹b	۲/۴۶b	۳/۱۳c	۳۰/۱۲cd	۱۸/۲۵c
	شیرودی	۴۶۴/۰۰b	۳۲/۹۵d	۵/۱۴c	۲/۱۸c	۲/۹۶ d	۳۱/۷۳bc	۱۹/۷۵c
	قائم	۴۲۰/۵۰b	۲۹/۳۰f	۵/۲۳c	۲/۴۴b	۲/۷۸e	۳۰/۶۰c	۱۹/۵۰c
۸۰۰	طارم	۳۶۱/۸۰c	۴۰/۳۲a	۶/۰۴a	۲/۵۱b	۳/۵۳a	۳۸/۴۲a	۱۹/۷۵c
	شیرودی	۵۳۶/۰۰a	۳۵/۰۵b	۶/۲۲a	۲/۷۲a	۳/۵۰ab	۳۳/۹۰b	۲۳/۷۵a
	قائم	۴۳۷/۸۰b	۳۴/۳۷c	۵/۷۷a	۲/۳۹b	۳/۳۸b	۴۰/۷۹a	۲۱/۵۰b

در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند، بر اساس آزمون LSDدر سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی‌داری ندارد.



شکل ۱- رابطه‌ی رگرسیونی بین صفات طول ریشه (A)، تعداد پنجه (B)، عدد SPAD(C)، عملکرد شلتوک (D) با تعداد اردک در سه رقم برنج



شکل ۲- اثر تراکم اردک (تعداد اردک در هکتار) و ارقام مختلف برنج (طارم، شیرودی و قائم) در تعداد برگ بوته (Aو B)

عدد SPAD

تعداد اردک، رقم برنج و برهمکنش آنها اثر معنی‌داری بر میزان عدد SPAD داشتند (جدول ۴). مقایسه میانگین صفات نشان داد تیمار ۸۰۰ قطعه اردک در هکتار دارای بالاترین میزان عدد SPAD نسبت به سایر تیمارها (شاهد و ۴۰۰ قطعه اردک در هکتار) بود. رقم طارم در تیمار ۸۰۰ قطعه اردک در هکتار با بالاترین میزان عدد SPAD (۴۰/۳۲) نسبت به همین رقم در تیمار شاهد (۳۱/۱۷) و تیمار ۴۰۰ قطعه اردک در هکتار (۳۲/۰۷) به ترتیب به میزان ۲۳ و ۲۱ درصد افزایش محتوای کلروفیل (SPAD) را به خود اختصاص دادند. میزان عدد SPAD در ارقام طارم، شیرودی و قائم (برابر با ۴۰/۳۲، ۳۵/۰۵ و ۳۴/۳۷) در تیمار ۸۰۰ قطعه اردک در هکتار نسبت به همین ارقام در تیمار شاهد به ترتیب به میزان ۲۳، ۲۰ و ۱۸ درصد افزایش داشت (جدول ۵). رابطه بین میزان صفت عدد SPAD با تیمار تراکم اردک در واحد سطح در بین ارقام برنج مورد بررسی در این آزمایش بر اساس نتایج تجزیه رگرسیونی نشان داد رقم طارم با بالاترین میزان شیب خط ($y = 30.942 + \underline{0.0114}x$) و ضریب تبیین ($R^2= 0.89$)، نسبت به افزایش تراکم اردک و افزایش محتوای کلروفیل (SPAD) دارای بالاترین میزان رابطه‌ی خطی ($P\leq$۰/۰۱) نسبت به ارقام دیگر بوده است و از همین نظر ارقام قائم و شیرودی به ترتیب در رده‌های بعدی قرار گرفتند (شکل ۱، C). مطالعات انجام شده در ارتباط با میزان عدد SPAD نشان داده است، افزایش یا کاهش میزان محتوای کلروفیل (SPAD) رابطه بسیار نزدیکی با افزایش یا کاهش میزان غلظت کلروفیل در برگ گیاه دارد؛ البته میزان این افزایش یا کاهش با توجه به منطقه، نوع گیاه زراعی، اقلیم منطقه و خصوصیات ژنتیکی بسیار متفاوت می‌باشد (۹، ۱۷، ۲۹ و ۳۴). همچنین با توجه به گزارش‌های انجام شده توسط لی و همکاران (۲۲) در ارتباط با افزایش معنی‌دار میزان نیتروژن قابل دسترس برای گیاه برنج در خاک مزارع کشت توأم برنج–اردک نسبت به خاک مزارع تک‌کشتی برنج و همچنین گزارش نتایج قاسمی و همکاران (۹) مرتبط با افزایش میزان نیتروژن در خاک و افزایش میزان غلظت کلروفیل در برگ گیاه زراعی، می‌توان به رابطه‌ی بسیار نزدیک بین میزان نیتروژن در خاک شالیزار و غلظت کلروفیل در برگ گیاه برنج دست یافت. در همین زمینه نیز نتایج آزمایشات جینون و همکاران (۱۷) در کشور ژاپن در ارتباط با میزان عدد SPAD گیاه برنج نشان داده است بین میزان غلظت کلروفیل a+b و عدد SPAD در برگ این گیاه رابطهٔ مستقیمی وجود دارد و با افزایش میزان غلظت کلروفیل a+b، میزان عدد SPAD نیز به طور معنی‌داری افزایش یافته است. در آزمایش حاضر نیز در تمامی موارد رابطه‌ی مستقیم بین افزایش میزان غلظت کلروفیل a+b و افزایش میزان عدد SPAD مشاهده گردید.

عملکرد شلتوک

نتایج تجزیه واریانس نشان دهنده‌ی تفاوت معنی‌دار بین رقم، تعداد اردک و برهمکنش آنها در سطح احتمال یک درصد از نظر صفت عملکرد شلتوک بود (جدول ۴). عملکرد شلتوک در تیمار ۸۰۰ تعداد اردک در هکتار به ترتیب در ارقام شیرودی (۵/۳ تن در هکتار)، قائم (۴/۳ تن در هکتار) و طارم (۳/۶ تن در هکتار) نسبت به همین ارقام در تیمار ۴۰۰ قطعه اردک در هکتار به ترتیب به میزان ۲۳، ۷ و ۲۰ درصد افزایش یافت و این میزان نسبت به تیمار شاهد به ترتیب حدود ۵۸، ۵۶ و ۴۴ درصد بود (جدول ۵). رابطه‌ی بین میزان صفت عملکرد شلتوک با تیمار تراکم اردک در واحد سطح در بین ارقام برنج مورد بررسی در این آزمایش بر اساس نتایج حاصل از تجزیه رگرسیونی نشان داد رقم طارم با بالاترین میزان ضریب تبیین (R^2=0.98) و شیب خط ($y = 208.125 + \underline{0.199}x$) دارای بالاترین میزان رابطه‌ی خطی ($P\leq$۰/۰۱) نسبت به افزایش تراکم اردک و افزایش عملکرد شلتوک در واحد سطح بوده است (شکل ۱، D). بنا به گزارش وانگ و همکاران (۳۷) استفاده از اردک به عنوان عامل بیولوژیک در شالیزارهای برنج به دلیل کنترل مناسب تراکم آفات و بیماری‌ها، نقش بسیار مهم و مؤثری در افزایش عملکرد شلتوک ارقام

برنج دارد. در همین راستا کنترل تراکم آفات، بیماری‌ها و علف‌های هرز در مزارع کشت توأم برنج-اردک در آزمایش‌های متعددی به اثبات رسیده است (۱۹، ۲۷ و ۴۶). نتایج مطالعه‌ای در بررسی میزان عملکرد شلتوک در کشت توأم برنج-اردک نشان داده است تراکم ۴۰۰ قطعه اردک در هکتار به دلیل کنترل مناسب عوامل نامساعد محیطی در رشد گیاه برنج و خروج گازهای نامساعد از خاک شالیزار به میزان ۲۰ تا ۳۰ درصد باعث افزایش عملکرد ارقام برنج می‌شود (۲۰). حضور علف‌های هرز در شالیزار برنج به دلیل رقابت با گیاه زراعی برای جذب نور، آب و مواد غذایی به عنوان مهمترین عامل در کاهش عملکرد شلتوک شناخته شده است (۹). بهبود شرایط محیطی برای رشد گیاه برنج در شالیزار با حضور اردک از طریق کاهش تراکم علف‌های هرز و در نتیجه افزایش قابل توجه عملکرد شلتوک در آزمایش‌های متعددی اثبات گردیده است (۳۸ و ۴۶). در این آزمایش نیز با توجه به شرایط محیطی و اقلیمی منطقهٔ مورد آزمایش، افزایش تراکم اردک تا تراکم ۸۰۰ قطعه اردک در هکتار نسبت به تراکم ۴۰۰ قطعه اردک در هکتارعوامل نامساعد محیطی (آفات، بیماری‌ها و علف‌های هرز) را بهتر کنترل نموده و باعث افزایش معنی‌دار عملکرد شلتوک در این تراکم اردک گردیده بود. در ارتباط با این موضوع با توجه به شرایط اقلیمی منطقه‌ی مورد آزمایش، نتایج مشابهی توسط سایر محققان گزارش شده است (۱۵، ۲۰، ۳۵، ۴۴، ۴۷ و ۴۸).

نتیجه‌گیری

انتخاب بهترین تراکم اردک در واحد سطح به عنوان یک عامل به‌زراعی تأثیرگزار بر میزان صفات مورفولوژیک و فیزیولوژیک مرتبط با عملکرد برنج در کشت توأم برنج-اردک شناخته شده است، به طوری که با تغییر این ویژگی‌ها بوسیلهٔ تراکم اردک در واحد سطح، عملکرد تولیدی در واحد سطح نیز تحت تأثیر قرار خواهد گرفت. در مجموع به نظر می‌رسد که افزایش تراکم اردک در واحد سطح تا تراکم ۸۰۰ قطعه اردک در هکتار به دلیل کنترل مناسب‌تر عوامل محیطی (آفات، بیماری‌ها، علف‌های هرز و خروج گازهای نامساعد از زمین زراعی) نسبت به تراکم ۴۰۰ قطعه اردک در هکتار منجر به افزایش رشد رویشی و عملکرد بیشتر در واحد سطح شده است. همچنین استفاده از رقم پابلند و بومی منطقه (رقم طارم) با قدرت رقابتی بالاتر با علف‌های هرز نسبت به ارقام پاکوتاه و اصلاح‌شده (ارقام قائم و شیرودی) در شرایط نامساعد محیطی شالیزار می‌تواند شرایط را برای کشاورزان در دستیابی به عملکرد اقتصادی بالاتر فراهم سازد.

قدردانی

بدینوسیله از مسئولان محترم پژوهشکده ژنتیک و زیست‌فناوری کشاورزی طبرستان به‌خاطر حمایت‌های مالی در انجام این پژوهش و از جناب آقای مهندس یاسر یعقوبیان به‌خاطر نظرات ارزنده و راهگشا در انجام این تحقیق، صمیمانه تشکر و قدردانی می‌شود.

منابع

1- Annicchiarico, P. and L. Pecetti. 2010. Forage and seed yield response of lucerne cultivars to chemically weeded and non-weeded managements and implications for germplasm choice in organic farming. European Journal of Agronomy 33: 74-80.
2- Anonymous. 2011. Evonik goldschmidt to increase prices for organics products in North America. Focus on Surfactants. 2011: 3-9.
3- Bondada, B. and J. Syvertsen. 2003. Leaf chlorophyll, net gas exchange and chloroplast ultrastructure in citrus leaves of different nitrogen status. Tree Physiology 23: 553-559.
4- Choi S. Y., B. W. Shin, D. H. Kim, S. J. Yoo, J. D. Soo, and G. S. Rhee. 1996. Rice growth and improvement of soil properties following rice-duck farming in a paddy field. Journal of Agricultural Science and Soil Fertilizers 38(1): 382-388.
5- Daley, L. S. 1986. Attenuance rank is a rapid non-extractive measure of in vivo anthocyanin color and chlorophyll content of leaves of Corylus. Scientia Horticulturae 28: 165-176.
6- Flohre A., M. Rudnick, G. Traser, T. Tscharntke, and T. Eggers. 2011. Does soil biota benefit from organic farming in complex vs. simple landscapes. Agriculture, Ecosystems and Environment 141: 210-214.
7- Gabriel, D. and G. Tscharntke. 2007. Insect pollinated plants benefit from organic farming. Agriculture, Ecosystems and Environment 118: 43-48.
8- Gan, D. X., H. Huang, and T. J. Jiang. 2005. Decrease in CH_4 emission and its mechanism in no-tillage rice-duck complex system. Rural Ecosystem and Environment 21(2): 1-6.
11- Ghasemi, M., K. Arzani, A. Yadollahi, S. Ghasemi, and S. S. Khorrami. 2011. Estimate of leaf chlorophyll and nitrogen content in Asian pear (*Pyrus serotina* rehd.) by CCM-200. Notulae Scientia Biologicae 3(1): 91-94.
10- Hossain, S. T., G. J. U. Ahmed, M. R. Islam, and A. A. Mahabub. 2002. Role of ducks in controlling weeds and

insects in integrated rice-duck farming. Bangladesh Journal of Environmental Science 6(2): 424-427.
11- Hossain, S. T., G. J. U. Ahmed, M. R. Islam, and A. A. Mahabub. 2004. A comparative study of rice-duck and conventional rice farming system in respect of yield and economic return. Bangladesh Journal of Progressive Science and Technology 2(1): 35-38.
12- Huang, Y., H. Wang, H. Huang, Z. W. Feng, Z. H. Yang, and Y. C. Luo. 2005. Characteristics of methane emission from wetland rice-duck complex ecosystem. Agriculture, Ecosystems and Environment 105: 181-193.
13- Huang, H., H. Wang, and Z. Y. Hu. 2003. Theory analysis and practice process of rice-duck farming ecological project. Crop Research 17(4): 189-191.
14- International Rice Research Institute (IRRI). 2002. Find out how the qualities of rice are evaluated and scored in this authoritative sourcebook. Standard Evaluation System for Rice. P.1-54.
15- Isobe, K., H. Asano, and Y. Tsuboki. 1998. Effects of cultivation methods on the emergence of weeds and the growth and yield of paddy rice, with special reference to using aigamo ducks. Japanese Journal of Crop Science 67(3): 297-301.
16- Jahan, M., A. Koocheki, M. Nassiri, and F. Dehghanipoor. 2006. The effects of different manure levels and two branch management methods on organic production of *Cucurbita pepo*.L. Journal of Iranian Field Crop Research 5(2):1-9.
17- Jinwen, L., Y. Jingping, F. Pinpin, S. Junlan, L. Dongsheng, G. Changshui, and C. Wenyue. 2009. Responses of rice leaf thickness, SPAD readings and chlorophyll a/b ratios to different nitrogen supply rates in paddy field. Field Crops Research 114: 426-432.
18- Jorgen, E., M. Askegaard, and A. Rasmussen. 2009. Winter cereal yields as affected by animal manure and green manure in organic arable farming. European Journal of Agronomy 30: 119-128.
19- Kang, Y. S., J. G. Kim, K. H. Park, Y. S. Kang, J. I. Kim, and J. H. Park. 1995. Influence of rice-duck farming system on yield and quality of rice. Korean Journal of Crop Science 40(4): 437- 443.
20- Kim, H. D., J. S. Park, K. H. Bang, Y. C. Cho, K. Y. Park, K. C. Kwon, and Y. D. Rhoe. 1994. Rice growth and yield response in a rice/duck farming system in paddy fields. Korean Journal of Crop Science 39(4): 339-347.
21- Koocheki, A., L. Tabrizi, and M. Nassiri Mahallati. 2002. Organic cultivation of *Plantago ovata* and *Plantago psyllium* in response to water stress. Journal of Iranian Field Crop Research 2(1):67-78.
22- Li, C. F., C. G. Cao, J. P. Wang, M. Zhan, W. L. Yuan, and A. Shahrear. 2008. Nitrogen losses from integrated rice-duck and rice-fish ecosystems in southern China. Journal of Plant and Soil 307: 207-217.
23- Liu, R. X., J. Kuang, Q. Gong, and X. L. Hou. 2003. Principal component regression analysis with SPSS. Comput. Computer Methods and Programs in Biomedicine 71: 141-147.
24- Lopes, A. R., C. Faria, A. P. Fernandez, C. T. Cepeda, C. M. Manaia, and O. C. Nunes. 2011. Comparative study of the microbial diversity of bulk paddy soil of two rice fields subjected to organic and conventional farming. Soil Biology and Biochemistry43:115−125.
25- Macfadyen, S., R. Gibson, L. Raso, D. Sint, M. Traugott, and M. Memmott. 2009. Parasitoid control of aphids in organic and conventional farming systems. Agriculture, Ecosystems and Environment 133: 14-18.
26- Mirhashemi, M., A. Koocheki, M. Parsa, and M. Nassiri Mahallati. 2005. Evaluation of growth indices of Ajowan and Fenugreek in pure culture and intercropping based on organic agriculture. Journal of Iranian Field Crop Research 2(2):689-694.
27- Mohammadi, M., H. Pirdashti, G. Aghajani, and S. Y. Mosavi. 2013. Evaluation of duck efficiency as a biocontrol agent on weeds density and diversity in rice-duck farming (*Oryza sativa* L.). Journal of Agroecology 4(4): 335-346.
28- Nemecek, T., D. Dubois, O. Huguenin Elie, and G. Gaillard. 2011. Life cycle assessment of Swiss farming systems: I. Integrated and organic farming. Agricultural Systems 104: 217-232.
29- Netto, A. T., E. Campostrini, J. G. D. Oliveira, R. Enrique, and R. Smith. 2005. Photosynthetic pigments, nitrogen, chlorophyll a fluorescence and SPAD-502 readings in coffee leaves. Scientia Horticulturae 104: 199-209.
30- Norozzadeh, Sh., M. H. Rashed Mohasel, M. Nassiri Mahallati, A. Koocheki, M. Abbas Pour. 2006. Evaluation of species, functional and structural diversity of weeds in wheat fields of Northern, Southern and Razavi Khorasan provinces. Journal of Iranian Field Crop Research 2(6):471-485.
31- Quan, G. M., J. E. Zhang, and Z. X. Huang. 2005. Review on the ecological effects of integrated rice-duck farming system. Chinese Agricultural Science Bulletin 21(5): 360-365.
32- Roh, K. A., M. K. Kim, B. G. Ko, G. Y. Kim, K. M. Shim, and D. B. Lee. 2005. Evaluation of the influence of the rice-duck farming system on regional environment at Hongsung area. The East and Southeast Asia Federation of Soil Science Society 16: 651-652.
33- SAS Institute Inc, 2002. The SAS System for Windows, Release 9.0. Statistical Analysis 810 Systems Institute, Cary. NC. USA.
34- Tracy, S., S. Hawkins, G. Greg, and S. Comer. 2009. Modeling the relationship between extractable chlorophyll and SPAD-502 readings for endangered plant species research. Journal for Nature Conservation 17: 123-127.
35- Tanveer Hossain, S., H. Sugimoto, G. J. Uddin Ahmed, and M. R. Islam. 2004. Effect of integrated rice-duck

farming on rice yield, farm productivity, and rice-provisioning ability of farmers. Asian Journal of Agriculture and Development 2(1): 79-86.
36- Wang, J. P., C. G. Cao, H. Jin, and F. H. Liu. 2006. Effects of rice-duck farming on aquatic community in rice fields. Science Agriculture Sinica 39(10): 2001-2008.
37- Wang, Q. S., P. S. Huang, and R. H. Zhen. 2004. Effect of rice-duck mutualism on nutrition ecology of paddy field and rice quality. Chinese Journal of Applied Ecology 25(4): 639–645.
38- Wang, H., H. Huang, Z. H. Yang, and X. L. Liao. 2003. Integrated benefits of rice-duck complex ecosystem. Rural Ecosystem and Environment 19: 23-26.
39- Wang, H., H. Huang, Z. H. Yang, and X. L. Liao. 2003. Studies on integrated benefits of wetland rice-duck complex ecosystem. Rural Ecosystem and Environment 3: 45-48.
40- Weiling, Y., C. Cougui, and W. Jinping. 2008. Economic valuation of gas regulation as a service by rice-duck-fish complex ecosystem. Ecological Economics 4: 266-272.
41- Xi, Y. G. and P. Qin. 2009. Emergy evaluation of organic rice-duck mutualism system. Ecology Engineering 35: 1677-1683.
42- Xie, L. Q., S. G. Chen, X. L. Liao, K. Luo, Z. X. Tong, and W. J. Chen. 2005. Ecological and economical effect of rice-duck complex system. Hunan Agriculture Science 4: 93-95.
43- Yang, Z. P., X. Y. Liu, H. Huang, D. Z. Liu, L. D. Hu, W. Su, and S. Q. Tan. 2004. A study on the influence of rice-duck intergrowth on spider, rice diseases, insect and weeds in rice-duck complex ecosystems. Acta Ecologica Sinica Journal 24: 2756-2760.
44- Yang, Z. H., H. Huang, and H. Wang. 2004. Paddy soil quality of a wetland rice-duck complex ecosystem. Chinese Journal of Soil Science 35(2): 117-121.
45- Yonghua, Z. and D. Guobin. 1998. Benefits analysis and comprehensive evaluation of rice-fish-duck symbiotic model. Journals China's Ecological Agriculture 6(1): 48-51. (In China with English Abstract).
46- Yu, S. M., Y. N. Ouyang, Q. Y. Zhang, G. Peng, D. H. Xu, and Q. Y. Jin. 2005. Effects of rice-duck farming system on *Oryza sativa* growth and its yield. Chinese Journal of Applied Ecology 16(7): 1252-1256.
47- Zhang, J. E., R. Xu, X. Chen, and G. Quan. 2009. Effects of duck activities on a weed community under a transplanted rice-duck farming system in southern China. Weed Biology and Management 9: 250-257.
48- Zhang, J. E., M. Y. Zhao, and J. Chen. 2005. Effects of integrated rice duck farming system on the growth of rice. Ecology Science 24(2): 117-119.
49- Zhang, J. E., J. X. Lu, G. H. Zhang, and S. M. Luo. 2002. Study on the function and benefit of rice-duck agro ecosystem. Ecology Science 21(1): 6-10.
50- Zhen, N. H., Q. S. Wang, X. K. Shen, W. J. Zhang, X. M. Bian, and P. S. Huang. 2004. Current status and technical prospect of rice-duck mutuality eco-farming in China. Rural Ecosystem and Environment 20(4): 64-67.
51- Zheng, Y. H., G. B. Deng, and G. M. Lu. 1997. A study on economic benefits of rice-fish-duck complex ecosystem. Chinese Journal of Applied Ecology 8(4): 431-434.