مقاله پژوهشی

اثرات متقابل تنش خشکی و قارچ میکوریزا بر گیاه باقلا و شته سبز نخودفرنگی *Acyrthosiphon pisum* (Hem.: Aphididae)

سیده هما محسنی سنگتابی، محسن مهرپرور ✉، آزاده حبیبی، سید مظفر منصوری

به‌ترتیب دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشیار، استادیار و دانشیار گروه تنوع زیستی، پژوهشگاه علوم و تکنولوژی پیشرفته و علوم محیطی، دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته، کرمان، ایران

✉ **مسئول مکاتبات:** mehrparvar@kgut.ac.ir; aphidology@gmail.com

چکیده

تنش خشکی از مهم‌ترین تنش‌های غیرزیستی و از عمده‌ترین فاکتورهای محیطی محدود کننده رشد و نمو گیاهان و تولید محصولات کشاورزی می‌باشد. استفاده از همزیست‌های مفید مانند قارچ میکوریزا به گیاه در شرایط تنش خشکی کمک می‌کنند. در این پژوهش اثر متقابل سطوح مختلف تنش خشکی و قارچ میکوریزا روی دو رقم گیاه باقلا و یکی از آفات مهم آن یعنی شته سبز نخود فرنگی (*Acyrthosiphon pisum*) مورد مطالعه قرار گرفت، بطوریکه شاخص‌های رشدی گیاه باقلا و شاخص‌های زیستی و رشد جمعیت شته سبز نخودفرنگی اندازه‌گیری و بررسی شدند. نتایج حاصل از آزمایش سال اول نشان دهنده اثر متقابل تنش خشکی با قارچ میکوریزا روی شاخص‌های سطح برگ و وزن تر گیاه و همچنین اثر متقابل سه طرفه بین رقم گیاه، تنش خشکی و قارچ میکوریزا روی شاخص سطح برگ گیاه بود. در آزمایش سال دوم نتایج نشان داد که تنش خشکی باعث کاهش شاخص‌های رشدی گیاه مانند ارتفاع گیاه و تعداد برگ گیاه می‌شود. همچنین تنش خشکی روی شاخص‌های زیستی شته سبز نخودفرنگی مانند بقاء، طول عمر و مرگ و میر اثر منفی داشت و همچنین اثر متقابل دو طرفه تنش خشکی و قارچ میکوریزا روی شاخص بقاء شته اثرگذار بود. با توجه به نتایج بدست آمده از این پژوهش می‌توان گفت تنش خشکی شدید اثرات قابل ملاحظه‌ای بر گیاه و شته دارد و می‌تواند بر عملکرد گیاه باقلا و همچنین جمعیت شته سبز نخودفرنگی تأثیر داشته باشد. البته اثر متقابل تنش خشکی و قارچ میکوریزا بر رشد گیاه و همچنین بقاء شته قابل چشم پوشی نیست.

واژه‌های کلیدی: قارچ‌های همزیست، شاخص‌های رشد گیاه، روابط گیاه–حشره، تغییرات جمعیتی آفات، بقاء

Interactions between drought stress and mycorrhiza fungi on the bean plant and the pea aphid, *Acyrthosiphon pisum* (Hem.: Aphididae)

S.H. Mohseni Sangetabi; M. Mehrparvar✉; A. Habibi; S.M. Mansouri

M. Sc. Student, Associate Professor, Assistant and Associate Professor of Department of Biodiversity, Institute of Science and High Technology and Environmental Sciences, Graduate University of Advanced Technology, Kerman, Iran

Abstract

Drought stress is a pivotal abiotic stressor and a key environmental factor constraining plant growth and crop yield. Utilizing beneficial symbionts like mycorrhizal fungi can ameliorate plant resilience under drought conditions. The bean plant holds substantial agricultural importance, which has faced significant threat from the pea aphid, *Acyrthosiphon pisum*. This study investigates the interactions between drought stress and mycorrhizal fungi and their effects on bean plant and the pea aphid. We investigated the growth parameters of bean plants, along with the population growth and biological traits of the pea aphid, under the combined effects of drought stress and Mycorrhizal fungi symbiosis. In the first-year experiment, results showed an interactive effect of drought stress with mycorrhizal fungi on leaf area and plant weight indices. In addition, there was a three-way interaction among plant variety, drought stress, and mycorrhizal fungi on plant leaf area index. In the second year, drought stress led to a decrease in plant growth indices such as plant height and number of leaves. Additionally, drought stress negatively impacted the biological parameters of the pea aphid, survival rate, lifespan, and mortality. Also there was a two-way interaction of drought stress and mycorrhizal fungi on the aphid survival rate. These findings suggest that severe drought stress significantly affects both plants and aphids, potentially influencing the performance of the bean plant and the population growth of the pea aphid. The effect of interaction between drought stress and mycorrhizal fungi on plant growth and aphid survival was significant.

Keywords: Symbiotic fungi, plant growth indices, plant-insect interactions, pest population dynamics, survival

✉ **E–mail:** mehrparvar@kgut.ac.ir; aphidology@gmail.com

مقدمه

تغییرات آب و هوایی در سرتاسر دنیا موجب افزایش چالش‌ها در کشت محصولات کشاورزی شده است (Lobell and Gourdji, 2012). تنش‌های مختلف محیطی روی گیاهان و بقاء حشرات وابسته به آن‌ها تأثیر دارد (Quandahor *et al*., 2023). خشکی یکی از تنش‌های مهم محیطی است که به طور مستقیم روی فرآیندهای فیزیولوژیک گیاهان تأثیر داشته و موجب کاهش رشد و بازدهی آن‌ها می‌شود. تنش خشکی همچنین در اختصاص منابع و پروفایل متابولیت‌های ثانویه گیاه تغییر ایجاد می‌کند که موجب تأثیر روی عملکرد حشرات آفت گیاهی می‌شود (Mewis *et al*., 2012). این تأثیرات بسیار متغیر و بحث برانگیز بوده و به سطح استرس، گونه حشره، و نوع و واریته‌ی گیاه میزبان بستگی دارد (Colella *et al*., 2014; Quandahor *et al*., 2023). ترکیب شیمیایی گیاه میزبان، تحت تنش خشکی تغییر می‌کند و این روی عملکرد شته‌ها که جز آفات مهم گیاهان محسوب می‌شوند تأثیر مثبت یا منفی و در مواردی بی تأثیر است. افزایش سطح پروتئین‌های محلول (Garg *et al*., 2001)، کربوهیدرات‌های محلول (Streeter *et al*., 2001) و اسید آمینه‌های آزاد (Bray, 1997) در گیاهان تحت تنش خشکی روی جمعیت حشرات تغذیه کننده از شیره گیاهی مانند شته‌ها تأثیر مثبت داشته است. برای مثال رشد جمعیت شته سبز هلو *Myzus persicae* (Sulzer, 1776) روی گیاهان تحت تنش خشکی سریع‌تر بوده است. گزارش شده است که شته برگ ذرت *Rhopalosiphum maidis* (Fitch, 1856) و شته روسی گندم *Diuraphis noxia* (Mordvilko, 1913) در شرایط تنش خشکی عملکرد بهتری داشته‌اند (Archer *et al*., 1995; Li *et al*., 2008; Khan *et al*., 2011). از سوی دیگر نتایج برخی پژوهش‌ها نشان داده است که تنش خشکی موجب کاهش فراوانی، بقاء و تولید مثل شته‌ها شده است (Pons and Tatchell, 1995; Ahmed *et al*., 2017; Kansman *et al*., 2022). مواردی نیز گزارش شده است که تنش خشکی میزبان گیاهی تأثیری روی شته تغذیه کننده از آن نداشته است، به عنوان مثال شته *Brevicoryne brassicae* (Linnaeus, 1758) روی گیاه بروکلی تحت تنش خشکی و گیاه با آبیاری مناسب عملکرد یکسانی داشته است (King *et al*., 2006). البته سازوکار اینگونه برهمکنش‌ها هنوز به خوبی شناخته شده نیست.

میکروارگانیزم‌های خاک از جمله قارچ‌های میکوریزا آربوسکولار (Arbuscular Mycorrhizal Fungi= AMF) با ریشه تقریباً ۸۰ درصد گیاهان ارتباط تشکیل داده، مواد غذایی ضروری را برای گیاهان میزبان فراهم و در مقابل کربوهیدارت‌ها و لیپیدها را از آن‌ها دریافت می‌کنند (Olson *et al*., 2022). مطالعات نشان داده‌اند که قارچ‌های میکوریزا روی رشد گیاه، واکنش‌های دفاعی، وضعیت تغذیه‌ای و تحمل نسبت به تنش‌ها تأثیر دارند (Younginger *et al*., 2009; Colella *et al*., 2014). در نتیجه این نوع برهمکنش، قارچ‌های میکوریزا قادر به القاء مقاومت در گیاهان نسبت به تنش خشکی (Lee *et al*., 2012) و مقاومت نسبت به آفات و بیماری‌های گیاهی هستند (Liu *et al*., 2007; Vos *et al*., 2012). در شرایط تنش خشکی قارچ‌های میکوریزا توده زیستی گیاه را نسبت به گیاهانی که میکوریزا ندارند افزایش داده و نیز روی تجمع پرولین تأثیر دارند (Pons *et al*., 2020). مطالعات مختلف تأثیر مثبت، منفی یا عدم تأثیر قارچ‌های میکوریزا روی رشد، تولید مثل و رفتار تغذیه‌ای شته‌ها را نشان داده‌اند (Colella *et al*., 2014; Tomczak and Müller, 2017). با این حال، این برهمکنش چند گانه " گیاه میزبان–خشکی– قارچ میکوریز– شته" پیچیده است. هنوز مشخص نیست که چگونه پاسخ‌های متابولیک گیاه به انواع رژیم‌های خشکی تحت تأثیر میکوریزا قرار می‌گیرد و چگونه این وضعیت گیاه روی کارایی شته‌های تغذیه کننده از آن تأثیر می‌گذارد.

هدف از این پژوهش بررسی اثرات متقابل تنش خشکی و قارچ میکوریزا روی دو رقم گیاه باقلا و شته سبز نخودفرنگی *Acyrthosiphon pisum* (Harris, 1776) (Hem.: Aphididae) به عنوان یکی از مهمترین آفات حبوبات بود. در این مطالعه به بررسی اثر هر دو عامل روی شاخص‌های رشدی گیاه باقلا و همچنین شاخص‌های زیستی و رشد جمعیت شته سبز نخود فرنگی پرداخته شد.

مواد و روش‌ها

کاشت و پرورش گیاه و همچنین انجام آزمایش‌ها در شرایط گلخانه‌ای در ۲۵ درجه سلسیوس در روز و ۲۰ درجه سلسیوس در شب و رطوبت نسبی ۵۰±۵ درصد و دوره نوری ۱۶ساعت روشنایی و ۸ ساعت تاریکی در مجموعه گلخانه‌های پژوهشی دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته، کرمان انجام شد.

پرورش گیاه

به منظور تهیه بستر کشت گیاه از خاک مزرعه استفاده گردید. خاک مورد نظر ابتدا به وسیله اتوکلاو استریل شد. در این پژوهش از گیاه باقلا *Vicia faba* از تیره بقولات (Fabaceae) رقم برکت ۵۹۱ (تهیه شده از شرکت بذر امامی واقع در اصفهان) و رقم بلوچی (رقم محلی که در ایرانشهر کشت می‌شود)، استفاده شد. بذور پس از ضدعفونی اولیه در آب به مدت ۲٤ ساعت خیسانده و سپس ۲٤ ساعت در پارچه نخی نم‌دار قرار داده شدند و بعد در گلدان‌های یک کیلوگرمی کاشته شدند. در تیمارهای دارای قارچ میکوریزا مقدار ٤۰ گرم قارچ میکوریزا به صورت مخلوطی از سه گونه *Funneliformis mosseae*، *Rhizophagus irregularis* و*Glomus fasciculatum* که از شرکت زیست فناور توران تهیه شده بود به خاک اضافه گردید. برای اطمینان از کلونیزه شدن ریشه گیاهان باقلا با قارچ‌های میکوریزا ٤۵ روز پس از مایه‌زنی، قطعات ریشه به صورت تصادفی با روش Phillips and Hayman (۱۹۷۰) رنگ آمیزی شد و اندام‌های مختلف قارچی (اسپور، وزیکل و آربوسکول) زیر میکروسکوپ مشاهده شد. روش رنگ‌آمیزی بدین صورت بود که ریشه‌های کمتر از دو میلی‌متر را انتخاب کرده، شسته و به طول سه سانتی‌متر برش زده شدند. ریشه‌ها پس از اضافه کردن ۱۰ میلی‌لیتر از KOH 10%، به حمام آب ۸۰ درجه سلسیوس منتقل و ۱۲۰ دقیقه نگهداری شدند. پس از گذشت یک ساعت یک قطره آب اکسیژنه ۳۰٪ به محلول KOH اضافه کرده و به مدت ۱۰ دقیقه در دمای اتاق نگهداری شدند. سپس ریشه‌ها سه بار به مدت ۱۵ ثانیه با آب شیر شستو داده شدند. ریشه‌ها پس از اضافه کردن ۱۰ میلی‌لیتر HCL 10% و نگهداری به مدت پنج دقیقه، مستقیما به بشر حاوی ۱۰ میلی‌لیتر محلول آنیلین بلو/ اسید لاکتیک / تریپان بلو یک دهم درصد منتقل شدند و در حمام آب ۸۰ درجه سلسیوس به مدت ۳۰ دقیقه نگهداری شدند. سپس به مدت پنج دقیقه در ۱۰ میلی‌لیتر اسید لاکتیک ۸۵٪ قرار گرفتند. در این مرحله از ریشه‌های رنگ بری شده اسلاید تهیه و با میکروسکوپ نوری برای بررسی کلونیزه شدن توسط قارچ‌های میکوریزا بررسی شدند.

به دلیل تأخیر در زمان جوانه‌زنی بذرهای رقم برکت، این بذرها سه روز زودتر از رقم بلوچی کاشته شدند. پس از دو روز تا مرحله چهار برگی به هر گلدان به اندازه ظرفیت مزرعه خاک، آب داده شد. در این مرحله گیاهان جهت شروع آزمایش تحت تیمار تنش خشکی قرار گرفتند.

پرورش شته

حشره مورد آزمایش در این پژوهش شته سبز نخود فرنگی *Acyrthosiphon pisum* (Hemiptera: Aphididae) بود. جمعیت اولیه شته از مزرعه یونجه واقع در پردیس دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته، کرمان، ایران جمع‌آوری گردید. پس از انتقال شته‌ها به گلخانه، شته‌ها روی گیاه باقلا رقم برکت در مرحله چهار تا شش برگی انتقال داده شد. گلدان‌های مورد استفاده برای پرورش شته‌ها در قفس‌های شیشه‌ای به طول۲٦، عرض۲٦ و ارتفاع ٦۰ سانتی‌متر که سطح جلوئی آن‌ها با استفاده از توری ریز به منظور تبادل جریان هوا پوشانده شده بود در گلخانه تحت شرایطی مشابه با شرایط پرورش گیاهان که قبلا ذکر شد، قرار داده شدند. جهت حفظ کلونی شته‌ها، هر پنج تا هفت روز گیاهان داخل قفس با گیاهان جدید تعویض و گیاهان جدید با قرار دادن ۱۰ تا ۱۵ عدد شته روی آنها آلوده می‌شدند. شته‌های مورد استفاده در آزمایش حداقل سه نسل در شرایط گلخانه‌ای پرورش داده شدند.

نحوه اعمال تنش خشکی

برای اعمال تنش خشکی بدین صورت عمل شد که تعداد نه عدد گلدان کاملاً مشابه با گلدان‌های آزمایش به‌عنوان شاخص برای تعیین میزان آب مورد نیاز آبیاری در کنار هر بلوک قرار داده شد. از این تعداد گلدان، سه گلدان برای تنش ۵۰٪ در آزمایش سال اول و یا تنش ٤۰٪ در آزمایش سال دوم ، سه گلدان برای تنش ۷۰٪ در آزمایش سال اول و یا تنش ٦۰٪ در آزمایش سال دوم و سه گلدان به‌عنوان شاهد ۱۰۰٪ (ظرفیت مزرعه) در آزمایش سال اول و یا تنش ۸۰٪ در آزمایش سال دوم در نظر گرفته شدند. دلیل استفاده از گلدآنهای شاخص این است که در حین انجام آزمایش جابجایی گلدآنهای آزمایش به منظور وزن کردن دشوار است. روال کار بدین صورت بود که هر روز بعد از اندازه‌گیری وزن گلدان‌های شاخص، میزان کمبود وزن آن‌ها تا رسیدن به سطح رطوبت مورد نظر محاسبه می‌شد و براساس میانگین هر سه گلدان به همان مقدار آب به گیاهان متناظر در تیمارها داده می‌شد. این نحوه آبیاری تا پایان آزمایش ادامه یافت.

الف) مطالعه شاخص‌های رشدی گیاه باقلا و رشد جمعیت شته سبز نخودفرنگی تحت تأثیر تنش خشکی و قارچ میکوریزا

آزمایش سال اول

برای ارزیابی تأثیر تنش خشکی و قارچ میکوریزا و اثر متقابل آنها بر گیاه باقلا با ارقام متفاوت و همچنین اثر آن‌ها بر شته سبز نخود فرنگی، آزمایشی در قالب بلوک‌های کامل تصادفی و به صورت فاکتوریل و با دو عامل، تنش خشکی در سه سطح ۱۰۰٪ (تیمار فاقد تنش)، ۷۰٪ (تیمار تنش متوسط) و ۵۰٪ (تیمار تنش شدید) ظرفیت مزرعه و قارچ میکوریزا در دو سطح (مصرف و عدم مصرف) در شش تکرار (بلوک) در شرایط گلخانه‌ای اجرا شد. هر بلوک شامل ۱۲ تیمار بود. تیمارها به صورت فاکتوریل و حاصل ترکیب دو رقم باقلا و دو تیمار میکوریزا و سه سطح تنش خشکی (۱۲=۳×۲×۲) بودند.

از تعداد ۷۲ عدد گلدان کاشته شده که به مرحله چهار برگی رسیده بودند در هر بلوک ۱۲ گلدان به طور تصادفی برای انجام آزمایش انتخاب شدند. در هر بلوک تعداد شش عدد از هر رقم گیاه باقلا وجود داشت. برای اعمال تنش خشکی بدین صورت عمل شد که تعداد نه عدد گلدان کاملاً مشابه با گلدان‌های آزمایش به‌عنوان شاخص برای تعیین میزان آب مورد نیاز آبیاری در کنار هر بلوک قرار داده شد. از این تعداد گلدان، سه گلدان برای تنش ۵۰٪، سه گلدان برای تنش ۷۰٪ و سه گلدان به‌عنوان شاهد ۱۰۰٪ (ظرفیت مزرعه) در نظر گرفته شدند. دلیل استفاده از گلدانهای شاخص این است که در حین انجام آزمایش جابجایی گلدانهای آزمایش به منظور وزن کردن دشوار است. روال کار بدین صورت بود که هر روز بعد از اندازه‌گیری وزن گلدان‌های شاخص، میزان کمبود وزن آن‌ها تا رسیدن به سطح رطوبت مورد نظر محاسبه می‌شد و براساس میانگین هر سه گلدان به همان مقدار آب به گیاهان متناظر در تیمارها داده می‌شد. این نحوه آبیاری تا پایان آزمایش ادامه یافت. پس از اینکه گیاه به مرحله شش برگی رسید با استفاده از قلم مو سه عدد شته بالغ از کلونی جدا و به آرامی روی هر گیاه گذاشته شدند. در فاصله زمانی ٢٤ ساعت بعد از آن، گیاهان برای وجود شته روی آن‌ها بررسی شدند. در صورتی که تعداد شته‌ها به هر دلیلی کمتر از سه عدد بود کمبود آن‌ها با گذاشتن شته جدید جبران گردید. گیاهان با طلق‌های شفاف استوانه‌ای با قطر ۱۲/۵ و ارتفاع ٣٤ سانتی‌متر که در انتهای آن توری ظریفی جهت تبادل هوا قرار داده شده بود پوشیده شدند. بعد از گذشت ١٤ روز (معادل با زمان تقریبی دو نسل از شته‌ها) از زمان قرار دادن شته روی گیاه، ابتدا هر گیاه به آرامی از سطح خاک بریده شد و شته‌های موجود روی گیاه جمع‌آوری و در ظرف شیشه‌ای محتوی الکل اتیلیک ۷۵٪ ریخته شدند. سپس ارتفاع گیاه با استفاده از خط‌کش معمولی اندازه‌گیری شد و سطح برگ چهارم از پایین نیز اندازه‌گیری شد. شکل برگ چهارم هر گیاه روی کاغذ شطرنجی با خانه‌های یک میلی‌متری رسم و مساحت آن بر حسب سانتی‌متر مربع محاسبه گردید. وزن تر گیاه با استفاده از ترازوی DandA مدل (HL-500i) با دقت یک صدم گرم اندازه‌گیری شد. در زمان مناسب با استفاده از استریومیکروسکوپ تعداد شته‌ها به تفکیک پوره‌ها و افراد بالغ بال‌دار و بی‌بال شمارش و ثبت شدند.

آزمایش سال دوم

با توجه به اینکه نتایج حاصل از آزمایش سال اول نشان دهنده عدم تأثیر تیمارها بر شاخص‌های اندازه‌گیری شده بودند، آزمایش دیگری در سال بعد انجام شد؛ با این تفاوت که در این آزمایش میزان تنش خشکی وارد شده به گیاهان بیشتر از آزمایش سال اول بود. طرح این آزمایش دقیقا مانند طرح آزمایش سال اول بود با این تفاوت که تنش خشکی در سه سطح ۸۰٪ (تیمار فاقد تنش)، ٦٠٪ (تیمار تنش متوسط) و ٤٠٪ (تیمار تنش شدید) ظرفیت مزرعه و در ۱۰ بلوک تکرار شد.

مراحل انجام این آزمایش دقیقا مانند سال اول بود با این تفاوت که تعداد ۱۲۰ گلدان کاشته شد و تعداد برگ گیاه نیز به پارامترهای مورد اندازه‌گیری اضافه شد.

تجزیه و تحلیل آماری

متغیرهای آماری مورد بررسی در این پژوهش عبارت بودند از ارتفاع گیاه از سطح خاک، وزن تر گیاه، تعداد برگ، مساحت برگ چهارم، تعداد کل شته‌ها و درصد افراد بالدار. درصد افراد بالدار بدین صورت محاسبه گردید که جمع کل تعداد شته‌ها روی هر گیاه محاسبه شد و سپس درصد افراد بالدار این جمعیت محاسبه گردید. برای تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها و رسم نمودارها از نرم افزار IBM SPSS نسخه ۲۵ استفاده شد. مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون توکی در سطح احتمال پنج درصد انجام پذیرفت.

در آزمایش سال اول متغیرهای آماری مربوط به این آزمایش همگی دارای توزیع نرمال بودند و برای تجزیه و تحلیل داده‌ها از آنالیز

واریانس چند متغیره (MANOVA) استفاده گردید. در آزمایش سال دوم داده‌های مربوط به ارتفاع گیاه، تعداد برگ، سطح برگ و وزن تر گیاه همگی دارای توزیع نرمال بودند؛ اما توزیع متغیر تعداد کل شته‌ها پس از تبدیل بصورت لگاریتم پایه ۱۰ به حالت نرمال درآمد. برای تجزیه و تحلیل داده‌ها از آنالیز واریانس چند متغیره (MANOVA) استفاده گردید. درصد افراد بال‌دار دارای توزیع نرمال نبود و با تبدیل داده نیز نرمال نگردید؛ بنابراین برای تجزیه و تحلیل این متغیر آماری از آزمون غیرپارامتریک Kruskal-Wallis استفاده گردید.

ب) مطالعه شاخص‌های زیستی شته سبز نخودفرنگی تحت تأثیر تنش خشکی و قارچ میکوریزا

به منظور مطالعه شاخص‌های زیستی (بقاء، مرگ و میر و تولید مثل) شته سبز نخود فرنگی تحت تأثیر تیمارهای خشکی و قارچ میکوریزا روی دو رقم گیاه باقلا، آزمایشی در قالب بلوک‌های کامل تصادفی و به صورت فاکتوریل و با دو عامل، تنش خشکی در دو سطح ۸۰٪ و ٤۰٪ ظرفیت مزرعه و قارچ میکوریزا در دو سطح (مصرف و عدم مصرف) در ۱۰ بلوک و در شرایط گلخانه‌ای مانند شرایط ذکر شده در آزمایش قبل اجرا شد. در این مطالعه هر بلوک شامل هشت تیمار بود. تیمارها به صورت فاکتوریل و حاصل ترکیب دو رقم باقلا برکت و بلوچی و دو تیمار میکوریزا و دو سطح تنش خشکی (۸=۲×۲×۲) بودند.

به منظور خلاصه نویسی و سادگی در بیان نوع تیمارهای اعمال شده در بعضی قسمت‌ها این تیمارها بصورت شماره ذکر شده‌اند. شماره تیمارها به شرح جدول ۱ می باشند.

جدول ۱- تیمارها در آزمایش شاخص‌های زیستی شته سبز نخودفرنگی

Table 1. Treatments in the experiment on biological indices of the pea aphid.

Treatment	cultivar	Mycorrhizae	drought stress
1	Balochi	-	Severely stressed
2	Balochi	-	Well-watered
3	Balochi	+	Severely stressed
4	Balochi	+	Well-watered
5	Barakat	-	Severely stressed
6	Barakat	-	Well-watered
7	Barakat	+	Severely stressed
8	Barakat	+	Well-watered

پس از کشت گیاهان به روش مشابه با آزمایش‌های قبلی و اعمال تنش خشکی از مرحله چهار برگی گیاه، هنگامی‌که گیاه به مرحله شش برگی رسید تعداد ۸۰ عدد شته بالغ بی‌بال به تفکیک یک عدد در هر قفس برگی[1] روی هر گیاه توسط یک قلم موی ظریف قرار داده شدند و به مدت ٢٤ ساعت اجازه داده شد تا پوره‌زایی کنند. پس از گذشت این زمان شته ماده و تمامی پوره‌ها بجز یک پوره از روی گیاه حذف شدند. قفس‌های برگی روزانه مورد بازدید قرار گرفتند و بقاء و مراحل رشد و نمو پوره‌ها یادداشت گردید. وجود پوسته‌های جلدی جدا شده از شته‌ها روی سطح برگ نشان دهنده تعویض جلد و ورود به سن پورگی بعدی بود. پس از آن حشرات کامل حاصله نیز روزانه مورد بررسی قرار گرفتند و بقاء و تعداد پوره‌های تولید شده در هر روز شمارش گردید. پوره‌های متولد شده پس از شمارش حذف می‌شدند. این عمل تا زمان مرگ هر فرد شته بالغ ادامه یافت. با این روش طول دوران هر سن پورگی، طول کل دوران پورگی، طول دوره قبل از پوره‌زایی برای افراد بالغ، طول دوران پوره‌زایی، طول دوره پس از پوره‌زایی، طول عمر هر فرد شته، طول مدت یک نسل و میزان باروری شته‌ها روی تیمارهای مختلف محاسبه شد.

تجزیه و تحلیل آماری

داده‌های مربوط به بقاء سنین مختلف شته‌ها در تیمارهای مختلف به وسیله آزمون بقاء (Kaplan-Meier) مورد ارزیابی قرار گرفتند. مرگ و میر شته‌ها در تیمارهای مختلف با استفاده از آزمون پیرسون کای اسکویر (Chi-square Pearson) که برای مقایسه فراوانی‌های مشاهده شده با فراوانی‌های مورد انتظار به‌کار می‌رود مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. برای تجزیه و تحلیل داده‌های مربوط به میزان تولید مثل شته‌ها تحت تیمارهای مختلف با توجه به اینکه داده‌ها دارای توزیع نرمال نبودند و با تغییر نیز نرمال نشدند از آزمون غیر

[1] Clip cage

پارامتریک Kruskal-Wallis استفاده گردید. نمودارهای مربوطه توسط نرم افزار های اکسل و SPSS ترسیم شدند.

نتایج

الف) مطالعه شاخص‌های رشدی گیاه باقلا و رشد جمعیت شته سبز نخودفرنگی تحت تأثیر تنش خشکی و قارچ میکوریزا

آزمایش سال اول: تجزیه و تحلیل داده‌های مربوطه نشان داد که هیچکدام از تیمارها به تنهایی اثر معنی‌داری بر شاخص‌های اندازه‌گیری شده نداشتند (جدول ۲). در بین اثرات متقابل تیمارهای اعمال شده فقط اثر متقابل تنش خشکی با قارچ میکوریزا روی شاخص‌های سطح برگ و وزن‌تر گیاه و همچنین اثر متقابل بین رقم گیاه، تنش خشکی و قارچ میکوریزا روی شاخص سطح برگ گیاه دارای اثر معنی‌داری بودند (جدول ۲). بدین صورت که در مقایسه با تیمار شاهد در رقم بلوچی زمانیکه قارچ میکوریزا وجود داشته، سطح برگ افزایش یافته است. در رقم برکت نیز زمانیکه تنش خشکی متوسط بوده و قارچ میکوریزا وجود داشته است میزان سطح برگ گیاه نسبت به شاهد رشد زیادی داشته است، هرچند این افزایش سطح برگ در خشکی شدید و عدم حضور قارچ میکوریزا نیز دیده می‌شود. در رابطه با وزن تر گیاه می‌توان گفت که در تمامی تیمارها بجز تیمار شدید خشکی و در حضور قارچ میکوریزا وزن تر گیاه در مقایسه یا شاهد افزایش داشته است.

جدول۲- تجزیه واریانس شاخص‌های رشدی گیاه باقلا و جمعیت شته سبز نخودفرنگی تحت تأثیر تنش خشکی و قارچ میکوریزا در آزمایش سال اول

Table 2. Analysis of variance of faba bean growth indices and the pea aphid population under drought stress and mycorrhiza treatments (first year).

Variable	Factor	Sum of squares	DF	Mean square	*F*	*P*
Plant height	Cultivar	0.896	1	0.896	0.015	0.903
	Drought stress	27.373	2	13.686	0.231	0.795
	Mycorrhizae	2.081	1	2.081	0.035	0.853
	Drought stress× Mycorrhizae	359.211	2	179.605	3.028	0.063
	Cultivar× Mycorrhizae	43.325	1	43.325	0.730	0.399
	Drought stress× Cultivar	20.631	2	10.315	0.174	0.841
	Drought stress× Cultivar× Mycorrhizae	199.155	2	99.578	1.679	0.203
Leaf area	Cultivar	59.816	1	59.816	2.855	0.099
	Drought stress	47.329	2	23.664	1.141	0.332
	Mycorrhizae	18.178	1	18.178	0.877	0.356
	Drought stress× Mycorrhizae	209.968	2	104.984	5.064	**0.013**
	Cultivar× Mycorrhizae	6.472	1	6.472	0.312	0.580
	Drought stress× Cultivar	33.357	2	16.678	0.804	0.456
	Drought stress× Cultivar× Mycorrhizae	246.912	2	123.456	5.955	**0.006**
Wet plant weight	Cultivar	3.268	1	3.268	1.150	0.292
	Drought stress	4.402	2	2.201	0.774	0.470
	Mycorrhizae	0.774	1	0.774	0.272	0.605
	Drought stress× Mycorrhizae	27.711	2	13.855	4.875	**0.014**
	Cultivar× Mycorrhizae	2.319	1	2.319	0.816	0.373
	Drought stress× Cultivar	0.044	2	0.022	0.008	0.992
	Drought stress× Cultivar× Mycorrhizae	10.127	2	5.064	1.782	0.185
Total number of aphids	Cultivar	8683.921	1	8683.921	0.130	0.721
	Drought stress	88631.124	2	44315.562	0.665	0.522
	Mycorrhizae	45415.709	1	45415.709	0.681	0.416
	Drought stress× Mycorrhizae	238266.627	2	119133.313	1.787	0.184
	Cultivar× Mycorrhizae	212667.563	1	21267.563	3.189	0.084
	Drought stress× Cultivar	108052.404	2	54026.202	0.810	0.454
	Drought stress× Cultivar× Mycorrhizae	22075.444	2	11037.722	0.166	0.848

آزمایش سال دوم: تجزیه و تحلیل داده‌های مربوطه نشان داد که از بین تیمارهای اعمال شده فقط تنش خشکی اثر معنی‌داری بر شاخص‌های ارتفاع گیاه، تعداد برگ و تعداد کل شته‌ها داشت (جدول ۳). اثرات متقابل بین تیمارهای اعمال شده اختلاف معنی‌داری را نشان ندادند (جدول ۳). تیمارهای اعمال شده همچنین اثر معنی‌داری بر درصد افراد بالدار نیز نداشتند (χ^2=15.71, df=11, P=0.152).

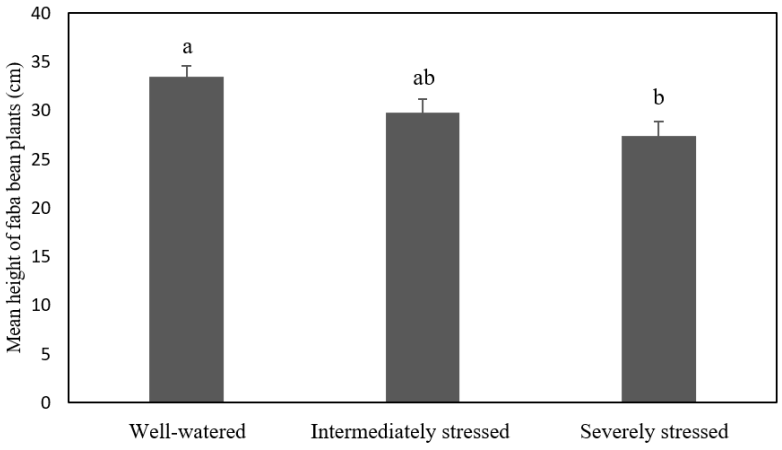
جدول۳ - تجزیه واریانس شاخص‌های رشدی گیاه باقلا و جمعیت شته سبز نخودفرنگی تحت تأثیر تنش خشکی و قارچ میکوریزا در

آزمایش سال دوم

Table 3. Analysis of variance of faba bean growth indices and the pea aphid population under drought stress and mycorrhiza treatments (second year).

Variable	Factor	Sum of squares	DF	Mean square	*F*	*P*
Plant height	Cultivar	65.382	1	65.382	1.123	0.292
	Drought stress	518.798	2	)9	4.455	**0.014**
	Mycorrhizae	3.351	1	3.351	0.058	0.811
	Drought stress× Mycorrhizae	77.585	2	38.793	0.666	0.516
	Cultivar× Mycorrhizae	14.708	1	14.708	0.253	0.616
	Drought stress× Cultivar	32.786	2	16.393	0.282	0.755
	Drought stress× Cultivar× Mycorrhizae	213.647	2	106.823	1.834	0.166
Number of leaves	Cultivar	12.242	1	12.242	1.821	0.181
	Drought stress	68.393	2	34.196	5.078	**0.008**
	Mycorrhizae	0.007	1	0.007	0.001	0.974
	Drought stress× Mycorrhizae	5.288	2	2.644	0.393	0.676
	Cultivar× Mycorrhizae	10.140	1	10.140	1.508	0.223
	Drought stress× Cultivar	1.328	2	0.664	0.099	0.906
	Drought stress× Cultivar× Mycorrhizae	31.308	2	15.654	2.328	0.103
Leaf area	Cultivar	17.599	1	17.599	1.375	0.244
	Drought stress	22.782	2	11.391	0.890	0.414
	Mycorrhizae	24.103	1	24.103	1.883	0.173
	Drought stress× Mycorrhizae	53.478	2	26.793	2.089	0.130
	Cultivar× Mycorrhizae	11.908	1	11.908	0.930	0.337
	Drought stress× Cultivar	7.352	2	3.676	0.287	0.751
	Drought stress× Cultivar× Mycorrhizae	10.985	2	5.493	0.429	0.652
Wet plant weight	Cultivar	1.621	1	1.621	0.830	0.365
	Drought stress	7.178	2	3.589	1.839	0.165
	Mycorrhizae	0.852	1	0.852	0.436	0.511
	Drought stress× Mycorrhizae	4.177	2	2.089	1.070	0.347
	Cultivar× Mycorrhizae	2.256	1	2.256	1.156	0.285
	Drought stress× Cultivar	3.687	2	1.843	0.944	0.393
	Drought stress× Cultivar× Mycorrhizae	9.287	2	4.644	2.379	0.098
Total number of aphids	Cultivar	0.001	1	0.001	0.006	0.938
	Drought stress	1.623	2	0.812	4.302	**0.016**
	Mycorrhizae	0.255	1	0.255	1.352	0.248
	Drought stress× Mycorrhizae	0.334	2	0.167	0.885	0.416
	Cultivar× Mycorrhizae	0.247	1	0.247	1.307	0.256
	Drought stress× Cultivar	0.611	2	0.305	1.618	0.204
	Drought stress× Cultivar× Mycorrhizae	0.265	2	0.133	0.703	0.498

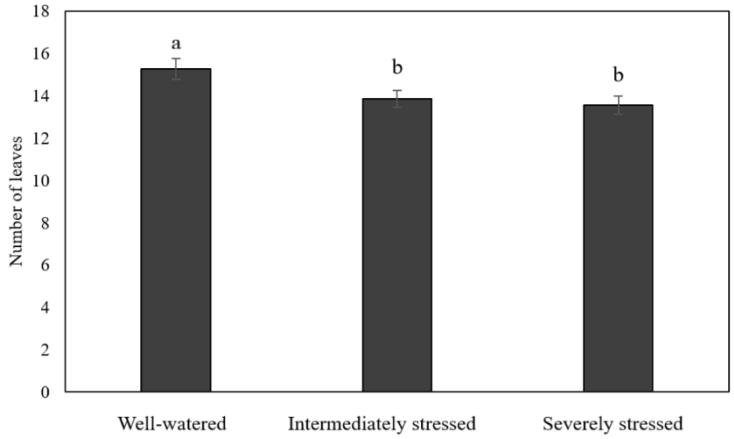
ارتفاع گیاه: نتایج نشان داد که تنش خشکی دارای اثر معنی‌داری بر شاخص ارتفاع گیاه باقلا بود. اثر تنش خشکی بدین گونه بود که موجب کاهش ارتفاع گیاه بطور میانگین به مقدار ٦ سانتی‌متر شد (شکل ١). بیش‌ترین ارتفاع گیاه در تیمار فاقد تنش خشکی (میانگین ارتفاع ٣٣ سانتی‌متر) و کمترین آن در تیمار تنش شدید خشکی (میانگین ارتفاع ٢٧ سانتی‌متر) مشاهده شد.



شکل ١- مقایسه تغییرات میانگین ارتفاع گیاه باقلا تحت تیمارهای مختلف تنش خشکی.

Fig.1. Mean height of faba bean plants under different drought stress treatments.

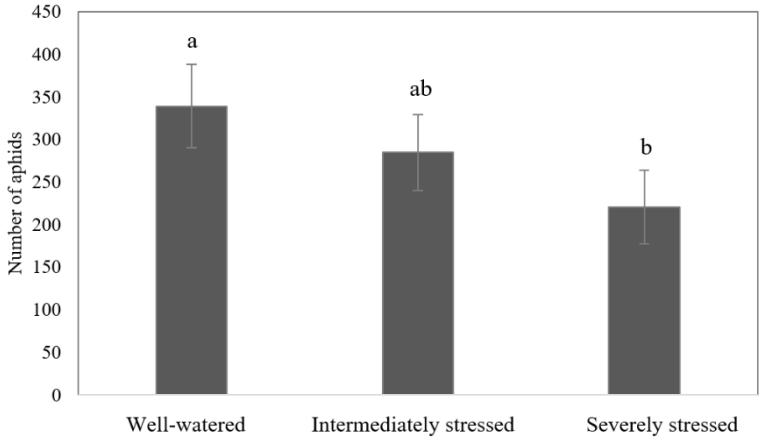
تعداد برگ گیاه: تنش خشکی دارای اثر معنی‌داری بر تعداد برگ گیاه باقلا داشت بدین گونه که موجب کاهش تعداد برگ گیاه (بطور میانگین یک برگ) شد (شکل ۲). بیش‌ترین تعداد برگ گیاه در تیمار فاقد تنش خشکی (میانگین ۱۵ برگ) و تعداد کم‌تر برگ در دو تیمار تنش متوسط و شدید خشکی (میانگین تعداد ١٤ برگ) مشاهده شد (شکل ۲).



شکل ۲- مقایسه تغییرات میانگین تعداد برگ گیاه باقلا تحت تیمارهای مختلف تنش خشکی.

Fig.2. Mean number of faba bean leaves under different drought stress treatments.

تعداد کل شته‌ها: نتایج نشان داد که تنش خشکی اثر معنی‌داری بر تعداد کل شته‌ها داشت و موجب کاهش تعداد کل شته‌ها روی گیاه شد (شکل ۳). بیش‌ترین تعداد شته در تیمار فاقد تنش خشکی (به تعداد میانگین ۳۳۹ عدد) و کم‌ترین آن در تیمار تنش شدید خشکی (به تعداد میانگین ۲۲۰ شته) مشاهده شد (شکل ۳)، هرچند که میانگین تعداد کل شته‌ها در دو تیمار تنش خشکی متوسط و تیمار فاقد تنش خشکی اختلاف معنی‌داری نداشتند.



شکل ۳- مقایسه میانگین تعداد کل شته‌ها تحت تیمارهای مختلف تنش خشکی.

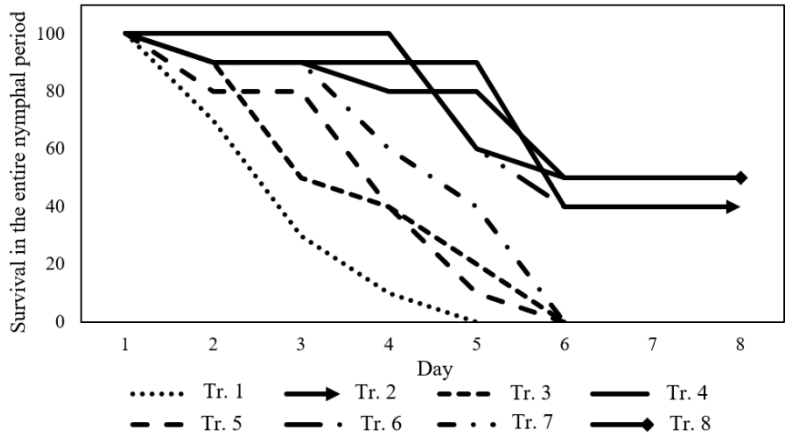
Fig.3. Mean number of aphids under different drought stress treatments.

ب) مطالعه شاخص‌های زیستی شته سبز نخودفرنگی تحت تأثیر تنش خشکی و قارچ میکوریزا

بقاء سنین مختلف پورگی: تیمارهای مختلف اعمال شده اختلاف معنی‌داری در بقاء افراد پوره سن اول شته سبز نخودفرنگی ایجاد نکردند (χ^2=6.8, df=7, P=0.45)، اما برای سن دوم (χ^2=31.182, df=7, P<0.001)، سن سوم (χ^2=44.137, df=7, P<0.001)، سن چهارم (χ^2=24.895, df=7, P=0.01) پورگی اختلاف معنی داری مشاهده شد. کم‌ترین بقاء چه در دوران پورگی و چه در کل دوران زندگی برای تیمار رقم بلوچی تحت تنش خشکی شدید ثبت گردید.

بقاء در کل دوران پورگی: بقاء افراد در کل دوران پورگی شته سبز نخودفرنگی تحت تیمارهای اعمال شده دارای اختلاف معنی‌داری

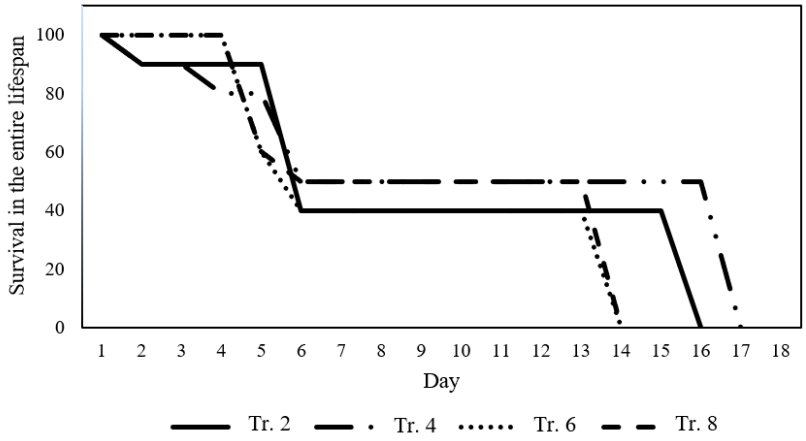
بود (χ^2=24.9, df=7, P=0.001). کم‌ترین بقاء برای تیمار رقم بلوچی تحت تنش خشکی شدید و بدون قارچ میکوریزا (تیمار شماره ۱) و بیش‌ترین بقاء در تیمارهای رقم بلوچی بدون تنش خشکی (تیمار شماره ۲)، تیمار رقم بلوچی بدون تنش خشکی و دارای قارچ میکوریزا (تیمار شماره ٤)، برکت بدون تنش خشکی و بدون قارچ میکورایزا (تیمار شماره ٦) و تیمار رقم برکت بدون تنش خشکی و دارای قارچ میکوریزا (تیمار شماره ۸) مشاهده شد (شکل ٤).



شکل ٤- درصد بقاء پوره‌های شته سبز نخودفرنگی در کل دوران پورگی روی تیمارهای مختلف. شماره تیمارهای تعریف شده در جدول ۱ آورده شده است.

Fig. 4. The percentage of survival of pea aphid nymphs on different treatments over the entire nymphal period. The treatment numbers defined are listed in Table 1.

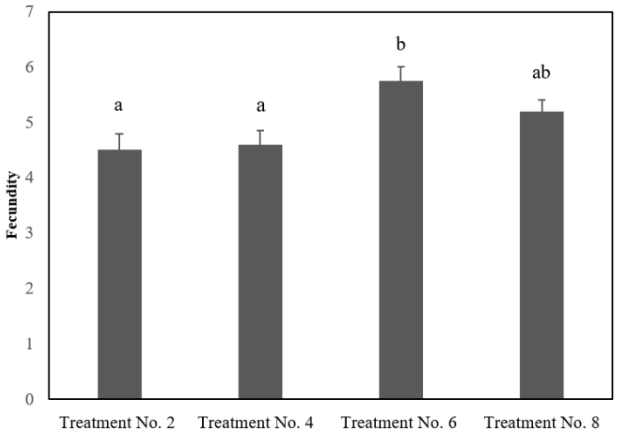
بقاء در کل دوران زندگی: بقاء در کل دوران زندگی هر فرد شته تحت تیمارهای اعمال شده دارای اختلاف معنی‌داری بود (χ^2=17.611, df=3, P=0.001). بیش‌ترین بقاء مربوط به تیمار رقم بلوچی بدون تنش خشکی و دارای قارچ میکوریزا (تیمار شماره ٤) بود (شکل ۵). کمترین بقاء مربوط به تیمار رقم بلوچی تحت تنش خشکی شدید و بدون قارچ میکوریزا (تیمار شماره ۱) بود و از آنجا که شته‌های این تیمار نتوانستند دوران زندگی خود را کامل کنند در شکل ۵ اطلاعات آنها آورده نشده است.



شکل ۵- بقاء افراد شته سبز نخودفرنگی در کل دوران زندگی روی تیمارهای مختلف. با توجه به اینکه افراد شته فقط در بعضی از تیمارها توانستند دوران زندگی خود را کامل کنند، در اینجا اطلاعات مربوط به آن تیمارها نشان داده شده است. شماره تیمارهای تعریف شده در جدول ۱ آورده شده است.

Fig.5. The survival of pea aphids throughout their entire lifespan on different treatments. Since aphids were able to complete their lifespan only in certain treatments, here are the details relevant to those treatments. The treatment numbers defined are listed in Table 1.

تولید مثل شته سبز نخودفرنگی: تولیدمثل شته سبز نخودفرنگی تحت تأثیر تیمارهای مختلف به طور معنی‌داری، دارای اختلاف بود (H=9.03, df=3, P=0.029). شته سبز نخودفرنگی در تیمار رقم برکت بدون تنش خشکی و بدون قارچ میکوریزا (تیمار شماره ٦) دارای بیش‌ترین میزان تولید مثل بود. کمترین میزان تولید مثل در تیمارهای رقم بلوچی بدون تنش خشکی و بدون قارچ میکوریزا (تیمار شماره ٢) مشاهده گردید (شکل ٦).



شکل ٦- تولید مثل شته سبز نخود فرنگی تحت تیمارهای اعمال شده. با توجه به اینکه افراد شته فقط در بعضی از تیمارها توانستند دوران زندگی خود را کامل کنند و به مرحله تولید مثل برسند، در اینجا فقط اطلاعات مربوط به آن تیمارها نشان داده شده است. شماره تیمارهای تعریف شده در جدول ١ آورده شده است.

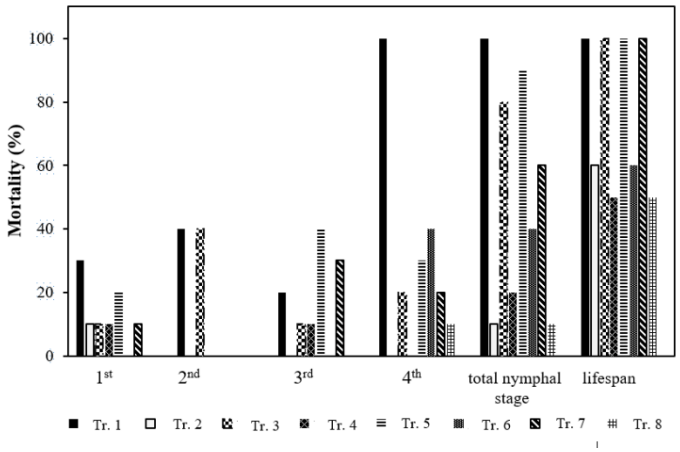
Fig.6. Reproduction of pea aphids under the applied treatments. Since aphids were only able to complete their lifespan and reach the reproduction stage in certain treatments, here are the details relevant to those treatments. The treatment numbers defined are listed in Table 1.

مرگ و میر شته سبز نخودفرنگی: نتایج بدست آمده از تجزیه و تحلیل آماری داده‌های مربوط به مرگ و میر شته سبز نخودفرنگی تحت تیمارهای اعمال شده نشان داد که اختلاف معنی‌داری از نظر میزان مرگ و میر وجود دارد (جدول ٤). در سن اول، چهارم و نیز کل دوران پورگی بیشترین میزان مرگ و میر در تیمار بلوچی تحت تنش خشکی شدید و بدون قارچ میکوریزا (تیمار شماره ١)، در سن دوم پورگی بیشترین میزان مرگ و میر در تیمار بلوچی تحت تنش خشکی شدید و بدون قارچ میکوریزا (تیمار شماره ١) و تیمار بلوچی تحت تنش خشکی شدید و دارای قارچ میکوریزا (تیمار شماره ٣)، بیشترین میزان مرگ و میر سن سوم پورگی در تیمار برکت تحت تنش خشکی شدید و بدون قارچ میکوریزا (تیمار شماره ٥) بود. بیش‌ترین مرگ و میر در کل دوران عمر در تیمار بلوچی تحت تنش خشکی شدید و بدون قارچ میکوریزا (تیمار شماره ١)، تیمار بلوچی تحت تنش خشکی شدید و دارای قارچ میکوریزا (تیمار شماره ٣)، تیمار برکت تحت تنش خشکی شدید و بدون قارچ میکوریزا (تیمار شماره ٥)، تیمار برکت تحت تنش خشکی شدید و دارای قارچ میکوریزا (تیمار شماره ٧)، رخ داد (شکل ٧).

جدول ۴- نتایج آزمون آماری مربع کای دو- پیرسون در رابطه با مرگ و میر شته سبز نخودفرنگی تحت تیمارهای اعمال شده روی گیاه باقلا.

Table 4. Analysis of chi squared – pearson of the pea aphid mortality under drought stress and mycorrhiza treatments

Life stage	Pearson chi-square	DF	*P*
First instar	6.886	7	0.441
Second instar	31.627	7	**0.000**
Third instar	18.900	7	**0.009**
Fourth instar	17.956	7	**0.012**
Total time of nymphal stage	37.173	7	**0.000**
Total life span	23.799	7	**0.001**



شکل ۷- درصد مرگ و میر در دوران پوره سن اول، دوم، سوم و چهارم، طول کل دوران پورگی و کل طول عمر شته سبز نخودفرنگی تحت تیمارهای اعمال شده روی گیاه باقلا. شماره تیمارهای تعریف شده در جدول ۱ آورده شده است.

Fig.7. The percentage of mortality during the first, second, third, and fourth instars, the total duration of the nymphal stage, and the overall lifespan of the pea aphid under the applied treatments on the bean plant. The treatment numbers defined are listed in Table 1.

بحث

در این پژوهش اثرات متقابل سطوح مختلف تنش خشکی و قارچ میکوریزا روی شاخص‌های رشدی گیاه باقلا (دو رقم برکت و بلوچی) و رشد جمعیت و برخی شاخص‌های زیستی شته سبز نخودفرنگی *Acyrthosiphon pisum* بررسی شد. تا کنون مطالعه‌ای روی این برهمکنش چندگانه انجام نشده است. نتایج این مطالعه نشان داد که تنش خشکی شدید باعث کاهش برخی از شاخص‌های رشدی گیاه باقلا مانند ارتفاع گیاه و تعداد برگ گیاه شد، هر چند که تأثیری بر وزن تر و مساحت سطح برگ مشاهده نشد. همچنین همزیستی قارچ میکوریزا با گیاه باقلا در شرایط تنش خشکی به تنهایی اثری بر گیاه و شته نداشت. تنش خشکی شدید باعث کاهش رشد جمعیت و تأثیر روی شاخص‌های زیستی شته سبز نخودفرنگی مانند بقاء، تولید مثل و مرگ و میر شد.

در مطالعه حاضر ارتفاع گیاه باقلا تحت تنش خشکی شدید نسبت به تیمار فاقد تنش خشکی و تیمار تنش خشکی متوسط کاهش یافت. همچنین تنش خشکی بر شاخص تعداد برگ گیاه نیز تأثیر معنی‌داری داشت به این صورت که در دو تیمار تنش متوسط و شدید خشکی تعداد کمتری برگ نسبت به تیمار فاقد تنش خشکی مشاهده شد. تنش خشکی واکنش‌های مورفولوژیک، فیزیولوژیک و بیوشیمیایی مختلفی را در گیاه القاء می‌کند، از جمله این موارد کاهش نرخ و کارآیی انتقال مواد غذایی از خاک به ریشه و نیز تحریک روزنه‌ها به بسته شدن و در نتیجه کاهش فتوسنتز و رشد سلولی است (Bagheri *et al*., 2023). هنگامی که رشد طولی و بزرگ شدن سلول و میتوز دچار اختلال شوند در نتیجه ارتفاع گیاه، سطح برگ، تعداد برگ و رشد محصول کاهش پیدا می‌کند (Khatun *et al*., 2021). گیاهچه‌های نخود هشت روزه که تحت تیمار خشکی به مدت پنج روز قرار گرفتند، نسبت به گیاهان شاهد تغییراتی از جمله کاهش در رشد اندام هوایی و ارتفاع و نیز کاهش در رشد ریشه نشان دادند (Vessal *et al*., 2020). در پژوهشی که Prudent *et al*., (2016) روی گیاه نخود فرنگی انجام دادند نشان داده شد کاهش دسترسی به آب به شدت روی جذب نیتروژن توسط گیاه نخود فرنگی تأثیر منفی داشت. این مسئله موجب کاهش نمو و کارکرد گره‌های تثبیت نیتروژن و کاهش گره‌زایی شده و از این طریق تنش خشکی موجب کاهش وزن خشک تمامی بخش‌های گیاهان حبوبات می‌شود (Mahieu *et al*., 2009). در پژوهش حاضر دو شاخص وزن‌تر و مساحت سطح برگ تحت تأثیر تنش خشکی قرار نگرفتند. مدت و شدت تنش خشکی، ژنوتیپ گیاه و مرحله رشدی گیاه روی آسیب ناشی از تنش خشکی و واکنش گیاه به آن تأثیر دارند (Seleiman *et al*., 2021). تحقیقات Mahieu *et al*., (2009) روی گیاه نخود فرنگی نشان داد که هنگامی که تنش خشکی در طی دوره پر شدن دانه‌ها، داده شد تعداد دانه در گیاهان تحت تنش کاهش یافت، در حالی که وقتی تنش خشکی در طی گلدهی داده شد تعداد غلاف نیز تحت تأثیر قرار گرفت. همچنین تنش خشکی طی دوره گلدهی روی کاهش میزان محصول تأثیر بیشتری نسبت به تنش خشکی طی دوره پرکردن غلاف داشت.

دسترسی به آب برای رشد گیاهان و واکنش آنها نسبت به حشرات آفت اهمیت دارد (Koricheva and Larsson, 1998). برخی پژوهش ها نشان داده است که حشرات آفت مکنده مانند شته‌ها روی گیاهانی که تحت تنش خشکی قرار می‌گیرند نسبت به گیاهانی که دسترسی کافی به آب دارند عملکرد بهتری نشان می‌دهند (Khan *et al*., 2010; Mewis *et al*., 2012). در مقابل سیمپسون و همکاران (۲۰۱۲) نشان دادند که حشرات آفت روی گیاهان دارای دسترسی کافی به آب بهتر رشد می‌کنند (Simpson *et al*., 2012). همچنین در پژوهشی که تأثیر تنش خشکی بر جمعیت شته سبز نخود فرنگی *Acyrthosiphon pisum* روی گیاه نخود فرنگی را بررسی کرده است نتایج نشان داد که تحت تنش خشکی جمعیت این شته کاهش یافت (Mcvean and Dixon, 2001). در مطالعه حاضر نیز نتایج بدست آمده نشان داد که در تنش خشکی شدید جمعیت شته سبز نخود فرنگی کاهش می‌یابد. تنش خشکی روی تولید مثل، بقاء و مرگ و میر شته‌ی سبز نخود فرنگی تأثیر معنی‌دار داشت. هر چه میزان تنش خشکی شدیدتر بود تولید مثل و بقاء شته سبز نخود فرنگی کاهش و مرگ و میر افزایش یافت. مطالعات متعددی کاهش عملکرد شته ها روی گیاهان میزبان تحت تنش خشکی را با کاهش توان و رشد گیاه و افزایش مواد شیمیایی دفاعی در گیاه تحت تنش خشکی مرتبط دانسته‌اند (Beetge and Krüger, 2019; Xie *et al*., 2020). گیاهان ضعیف غلظت مواد دفاعی بالاتری دارند و به دلیل ایجاد بازدارندگی در تغذیه و کاهش دریافت شیره گیاهی، بقاء شته‌ها در مواجهه با این ترکیبات کاهش می‌یابد. ترکیبات دفاعی گیاهان تحت تنش خشکی افزایش می‌یابد که موجب کاهش بقاء در شته‌ها می‌شود (Greenslade *et al*., 2016). تنش خشکی و تغذیه شته هر کدام به طور جداگانه موجب تحریک مسیرهای دفاعی گیاه می‌شوند (Moran and Thompson, 2001; Patton *et al*., 2020). Kansman *et al*., (2020) گزارش کردند که در گیاهان گندم دارای دسترسی کافی به آب، سالیسیلیک اسید و جاسمونیک اسید با گذشت زمان افزایش می‌یابد در حالی که وقتی گیاهان تحت تنش خشکی و تغذیه شته بودند جاسمونیک اسید کاهش یافت. آن‌ها همچنین مشاهده کردند که غلظت سالیسیلیک اسید در تیمارهای تحت تنش خشکی شدید زیاد بود که احتمالاً موجب افزایش تحمل گیاه به شته شده بود.

رفتار حشرات تحت تنش خشکی می‌تواند به دلیل تغییر در دسترسی به نیتروژن، مواد قندی و برخی صفات گیاه میزبان باشد (Huberty and Denno, 2004; Price, 2019). حشرات آفت در گیاهان تحت تنش خشکی به دلیل افزایش نیتروژن عملکرد بهتری دارند (White,1969) اما در مطالعه حاضر چنین چیزی دیده نشد و عملکرد شته *A. pisum* روی گیاه باقلا تحت تنش خشکی کاهش یافت. البته برخی پژوهش‌ها نیز تأثیر تنش خشکی روی میزان نیتروژن در بافت گیاه میزبان را رد می‌کنند و علت چنین گزارشاتی از تأثیر تنش خشکی بر نیتروژن بافت گیاه میزبان را نتیجه حضور شته و یا طراحی آزمایش‌های مربوطه دانسته‌اند (Leybourne et al., 2021). در گیاهان تحت تنش خشکی غلظت مواد قندی افزایش و برخی اسیدهای آمینه کاهش می‌یابند (Mewis *et al*., 2012; Kansman *et al*., 2022). در پژوهشی Kansman *et al*., (2020) نشان دادند که عملکرد *Rhopalosiphum padi* L. روی گندم تحت تنش خشکی به دلیل افزایش مواد قندی و کاهش اسید آمینه‌های ضروری کاهش یافت. آن‌ها مشاهده کردند که در گیاهان گندم تحت تنش خشکی غلظت مواد قندی افزایش یافت که از طریق کاهش کارآیی تغذیه (Douglas, 2006) روی بقاء شته تأثیر گذاشته بود. همچنین غلظت چهار اسید آمینه ضروری شامل لایزین، متیونین، فنیل آلانین و تیروزین کاهش یافته بود که تغذیه *R. padi* روی گندم را محدود کرده بود. با این حال گزارشاتی از تأثیر مثبت افزایش مواد قندی در عملکرد شته ها روی گیاهان تحت تنش خشکی وجود دارد. در پژوهشی Mewis *et al*., (2012) افزایش جمعیت *Myzus persicae* روی میزبان را مشاهده کردند که این را ناشی از افزایش کیفیت مواد قندی و اسیدهای آمینه در میزبان تحت تنش خشکی بیان کردند. از دیگر عوامل تأثیر گذار در عملکرد تغذیه‌ای شته‌ها روی گیاه میزبان تحت تنش خشکی، فشار تورژسانس شیره گیاهی است زیرا بسیاری از شته‌ها برای تغذیه به فشار شیره گیاهی متکی هستند (Auclair, 1963; Huberty and Denno, 2004). Kansman *et al*., (2020) کاهش تولید عسلک توسط شته *R. padi* را در گیاهان تحت تنش خشکی گزارش کردند که نشان از ضعف در توان تغذیه‌ای این شته بود. اگرچه این فرضیه وجود دارد که افزیش کیفیت غذایی در شیره گیاهی ناشی از محدودیت آبی خفیف برای حشرات آفت تغذیه کننده از شیره گیاهی سودمند است اما محدودیت مداوم و شدید منابع آبی به دلیل کاهش فشار تورژسانس و در نتیجه ممانعت از تغذیه موجب کاهش عملکرد حشرات مکنده می‌شود (Huberty and Denno, 2004).

پاسخ شته‌ها به تنش خشکی بسیار پیچیده است و تفاوت‌هایی که در نتایج پژوهش‌های مختلف دیده می‌شود ناشی از تفاوت‌ها در واکنش خود گیاه میزبان به تنش خشکی و نیز تفاوت‌ها در واکنش گونه شته به تنش خشکی است. اثر تنش خشکی روی شته‌ها وابسته به واریته گیاه، میزان تحمل به خشکی، شدت و مدت تنش خشکی و ترکیبات شیمیایی گیاه میزبان است (Mody *et al*., 2009; Quandahor *et al*., 2023). مطالعات محدوی وجود دارد که تأثیر مقاومت رقم میزبان به تنش خشکی روی عملکرد شته ها را بررسی کرده است. برخی از این پژوهش ها نشان داده است که بقاء شته ها روی میزبان مقاوم نسبت به میزبان حساس کمتر کاهش یافته است (Dardeau *et al*., 2015; Guo *et al*., 2016) که با نتایج پژوهش حاضر همخوانی داشت. Quandahor *et al*., (2019) در بررسی تنش خشکی و تغذیه شته *Myzus persicae* در سه رقم سیب زمینی مشاهده کردند که رقم آتلانتیک که به خشکی حساس است، تحت تنش خشکی نسبت به آلودگی توسط شته مقاومت بیشتری نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها نشان داد و در مقابل رقم کینگزشو۹ که به خشکی مقاوم است به آلودگی توسط شته حساست بالایی نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها نشان داد. در این پژوهش نتایج بدست آمده نشان داد در تنش خشکی شدید کمترین بقاء شته‌ی سبز نخود فرنگی مربوط به تیمار رقم بلوچی (بدون قارچ میکوریزا) بود. بیشترین مرگ و میر هم در شرایط تنش خشکی در تیمار رقم بلوچی مشاهده شد که می‌تواند نشان دهنده مقاومت این رقم به شته در شرایط تنش خشکی شدید باشد. رقم بلوچی همچنین در شرایط بدون تنش خشکی (تیمار شماره دو) کمترین میزان تولید مثل شته را نشان داد در حالیکه در همین شرایط رقم برکت (تیمار شماره شش) بیشترین میزان تولید مثل در شته را داشت که بیانگر مقاومت بیشتر رقم بلوچی نسب به رقم برکت در مقابل تولید مثل این شته بود.

نتایج این پژوهش نشان داد که در تیمارهای دارای قارچ میکوریزا بیشترین بقاء و نیز بیشترین تولید مثل شته مربوط به تیمار رقم بلوچی بدون تنش خشکی (تیمار شماره ٤) بود. به نظر می رسد همزیستی رقم بلوچی با قارچ‌های میکوریزا و همچنین زودرس بودن آن، شرایط مساعدی برای شته ایجاد کرده که شته سبز نخود فرنگی می‌تواند با استفاده از آن، دوره‌ی زندگی خود را کامل کند. گزارشات زیادی از تأثیر حضور قارچ‌های میکوریزا روی برهمکنش گیاهان و حشرات آفت آن ها خصوصاً شته ها وجود دارد (Koricheva *et al*., 2009; Babikova *et al*., 2014). نتایج بسیاری از پژوهش ها نشان داده است که حشرات تغذیه کننده از شیره گیاهی در حضور میکوریزا روی میزبانشان عملکرد بهتری دارند زیرا میکوریزا کیفیت گیاه میزبان را ارتقاء داده و میزان نیتروژن و فسفر در گیاه را افزایش می‌دهد (Koricheva *et al*., 2009; Babikova *et al*., 2013). قارچ‌های میکوریزا علاوه بر تأثیر روی وضعیت مواد غذایی در گیاه، روی دفاع گیاه نیز تأثیر گذاشته و بیوسنتز برخی ترکیبات آلی فرار را تحریک می‌کند (Cosme *et al*., 2011) که این مورد نیز روی برهمکنش گیاه با شته ها تأثیر دارد.

به طور کلی نتایج ما نشان داد که تنش خشکی شدید موجب کاهش رشد و عملکرد شته *Acyrthosiphon pisum* روی گیاه باقلا شد و روی شاخص‌های زیستی شته سبز نخودفرنگی مانند بقاء، تولید مثل و مرگ و میر تأثیر داشت. کاهش عملکرد شته روی گیاهان تحت تنش خشکی می‌تواند ناشی از کاهش توان و رشد گیاه، افزایش مواد شیمیایی دفاعی، کاهش اسیدهای آمینه و افزایش میزان ساکاروز یا نیتروژن در گیاه تحت تنش خشکی باشد. مقاومت رقم میزبان به تنش خشکی روی عملکرد این شته تأثیر داشت. در تنش خشکی شدید کمترین بقاء و بیشترین مرگ و میر شته‌ی سبز نخود فرنگی مربوط به تیمار رقم بلوچی بود که می‌تواند نشان دهنده مقاومت این رقم به شته در شرایط تنش خشکی شدید باشد. نتایج این پژوهش در رابطه با تأثیر تنش خشکی روی برهمکنش‌های بین گیاه و حشرات آفت، در گسترش دید ما از چگونگی واکنش حشرات آفت به پدیده تغییر اقلیم نقش مهمی ایفا می‌کند. از طرفی هم باید اشاره نمود که در این مطالعه قارچ مایکورایز اثر معنی‌داری بر گیاه یا شته نداشت که این امر می‌تواند به عوامل مختلفی بستگی داشته باشد، بنابراین پیشنهاد می‌شود که در مطالعات بعدی از میزان بیشتری قارچ برای آلوده سازی اولیه استفاده شود و همچنین در صورت امکان اگر شرایط گیاه و آزمایش اجازه می‌دهند مدت بیشتری برای ایجاد ارتباط بین قارچ و گیاه اختصاص داده شود تا اثرات همزیستی قارچ با گیاه بیشتر نمود پیدا کنند.

سپاسگزاری

این مقاله حاصل پژوهش مربوط به پایان نامه کارشناسی ارشد نویسنده اول می‌باشد که با حمایت مالی دانشگاه

تحصـیلات تکمیلی صـنعتی و فناوری پیشرفته، کرمان انجام شده است.

References

AHMED, S.S., LIU, D. and J.C. SIMON, 2017. Impact of water-deficit stress on tritrophic interactions in a wheat-aphid-parasitoid system. PLoS One, 12(10): e0186599. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0186599

ARCHER, TI, BYNUM, E.D.J.R., ONKEN, A.B. and C.W. WENDT, 1995. Influence of water and nitrogen-fertilizer on biology of the Russian wheat aphid (Homoptera: Aphididae) on wheat. Crop Protection. 14: 165-169. https://doi.org/10.1016/0261-2194(95)92872-K

AUCLAIR, J. L. 1963. Aphid feeding and nutrition. Annual Review of Entomology, 8: 439-490. https://doi.org/10.1146/annurev.en.08.010163.002255

BABIKOVA, Z., GILBERT, L., BRUCE, T.J.A., PICKETT, J.A. and D. JOHNSON, 2013. Arbuscular mycorrhizal fungi and aphids interact by changing host plant quality and volatile emission. Functional Ecology, 28: 375-385. https://doi.org/10.1111/1365-2435.12181

BABIKOVA, Z., GILBERT, L., RANDALL, K. C., BRUCE, T. J., PICKETT, J. A. and D. JOHNSON, 1014. Increasing phosphorus supply is not the mechanism by which arbuscular mycorrhiza increase attractiveness of bean (*Vicia faba*) to aphids. Journal of Experimental Botany, 65(18): 5231-5241. https://doi.org/10.1093/jxb/eru283

BAGHERI, M., SANTOS, C.S., RUBIALES, D. and M.W. VASCONCELOS, 1023. Challenges in pea breeding for tolerance to drought: Status and prospects. Annals of Applied Biology, 183(2): 108-120. https://doi.org/10.1111/aab.12840

BEETGE, L. and K. KRÜGER, 1019. Drought and heat waves associated with climate change affect performance of the potato aphid *Macrosiphum euphorbiae*. Scientific Reports, 9: e3645. https://doi.org/10.1038/s41598-018-37493-8

BRAY, EA. 1997. Plant response to water deficit. Trends of Plant Science, 2: 48-54.

COLELLA, T., CANDIDO, V., CAMPANELLI, G., CAMELE, I. and D. BATTAGLIA, 1014. Effect of irrigation regimes and artificial mycorrhization on insect pest infestations and yield in tomato crop. Phytoparasitica, 42: 235-246. https://doi.org/10.1007/s12600-013-0356-3

COSME, M., STOUT, MJ. and S. WURST 2011. Effect of arbuscular mycorrhizal fungi (*Glomus intraradices*) on the oviposition of rice water weevil (*Lissorhoptrus oryzophilus*). Mycorrhiza, 21: 651-658. https://doi.org/10.1007/s00572-011-0399-6

DARDEAU, F., BERTHIER, A., FEINARD-DURANCEAU, M., BRIGNOLAS, F., LAURANS, F., LIEUTIER, F. and A. SALLÉ, 1015. Tree genotype modulates the effects of water deficit on a plant-manipulating aphid. Forest Ecology and Management, 353: 118-125. https://doi.org/10.1016/j.foreco.2015.05.037

DOUGLAS, A. E. 1006. Phloem-sap feeding by animals: Problems and solutions. Journal of Experimental Botany, 57: 747-754. https://doi.org/10.1093/jxb/erj067

GARG, B.K., KATHJU, S. and U. BURMAN, 2001. Influence of water stress on water relations, photosynthetic parameters and nitrogen metabolism of moth bean genotypes. Biologia Plantarum, 44: 289-292. https://doi.org/10.1023/A:1010215812791

GREENSLADE, A.F. C., WARD, J.L., MARTIN, J.L., COROL, D.I., CLARK, S.J., SMART, L.E. and G.I. ARADOTTIR, 2016. *Triticum monococcum* lines with distinct metabolic phenotypes and phloem-based partial resistance to the bird cherry-oat aphid *Rhopalosiphum padi*. Annals of Applied Biology, 168: 435-449. https://doi.org/10.1111/aab.12274

GUO, H., SUN, Y., PENG, X., WANG, Q., HARRIS, M. and F. GE, 2016. Up-regulation of abscisic acid signaling pathway facilitates aphid xylem absorption and osmoregulation under drought stress. Journal of Experimental Botany, 67: 681-693. https://doi.org/10.1093/jxb/erv481

HUBERTY, A.F. and R.F. DENNO, 2004. Plant water stress and its consequences for herbivorous insects: a new synthesis. Ecology, 85 :1383-1398. https://doi.org/10.1890/03- 0352

PHILLIPS, J.M. and D.S. HAYMAN, 1970. Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. Transactions of the British mycological Society, 55(1): 158-161. https://doi.org/10.1016/S0007-1536(70)80110-3

KANSMAN, J. T., BASU, S., CASTEEL, C. L., CROWDER, D. W., LEE, B. W., NIHRANZ, C. T. and D. L. FINKE, 2022. Plant water stress reduces aphid performance: exploring mechanisms driven by water stress intensity. Frontiers in Ecology and Evolution, 10: 846908. https://doi.org/10.3389/fevo.2022.846908

KANSMAN, J., NALAM, V., NACHAPPA, P. and D. FINKE, 2020. Plant water stress intensity mediates aphid host choice and feeding behaviour. Ecological Entomology, 45: 1437-1444. https://doi.org/10.1111/een.12928

KHAN, M.A., ULRICHS, C., and I. MEWIS, 2011. Water stress alters aphid induced glucosinolate response in *Brassica oleracea* var. italica differently. Chemoecology, 21: 235-242. https://doi.org/10.1007/s00049-011-0084-4

KHAN, M.A.; ULRICHS, C.; and I. MEWIS, 2010. Influence of water stress on the glucosinolate profile of *Brassica oleracea* var. italica and the performance of *Brevicoryne brassicae* and *Myzus persicae*. Entomologia Experimentalis et Applicata, 137: 229-236. https://doi.org/10.1111/j.1570-7458.2010.01059.x

KHATUN, M., SARKAR, S., ERA, F. M., ISLAM, A. M., ANWAR, M. P., FAHAD, S., DATTA, R. and A. A. ISLAM, 2021. Drought stress in grain legumes: Effects, tolerance mechanisms and management. Agronomy, 11(12): 2374. https://doi.org/10.3390/agronomy11122374

KING, C., JACOB, H.S. and F. BERLANDIER, 2006. The influence of water deficiency on the relationship between canola (*Brassica napus* L.), and two aphid species (Hemiptera: Aphididae), *Lipaphis erysimi* (Kaltenbach) and *Brevicoryne brassicae* (L.). Australian Journal of Agricultural Research, 57: 439-445. https://doi.org/10.1071/AR05137

KORICHEVA, J., GANGE, A.C., J. and T. ONES, 2009. Effects of mycorrhizal fungi on insect herbivores: a meta-analysis. Ecology, 90: 2088-2097. https://doi.org/10.1890/08-1555.1

KORICHEVA, J. and S. LARSSON, 1998. Insect performance on experimentally stressed woody plants: A meta-analysis. Annual Review of Entomolog,, 43: 195-216. https://doi.org/10.1146/annurev.ento.43.1.195

LEE, B.R., MUNEER, S., AVICE, J.C., JUNG, W.J. and T.H. KIM, 2012. Mycorrhizal colonization and P-supplement effects on N uptake and N assimilation in perennial ryegrass under well-watered and drought-stressed conditions. Mycorrhiza, 22, 525-534. https://doi.org/10.1007/s00572-012-0430-6

LEYBOURNE, D. J., PREEDY, K. F., VALENTINE, T. A., BOS, J. I. and A. J. KARLEY, 2021. Drought has negative consequences

on aphid fitness and plant vigor: Insights from a meta-analysis. Ecology and Evolution, 11(17): 11915-11929. https://doi.org/10.1002/ece3.7957

LI H., PAYNE W.A., MICHELS G.J. and C.M. RUSH 2008. Reducing plant abiotic and biotic stress: Drought and attacks of greenbugs, corn leaf aphids and virus disease in dryland sorghum. Environmental and Experimental Botany, 63: 305-316. https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2007.11.014

LIU J. N., WU L. J., WEI S. L., XIAO X., SU C. X., JIANG P., SONG, Z., WANG, T. and Z. YU, 2007. Effects of arbuscular mycorrhizal fungi on the growth, nutrient uptake and glycyrrhizin production of licorice (*Glycyrrhiza uralensis* Fisch). Plant Growth Regulation, 52 29-39. https://doi.org/10.1007/s10725-007-9174-2

LOBELL, D. B. and S. M. GOURDJI, 2012. The influence of climate change on global crop productivity. Plant Physiology, 160: 1686-1697. https://doi.org/10.1104/pp.112.208298

MAHIEU, S., GERMON, F., AVELINE, A., HAUGGAARD-NIELSEN, H., AMBUS, P. and E. S. JENSEN, 2009. The influence of water stress on biomass and N accumulation, N partitioning between above and below ground parts and on N rhizodeposition during reproductive growth of pea (*Pisum sativum* L.). Soil Biology and Biochemistry, 41(2): 380-387. https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2008.11.021

MCVEAN, R. I. and A. F. DIXON, 2001. The effect of plant drought-stress on populations of the pea aphid *Acyrthosiphon pisum*. Ecological Entomology, 26(4). https://doi.org/10.1046/j.1365-2311.2001.00341.x

MEWIS, I., KHAN, M. A. M., GLAWISCHNIG, E., SCHREINER, M. and C. ULRICHS, 2012. Water stress and aphid feeding differentially influence metabolite composition in *Arabidopsis thaliana* (L.). PLoS One: 7:e48661. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0048661

MODY, K., EICHENBERGER, D. and S.DORN, 2009. Stress Magnitude Matters: Different Intensities of Pulsed Water Stress Produce Non-Monotonic Resistance Responses of Host Plants to Insect Herbivores. Ecological Entomology, 34: 133-143. https://doi.org/10.1111/j.1365-2311.2008.01053.x

MORAN, P. J. and G. A. THOMPSON, 2001. Molecular responses to aphid feeding in arabidopsis in relation to plant defense pathways. Plant Physiology, 125: 1074-1085. https://doi.org/10.1104/pp.125.2.1074

OLSON, D., BERRY, H. M., RIGGS, J. D., ARGUESO, C. T. and S. K. GOMEZ, 2022. Phytohormone profile of Medicago in response to mycorrhizal fungi, aphids, and gibberellic acid. Plants, 11(6): 720. https://doi.org/10.3390/plants11060720

PATTON, M. F., BAK, A., SAYRE, J. M., HECK, M. L. and C. L. CASTEEL, 2020. A polerovirus, Potato leafroll virus, alters plant–vector interactions using three viral proteins. Plant, Cell & Environment, 43: 387-399. https://doi.org/10.1111/pce.13684

PHILLIPS, J.M. and D.A. HAYMAN, 1970. Improved Procedures for Clearing Roots and Staining Parasitic and Vesicular-Arbuscular Mycorrhizal Fungi for Rapid Assessment of Infection. Transactions of the British Mycological Society, 55: 158-161. https://doi.org/10.1016/S0007-1536(70)80110-3

PONS, C., VOß, A. C., SCHWEIGER, R. and C. MÜLLER, 2020. Effects of drought and mycorrhiza on wheat and aphid infestation. Ecology and Evolution, 10(19): 10481-10491. https://doi.org/10.1002/ece3.6703

PONS, X. and G.M. TATCHELL, 1995. Drought stress and cereal aphid performance. Annals of Applied Biology, 126: 19-31. https://doi.org/10.1111/j.1744-7348.1995.tb05000.x

PRICE, P. W. 2019. The Plant vigor Hypothesis and herbivore attack. Oikos, 62, 244–251. https://doi.org/10.2307/3545270

PRUDENT, M., VERNOUD, V., GIRODET, S. and C. SALON, 2016. .How nitrogen fixation is modulated in response to different water availability levels and during recovery: A structural and functional study at the whole plant level. Plant and Soil, 399(1) :1-12. https://doi.org/10.1007/s11104-015-2674-3

QUANDAHOR, P., LIN, C., GOU, Y., COULTER, J.A. and C. LIU, 2019. Leaf Morphological and Biochemical Responses of Three Potato (*Solanum tuberosum* L.) Cultivars to Drought Stress and Aphid (*Myzus persicae* Sulzer) Infestation. Insects, 10: 11-12. https://doi.org/10.3390/insects10120435

QUANDAHOR, P., YAHAYA, I., KUSI, F., SUGRI, I., MAHAMA, G. Y., YIRZAGLA, J., ALHASSAN, A.K., DAWUDA, M.M., TENGEY, T.K., YAHAYA, A. and M.A., OGUM, 2023. Aphids Response to Drought Stress Hypothesis Vary between Species. Open Access Library Journal, 10(9): 1-18. https://doi.org/10.4236/oalib.1110633

SELEIMAN, M. F., AL-SUHAIBANI, N., ALI, N., AKMAL, M., ALOTAIBI, M., REFAY, Y., DINDAROGLU, T., ABDUL-WAJID, H. H. and M. L. BATTAGLIA, 2021. Drought stress impacts on plants and different approaches to alleviate its adverse effects. Plants, 10(2): 259. https://doi.org/10.3390/plants10020259

SIMPSON, K.L.S., JACKSON, G.E. and J. GRACE, 2012. The response of aphids to plant water stress—The case of *Myzus persicae* and *Brassica oleracea* var. capitata. Entomologia Experimentalis et Applicata, 142 :191-202. https://doi.org/10.1111/j.1570-7458.2011.01216.x

STREETER, J.G., LOHNES D.G. and R.J. FIORITTO 2001. Paterns of pinitrol accumulation in soybean plants and relationships to drought tolerance. Plant Cell and Environment, 24: 429-438. https://doi.org/10.1046/j.1365-3040.2001.00690.x

TOMCZAK, V.V. and C. MÜLLER, 2017. Influence of arbuscular mycorrhizal stage and plant age on the performance of a generalist aphid. Journal of Insect Physiology, 98: 258-266. https://doi.org/10.1016/j.jinsphys.2017.01.016

VESSAL, S.; AREFIAN, M. and K.H. SIDDIQUE, 2020. Proteomic responses to progressive dehydration stress in leaves of chickpea seedlings. BMC genomics, 21: 1-15. https://doi.org/10.1186/s12864-020-06930-2

VOS, C., CLAERHOUT, S., MKANDAWIRE, R., PANIS, B., DE WAELE, D. and A. ELSEN, 2012. Arbuscular mycorrhizal fungi reduce root-knot nematode penetration through altered root exudation of their host. Plant and Soil, 354: 335-345. https://hdl.handle.net/10568/35836

WHITE, T.C.R. 1969. An index to measure weather-induced stress of trees associated with outbreaks of psyllids in Australia. Ecology, 50: 905-909. https://doi.org/10.2307/1933707

WILKINSON, T., ASHFORD, D., PRITCHARD, J. and A. DOUGLAS, 1997. Honeydew sugars and osmoregulation in the pea aphid *Acyrthosiphon pisum*. Journal of Experimental Biology, 200: 2137-2143. https://doi.org/10.1242/jeb.200.15.2137

XIE, H., SHI, J., SHI, F., XU, H., HE, K. and Z. WANG, 2020. Aphid fecundity and defenses in wheat exposed to a combination of heat and drought stress. Journal of Experimental Botany, 71: 2713-2722. https://doi.org/10.1093/jxb/eraa017

YOUNGINGER, B., BARNOUTI, J. and D. C. MOON, 2009. Interactive effects of mycorrhizal fungi, salt stress, and competition on the herbivores of *Baccharis halimifolia*. Ecological Entomology, 34(5): 580-587. https://doi.org/10.1111/j.1365-2311.2009.01105.x