



گیاه پزشکی (مجله علمی کشاورزی)

جلد ۴۶، شماره ۳، پاییز ۱۴۰۲

doi 10.22055/ppr.2024.45073.1713

## واکنش القایی سه رقم گندم به شته سبز گندم، *Schizaphis graminum* (Rondani) در شرایط آزمایشگاهی (Hem.; Aphididae)

علی افشاری<sup>۱\*</sup>، مینا اسماعیلی<sup>۲</sup> و مهدی حسن پور<sup>۳</sup>

۱- \*نویسنده مسوول: دانشیار، گروه گیاه پزشکی، دانشکده تولید گیاهی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران (afshari@gau.ac.ir)

۲- دانشجوی دکتری، گروه گیاه پزشکی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

۳- استاد، گروه گیاه پزشکی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۱/۰۷

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۷/۲۸

### چکیده

در این پژوهش، واکنش القایی سه رقم گندم (کوهدشت، مروارید و آسمان) به شته سبز گندم، *Schizaphis graminum* (Rondani) بررسی شد. بذرهاي گندم در شرایط اتاقک رشد کشت شدند و پس از دوبرگی شدن بوته‌ها، ۵ عدد شته‌ی ماده بی‌بال یک‌روزه روی آنها مستقر و به مدت ۰، ۲، ۴، ۶ و ۸ روز به آن‌ها اجزای تغذیه داده شد. سپس، شته‌ها از روی بوته‌های گندم حذف، بوته‌ها به مدت ۴۸ ساعت عاری از شته نگه داشته شدند و پس از آن، با تشکیل جدول زندگی ویژه سنی روی بوته‌های هر تیمار آزمایشی، پارامترهای دموگرافیک شته محاسبه و مقایسه گردیدند. نتایج نشان داد که طول عمر، زادآوری و نرخ ذاتی رشد جمعیت شته ( $r_m$ ) روی بوته‌های رقم آسمان نسبت به دو رقم دیگر، کم‌تر بود. در هر سه رقم، با افزایش مدت‌زمان پیش‌آلودگی از صفر به ۸ روز، طول دوره‌ی نشوونما افزایش و زادآوری و نرخ ذاتی رشد جمعیت کاهش یافتند، به طوری که در ارقام آسمان، مروارید و کوهدشت، نرخ ذاتی رشد جمعیت ( $r_m$ ) به ترتیب از ۰/۲۴۵ به ۰/۱۸۷، از ۰/۳۴۸ به ۰/۲۷۵ و از ۰/۳۸۵ به ۰/۳۳۵ بر روز کاهش یافت. به طور کلی، رقم آسمان نسبت به ارقام مروارید و کوهدشت از مقاومت نسبی بالاتری به شته سبز گندم برخوردار بود و در هر سه رقم، پیش‌آلودگی به شته باعث تحریک مقاومت القایی در بوته‌ها و کاهش پتانسیل زیستی و دموگرافیک شته سبز گردید. نتایج این پژوهش می‌تواند در شناسایی منابع و مکانیسم‌های مقاومت و مدیریت تلفیقی شته سبز گندم مورد استفاده قرار گیرد.

کلیدواژه‌ها: پیش‌آلودگی، دموگرافی، مقاومت

دبیر تخصصی: دکتر آرش راسخ

Citation: Afshari, A., Esmaili, M. & Hassanpour, M. (2024). Induced response of three wheat varieties to greenbug, *Schizaphis graminum* (Rondani), under laboratory conditions. *Plant Protection (Scientific Journal of Agriculture)*, 46(3), 99-113. <https://doi.org/10.22055/ppr.2024.45073.1713>.

## مقدمه

گندم (*Triticum aestivum* L.) به عنوان یک منبع غذایی بسیار مهم در سطحی حدود ۲۰۰ میلیون هکتار در سراسر دنیا کشت می‌شود و حدود ۱۸ درصد از کالری و ۱۹ درصد از پروتئین مورد نیاز بشر را تامین می‌نماید (FAO, 2017). در حدود سی گونه شته از مزارع گندم دنیا گزارش شده‌اند که در میان آنها، شته‌ی سبز (معمولی) گندم، *Schizaphis graminum* (Rondai) یکی از مهم‌ترین و خسارت‌زاترین گونه‌ها در نقاط مختلف دنیا از جمله ایران محسوب می‌شود (Rezvani, 2002; Blackman & Eastop, 2006). این آفت با تغذیه‌ی مستقیم از شیره‌ی پرورده‌ی گیاه و وارد کردن بزاق سمی به داخل بافت‌ها و سلول‌های گیاه، باعث تخریب دیواره‌های سلولی و خشکیدن بخش‌های آسیب دیده می‌شود. بدشکل شدن برگ‌ها و کاهش رشد بوته‌ها، انتقال بیمارگرهای گیاهی (بویژه بیماری‌های ویروسی) و در نهایت، از بین رفتن تمام یا بخشی از عملکرد گیاه از دیگر پیامدهای آلودگی مزارع گندم به این شته گزارش شده است (Behdad, 1989; Blackman & Eastop, 2006, 2007).

یکی از روش‌های زیست‌سازگار برای کنترل آفات، ایجاد یا تحریک مقاومت القایی<sup>۱</sup> در گیاه میزبان است که از اوایل دهه‌ی ۱۹۷۰ میلادی مورد توجه حشره‌شناسان قرار گرفت (Van Emden 1969; Dicke & Hilker, 2003; Shoonhoven et al., 2005). یک گیاه زراعی معمولاً در معرض حمله‌ی گونه‌های متعددی از گیاه‌خواران قرار دارد و تولید ترکیبات دفاعی برای مقابله با تمام آنها مستلزم صرف هزینه و انرژی بسیار زیادی می‌باشد. بنابراین، در مقاومت القایی (به عنوان یک مکانیسم جایگزین و کم‌هزینه)، تولید ترکیبات دفاعی در گیاه میزبان به جای گونه‌ی گیاه‌خوار (آفت) بر نوع صدمه‌ی آن (آسیب‌های مکانیکی ناشی از تغذیه یا تخم‌گذاری) متکی می‌باشد. برای پی بردن به وقوع مقاومت القایی در گیاهان میزبان از دو معیار بیوشیمیایی و دموگرافیک پس از یک دوره‌ی معین پیش‌آلودگی<sup>۲</sup> استفاده می‌شود. در

روش بیوشیمیایی، غلظت متابولیت‌های ثانویه و ترکیبات دفاعی پس از یک دوره‌ی پیش‌آلودگی در گیاه میزبان اندازه‌گیری می‌شود، در حالی که در روش دموگرافیک، جدول زندگی ویژه سنی<sup>۳</sup> آفت پس از یک دوره‌ی معین پیش‌آلودگی روی گیاه میزبان ساخته شده و مقادیر پارامترهای دموگرافیک آن اندازه‌گیری و مقایسه می‌شوند (Nouri Ganbalani et al., 1995; Agrawal et al., 1999; Shoonhoven et al., 2005; Nouri Ganbalani et al., 2018). به دنبال تغذیه و بروز صدمات مکانیکی از سوی آفت و تحریک مقاومت القایی، برخی ترکیبات دفاعی مانند فنول‌ها، فلاونوئیدها، تانن‌ها، لیگنین‌ها، پروتئین‌های ضدتغذیه و مهارکننده‌های آنزیم در گیاه میزبان تولید می‌شوند. این متابولیت‌های ثانویه، با کاهش کیفیت غذایی گیاه میزبان، موجب کاهش تغذیه، تولیدمثل و پارامترهای دموگرافیک آفت می‌شوند (Dreyer & Jones, 1981; Leszczynski, 1985; Hedin & Waage, 1986; Brown et al., 1991; Underwood, 1999; Andre et al., 2009). به علاوه، ترکیبات دفاعی موثر در مقاومت القایی می‌توانند به شکل غیرمستقیم و از طریق جلب و افزایش جمعیت دشمنان طبیعی نیز به کاهش جمعیت آفات کمک نمایند (Kogan & Paxton, 1983; Giles et al., 2002; Shoonhoven et al., 2005).

بررسی تغییرات بیوشیمیایی و ژنتیکی ناشی از تغذیه‌ی شته‌ها در میزبان‌های مختلف نشان داده است که صدمه‌ی ناشی از تغذیه با راه‌اندازی مسیرهای چندگانه‌ی هشداردهی در گیاهان میزبان، باعث ترشح ترکیبات مختلفی نظیر اسیدجاسمونیک، اسید سالیسیک، اتیلن، اسید آسبزیک، اسید جیبرلیک و اُکسین و بروز مقاومت القایی در گیاهان میزبان می‌شود (Cooper & Goggin, 2005; Prado & Tjallingii, 2007; Smith & Boyko, 2017; Dixit et al., 2017; Moradi et al., 2021).

قرار گرفتن بوته‌های گوجه‌فرنگی در معرض صدمات ناشی از تغذیه‌ی شته‌ی *Macrosiphom euphorbiae* (Thomas) باعث بروز مقاومت القایی علیه نسل‌های بعدی

1- Age-specific life table

1- Induced resistance  
2- Pre-infestation

جمع‌بندی بررسی منابع نشان داد که تاکنون در زمینه‌ی مقاومت القایی ارقام مختلف گندم به شته‌ی سبز گندم، *S. graminum* گزارشی منتشر نشده است. بنابراین، این پژوهش با هدف بررسی امکان وقوع مقاومت القایی در سه رقم گندم (کوهدشت، مروارید و آسمان) پس از دوره‌های مختلف پیش‌آلودگی به این شته بر اساس تغییر مقادیر پارامترهای دموگرافیک انجام شد. نتایج این پژوهش می‌تواند وقوع یا عدم وقوع مقاومت القایی به شته‌ی سبز گندم و نیز مکانیسم عمل آن در این سه رقم گندم را تا حد زیادی روشن سازد و به مدیریت تلفیقی این آفت در مزارع گندم کمک نماید.

## مواد و روش‌ها

### زمان و مکان انجام پژوهش

این پژوهش طی سال‌های ۱۴۰۰ و ۱۴۰۱ در آزمایشگاه‌های کنترل بیولوژیک و تحقیقات حشره‌شناسی گروه گیاه پزشکی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان انجام شد.

### کاشت گندم و تکثیر شته‌ی سبز گندم

بذرهای رقم‌های گندم (آسمان، مروارید و کوهدشت) از کلکسیون بذر مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان گلستان تهیه و درون گلدان‌های پلاستیکی به قطر دهانه ۹ سانتی‌متر و ارتفاع ۱۲ سانتی‌متر و درون بستری از مخلوط خاک، ماسه و کود حیوانی به نسبت ۲:۱:۱ در گلخانه‌ی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان کاشته شدند. پس از رسیدن بوته‌های گندم به مرحله‌ی دو تا سه برگگی، نسبت به آلوده‌سازی آنها به شته‌ی سبز گندم (*S. graminum*) اقدام گردید.

جمعیت اولیه‌ی شته‌ی سبز گندم از مزارع گندم اطراف شهر گرگان جمع‌آوری و پس از شناسایی (Rezvani, 2002)، حشرات کامل آن به روی بوته‌های گندم منتقل و به آنها فرصت کافی برای تغذیه و تکثیر داده شد. با هدف حفظ کلنی شته، هر هفته تعدادی گلدان جدید گندم در اختیار جمعیت شته قرار داده می‌شد. تکثیر شته به مدت دو ماه در اتاقک رشد (دمای  $25 \pm 2$  درجه‌ی سلسیوس، رطوبت نسبی  $60 \pm 5$  درصد) و دوره‌ی نوری ۱۴ ساعت روشنایی به ۱۰ ساعت تاریکی) انجام گرفت و شته‌های تکثیر یافته به تدریج در آزمایش‌های اصلی مورد استفاده قرار گرفتند.

آنها شد (Kaloshian et al., 2000). آلودگی‌های قبلی بوته‌های یونجه به شته‌ی *Acrythosiphon kondoi* Shinji (Klingler et al., 2005)، بوته‌های پنبه و خیار به شته‌ی سبز پنبه، *Aphis gossypii* (Glover) (Wool & Hales, 1996; Nouri Ghanbalani & Haji Ramezani, 2017) و بوته‌های گندم به شته‌ی‌های *S. graminum* و *Sitobion avenae* (F.) (Gomes et al., 2018; Nouri Ghanbalani et al., 2005) باعث بروز مقاومت القایی به نسل‌های بعدی این شته‌ها و کاهش مقادیر پارامترهای زیستی و دموگرافیک (به‌ویژه نرخ ذاتی رشد جمعیت) آنها گردید.

پاشیدن ترکیب سیس‌جاسمون روی بوته‌های گندم ۲۴ ساعت پیش از آلوده‌سازی آنها به شته‌ی *S. avenae* باعث القای مقاومت در آنها و کاهش چشمگیر مقادیر پارامترهای دموگرافیک شته گردید. استفاده از این ترکیب به عنوان یک محرک مقاومت القایی در مزارع گندم به منظور کاهش جمعیت شته‌ها توصیه شده است (Bruce et al., 2003). تیمار کردن بذور و برگ‌های گندم با کودهای زیستی و عناصر ریزمغذی (مثل روی، آهن و سیلیسیم) نیز با القای مقاومت در بوته‌های گندم و افزایش غلظت برخی متابولیت‌های ثانویه، باعث افزایش مقاومت آنها در مقابل شته‌ی *S. avenae* گردید (Gomes et al., 2005; Pourya et al., 2020).

نتایج بررسی مقاومت القایی بوته‌های گندم به شته‌ی *S. avenae* نشان داد که تغذیه‌ی این شته از بوته‌های گندم باعث فعال شدن مکانیسم‌های دفاعی در گیاه و افزایش غلظت فنول‌ها و فلاونونوئیدها در برگ گردید. این ترکیبات با تاثیر بر نشوونما و جدول زندگی شته، موجب کاهش چشمگیر مقادیر پارامترهای زیستی و دموگرافیک شته شدند (Nouri, 2018; Ghanbalani et al., 2018).

نتایج بررسی تاثیر تغذیه‌ی شته *S. avenae* از بوته‌های گندم بر بروز مقاومت القایی نشان داد که تغذیه‌ی ۶ روزه شته از شیرهی گیاه (پیش‌آلودگی) باعث بروز نوعی مقاومت القایی در بوته‌های گندم گردید و نرخ ذاتی رشد جمعیت و شاخص رشد پوره‌ها در آلودگی‌های بعدی به میزان چشمگیری کاهش یافت (Moradi et al., 2021).

### بررسی واکنش القایی

به منظور بررسی واکنش القایی بوته‌های گندم به شته‌ی سبز گندم، از روش دموگرافیک (ساخت جدول زندگی ویژه سنی پس از مدت‌زمان‌های مختلف تغذیه) استفاده شد (Shoonhoven et al., 2005; Moradi et al., 2021). بدین منظور، ۳۰ عدد گلدان از هر کدام از ارقام مورد مطالعه (هر گلدان حاوی یک بوته‌ی گندم در مرحله‌ی دوبرگی) به درون اتاقک رشد منتقل و با استفاده از یک قلم‌موی ظریف، ۵ عدد شته‌ی بالغ بی‌بال یک‌روزه روی هر بوته گندم قرار داده شدند. به منظور جلوگیری از فرار احتمالی شته‌ها، یک عدد ظرف پلاستیکی شفاف با ابعاد مشابه گلدان اصلی که انتهای آن با پارچه توری ظریف پوشانده شده بود، به شکل وارونه روی گلدان حاوی بوته‌ی گندم آلوده به شته قرار گرفت. بسته به تیمار آزمایشی، به شته‌های منتقل شده روی هر بوته ۲، ۴، ۶ و ۸ روز اجازه‌ی تغذیه (پیش‌آلودگی) داده شد و در تیمار شاهد، بوته‌ها به شته آلوده نشدند. پس از سپری شدن مدت زمان در نظر گرفته شده برای تغذیه، تمام شته‌های موجود روی بوته‌ها (شته‌های مادر و نتاج حاصل از آنها) حذف و بوته‌های گندم به مدت ۴۸ ساعت عاری از شته نگهداری شدند. پس از این مدت‌زمان، با استفاده از یک قلم‌موی ظریف یک عدد شته‌ی بالغ بی‌بال روی هر کدام از بوته‌های گندم قرار گرفت و به آنها فرصت کافی برای تولیدمثل داده شد. پس از آغاز تولیدمثل، همه شته‌های مادر و پوره‌های اضافی حذف شدند و فقط به یک عدد پوره‌ی سن یک‌روزه اجازه داده شد تا روی بوته باقی بماند و به تغذیه و نشوونمای خود ادامه دهد. به عبارت دیگر، در هر رقم و مدت زمان پیش‌آلودگی، ۳۰ عدد پوره‌ی سن اول یک‌روزه به عنوان کوهورت (دسته‌ی همسن) برای تشکیل جدول زندگی ویژه سنی در نظر گرفته شد. سرنوشت پوره‌ی مستقر شده روی هر بوته به طور روزانه و تا زمان مرگ آخرین شته، پایش و تمام رخداد‌های حیاتی (شامل پوست‌اندازی یا مرگ) ثبت گردید. در مورد

پوره‌هایی که موفق به کامل کردن نشوونما و رسیدن به مرحله‌ی بلوغ شده بودند، تعداد پوره‌های به دنیا آمده نیز به طور روزانه ثبت گردید. پس از اتمام آزمایش، برای هر رقم گندم و مدت‌زمان تغذیه‌ی شته، یک جدول زندگی ویژه‌ی سنی - باروری<sup>۱</sup> ساخته شد و پارامترهای زیستی (طول دوره‌ی نشوونما و دوره‌های پیش‌تولیدمثلی و تولیدمثلی) و دموگرافیک شته شامل نرخ خالص تولیدمثلی ( $R_0$ )، نرخ ذاتی افزایش جمعیت ( $r_m$ )، نرخ متناهی افزایش جمعیت ( $\lambda$ )، مدت زمان دو برابر شدن جمعیت ( $DT$ ) و میانگین طول یک نسل ( $T$ ) با استفاده از فرمول‌های ارائه شده توسط Carey (1984), (1993), (2001) محاسبه شدند.

### تجزیه و تحلیل داده‌ها

به منظور بررسی تاثیر رقم گندم و مدت‌زمان پیش‌آلودگی بر پارامترهای نشوونمایی و تولیدمثلی شته‌ی سبز گندم (طول دوره‌ی نشوونمای پورگی طول عمر شته‌های ماده، طول دوره‌های پیش‌تولیدمثلی و تولیدمثلی و زادآوری شته‌های ماده)، داده‌های به دست آمده به شکل فاکتوریل در قالب یک طرح کاملاً تصادفی (عامل رقم در سه سطح و عامل مدت‌زمان پیش‌آلودگی در پنج سطح و در مجموع، ۱۵ ترکیب تیماری) تجزیه‌ی واریانس و با استفاده از آزمون توکی مقایسه میانگین شدند (SAS, 2003).

برای محاسبه‌ی پارامترهای دموگرافیک از روش جدول زندگی دوجنسی و برای مقایسه‌ی آنها روی ارقام و مدت‌زمان‌های مختلف پیش‌آلودگی از نرم‌افزار TWSEX-MSChart استفاده شد (Chi, 2016; Chi & Su, 2016). به منظور تکراردار کردن پارامترهای دموگرافیک از روش بوت‌استرپ صدهزار عددی استفاده گردید و اختلاف بین میانگین‌ها با آزمون Paired bootstrap مورد مقایسه قرار گرفتند. مشاهده هر نوع کاهش معنی‌دار در مقادیر پارامترهای زیستی و دموگرافیک شته‌ی سبز گندم بویژه نرخ ذاتی افزایش جمعیت ( $r_m$ ) روی بوته‌های گندم، به منزله‌ی القای مقاومت تلقی شد.

## نتایج

تاثیر واکنش القایی ارقام مختلف گندم بر پارامترهای زیستی و دموگرافیک شتهی *S. graminum* طول دوره‌ی نشوونمای پورگی

نتایج تجزیه‌ی واریانس نشان داد که هر دو عامل رقم و مدت‌زمان پیش‌آلودگی (عامل محرک واکنش القایی) بر طول دوره‌ی نشوونمای پورگی در سطح احتمال یک درصد تاثیر معنی‌دار داشتند، اما اثر متقابل رقم  $\times$  طول دوره‌ی پیش‌آلودگی بر این پارامتر، معنی‌دار نبود (جدول ۱).

در هر سه رقم آسمان، مروارید و کوه‌دشت با افزایش طول دوره‌ی پیش‌آلودگی از صفر روز به ۸ روز، دوره‌ی نشوونمای پورگی به طور معنی‌داری طولانی‌تر شد و به ترتیب از ۶/۶۱ به ۷/۱۱ روز، ۵/۸۱ به ۶/۳۳ روز و ۵/۹۹ به ۶/۷۱ روز رسید. در هر سه رقم مورد مطالعه، پیش‌آلودگی‌های صفر، دو و چهار روزه از نظر تاثیر بر طول دوره‌ی نشوونمای پورگی تفاوت معنی‌داری با یکدیگر نداشتند و تغییر معنی‌دار این پارامتر نسبت به شاهد در پیش‌آلودگی‌های شش روز و هشت روز رخ داد. در شرایط بدون پیش‌آلودگی (شاهد)، میانگین طول دوره‌ی نشوونمای پورگی شته سبز گندم روی بوته‌های رقم آسمان (۶/۶۱ روز) نسبت به ارقام مروارید (۵/۸۱ روز) و کوه‌دشت (۵/۹۹ روز)، به طور معنی‌داری بزرگ‌تر بود، اما بین ارقام مروارید و کوه‌دشت از این نظر، تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. در سایر مدت‌زمان‌های پیش‌آلودگی نیز بین ارقام مختلف از نظر طول دوره‌ی نشوونمای پورگی، اختلاف معنی‌دار مشاهده گردید: در پیش‌آلودگی ۸ روزه، میانگین طول دوره‌ی نشوونمای پورگی روی رقم آسمان (۷/۱۱ روز) نسبت به رقم مروارید (۶/۳۳ روز) به طور معنی‌داری بزرگ‌تر بود، اما با رقم کوه‌دشت (۶/۷۱ روز) اختلاف معنی‌داری نداشت.

در مجموع و در بین ۱۵ ترکیب تیماری (رقم  $\times$  مدت‌زمان پیش‌آلودگی)، کوتاه‌ترین طول دوره‌ی نشوونمای پورگی (۵/۸۱ روز) به ترکیب تیماری مروارید  $\times$  بدون پیش‌آلودگی و طولانی‌ترین دوره‌ی نشوونمای پورگی (۷/۱۳ روز) به ترکیب تیماری آسمان  $\times$  شش روز پیش‌آلودگی اختصاص داشت (جدول ۲).

## طول عمر شته‌های ماده

نتایج تجزیه‌ی واریانس نشان داد که هر دو عامل رقم و مدت‌زمان پیش‌آلودگی (عامل محرک واکنش القایی) بر طول عمر شته‌های ماده در سطح احتمال یک درصد تاثیر معنی‌دار داشتند، اما اثر متقابل رقم  $\times$  طول دوره‌ی پیش‌آلودگی بر این پارامتر، معنی‌دار نبود (جدول ۱).

در تمام مدت‌زمان‌های پیش‌آلودگی، میانگین طول عمر شته‌های ماده در رقم کوه‌دشت نسبت به دو رقم دیگر به طور معنی‌داری بزرگ‌تر بود و ارقام آسمان و مروارید از این نظر، اختلاف معنی‌داری با یکدیگر نداشتند. در شرایط بدون پیش‌آلودگی (شاهد)، میانگین طول عمر شته‌های ماده روی بوته‌های رقم آسمان (۱۳/۶۷ روز) نسبت به رقم کوه‌دشت (۲۵/۲۷ روز) به طور معنی‌داری کوتاه‌تر بود، اما بین ارقام آسمان و مروارید (۱۶/۱۱ روز) از این نظر، اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. در پیش‌آلودگی ۸ روزه، میانگین طول عمر شته‌های ماده روی رقم آسمان (۱۱/۶۱ روز) نسبت به رقم کوه‌دشت (۲۲/۷۹ روز) به طور معنی‌داری کوتاه‌تر بود، اما با رقم مروارید (۱۳/۵۷ روز) اختلاف معنی‌داری نداشت. با افزایش طول دوره‌ی پیش‌آلودگی از صفر به ۸ روز در هر سه رقم آسمان، مروارید و کوه‌دشت، در طول عمر شته‌های ماده تغییر معنی‌داری مشاهده نشد و طول عمر شته‌ی ماده روی این سه رقم به ترتیب در محدوده‌ی ۱۱/۶۱-۱۳/۶۷، ۱۳/۵۷-۱۶/۱۱ و ۲۵/۲۷-۲۲/۷۹ روز نوسان داشت (جدول ۳).

در میان ۱۵ ترکیب تیماری مورد مطالعه (رقم  $\times$  مدت‌زمان پیش‌آلودگی)، کوتاه‌ترین طول عمر شته‌ی ماده (۱۱/۶۱ روز) به ترکیب تیماری آسمان  $\times$  هشت روز پیش‌آلودگی و بیش‌ترین طول عمر شته‌های ماده (۲۵/۲۷ روز) به ترکیب تیماری کوه‌دشت  $\times$  بدون پیش‌آلودگی اختصاص داشت (جدول ۳).

## طول دوره‌ی پیش‌تولیدمثلی و تولیدمثلی

نتایج تجزیه‌ی واریانس نشان داد که هر دو عامل رقم و مدت‌زمان پیش‌آلودگی بر طول دوره‌های پیش‌تولیدمثلی و تولیدمثلی شته‌ی سبز گندم در سطح احتمال یک درصد تاثیر معنی‌دار داشتند، اما اثر متقابل رقم  $\times$  طول دوره‌ی پیش‌آلودگی بر این دو پارامتر، معنی‌دار نبود (جدول ۱).

جدول ۱- نتایج آنالیز واریانس دوطرفه به منظور تعیین اثرات رقم گندم و طول دوره‌ی پیش آلودگی بر برخی پارامترهای زیستی شته سبز گندم، *S. graminum*

**Table 1. Results of two-way ANOVA to determine the effects of wheat variety and pre-infestation period on some biological parameters of *S. graminum***

Source of variation	Nymphal developmental time (day)			Pre-reproductive period (day)			Reproductive period (day)			Adult longevity (day)			Fecundity (females/female/generation)		
	df	F	p	df	F	P	df	F	p	df	F	p	df	F	p
Wheat variety	2	60.47	<0.0001	2	82.52	<0.0001	2	161.8	<0.0001	2	139.34	<0.0001	2	571.2	<0.0001
Pre-infestation duration	4	13.03	<0.0001	4	14.01	<0.0001	4	4.25	0.002	4	2.52	0.0404	4	14.28	<0.0001
Variety × Duration	8	0.32	0.956	8	0.29	0.971	8	0.02	0.987	8	0.02	0.998	8	0.89	0.528
Model	14	12.55	<0.0001	14	15.95	<0.0001	14	24.35	<0.0001	14	20.64	<0.0001	14	86.2	<0.0001

جدول ۲- میانگین (± خطای معیار) طول دوره‌ی نشوونمای پورگی شته *S. graminum* روی ارقام مختلف گندم و پس از چند مدت زمان پیش آلودگی

**Table 2. Means (±SE) of nymph developmental time (day) of greenbug, *S. graminum* on different wheat varieties after several pre-infestation durations**

Pre-infestation duration (day)	Wheat varieties		
	Aseman	Morvarid	Kohdasht
0 (control)	6.61±0.12 b A	5.81±0.13 c B	5.99±0.12 c B
2	6.93±0.11 a A	5.97±0.11 c B	6.37±0.13 bc B
4	7.03±0.11 a A	6.11±0.12 bc B	6.47±0.12 ab A
6	7.13±0.12 a A	6.41±0.09 a B	6.77±0.14 a A
8	7.11±0.12 a A	6.33±0.09 ab B	6.71±0.14 ab A
<i>df</i> =14, <i>F</i> =12.55, <i>P</i> <0.0001			

\*Means within a column followed by same lowercase letter are not significantly different ( $P < 0.05$ , Tukey's HSD test)

\*Means within a row followed by same capital letter are not significantly different ( $P < 0.05$ , Tukey's HSD test)

کوهدشت × بدون پیش آلودگی مشاهده شدند (جدول ۵).

### زادآوری شته‌های ماده

نتایج تجزیه‌ی واریانس نشان داد که هر دو عامل رقم و مدت‌زمان پیش آلودگی، بر زادآوری شته‌های ماده در سطح احتمال یک درصد تاثیر معنی‌دار داشتند، اما اثر متقابل رقم × طول دوره‌ی پیش آلودگی بر این پارامتر، معنی‌دار نبود (جدول ۱).

در تمام دوره‌های پیش آلودگی، بیش‌ترین زادآوری شته‌های ماده روی بوته‌های رقم کوهدشت و کم‌ترین میزان زادآوری روی بوته‌های رقم آسمان مشاهده شد. همچنین، در هر سه رقم با افزایش مدت‌زمان پیش آلودگی، زادآوری شته‌های ماده به طور معنی‌داری کاهش یافتند. در رقم آسمان، با افزایش طول دوره‌ی پیش آلودگی از صفر به ۸ روز، زادآوری شته‌های ماده به طور معنی‌داری از ۲۵/۲۷ به ۱۵/۷۳ پوره/شته‌ی ماده کاهش یافت. در همین محدوده‌ی پیش آلودگی، زادآوری شته‌های ماده روی رقم مروارید از ۶۵/۲۶ به ۲۵/۷۳ پوره/شته ماده و روی رقم کوهدشت از ۸۲/۴۶ به ۶۶/۰۴ پوره/شته‌ی ماده کاهش یافت.

در تمام مدت‌زمان‌های پیش آلودگی (صفر تا ۸ روز)، دوره‌ی پیش تولیدمثلی شته روی بوته‌های رقم آسمان نسبت به دو رقم دیگر، طولانی‌تر بود اما بین رقم‌های مروارید و کوهدشت از این نظر، اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۴). در مقابل، طول دوره‌ی تولیدمثلی شته‌های ماده روی بوته‌های رقم آسمان نسبت به رقم کوهدشت به طور معنی‌داری کوتاه‌تر بود، اما با رقم مروارید اختلاف معنی‌داری نداشت (جدول ۵). با افزایش طول دوره‌ی پیش آلودگی در هر سه رقم آسمان، مروارید و کوهدشت، دوره‌ی پیش تولیدمثلی شته طولانی‌تر شد و به ترتیب از ۱/۴۷ به ۱/۹۳ روز، از ۰/۹۱ به ۱/۴۱ روز و از ۰/۵۳۵ به ۱/۱۱ روز رسید. در میان تمام ترکیب‌های تیماری مورد بررسی، کوتاه‌ترین (۰/۵۳۵ روز) و بلندترین (۱/۹۳ روز) دوره‌ی پیش تولیدمثلی به ترتیب به ترکیب‌های تیماری کوهدشت × بدون پیش آلودگی و آسمان × پیش آلودگی هشت روز تعلق داشتند (جدول ۴). در همین حال، کوتاه‌ترین (۸/۰۷ روز) و بلندترین (۲۳/۷۷ روز) دوره‌ی تولیدمثلی شته به ترتیب در ترکیب‌های تیماری آسمان × شش روز پیش آلودگی و

جدول ۳- میانگین (± خطای معیار) طول عمر شته‌های ماده‌ی *S. graminum* روی ارقام مختلف گندم و پس از چند مدت‌زمان پیش آلودگی  
Table 3. Means (±SE) of female longevity (day) of greenbug, *S. graminum* on different wheat varieties after several pre-infestation durations

Pre-infestation duration (day)	Wheat varieties		
	Aseman	Morvarid	Kohdasht
0 (control)	13.67±1.37 a B	16.11±1.41 a B	25.27±0.51 a A
2	12.89±1.27 a B	14.71±1.37 a B	24.43±0.48 ab A
4	12.20±1.26 a B	14.37±1.42 a B	23.61±0.49 bc A
6	11.27±1.22 a B	13.37±1.41 a B	22.61±0.48 c A
8	11.61±1.31 a B	13.57±1.41 a B	22.79±0.48 c A
<i>df</i> =14, <i>F</i> =20.64, <i>P</i> <0.0001			

\*Means within a column followed by same lowercase letter are not significantly different (*P*<0.05, Tukey's HSD test)

\*Means within a row followed by same capital letter are not significantly different (*P*<0.05, Tukey's HSD test)

جدول ۴- میانگین (± خطای معیار) طول دوره‌ی پیش تولیدمثلی شته‌های ماده‌ی *S. graminum* روی ارقام مختلف گندم و پس از چند مدت‌زمان پیش آلودگی

Table 4. Means (±SE) of prereproductive period (day) of female greenbug, *S. graminum* on different wheat varieties after several pre-infestation durations

Pre-infestation duration (day)	Wheat varieties		
	Aseman	Morvarid	Kohdasht
0 (control)	1.47±0.11 c A	0.91±0.15 c B	0.535±0.11 c C
2	1.70±0.09 b A	1.17±0.15 c B	0.767±0.11 bc C
4	1.90±0.07 a A	1.30±0.14 ab B	0.899±0.13 ab C
6	1.93±0.001 a A	1.57±0.11 a A	1.20±0.11 a B
8	1.93±0.004 a A	1.41±0.12 ab B	1.11±0.09 a C
<i>df</i> =14, <i>F</i> =15.95, <i>P</i> <0.0001			

\*Means within a column followed by same lowercase letter are not significantly different (*P*<0.05, Tukey's HSD test)

\*Means within a row followed by same capital letter are not significantly different (*P*<0.05, Tukey's HSD test)

بسته به رقم گندم، بروز تغییر معنی دار در زادآوری شته در مدت زمان های مختلف پیش آلودگی رخ داد: در ارقام آسمان، مروارید و کوهدشت تغییر معنی دار زادآوری شته نسبت به شاهد به ترتیب در پیش آلودگی های چهار روز، دو روز و شش روز ایجاد شد. در میان ۱۵ ترکیب های تیماری مورد بررسی، کمترین (۱۳/۰۶ پوره/شته ی ماده) و بیشترین (۸۲/۴۶ پوره/شته ی ماده) زادآوری به ترتیب به ترکیب های تیماری آسمان×شش روز پیش آلودگی و کوهدشت× بدون پیش آلودگی تعلق داشتند (جدول ۶).

### پارامترهای دموگرافیک

نتایج آزمون بوت استرپ نشان داد که هر دو عامل رقم و مدت زمان پیش آلودگی در سطح احتمال پنج درصد بر نرخ خالص زادآوری ( $NRR=R_0$ )، میانگین طول یک نسل ( $T$ ) و نرخ ذاتی رشد جمعیت ( $r_m$ ) شته تاثیر معنی داری داشتند (جدول های ۷-۹). در تمام مدت زمان های

پیش آلودگی، نرخ خالص زادآوری (نرخ خالص جایگزینی) شته روی بوته های رقم کوهدشت از بیشترین مقدار و روی رقم آسمان از کمترین مقدار برخوردار بود. در شرایط بدون پیش آلودگی، نرخ خالص زادآوری شته روی بوته های رقم کوهدشت (۷۳/۷۱ پوره/ماده/نسل) نسبت به ارقام مروارید (۴۰/۶۴ پوره/ماده/نسل) و آسمان (۱۷/۳۵ پوره/ماده/نسل) به طور معنی داری بیش تر بود. در پیش آلودگی هشت روزه نیز زادآوری شته روی ارقام آسمان، مروارید و کوهدشت اختلاف معنی داری داشتند و به ترتیب ۱۰/۴۶، ۲۵/۹۸ و ۶۰/۳۵ پوره/ماده/نسل) اندازه گیری شد. با افزایش طول دوره ی پیش آلودگی از صفر روز به هشت روز در ارقام آسمان، مروارید و کوهدشت، نرخ خالص زادآوری به طور معنی داری کاهش یافت و به ترتیب از ۱۷/۳۵ به ۱۰/۴۶، از ۴۰/۶۴ به ۲۵/۹۸ و از ۷۳/۷۱ به ۶۰/۳۵ پوره/ماده/نسل رسید (جدول ۷).

جدول ۵- میانگین ( $\pm$  خطای معیار) طول دوره ی تولیدمثل شته های ماده ی *S. graminum* روی ارقام مختلف گندم و پس از چند مدت زمان پیش آلودگی

Table 5. Means ( $\pm$ SE) of reproduction period (day) of female greenbug, *S. graminum* on different wheat varieties after several pre-infestation durations

Pre-infestation duration (day)	Wheat varieties		
	Aseman	Morvarid	Kohdasht
0 (control)	11.33 $\pm$ 1.01 a B	14.21 $\pm$ 1.18 a B	23.77 $\pm$ 0.48 a A
2	10.21 $\pm$ 0.83 ab B	12.61 $\pm$ 1.11 ab B	22.67 $\pm$ 0.46 b A
4	9.31 $\pm$ 0.81 ab B	12.07 $\pm$ 1.18 b B	21.71 $\pm$ 0.47 bc A
6	8.07 $\pm$ 0.81 b B	10.83 $\pm$ 0.94 c B	20.41 $\pm$ 0.44 c A
8	8.67 $\pm$ 0.98 ab B	10.77 $\pm$ 1.13 c B	20.71 $\pm$ 0.43 c A
$df=14, F=24.35, P<0.0001$			

\*Means within a column followed by same lowercase letter are not significantly different ( $P<0.05$ , Tukey's HSD test)

\*Means within a row followed by same capital letter are not significantly different ( $P<0.05$ , Tukey's HSD test)

جدول ۶- میانگین ( $\pm$  خطای معیار) زادآوری شته های ماده ی (پوره/ شته ی ماده) *S. graminum* روی ارقام مختلف گندم و پس از چند مدت زمان پیش آلودگی

Table 6. Means ( $\pm$ SE) of fecundity (Nymph/female) of female greenbug, *S. graminum* on different wheat varieties after several pre-infestation durations

Pre-infestation duration (day)	Wheat varieties		
	Aseman	Morvarid	Kohdasht
0 (control)	25.27 $\pm$ 2.74 a C	65.26 $\pm$ 6.32 a B	82.46 $\pm$ 5.61 a A
2	18.76 $\pm$ 1.83 ab C	50.51 $\pm$ 4.65 ab B	75.17 $\pm$ 5.08 b A
4	16.26 $\pm$ 1.74 ab C	40.76 $\pm$ 2.68 b B	70.66 $\pm$ 4.89 bc A
6	13.06 $\pm$ 1.54 b C	28.91 $\pm$ 3.63 c B	65.72 $\pm$ 4.09 c A
8	15.73 $\pm$ 1.79 b C	25.73 $\pm$ 2.66 c B	66.04 $\pm$ 3.94 c A
$Df=14, F=86.19, P<0.0001$			

\*Means within a column followed by same lowercase letter are not significantly different ( $P<0.05$ , Tukey's HSD test)

\*Means within a row followed by same capital letter are not significantly different ( $P<0.05$ , Tukey's HSD test)



روز، ۴ روز و ۲ روز رخ داد (جدول ۸).  
بر اساس نتایج آزمون بوت استرپ، نرخ ذاتی رشد جمعیت شته ( $r_m$ ) در مدت زمان‌های مختلف پیش آلودگی در رقم آسمان نسبت به دو رقم دیگر به طور معنی داری کم تر بود. در شرایط بدون پیش آلودگی، نرخ ذاتی رشد جمعیت شته روی ارقام آسمان، مروارید و کوهدهشت به ترتیب ۰/۲۴۵، ۰/۳۴۸ و ۰/۳۸۵ بر روز اندازه گیری شد. در هر سه رقم، با افزایش مدت زمان پیش آلودگی از صفر به هشت روز، نرخ ذاتی رشد جمعیت به طور معنی داری کاهش یافت و از ۰/۲۴۵ به ۰/۱۸۷ بر روز در رقم آسمان، از ۰/۳۴۸ به ۰/۲۷۵ بر روز در رقم مروارید و از ۰/۳۸۵ به ۰/۳۳۵ بر روز در رقم کوهدهشت رسید. در هر سه رقم مورد بررسی، آغاز کاهش معنی دار نرخ ذاتی رشد جمعیت نسبت به شاهد در مدت زمان پیش آلودگی دوازده رخ داد (جدول ۹).

میانگین طول یک نسل شته ( $T$ ) در تمام دوره‌های پیش آلودگی در رقم آسمان بزرگ تر از دو رقم مروارید و کوهدهشت بود. در شرایط بدون پیش آلودگی، میانگین طول یک نسل شته روی رقم آسمان ۱۱/۵۹ روز بود که نسبت به دو رقم مروارید (۱۰/۶۵ روز) و کوهدهشت (۱۱/۱۷ روز) به طور معنی داری بزرگ تر بود. در هر سه رقم، با افزایش طول دوره‌ی پیش آلودگی از صفر به هشت روز، میانگین طول یک نسل به طور معنی داری افزایش یافت و در رقم آسمان از ۱۱/۵۹ به ۱۲/۴۷ روز، در رقم مروارید از ۱۰/۶۵ به ۱۱/۸۱ روز و در رقم کوهدهشت از ۱۱/۱۷ به ۱۲/۲۴ روز رسید. آغاز کاهش معنی دار میانگین طول یک نسل بر حسب رقم در مدت زمان‌های مختلف پیش آلودگی رخ داد. در ارقام آسمان، مروارید و کوهدهشت تغییر معنی دار میانگین طول یک نسل نسبت به شاهد به ترتیب در پیش آلودگی‌های ۶

جدول ۷- میانگین ( $\pm$  خطای معیار) نرخ خالص زادآوری ( $NRR=R_0$ ) (پوره/ماده/نسل) شته‌ی *S. graminum* روی ارقام مختلف گندم و پس از چند مدت زمان پیش آلودگی

Table 7. Means ( $\pm$ SE) of net reproductive rate (Nymph/female/generation) of greenbug, *S. graminum* on different wheat varieties after several pre-infestation durations

Pre-infestation duration (day)	Wheat varieties		
	Aseman	Morvarid	Kohdasht
0 (control)	17.35 $\pm$ 2.33 a C	40.64 $\pm$ 4.18 a B	73.71 $\pm$ 1.91 a A
2	13.76 $\pm$ 1.79 ab C	33.61 $\pm$ 3.62 ab B	68.22 $\pm$ 1.77 b A
4	11.84 $\pm$ 1.67 bc C	27.51 $\pm$ 3.24 bc B	64.41 $\pm$ 1.84 bc A
6	8.61 $\pm$ 1.34 c C	19.99 $\pm$ 2.79 c B	59.68 $\pm$ 1.71 c A
8	10.46 $\pm$ 1.74 bc C	25.98 $\pm$ 3.16 bc B	60.35 $\pm$ 1.63 c A

\*Means within a column followed by same lowercase letter are not significantly different ( $P < 0.05$ , Paired bootstrap test)

\*Means within a row followed by same capital letter are not significantly different ( $P < 0.05$ , Paired bootstrap test)

جدول ۸- میانگین ( $\pm$  خطای معیار) طول یک نسل ( $T$  روز) شته‌ی *S. graminum* روی ارقام مختلف گندم و پس از چند مدت زمان پیش آلودگی

Table 8. Mean ( $\pm$ SE) generation time (day) of greenbug, *S. graminum* on different wheat varieties after several pre-infestation durations

Pre-infestation duration (day)	Wheat varieties		
	Aseman	Morvarid	Kohdasht
0 (control)	11.59 $\pm$ 0.26 b A	10.65 $\pm$ 0.27 c C	11.17 $\pm$ 0.21 c B
2	12.11 $\pm$ 0.23 ab A	11.08 $\pm$ 0.25 bc C	11.72 $\pm$ 0.19 b B
4	12.15 $\pm$ 0.22 ab A	11.43 $\pm$ 0.27 ab C	11.85 $\pm$ 0.19 b B
6	12.39 $\pm$ 0.27 a A	11.64 $\pm$ 0.29 ab B	12.42 $\pm$ 0.21 a A
8	12.47 $\pm$ 0.29 a A	11.81 $\pm$ 0.29 a C	12.24 $\pm$ 0.21 ab B

\*Means within a column followed by same lowercase letter are not significantly different ( $P < 0.05$ , Paired bootstrap test)

\*Means within a row followed by same capital letter are not significantly different ( $P < 0.05$ , Paired bootstrap test)

### بحث و نتیجه گیری

با توجه به اهمیت شته‌ی سبز (معمولی) گندم، *S. graminum* به عنوان یک آفت جدی در مزارع گندم ایران (Mohammadi Rezvani, 2002; Shahrokhi et al., 2009; Anaii et al., 2018) و نیز لزوم یافتن راهکارهای زیست‌سازگار برای کنترل آن، در این پژوهش، از مدت‌زمان‌های مختلف پیش‌آلودگی برای تحریک مقاومت القایی در بوته‌های سه رقم گندم (آسمان، مروارید و کوهدشت) در شرایط آزمایشگاه استفاده شد. پیش‌آلودگی به آفت یک مکانیسم رایج برای ایجاد مقاومت القایی در گیاهان گزارش شده است که طی آن، صدمه یا تنش ناشی از آلودگی به آفت موجب افزایش غلظت برخی متابولیت‌های ثانویه مثل فنول‌ها و فلاوونوئیدها در بافت‌های گیاهی شده و این ترکیبات با تاثیر بر پارامترهای زیستی (مثل طول دوره‌ی نشوونما و زادآوری) و دموگرافیک (مانند نرخ ذاتی رشد جمعیت)، موجب کاهش جمعیت آفت در سطح مزرعه می‌گردند (Agrawal et al., 1999; Shoonhoven et al., 2005; Andre et al., 2009).

بر اساس نتایج پژوهش حاضر، پارامترهای بیولوژیک و دموگرافیک شته‌ی سبز گندم روی ارقام مورد مطالعه (آسمان، مروارید و کوهدشت) با یکدیگر اختلاف معنی‌داری داشتند. تاثیر معنی‌دار رقم گندم بر زیست‌شناسی و دموگرافی شته‌ها در منابع مختلف گزارش شده است (Kazemi et al., 2001; Kazemi et al., 2006; Shahrokhi )

et al., 2009; Veisi et al., 2013; Mohammadi Anaii et al., 2018). نتایج پژوهش حاضر نشان داد که رقم آسمان در مقایسه با ارقام مروارید و کوهدشت، از مقاومت نسبی بیشتری به شته‌ی معمولی گندم برخوردار بود به طوری که طول دوره‌ی نشوونمای شته روی آن نسبت به دو رقم دیگر، بیشتر و مقادیر زادآوری و نرخ ذاتی رشد جمعیت شته روی آن نسبت به دو رقم دیگر کم‌تر بود. به نظر می‌رسد رقم آسمان که به عنوان یک رقم بهاره‌ی زودرس و مناسب برای کاشت در دیم‌زارهای مناطق گرم و خشک (مثل شمال استان گلستان) توصیه شده است (Mohammadi et al., 2019; Ebrahimi et al., 2022) به دلیل مقاومت نسبی به شته‌ی سبز (معمولی) گندم، می‌تواند به افزایش عملکرد و تولید در این مناطق کمک نماید.

نتایج پژوهش حاضر نشان داد که در هر سه رقم مورد مطالعه، پیش‌آلودگی بوته‌های گندم موجب کاهش معنی‌دار مقادیر پارامترهای زیستی و دموگرافیک شته‌ی سبز گندم شد، اما بر حسب رقم و پارامتر مورد بررسی، مدت‌زمان پیش‌آلودگی موثر، متفاوت بود. تاثیر مثبت پیش‌آلودگی در بروز واکنش و مقاومت القایی غلات مختلف از جمله گندم به شته‌ها گزارش شده است، هرچند که بسته به گونه‌ی شته، رقم گندم و پارامتر زیستی یا دموگرافیک مورد بررسی، مدت زمان پیش‌آلودگی تاثیرگذار، متغیر بوده است (Gomes et al., 2005; Nouri Ghanbalani et al., 2018; Moradi et al., 2021; Puri et al., 2023).

جدول ۹- میانگین ( $\pm$  خطای معیار) نرخ ذاتی رشد جمعیت ( $r$ ) (بر روز) شته‌ی *S. graminum* روی ارقام مختلف گندم و پس از چند مدت‌زمان پیش‌آلودگی

**Table 9. Mean ( $\pm$ SE) intrinsic rate of increase ( $r$ ) (1/day) of greenbug, *S. graminum* on different wheat varieties after several pre-infestation durations**

Pre-infestation duration (day)	Wheat varieties		
	Aseman	Morvarid	Kohdasht
0 (control)	0.245 $\pm$ 0.011 a C	0.348 $\pm$ 0.009 a B	0.385 $\pm$ 0.007 a A
2	0.216 $\pm$ 0.009 b C	0.319 $\pm$ 0.009 b B	0.361 $\pm$ 0.005 b A
4	0.203 $\pm$ 0.001 bc C	0.289 $\pm$ 0.001 c B	0.352 $\pm$ 0.006 b A
6	0.173 $\pm$ 0.011 c C	0.257 $\pm$ 0.011 d B	0.329 $\pm$ 0.005 c A
8	0.187 $\pm$ 0.013 bc C	0.275 $\pm$ 0.011 cd B	0.335 $\pm$ 0.005 c A

\*Means within a column followed by same lowercase letter are not significantly different ( $P < 0.05$ , Paired bootstrap test)

\*Means within a row followed by same capital letter are not significantly different ( $P < 0.05$ , Paired bootstrap test)

موجب کاهش معنی دار اغلب پارامترهای دموگرافیک شته شد که با نتایج پژوهش حاضر انطباق داشت، هر چند که برخلاف پژوهش حاضر در آن پژوهش، تاثیر سایر مدت‌زمان‌های پیش‌آلودگی بررسی نشده بود.

به طور کلی، در هر سه رقم مورد مطالعه، پیش‌آلودگی بوته‌های گندم به شته باعث تحریک مقاومت القایی در آنها و کاهش پتانسیل زیستی و دموگرافیک شته‌ی سبز گندم گردید. رقم کوه‌دشت به عنوان یک رقم مقاوم به قارچ‌های بیمارگر و مناسب برای کشت در دیمزارهای خشک و نیمه‌خشک شمال استان گلستان (Rahemi Karizaki et al., 2001; 2020) و رقم مروارید به عنوان یک رقم مقاوم به قارچ‌های بیمارگر برای کاشت در مناطق مرطوب و جلگه‌ای شمال کشور (Vahabzadeh et al., 2012) توصیه شده‌اند که به دلیل نشان دادن واکنش القایی مناسب به شته‌ی سبز گندم کاشت آنها می‌تواند به کاهش جمعیت این شته و افزایش تولید گندم در این مناطق کمک نماید. به منظور تکمیل نتایج این پژوهش توصیه می‌شود که تغییرات بیوشیمیایی - آنزیمی رخ داده پس از آلودگی بوته‌های گندم به شته‌ی سبز نیز بررسی شوند. همچنین، با توجه به این که تاثیر پیش‌آلودگی گیاه میزبان به شته‌ی *S. graminum* بر جمعیت سایر شته‌ها نیز گزارش شده است (Puri et al., 2023)، توصیه می‌گردد واکنش القایی ارقام مختلف گندم به سایر شته‌های خسارت‌زا پس از آلودگی به شته‌ی سبز گندم نیز بررسی گردد. مجموع این نتایج می‌تواند در شناسایی منابع و مکانیسم‌های مقاومت و مدیریت تلفیقی شته‌ی سبز گندم مورد استفاده قرار گیرد.

### سپاس‌گزاری

از معاونت پژوهشی و فناوری دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان به خاطر تامین هزینه‌های این پژوهش قدردانی به عمل می‌آید.

بر اساس نتایج پژوهش حاضر، در رقم آسمان که مقاومت آن به شته‌ی *S. graminum* نسبت به دو رقم دیگر تا حدودی بالاتر بود، طول دوره‌ی پورگی و نرخ ذاتی رشد جمعیت پس از ۲ روز و زادآوری شته‌های ماده پس از ۶ روز پیش‌آلودگی شروع به تغییر معنی دار نمودند، در حالی که در رقم مروارید، تغییر معنی دار طول دوره‌ی پورگی، زادآوری و نرخ ذاتی رشد جمعیت به ترتیب پس از ۶، ۴ و ۲ روز پیش‌آلودگی مشاهده گردید. در رقم کوه‌دشت، طول دوره‌ی پورگی پس از ۴ روز و زادآوری و نرخ ذاتی رشد پس از ۲ روز شروع به تغییر معنادار نمودند. این نتایج (بویژه در دو رقم مروارید و آسمان) با یافته‌های (Gomes et al., 2005) که نشان دادند آلودگی ۵ روزه‌ی بوته‌های گندم به شته‌ی *S. graminum* موجب کاهش معنی دار زادآوری این شته گردید، انطباق نسبی داشت. اگرچه همانند نتایج (Gomes et al., 2005)، پیش‌آلودگی بوته‌های رقم کوه‌دشت نیز موجب بروز نوعی مقاومت القایی (کاهش زادآوری) گردید اما مدت زمان پیش‌آلودگی لازم برای بروز این تغییر، ۲ روز محاسبه گردید که از ۵ روز گزارش شده توسط (Gomes et al., 2005) کوتاه‌تر بود.

نتایج پژوهش حاضر نشان داد که نرخ ذاتی رشد ( $r_m$ ) جمعیت شته‌ی *S. graminum* در هر سه رقم مورد مطالعه، پس از ۲ روز پیش‌آلودگی به شکل معنی داری تغییر یافت. اگرچه تاکنون در خصوص تاثیر پیش‌آلودگی بوته‌های گندم بر نرخ ذاتی رشد جمعیت این شته گزارشی منتشر نشده است، اما تغییر معنی دار مقدار این پارامتر روی بوته‌های گندم (رقم سای‌سونز) پس از ۲ روز پیش‌آلودگی به شته‌ی *S. avenae* گزارش شده است (Nouri Ghanbalani et al., 2018) که این یافته با نتایج پژوهش حاضر انطباق داشت. نتایج پژوهش (Moradi et al., 2021) نیز نشان داد که پیش‌آلودگی شش‌روزه‌ی بوته‌های گندم به شته‌ی *S. avenae*

### References

- Agrawal, A.A., Tuzun, S., & Bent, E. (1999). *Induced Plant Defenses against Pathogens and Herbivores: Biochemistry, Ecology and Agriculture*. APS Press.
- Andre, C.M., Schafleitner, R., Legay, S., Lefevre, I., Aliaga, C.A.A., Nomberto, G., Hoffmann, L., Hausman, J.F., Larondelle, Y. & Evers, D., (2009). Gene expression changes related to the

production of phenolic compounds in potato tubers grown under drought stress. *Phytochemistry*, 70(9), 1107-1116.

Behdad, E. (1989). *Pests of Field Crop in Iran*. Neshat Publication, (In Farsi).

Blackman, R.L. & Eastop, V.F. (2006). *Aphids on the World's herbaceous plants and shrubs*. Vol. 1. Host list and keys. JohnWiley & Sons, Chichester, UK.

Blackman, R.L. & Eastop, V.F. (2007). Taxonomic issue. In: H.F. Van Emden, & R. Harrington, (eds.). *Aphids as Crop Pests* (pp. 1-30). CABI Publication.

Brown, G.C., Nurdin, F., Rodriguez, J.G. & Hilderand, D.F. (1991). Inducible resistance of soybean (var Williams) to two spotted spider mite (*Tetranychus urticae* Koch). *Journal of the Kansas Entomological Society*, 64, 388-393.

Bruce, T.J.A., Martin, J.L., Pickett, J.A., Pye, B.J., Smart, L. E. & Wadhams, L.J. (2003). Cis-Jasmone treatment induced resistance in wheat plants against the grian aphid, *Sitobion avenae* (Fabricius) (Homoptera: Aphididae). *Pest Management Science*, 59, 1031-1036.

Carey, J.R. (1984). Host - specific demographic studies of the Mediterranean fruit fly, *Ceratitis capitata*. *Ecological Entomology*, 9, 261-270.

Carey, J.R. (1993). *Applied Demography for Biologists, with Special Emphasis on Insects*. First ed. Oxford University Publishing.

Carey, J.R. (2001). Insect Biodemography. *Annual Review of Entomology*, 46, 79-110.

Chi, H. (2016). Timing-MSChart: A computer program for the population projection based on age-stage, two-sex life table. (<http://140.120.197.173/Ecology/Download/TIMING-MSChart.rar>).

Chi, H. & Su, H.Y. (2006). Age-stage, two-sex life tables of *Aphidius gifuensis* (Ashmead) (Hymenoptera: Braconidae) and its host *Myzus persicae* (Sulzer) (Homoptera: Aphididae) with mathematical proof of the relationship between female fecundity and the net reproductive rate. *Environmental Entomology*, 35, 10. 21.

Cooper, W.R. & Goggin, F.L. (2005). Effects of jasmonate- induced defenses in tomato on the potato aphid, *Macrosiphum euphorbiae*. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 115, 107-115.

Dicke, M. & Hilker, M. (2003). Induced plant defenses: from molecular biology to evolutionary ecology. *Basic and Applied Ecology*, 4, 3-14.

Dixit, G., Praveen, A., Tripathi, T., Yadav V.K. & Verma P.C. (2017). Herbivore-responsive cotton phenolics and their impact on insect performance and biochemistry. *Journal of Asia-Pacific Entomology*, 20 (2), 341-51.

Dreyer D.L., & Jones, K.C. (1981). Feeding detergency of flavonoids and related phenolic towards *Schizaphis graminum* and *Myzus persicae*: aphid feeding deterrents in wheat. *Phytochemistry*, 20(11), 2489-93.

Ebrahimi, Z., Biabani, A., Mohammadi, R., Hossein Sabouri, H., & Rahemi Karizki, A. (2022). Response of physiological and biochemical characteristics of Aseman wheat cultivar to foliar application zinc and iron micronutrient in dryland conditions. *Journal of Crop Breeding*, 14(41), 53-62 (In Farsi with English summary).

FAO, (2017). FAOSTAT: Data-crops. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy. <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>.

- Giles, K.L., Madden, R.D., Stockland, R., Payton, M.E. & Dillwith, J.W. (2002). Host plants affect predator fitness via the nutritional value of herbivore prey: investigation of a plant-aphid-ladybeetle system. *Biological Control*, 47, 1–21.
- Gomes, F.B., Moraes, J.C., Santos, C.D. & Goussain, M.M. (2005). Resistance induced in wheat plants by silicon and aphids. *Scientia Agricola*, 62, 547-551.
- Hedin, P.A. & Waage, S.K. 1986. Roles of flavonoids in plant resistance to insects. In: V. Cody, J. Middleton, & J. Harborne, (eds.). *Plant Flavonoids in Biology and Medicine: Biochemical, Pharmacological, and Structure -Activity Relationship* (pp. 87-100). Liss publication.
- Kaloshian, I., Kinsey, M.G., Williamson, V.M. & Ullman, D.E. (2000). Mi-mediated resistance against the potato aphid, *Macrosiphum euphorbiae* (Hemiptera: Aphididae), limits sieve element ingestion. *Environmental Entomology*, 29, 690- 695.
- Kazemi, M.H., Talebi-Chaichi, P., Shakiba, M.R. & Mashhadi Jafarloo, M. (2001). Biological responses of Russian wheat aphid, *Diuraphis noxia* (Mordvilko) (Homoptera: Aphididae) to different wheat varieties. *Journal of Agricultural Sciences and Technologies*, 3, 249-255.
- Kazemi, M.H., Mashhadi Jafarloo, M., Talebi-Chaichi, P. & Shakiba, M.R. (2006). Biological responses of Russian wheat aphid, *Diuraphis noxia* (Mordvilko) to certain wheat cultivars at emergence stage. *Journal of Agricultural Sciences*, 12 (4), 745-753 (In Farsi with English summary).
- Klingler, J., Creasy, R., Gao, L., Nair, R.M., Calix, A.S., Jacob, H.S., Edwards, O.R. & Singh, K.B. (2005). Aphid resistance in *Medicago truncatula* involves antixenosis and phloem-specific, inducible, and maps to a single locus flanked by NBS- LRR resistance gene analogs. *Plant Physiology*, 137, 1445-1455.
- Kogan, M. & Paxton, J. (1983). Natural inducers of plant resistance to insects. In: P.A. Hedin, (Ed.). *Plant Resistance to Insects* (pp. 153-171). American Chemical Society Symposium. American Chemical Society, Washington, D. C. Series, 208.
- Leszczynski, B. (1985). Changes in phenols content and metabolism in leaves of susceptible and resistant winter wheat cultivars infested by *Rhopalosiphum padi* (L.) (Hom., Aphididae). *Zeitschrift für angewandte Entomologie*, 100 (1-5), 343-348.
- Mohammadi Anaii, M., Pahlavan Yali, M., & M. Bozorg-Amirkalaei, M. (2018). Resistance of nine wheat cultivars and lines to greenbug, *Schizaphis graminum* (Rondani) in Iran. *Journal of Agricultural Sciences and Technologies*, 20, 1173-1185.
- Mohammadi, M., Ghojogh, H., Hassanpour Hosni, Roustaii, M., Karimizadeh, R., Andarzian, B., Kazerani, N., Afshari, F., Yasaii, M., Ata Hosseini, M., Sarkari, S., Hooshiar, R., Kheirgoo, M., Moradi, M., Tabatabai, N., Dalvand, M., Roohparvar, R., Safavi, S., & Kia, S. (2019). Aseman, spring early bread wheat cultivar, suitable for cultivation under high terminal heat and drought stress conditions of Iran. *Research Achievements for Field and Horticultural Crops*, 8 (2), 157-169.
- Moradi, R., Shahkarami, J., & Mardani-Talaei, M. (2021). Investigation of induced resistance in wheat to *Sitobion avenae* (Hemiptera: Aphididae) under greenhouse conditions. *Journal of Agricultural Science and Technology*. 23(5), 1057-1072.
- Nouri Ghanbalani, G., & Haji Ramezani Chaleshtari, M. 2017. Induced resistance in cucumber, *Cucumis sativus*, to cotton aphid, *Aphis gossypii* (Hem.:Aphididae) under greenhouse conditions. *Journal of Entomological Society of Iran*. 37(1): 109-124.

- Nouri Ghanbalani, G., Mardani-Talaei, M., Panahi Khaneghah, M., Razmjou, J., & Fathi, A.A. (2018). Study of induced resistance in wheat, *Triticum aestivum* L. to English grain aphid, *Sitobion avenae* (Fabricius) (Hem.: Aphididae) under laboratory conditions. *Iranian Journal of Plant Protection Science*, 49(1), 131-141 (In Farsi with English summary).
- Nouri Ghanbalani, G., Hosseini, M., & Yaghmaei, F. (1995). *Plant resistance to insects* Mashhad Academic Center for Education, Culture and Research Publication (In Farsi)
- Pourya, M., Shakarami, J., Mardani-Talaei, M., Sadeghi, A. & Serrao, J.E. (2020). Induced resistance in wheat *Triticum aestivum* L. by chemical- and bio- fertilizers against English aphid *Sitobion avenae* (Fabricius) (Hemiptera: Aphididae) in greenhouse. *International Journal of Tropical Insect Science*, 40, 1043–1052.
- Prado, E. & Tjallingii, W.F. (2007). Behavioral evidence for local reduction of aphid- induced resistance. *Journal of Insect Science*, 7 (1), 48, <https://doi.org/10.1673/031.007.4801>.
- Puri, H., Ikuze, E., Ayala, J., Rodriguez, I., Kariyat, R., Louis, J. & Grover, S. (2023). Greenbug feeding-induced resistance to sugarcane aphids in sorghum. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 11:1105725. doi: 10.3389/fevo.2023.1105725.
- Rahemi Karizaki, A., Rezaei, H., Gholizadeh, A., Nakhzari Moghadam, A., & Naeemi, M. (2020). Study of the response of rainfed wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars in semi-arid and semi-humid regions of Golestan province. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 17 (4), 579-590 (In Farsi with English summary).
- Rezvani, A. (2002). *Key to the identification of aphids in Iran*. Agricultural Research, Education and Extension Publication (In Farsi).
- Rostaei, M., Hosseini, S.K., Hosseinpour, T., Kalateh, M., Hassampour Hassani, M., Amiri, A., Khalilzadeh, Gh., Mohammadi, M., Naraki, F., Mahfozi, B., Torabi, M., Banisadr, N., Mokhtarpour, H., & Vahabzadeh, M. (2001). Introduction of a new bread wheat cultivar, Khohdasht. *Seed and Plant Journal*, 17 (2), 230-233 (In Farsi with English summary).
- SAS Institute. 2003. SAS/STAT Users, Version 9.1. SAS Institute, Cary, NC, USA.
- Shahrokhi, S., Shojai, M., & Rezvani, A. (2009). Study on population increase parameters of greenbug, *Schizaphis graminum* (Hem.: Aphididae), on common wheat varieties in Varamin region, Iran. *Journal of Entomological Society of Iran*, 29 (2), 45-64 (In Farsi with English summary).
- Shoonehoven, L.M., van Loon, J.J.A. & Dicke, M. (2005). *Insect-Plant Biology*. Second Edition, Oxford University Press.
- Smith, C.M. & Boyko, E.V. (2007). The molecular bases of plant resistance and defense responses to aphid feeding: current status. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 122, 1-16.
- Underwood, N. (1999). The influence of plant and herbivore characteristics on the interactions between induced resistance and herbivore population dynamics. *American Naturalist*, 153, 282-294.
- Vahabzadeh, M., Ghasemi, M., Kalateh, M., & Soghi, H. (2012). Morvaridl" consistent and sustainable performance of promising genotypes of bread wheat in northern climate in Iran. *Proceedings of the 12 Iranian Genetic Congress*. 21 May 2012, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran.
- Van Emden, H.F. (1969). Plant resistance to *Myzus persicae* induced by a plant regulator and measured by aphid relative growth rate. *Entomologia Experimentalis et Applicata*. 12: 125-131.

Veisi, R., Safavi, S.A., & Karimpour, Y. (2013). Evaluation of antixenosis and tolerance of different wheat varieties to *Schizaphis graminum*. *Iranian Journal of Plant Protection Science*, 44(1), 121-128 (In Farsi with English summary).

Wool, D. & Hales, D.F. (1996). Previous infestation affects recolonization of cotton by *Aphis gossypii*: induced resistance or plant damage. *Phytoparasitica*, 24, 39. 48.



© 2023 by the authors. Licensee SCU, Ahvaz, Iran. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution-Noncommercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0 license) (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>).



## Induced response of three wheat varieties to greenbug, *Schizaphis graminum* (Rondani), under laboratory conditions

A. Afshari<sup>1\*</sup>, M. Esmaili<sup>2</sup>, M. Hassanpour<sup>3</sup>

1. **\*Corresponding Author:** Associate Professor, Department of Plant Protection, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran (afshari@gau.ac.ir)
2. Ph.D. student, Department of Plant Protection, Faculty of Agricultural Sciences & Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran
3. Professor, Department of Plant Protection, Faculty of Agricultural Sciences & Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran

Received: 20 October 2023

Accepted: 27 January 2024

### Abstract

#### Background and Objectives

Wheat (*Triticum aestivum* L.) holds crucial significance as a primary global food source, providing approximately 18% of required calories and 19% of essential protein for human consumption. The greenbug, *Schizaphis graminum*, poses a substantial threat to wheat crops worldwide, including in Iran, causing significant annual damage. Traditional methods for identifying induced resistance in host plants involve pest pre-infestation and the assessment of demographic parameters. Considering the adverse environmental and health implications of excessive pesticide use in wheat fields, the exploration of "induced resistance" as a biorational method has gained notable attention in recent years within the wheat-integrated pest management domain. This study's main objectives included examining induced responses in three distinct wheat varieties to *S. graminum* and determining the optimal pre-infestation period to activate this defensive reaction in the host varieties.

#### Materials and Methods

Seeds from three wheat varieties (Kohdasht, Morvarid, and Aseman) were planted in growth chamber conditions (temperature:  $25\pm 2^\circ\text{C}$ , relative humidity:  $60\pm 5\%$ , and a photoperiod of 14:10 L: D). Upon reaching the two-leaf stage, five one-day-old female apterus aphids were introduced to each plant, allowing them to feed for 0, 2, 4, 6, and 8 days (considered as the experimental pre-infestation treatment duration). After the designated pre-infestation period, aphids were removed from the wheat plants, and the plants remained aphid-free for 48 hours. Following this interval, an age-specific two-sex life table of aphids was separately constructed for each wheat variety and pre-infestation duration. Using a cohort of 30 one-day-old first-instar nymphs, the biological and demographic parameters of aphids were measured and compared using the paired bootstrap test.

#### Results

The Aseman variety exhibited heightened resistance to *S. graminum* in comparison to Morvarid and Kohdasht varieties, as evidenced by the demographic parameter values. Notably, Aseman's extended nymphal developmental time and mean generation time ( $T$ ), coupled with decreased longevity and fecundity, resulted in a significantly lower intrinsic rate of increase ( $r_m$ ) at 0.245



1/day, in contrast to Morvarid and Kohdasht varieties (0.348 and 0.358 1/day, respectively). Across all varieties, pre-infestation by aphids led to reductions in biological and demographic parameters, with the effective pre-infestation duration varying based on the variety and specific parameters studied. The nymphal developmental time increased, while fecundity and intrinsic  $r_m$  significantly decreased as the pre-infestation duration progressed from 0 to 8 days. In Aseman, Morvarid, and Kohdasht varieties,  $r_m$  decreased from 0.245 to 0.187, 0.348 to 0.275, and 0.385 to 0.335 1/day, respectively, with an increase in pre-infestation duration from 0 to 8 days. In the relatively more resistant Aseman variety, significant changes in nymphal developmental time and intrinsic  $r_m$  occurred after a 2-day pre-infestation period, while aphid fecundity changed significantly after a 6-day pre-infestation duration. Morvarid exhibited significant changes in nymphal developmental time, female fecundity, and intrinsic rate of increase after 6, 4, and 2-day pre-infestation durations, respectively. Across all three varieties, the intrinsic  $r_m$ , identified as a crucial demographic parameter, experienced significant changes after a 2-day pre-infestation period.

### **Discussion**

Diverse demographic responses were observed for *S. graminum* across the studied wheat varieties, with the Aseman variety exhibiting heightened relative resistance to wheat green aphid. Pre-infestation of wheat plants with aphids induced resistance in all three varieties, resulting in a reduction in the biological and demographic potential of green aphid. Due to their favorable induction reactions to *S. graminum*, it is recommended to cultivate Kohdasht (resistant to pathogenic fungi, suitable for dry and semi-arid drylands) and Morvarid (resistant to pathogenic fungi, suitable for humid and plain areas) varieties. This approach can contribute to diminishing the aphid population and enhancing wheat production in these specified regions. The research outcomes offer valuable insights into identifying sources of resistance, understanding mechanisms, and facilitating the implementation of integrated aphid management strategies in wheat fields across Iran.

**Keywords:** *Pre-infestation Demography, Resistance*

---

Associate editor: A. Rasekh (Prof.)

**Citation:** Afshari, A., Esmaili, M. & Hassanpour, M. (2024). Induced response of three wheat varieties to greenbug, *Schizaphis graminum* (Rondani), under laboratory conditions. *Plant Protection (Scientific Journal of Agriculture)*, 46(3), 99-113. [https:// 10.22055/ppr.2024.45073.1713](https://10.22055/ppr.2024.45073.1713).