doi: 10.22124/cr.2020.15633.1562

(مقاله پژوهشی)

تحقیقات غلات

دوره دهم/ شماره اول/ بهار ۱۳۹۹ (۸۵-۷۳)

بررسی رشد مجدد علف‌های هرز جودره (*Hordeum spontaneum* Koch.) و چاودار وحشی (*Secale cereale* L.) در مقایسه با گندم پس از تنش یخزدگی

علیرضا حسن‌فرد[۱] و ابراهیم ایزدی دربندی[۲*]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱۱/۱۵ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۳/۰۳

چکیده

اطلاع از میزان تحمل به تنش یخزدگی در چاودار وحشی و جودره، به‌عنوان مهم‌ترین علف‌های هرز مزارع گندم، می‌تواند زمینه‌ساز پیش‌بینی پراکنش جغرافیایی و برنامه‌ریزی‌های مدیریتی آن‌ها باشد. به‌همین منظور، آزمایشی در دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد در پاییز سال ۱۳۹۶ انجام شد. دو ژنوتیپ گندم (رقم پیشگام و توده بومی قزل‌خوشه) و دو علف هرز (جودره و چاودار وحشی) تا مرحله دو تا چهار برگی حقیقی تحت شرایط طبیعی رشد و سپس در معرض گستره دمایی ۴+ تا ۲۰- درجه سلسیوس (۴+ درجه به‌عنوان شاهد و صفر، ۴-، ۸-، ۱۲-، ۱۶- و ۲۰- درجه سلسیوس به‌عنوان دماهای یخزدگی) قرار گرفتند. نتایج نشان داد که کاهش دما از ۸- به ۱۲- درجه سلسیوس، منجر به کاهش ۳۶ درصدی بقای جودره شد، در حالی‌که بقای گندم (رقم پیشگام و توده قزل‌خوشه) و چاودار وحشی تا دمای ۱۲- درجه سلسیوس، ۱۰۰ درصد بود. بیش‌ترین دمای کاهنده ۵۰ درصد از بقا (LT_{50su}= -۱۲/۸ °C) و همچنین بیش‌ترین دمای کاهنده ۵۰ درصد از سطح برگ ($RLAT_{50}$=-۱۱/۲ °C) به علف هرز جودره تعلق داشت. در بین گونه‌های گیاهی مورد مطالعه، گندم توده قزل‌خوشه و چاودار وحشی به‌ترتیب با ۱۱/۸- و ۱۱/۶- درجه سلسیوس، کم‌ترین دمای کاهنده ۵۰ درصد از وزن خشک اندام هوایی ($RSDWT_{50}$) را داشتند، در حالی‌که جودره با ۸/۱- درجه سلسیوس، بیش‌ترین میزان $RSDWT_{50}$ را دارا بود. بیش‌ترین و کم‌ترین عدد کلروفیل‌متر در بین گیاهان زنده، به‌ترتیب در دماهای ۴+ و ۱۲- درجه سلسیوس مشاهده شد و چاودار وحشی با ۱۹/۵ واحد اسپد و جودره با ۱۰/۳ واحد اسپد به‌ترتیب بیش‌ترین و کم‌ترین عدد کلروفیل‌متر را نشان دادند. نتایج این تحقیق نشان داد که تحمل بالای چاودار وحشی به تنش یخزدگی، احتمالاً یکی از دلایل اصلی حضور وسیع آن در مزارع گندم زمستانه است. بنابراین، پیش‌بینی پراکنش و تهاجم احتمالی و در نتیجه اقدامات مناسب برای مدیریت این علف هرز در مناطقی با اقلیم سرد، ضروری است.

واژه‌های کلیدی: برنامه‌ریزی مدیریتی، پراکنش جغرافیایی، درصد بقا، سطح برگ، کلروفیل‌متر

۱- دانشجوی دکتری، گروه اگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

۲- دانشیار، گروه اگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

* نویسنده مسئول: e-izadi@um.ac.ir

مقدمه

گندم یکی از مهم‌ترین محصولات زراعی است که سطح وسیع زیر کشت و تولید آن باعث شده است که به‌عنوان یکی از عوامل مهم تأمین امنیت غذایی بشر در بسیاری از کشورهای جهان محسوب شود (Sahoo *et al.*, 2016)؛ بنابراین، هر عاملی که موجب کاهش عملکرد آن شود زمینه‌ساز کاهش تأمین غذا در بسیاری از نقاط جهان خواهد بود. در همین راستا جودره (*Hordeum spontaneum* Koch.) و چاودار وحشی (*Secale cereale* L.) از مهم‌ترین علف‌های هرز پاییزه مزارع گندم هستند که بر اساس بررسی‌های انجام شده، در صورت کنترل نشدن مطلوب منجر به کاهش شدید عملکرد در گندم پاییزه خواهند شد (Baghestani Meybodi *et al.*, 2004, 2009). تحمل زیاد این گیاهان به شرایط نامساعد محیطی نظیر تنش خشکی و سرما، به‌همراه انعطاف زیاد در رشد و ظرفیت تولید بذر بالا، باعث شده است که در بسیاری از مناطق سرد و معتدل دنیا به‌عنوان علف‌های هرز کلیدی غلات پاییزه مطرح باشند.

پوشش برگی متراکم، قدرت پنجه‌زنی زیاد، ارتفاع زیاد، دگرآسیبی و شباهت‌های اکولوژیک، بیولوژیک و گیاه‌شناسی آن‌ها با گندم، این علف‌های هرز را به‌عنوان رقیب جدی گندم در کسب آب، منابع غذایی و نور تبدیل کرده است (Chase *et al.*, 1991; Najafi *et al.*, 2009). از سوی دیگر، تحمل بالای علف هرز جودره به علف‌کش‌ها و عدم وجود علف‌کش انتخابی برای کنترل چاودار وحشی در مزارع گندم، باعث گسترش روزافزون این دو گیاه در دنیا و از جمله ایران شده است (Zand *et al.*, 2013)، به‌طوری‌که در حال حاضر این علف‌های هرز در مزارع گندم بسیاری از استان‌های کشور مشکل ایجاد کرده‌اند (Karimi, 2001; Zand *et al.*, 2013). تنش یخزدگی یکی از مهم‌ترین تنش‌های غیرزیستی است که رشد، تولید و عملکرد گندم را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Gorash *et al.*, 2017). تنش یخزدگی نه‌تنها در توان رقابتی و تخصیص منابع به علف‌های هرز رقیب گندم، مؤثر است، بلکه در توزیع و پراکنش جغرافیایی آن‌ها نیز تأثیرگذار است. بررسی تحمل به تنش یخزدگی ۱۲ گونه علف هرز در مناطق مختلف کانادا نشان داد که تنوع قابل توجهی از نظر تحمل به سرما در بین گونه‌های مورد بررسی وجود داشت و این عامل در پراکنش زمانی و مکانی آن‌ها موثر بود (Cici and Acker, 2011).

تعیین درصد بقاء یکی از متداول‌ترین و دقیق‌ترین روش‌های ارزیابی میزان تحمل به سرما در شرایط مزرعه‌ای و کنترل‌شده است (Østrem *et al.*, 2018). از آنجایی‌که تنش یخزدگی از مهم‌ترین تنش‌های زمستانه است، از این‌رو در آزمایش‌های زیادی مورد بررسی قرار است و در آن‌ها، درصد بقای گیاه پس از قرار گرفتن آن در معرض دماهای پایین به‌عنوان یکی از شاخص‌های مهم تحمل به سرما معرفی شده است (Vyse *et al.*, 2019). در بررسی واکنش گیاه چاودار (*Secale cereale* L. cv Puma) به تنش یخزدگی مشخص شد که کاهش دما از صفر به ۱۰- درجه سلسیوس، باعث کاهش بقای آن از ۱۰۰ درصد به حدود صفر درصد شد (Steponkus *et al.*, 1988).

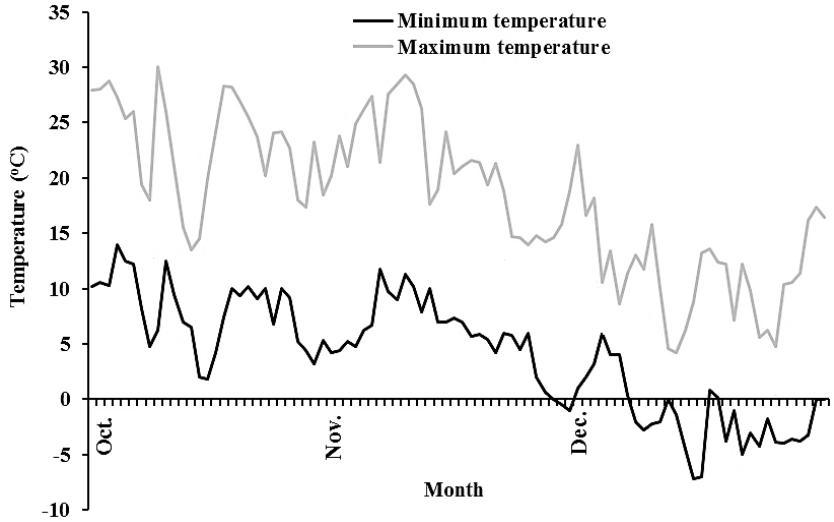
بررسی صفاتی مانند ارتفاع گیاه، تعداد برگ، سطح برگ و وزن خشک بوته (برگ، ساقه و ریشه)، پس از دوره بازیافت نیز می‌توانند به‌عنوان معیارهای مناسب برای ارزیابی میزان تحمل گیاهان به سرما پس از اعمال تنش مورد استفاده قرار گیرند (Fowler *et al.*, 1981). نتایج مطالعات، کاهش صفات رشدی گیاهان پس از قرارگیری در معرض دماهای پایین را نشان داده است (Hekneby *et al.*, 2006). عزیزی و همکاران (Azizi *et al.*, 2007) نیز گزارش کردند که بیش‌ترین سطح برگ گندم (*Triticum aestivum* L.) در تیمار شاهد و دمای ۴- درجه سلسیوس و کم‌ترین سطح برگ در دمای ۲۰- درجه سلسیوس مشاهده شد. همچنین، بررسی نسبت رشد مجدد اندام‌های هوایی در بوفالوگراس (*Buchloe dactyloides* (Nutt.) Engelm.) پس از تنش یخزدگی نشان داد که با کاهش دما از دو درجه (به‌عنوان تیمار شاهد) به ۲۲- درجه سلسیوس، رشد مجدد اندام‌های هوایی گیاه کاهش یافت (Qian *et al.*, 2001). این تحقیق نیز با هدف بررسی تحمل به تنش یخزدگی دو گونه رایج علف هرز و مقایسه آن‌ها با دو رقم گندم با استفاده از ویژگی‌های بقا و بازیافت گیاهان جهت پیش‌بینی پراکنش و تهاجم احتمالی و نیز مدیریت مناسب آن‌ها انجام شد.

مواد و روش‌ها

مواد گیاهی آزمایش شامل چهار گونه گیاهی (گندم رقم پیشگام و توده بومی قزل‌خوشه و علف‌های هرز جودره و چاودار وحشی) که در هفت سطح دما (۴+ درجه به‌عنوان شاهد و صفر، ۴-، ۸-، ۱۲-، ۱۶- و ۲۰- درجه سلسیوس به‌عنوان دماهای یخزدگی) مورد مطالعه قرار گرفتند. بذر گندم رقم پیشگام از مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و

منابع طبیعی استان خراسان رضوی و توده بومی قزل‌خوشه از جهاد کشاورزی شهرستان کلات نادری تهیه و بذر علف‌های هرز از مزارع آلوده گندم در مشهد جمع‌آوری شد.

آزمایش حاضر در دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد در اواسط آبان‌ماه سال ۱۳۹۶ انجام شد. کاشت بذرها در گلدان‌های پلاستیکی با قطر ۱۲ و ارتفاع ۱۱ سانتی‌متر و حاوی خاک مزرعه، خاک‌برگ و ماسه به نسبت ۱:۱:۱ انجام شد. گلدان‌ها از مرحله کاشت تا مرحله دو تا چهار برگی حقیقی برای تطابق با سرما در شرایط طبیعی و خارج از گلخانه نگهداری شدند (شکل ۱) و پس از گذراندن دوره خوسرمایی (Cold acclimation) در اواسط آذرماه سال ۱۳۹۶ در معرض دماهای یخزدگی قرار گرفتند. قبل از کاشت، خواب بذر علف هرز جودره با قرار گرفتن در محلول نیترات پتاسیم (KNO_3) ۰/۲ درصد به‌مدت سه روز در دمای پنج درجه سلسیوس شکسته شد (ISTA, 2012).



شکل ۱- دماهای حداقل و حداکثر در پاییز سال ۱۳۹۶ در مشهد

Figure 1. Minimum and maximum temperatures in autumn 2017 in Mashhad, Iran

تیمار یخزدگی در مرحله دو تا چهار برگی با استفاده از فریزر ترموگرادیان اعمال شد (Nezami *et al.*, 2010a). نحوه اعمال تیمار یخزدگی توسط فریزر به این ترتیب بود که در ابتدا تمام تیمارها و تکرارهای آن‌ها در فریزر قرار گرفتند. دمای فریزر در شروع آزمایش پنج درجه سلسیوس بود و پس از آن به‌نحوی تنظیم شد که با سرعت دو درجه در ساعت کاهش یابد تا به دمای مورد نظر در تیمارهای آزمایش برسد. به‌منظور جلوگیری از پدیده فراسرمایی در گیاهچه‌ها (Lindow *et al.*, 1982)، محلول باکتری‌های فعال مولد هسته یخ (INAB=Ice Nucleation Active Bacteria) در دمای ۳- درجه سلسیوس روی آن‌ها پاشیده شد (Wisniewski *et al.*, 2002). گیاهان در هر یک از دماهای مورد نظر به‌مدت یک ساعت نگهداری و سپس از فریزر خارج شدند و بلافاصله به‌منظور جلوگیری از ذوب سریع یخ، به اتاقک رشد با دمای ۲±۵ درجه سلسیوس منتقل و به‌مدت یک شبانه‌روز نگهداری شدند.

به‌منظور تعیین درصد بقا و ویژگی‌های بازیافت گیاهان، گلدان‌ها به گلخانه منتقل و به‌مدت سه تا چهار هفته در شرایط دمایی ۱۸ تا ۲۲ درجه سلسیوس و شرایط نور طبیعی نگهداری شدند. سپس میانگین پنج بوته در هر تکرار برای صفات بقا و ویژگی‌های مربوط به رشد مجدد شامل ارتفاع بوته، تعداد پنجه در بوته، تعداد برگ، سطح برگ به‌وسیله دستگاه اندازه‌گیری سطح برگ (مدل Delta-T Devices Ltd. UK)، وزن خشک برگ و ریشه (به‌طور جداگانه با قرارگیری در آون در دمای ۷۰ درجه سلسیوس به‌مدت ۴۸ ساعت) و محتوی کلروفیل (توسط دستگاه کلروفیل‌متر مدل Opti sciences از جوان‌ترین برگ کاملاً توسعه‌یافته تمام بوته‌های هر تکرار) مورد ارزیابی قرار گرفتند. برای تعیین درصد بقای گیاهان از رابطه (۱) استفاده شد:

$$SU\% = \frac{B}{A} \times 100 \qquad (۱)$$

در این رابطه، SU% درصد بقای گیاهان، A تعداد گیاهان زنده قبل از اعمال تنش و B تعداد گیاهان زنده سه هفته پس از اعمال تنش یخزدگی است. تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS ver. 9.2 و مقایسه میانگین‌ها در سطح احتمال پنج درصد با آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) انجام شد. برای درصد بقا و صفات رشد مجدد گیاهان، آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی و برای شاخص‌های یخزدگی، آزمایش به‌صورت طرح پایه کاملاً تصادفی با سه تکرار انجام شد. شاخص‌های یخزدگی ارزیابی شده در این تحقیق شامل دمای کاهنده ۵۰ درصد بقا (LT_{50su}= Lethal Temperature Reducing 50% of survival)، دمای کاهنده ۵۰ درصد ارتفاع بوته (RHT_{50}= Temperature Reducing 50% of Plant Height)، دمای کاهنده ۵۰ درصد سطح برگ ($RLAT_{50}$=Temperature Reducing 50% of Leaf Area)، دمای کاهنده ۵۰ درصد وزن خشک اندام هوایی ($RSDWT_{50}$= Temperature Reducing 50% of Shoot Dry Weight) و دمای کاهنده ۵۰ درصد وزن خشک ریشه ($RRDWT_{50}$= Temperature Reducing 50% of Root Dry Weight) بودند. تعیین دمای کاهنده ۵۰ درصد صفات بالا با استفاده از رسم نمودار هر یک از این صفات در مقابل دماهای یخزدگی با استفاده از نرم‌افزار Curve Expert Professional انجام شد.

نتایج و بحث

درصد بقا و LT_{50su}

بررسی درصد بقای گیاهان نشان داد که بقای گندم (رقم پیشگام و توده قزل‌خوشه) و چاودار وحشی از دمای صفر تا ۱۲- درجه سلسیوس، ۱۰۰ درصد بود، درحالی‌که بقای جودره با کاهش دما از ۸- به ۱۲- درجه سلسیوس به ۶۴ درصد کاهش یافت (جدول ۱ و شکل ۲). با کاهش دمای یخزدگی به ۱۶- و ۲۰- درجه سلسیوس، هر چهار گونه گیاهی به‌علت آسیب شدید به‌طور کامل از بین رفتند و بقای آن‌ها به صفر رسید. چاودار وحشی همانند دو گونه گندم مورد مطالعه، توانایی تحمل به دماهای یخزدگی تا ۱۲- درجه سلسیوس را داشت که این موضوع پتانسیل بالای این علف هرز را برای رقابت با گندم جهت کسب منابع پس از این شرایط دمایی فراهم می‌کند. اگرچه در بین گونه‌های مورد بررسی، جودره به دماهای کم‌تر از ۸- درجه سلسیوس حساسیت بیش‌تری داشت، اما حفظ بقای صد درصدی آن تا دمای ۸- درجه سلسیوس نیز نشان‌دهنده پتانسیل مناسب این علف هرز برای پراکنش در مناطقی با دمای ۸- درجه سلسیوس و یا شاید بیش‌تر است.

LT_{50su} یکی از مهم‌ترین شاخص‌های ارزیابی تحمل گیاهان به تنش یخزدگی است (Okeyo *et al.*, 2011). در بین گیاهان مورد بررسی، جودره دارای بیش‌ترین LT_{50su} (۱۲/۸- درجه سلسیوس) بود (جدول ۲). به‌عبارت دیگر، جودره حساس‌ترین گیاه در بین گونه‌های گیاهی مورد بررسی بود. این در حالی بود که تفاوتی در سایر گیاهان از این نظر مشاهده نشد و LT_{50su} در آن‌ها مشابه و برابر با ۱۴- درجه سلسیوس بود. بنابراین چاودار وحشی از پتانسیل ژنتیکی مناسب‌تری برای زنده‌مانی تحت شرایط دماهای یخزدگی برخوردار است. توانایی مناسب برای خوسرمایی نیز از دلایل دیگر تحمل بالا به تنش یخزدگی در گیاهان (Cvetkovic *et al.*, 2017) از جمله چاودار وحشی محسوب می‌شود، به‌طوری‌که این مسئله باعث شده است که این گیاه به‌عنوان یکی از مهم‌ترین علف‌های هرز گندم پاییزه مطرح باشد (Zand *et al.*, 2019).

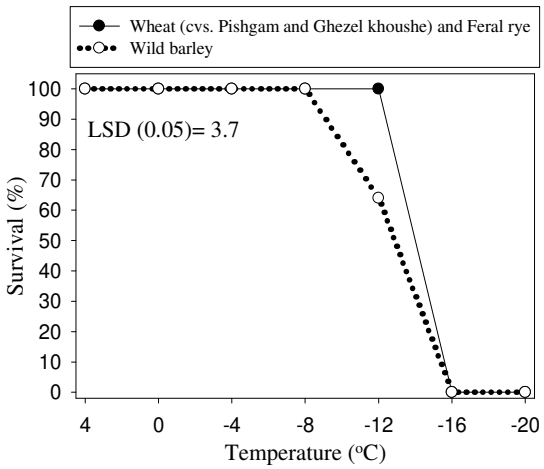
گاستا و همکاران (Gusta *et al.*, 2001) در مطالعه تحمل به تنش یخزدگی در ارقام گندم پاییزه گزارش کردند که محدوده LT_{50su} در ارقام مطالعه‌شده از ۲۲/۶- تا ۱۴- درجه سلسیوس متغیر بود که این مسئله نشان‌دهنده تفاوت تحمل به تنش یخزدگی در ارقام مختلف یک گیاه است. اسکینر و گارلند کمپل (Skinner and Garland-Campbell, 2008) نیز در بررسی تحمل به یخزدگی ارقام گندم نشان دادند که رقم نورستار بومی منطقه ساسکاچوان کانادا با LT_{50su} معادل ۱۹/۵- درجه سلسیوس و رقم ORFW بومی منطقه اورگان ایالات‌متحده با LT_{50su} معادل ۹/۵- درجه سلسیوس به‌ترتیب متحمل‌ترین و حساس‌ترین ارقام مورد بررسی بودند. در مطالعه ایزدی دربندی و همکاران (Izadi-Darbandi *et al.*, 2015) نیز گزارش شد که بین بیوتیپ‌های یولاف وحشی از نظر LT_{50su} تفاوت معنی‌داری وجود داشت، به‌طوری‌که بیوتیپ مشهد و ZR5 به‌ترتیب کم‌ترین (۱۱/۴- درجه سلسیوس) و بیش‌ترین (۹/۵- درجه سلسیوس) LT_{50su} را داشتند.

جدول ۱- تجزیه واریانس درصد بقاء (SU%) و ویژگی‌های رشد مجدد گندم (رقم پیشگام و توده قزل‌خوشه) و علف‌های هرز جودره و چاودار وحشی تحت تأثیر تنش یخزدگی

Table 1. Analysis of variance of survival percentage (SU%) and regrowth characteristics of wheat (cultivar Pishgam and landrace Ghezel Khoushe) and wild barley and feral rye under freezing stress

Source of variations	df	SU%	Height	No. of tiller	No. of leaf	Leaf area	Shoot dry weight	Root dry weight	SPAD
Plant (P)	3	139**	29.6**	2.08**	45.5**	3120**	2862**	4358**	303**
Temperature (T)	6	27682**	69.1**	2.90**	96.7**	2183**	11602**	3566**	1260**
P×T	18	139**	2.03**	0.2**	3.6^{ns}	224**	209**	296**	20.6^{ns}
Error	56	5.2	0.1	0.1	2.6	11.1	75	4.8	12.9
CV (%)	-	3.3	8.9	48	41.8	17.6	21.2	9.0	24.1

^{ns} and **: Not-significant and significant at 1% probability level, respectively.



شکل ۲- اثر دماهای یخزدگی بر درصد بقا گندم (رقم پیشگام و توده قزل‌خوشه)، جودره و چاودار وحشی

Figure 2. Effect of freezing temperatures on survival of wheat (cultivar Pishgam and landrace Ghezel Khoushe) and wild barley and feral rye

جدول ۲- تجزیه واریانس و مقایسه میانگین دمای کاهنده ۵۰ درصد بقا، ارتفاع بوته، سطح برگ، وزن خشک اندام هوایی و وزن خشک ریشه در گندم (رقم پیشگام و توده قزل‌خوشه) و علف‌های هرز جودره و چاودار وحشی

Table 2. Analysis of variance and comparison of means for LT_{50su}, RHT_{50}, $RLAT_{50}$, $RSDWT_{50}$ and $RRDWT_{50}$ in wheat (cultivar Pishgam and landrace Ghezel Khoushe) and wild barley and feral rye

Source of variations	df	LT_{50su}	RHT_{50}	$RLAT_{50}$	$RSDWT_{50}$	$RRDWT_{50}$ †
Plant	3	1.1**	0.3 ^{ns}	2.1**	8.8*	3.7**
Error	8	0.1	0.2	0.1	1.7	0.5
Plant		Comparison of means‡				
Wheat (cv. Pishgam)		-14.0 b	-13.0 a	-12.7 b	-10.0 ab	-12.9 b
Wheat (Ghezel khoushe)		-14.0 b	-13.1 a	-12.8 b	-11.8 b	-11.2 a
Wild barley		-12.8 a	-12.9 a	-11.2 a	-8.1 a	-11.4 a
Wild rye		-14.0 b	-13.6 a	-13.0 b	-11.6 b	-13.4 b

^{ns}, * and **: Not-significant and significant at 5% and 1% probability levels, respectively.

†: LT_{50su}, RHT_{50}, $RLAT_{50}$, $RSDWT_{50}$ and $RRDWT_{50}$ are including: temperature reducing 50% survival, plant height, leaf area, shoot dry weight and root dry weight, respectively.

‡ : Means with the similar letters in each column are not significantly different by LSD test at 5% probability level.

ارتفاع بوته و RHT_{50}

در بین بوته‌های زنده، چاودار وحشی با ۷/۷ سانتی‌متر در دمای ۴ درجه سلسیوس و جودره با ۲/۵ سانتی‌متر در دمای ۱۲- درجه سلسیوس به‌ترتیب بیش‌ترین و کم‌ترین ارتفاع بوته را داشتند (جدول ۱ و شکل ۳-a). به‌طورکلی، ارتفاع چاودار وحشی در تمام دماهای مورد بررسی بیش‌تر از سایر گونه‌های گیاهی بود که در حقیقت به اختلاف ژنتیکی بین گونه‌های مورد بررسی ارتباط دارد و همین مسئله عامل

مهمی در رقابت و بهره‌گیری از نور نسبت به گندم می‌شود. اگرچه ارتفاع بوته چاودار وحشی از دمای ۴ تا ۱۲- درجه سلسیوس کاهش داشت، اما به‌طورکلی توانایی حفظ ارتفاع خود تا دمای ۱۲- درجه سلسیوس را به‌نحو مطلوب‌تری نسبت به سایر گونه‌های گیاهی داشت. گزارش شده است که با کاهش دما ارتفاع ساقه گندم کاهش یافت، به‌طوری‌که بیش‌ترین (رقم پیشتاز) و کم‌ترین (رقم آنزا) ارتفاع به‌ترتیب در دمای صفر و ۱۲- درجه سلسیوس مشاهده شد (Azizi *et al.*, 2007). با وجود این‌که مقدار RHT_{50} معنی‌دار نبود (جدول ۲)، اما چاودار وحشی با RHT_{50} معادل ۱۳/۶- درجه سلسیوس، توانایی بیش‌تری در حفظ ارتفاع خود نسبت به سایر گونه‌های گیاهی داشت.

تعداد پنجه در بوته

بیش‌ترین و کم‌ترین تعداد پنجه در بین گیاهان زنده به‌ترتیب در چاودار وحشی (در دماهای ۴+ و صفر درجه سلسیوس) و جودره (در دمای ۱۲- درجه سلسیوس) مشاهده شد (جدول ۱ و شکل ۳-b). هر چند چاودار وحشی از پنجه بیش‌تری برخوردار بود، اما کاهش تعداد آن با کاهش دما از صفر درجه سلسیوس معنی‌دار بود. تعداد پنجه در جودره به دماهای پایین حساس‌تر بود و با کاهش دما از ۴ درجه سلسیوس، تعداد پنجه نیز به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. همچنین، کاهش تولید پنجه در گندم رقم پیشگام با کاهش دما از صفر درجه سلسیوس و در توده قزل‌خوشه با کاهش دما از ۸- درجه سلسیوس آغاز شد. کاهش تولید پنجه در گندم در دماهای پایین توسط سایر محققان نیز گزارش شده است (Li *et al.*, 2015). به‌طور کلی پتانسیل بالای چاودار وحشی در تولید پنجه و حفظ تعداد پنجه بالا تا دمای ۱۲- درجه سلسیوس نسبت به گندم نشان داد که این علف هرز توانایی بالایی در رقابت با گندم از طریق بازیابی مطلوب پس از تنش یخزدگی دارد. به‌این ترتیب، در صورت عدم مدیریت کارآمد، احتمالاً پنجه بیش‌تر به تعداد سنبله بیش‌تر، تعداد سنبله بیش‌تر به تولید بذر بیش‌تر و در نهایت پراکنش احتمالی وسیع‌تر آن منجر خواهد شد.

تعداد برگ در بوته

بیش‌ترین و کم‌ترین تعداد برگ به‌ترتیب در چاودار وحشی و جودره با شش و دو برگ در بوته مشاهده شد (جدول ۱ و شکل ۴-a). اگرچه احتمالاً پتانسیل ژنتیکی چاودار وحشی و جودره در تولید برگ متفاوت است، اما به نظر می‌رسد که یکی از دلایل اصلی تولید برگ بیش‌تر در چاودار وحشی نسبت به جودره توانایی بهتر آن در بازیابی پس از تنش یخزدگی باشد. همچنین تولید برگ در گندم رقم پیشگام و توده قزل‌خوشه با هم تفاوتی نداشتند.

بررسی اثر دماهای یخزدگی بر تعداد برگ گیاهان نشان داد که در بین گیاهان زنده، بیش‌ترین و کم‌ترین تعداد برگ به‌ترتیب به دماهای ۴ (با هفت برگ) و ۱۲- درجه سلسیوس (با چهار برگ) تعلق داشت (جدول ۱ و شکل ۴-b). تعداد برگ با کاهش دما کاهش یافت، به‌طوری‌که تعداد برگ در دماهای ۱۲- و ۱۶- درجه سلسیوس در مقایسه با دمای ۴ درجه سلسیوس، به‌ترتیب ۵۰ و ۱۰۰ درصد کاهش داشت. نظامی و همکاران (Nezami *et al.*, 2010b) نیز گزارش کردند که کاهش دما از صفر به ۸- و ۱۲- درجه سلسیوس، تعداد برگ تریتیکاله (X *Triticosecale* Wittmack) را به‌ترتیب به‌میزان ۱۰ و ۲۳ درصد نسبت به دمای صفر درجه سلسیوس کاهش داد. بنابراین، با توجه به این‌که تعداد برگ بیش‌تر، نقش موثری در اشغال فضا برای کسب نور و منابع غذایی دارد، چاودار وحشی با این توانایی می‌تواند در رقابت با گندم به‌ویژه در مناطقی با اقلیم سرد، موفق‌تر باشد.

سطح برگ و $RLAT_{50}$

بررسی سطح برگ گیاهان نشان داد که چاودار وحشی، بیش‌ترین سطح برگ را در دماهای ۴ تا ۸- درجه سلسیوس در مقایسه با سایر دماها داشت (جدول ۱، شکل ۳-c). کاهش دما به ۱۲- درجه سلسیوس باعث کاهش ۳۴ درصدی سطح برگ این گیاه در مقایسه با دمای شاهد (۴ درجه سلسیوس) شد. جودره نیز بیش‌ترین سطح برگ را به‌ترتیب در دماهای ۴ تا ۴- درجه سلسیوس نشان داد و کاهش دما از دمای شاهد به ۱۲- درجه سلسیوس باعث کاهش ۵۸ درصدی سطح برگ این گیاه شد. در گندم رقم پیشگام و توده قزل‌خوشه کاهش دما از ۴ به ۱۲- درجه سلسیوس به‌ترتیب باعث کاهش ۳۵ و ۳۸ درصدی سطح برگ این گیاهان شد. در دماهای ۱۶- و ۲۰- درجه سلسیوس، سطح برگ گیاهان به‌علت مرگ کامل آن‌ها صفر بود. کاهش سطح برگ گیاهان تحت تاثیر دماهای پایین به‌عنوان یکی از مهم‌ترین آثار نامطلوب تنش سرما در دوره رویشی بیان شده است (Allen and Ort, 2001). بنابراین، علاوه بر پتانسیل بالای چاودار وحشی در تولید سطح برگ بیش‌تر، کاهش کم‌تر سطح برگ آن در دمای ۱۲- درجه سلسیوس نسبت به دمای شاهد در مقایسه با جودره نیز

نشان‌دهنده توانایی بالای این گیاه برای رشد مجدد پس از تنش یخزدگی است.

بررسی دمای کاهنده ۵۰ درصد سطح برگ ($RLAT_{50}$) نیز نشان داد که علف هرز جودره دارای بیش‌ترین میزان $RLAT_{50}$ (۱۱/۲- درجه سلسیوس) بود (جدول ۲). بنابراین، این علف هرز نسبت به سایر گیاهان مورد بررسی سریع‌تر با کاهش ۵۰ درصدی سطح برگ خود مواجه شد، به این معنی که جودره از نظر سطح برگ به دماهای یخزدگی حساس‌تر است. در مقابل، تفاوت معنی‌داری از نظر $RLAT_{50}$ در سایر گیاهان مورد بررسی مشاهده نشد. این مسئله نشان می‌دهد که چاودار وحشی می‌تواند پاسخ مشابهی با گندم در مواجهه با تنش یخزدگی از نظر $RLAT_{50}$ داشته باشد.

وزن خشک اندام هوایی و $RSDWT_{50}$

بیش‌ترین وزن خشک اندام هوایی در بین گیاهان زنده در چاودار وحشی در دماهای صفر و ۴- درجه سلسیوس و در جودره در دماهای ۴+ تا ۴- درجه سلسیوس مشاهده شد (جدول ۱ و شکل ۳-d). کاهش دما از ۴+ به ۱۲- درجه سلسیوس باعث کاهش وزن خشک اندام هوایی در چاودار وحشی و جودره به‌ترتیب به‌میزان ۴۲ و ۷۰ درصد شد. بیش‌ترین وزن خشک اندام هوایی در گندم رقم پیشگام و توده قزل‌خوشه نیز به‌ترتیب در دماهای صفر و ۴- درجه سلسیوس مشاهده شد. همچنین، کاهش دما از ۴+ به ۱۲- درجه سلسیوس منجر به کاهش ۵۶ و ۳۳ درصدی وزن خشک اندام هوایی به‌ترتیب در گندم رقم پیشگام و توده قزل‌خوشه شد. احتمالاً نمونه‌هایی که در معرض دمای صفر درجه سلسیوس بودند، در مقایسه با نمونه‌هایی که در معرض دمای ۴+ درجه سلسیوس بودند، دوره خوسرمایی مطلوب‌تری را سپری کردند و همین مسئله علت احتمالی وزن خشک بیش‌تر آن‌ها بوده است. لیانگ و همکاران (Liang *et al.*, 2008) نیز گزارش کردند که کاهش دما از ۲۵ به ۵- درجه سلسیوس منجر به کاهش ۱۸ درصدی وزن خشک اندام هوایی گندم رقم حساس به تنش یخزدگی شد.

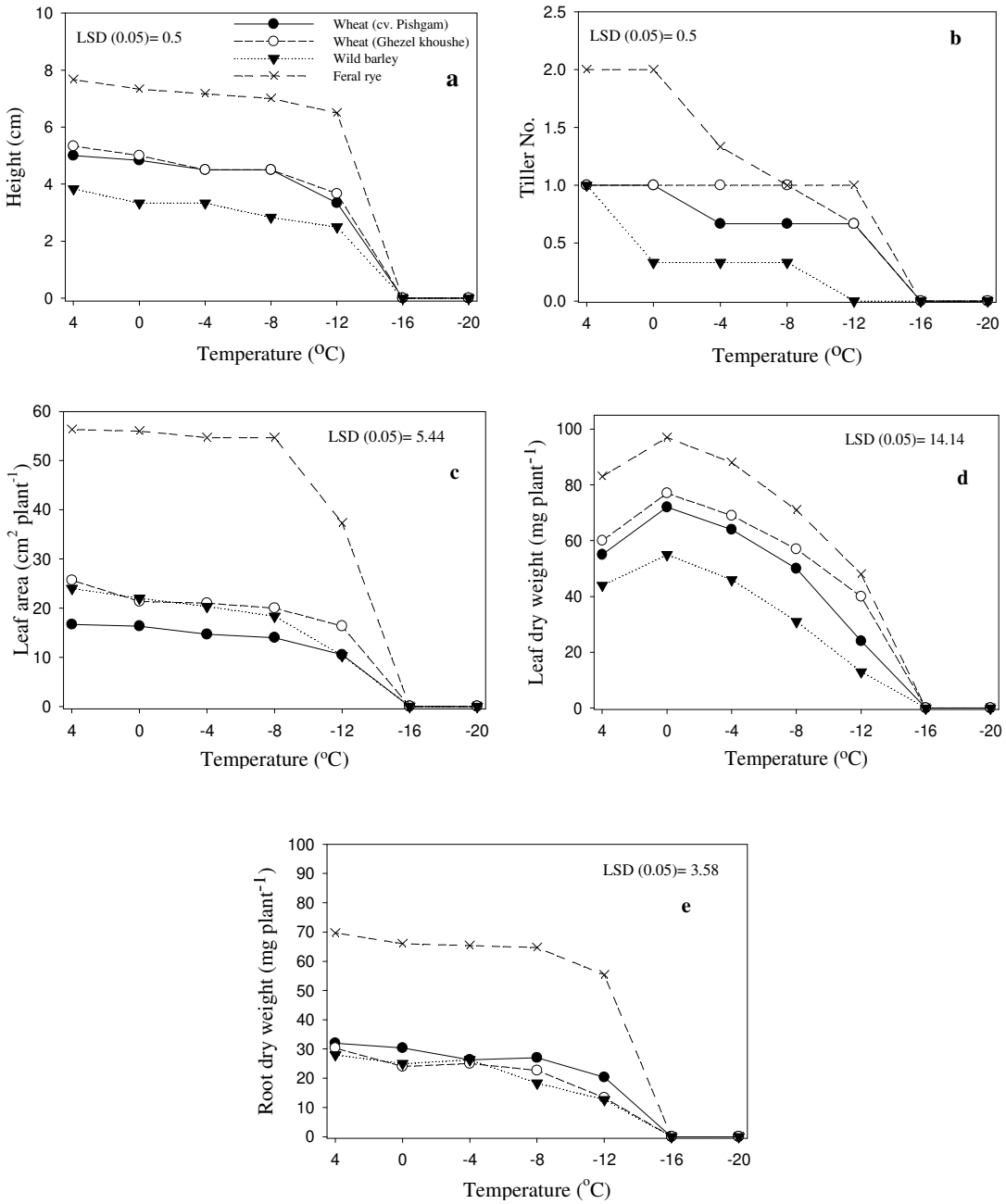
بررسی دمای کاهنده ۵۰ درصد وزن خشک اندام هوایی ($RSDWT_{50}$) نیز نشان داد که گندم توده قزل‌خوشه و چاودار وحشی، به‌ترتیب با ۱۱/۸- و ۱۱/۶- درجه سلسیوس کم‌ترین میزان $RSDWT_{50}$ را داشتند، در حالی‌که جودره با ۸/۱- درجه سلسیوس بیش‌ترین مقدار $RSDWT_{50}$ را نشان داد (جدول ۲). گندم رقم پیشگام نیز تفاوت معنی‌داری به‌لحاظ آماری با سایر گونه‌های گیاهی نداشت. به این ترتیب، نتایج این آزمایش نشان داد که توده بومی قزل‌خوشه از نظر $RSDWT_{50}$ حساسیت کم‌تری به کاهش دما داشت که نشان‌دهنده پتانسیل نسبتاً مناسب این توده بومی در مواجهه با سرما است. چاودار وحشی نیز با حفظ ۵۰ درصد وزن خشک خود تا دمای ۱۱/۸- درجه سلسیوس احتمالاً توانایی بالایی در رشد مجدد بوته‌های خود دارد که همین مسئله باعث پراکنش وسیع آن در مزارع کشت پاییزه از جمله گندم شده است. در مقابل، جودره با توجه به نتایج این آزمایش، $RSDWT_{50}$ بالایی داشت و احتمالاً توانایی مناسبی برای حفظ وزن خشک خود در مقایسه با سایر گونه‌های گیاهی ندارد و احتمال پراکنش وسیع آن در مناطقی با دمای کم‌تر از ۸- درجه سلسیوس ضعیف است.

وزن خشک ریشه و $RRDWT_{50}$

بیش‌ترین وزن خشک ریشه در بین گیاهان زنده در چاودار وحشی در دمای ۴+ درجه سلسیوس و در جودره در دماهای ۴+، صفر و ۴- درجه سلسیوس مشاهده شد (جدول ۱ و شکل ۳-e). با کاهش دما از ۴+ به ۱۲- درجه سلسیوس، وزن خشک ریشه چاودار وحشی و جودره به‌ترتیب ۲۱ و ۵۴ درصد کاهش داشت. همچنین، بیش‌ترین وزن خشک ریشه در گندم رقم پیشگام در دماهای ۴+ و صفر درجه سلسیوس و در توده قزل‌خوشه در دمای ۴+ درجه سلسیوس مشاهده شد و کاهش دما از ۴+ به ۱۲- درجه سلسیوس باعث کاهش وزن خشک ریشه به‌میزان ۳۷ و ۵۷ درصد به‌ترتیب در گندم رقم پیشگام و توده قزل‌خوشه شد. روند تغییرات وزن خشک ریشه نشان داد که چاودار وحشی در مقایسه با سایر گونه‌های گیاهی با کاهش کم‌تری در وزن خشک ریشه مواجه شد که مطابق با نتایج وزن خشک اندام هوایی بود. بنابراین، چاودار وحشی تحمل بیش‌تری به تنش یخزدگی و حفظ وزن خشک ریشه داشت و در نتیجه جذب و انتقال آب و مواد معدنی به بخش هوایی بوته پس از تنش یخزدگی به‌خوبی ادامه خواهد داشت. وان‌کیت و همکاران (VanKiet *et al.*, 2016) نیز کاهش وزن خشک ریشه و در نتیجه اختلال در روند طبیعی رشد گیاه را از جمله پیامدهای مهم کاهش دما گزارش کردند.

بررسی دمای کاهنده ۵۰ درصد وزن خشک ریشه ($RRDWT_{50}$) در این آزمایش نیز نشان داد که علف هرز جودره و گندم توده قزل‌خوشه به‌ترتیب با $RRDWT_{50}$ معادل ۱۱/۴- و ۱۱/۲- درجه سلسیوس، حساس‌ترین و

علف هرز چاودار وحشی و گندم رقم پیشگام به‌ترتیب با $RRDWT_{50}$ معادل ۱۳/۴- و ۱۲/۹- درجه سلسیوس، متحمل‌ترین گونه‌های گیاهی به تنش یخزدگی از نظر حفظ وزن خشک ریشه بودند (جدول ۲). بنابراین، چاودار وحشی و گندم رقم پیشگام، توانایی بیش‌تری در حفظ ۵۰ درصد وزن خشک ریشه را داشتند و احتمالاً همین مسئله باعث شد که در دماهای کم‌تر در مقایسه با جودره و گندم قزل خوشه موفق‌تر عمل کنند.



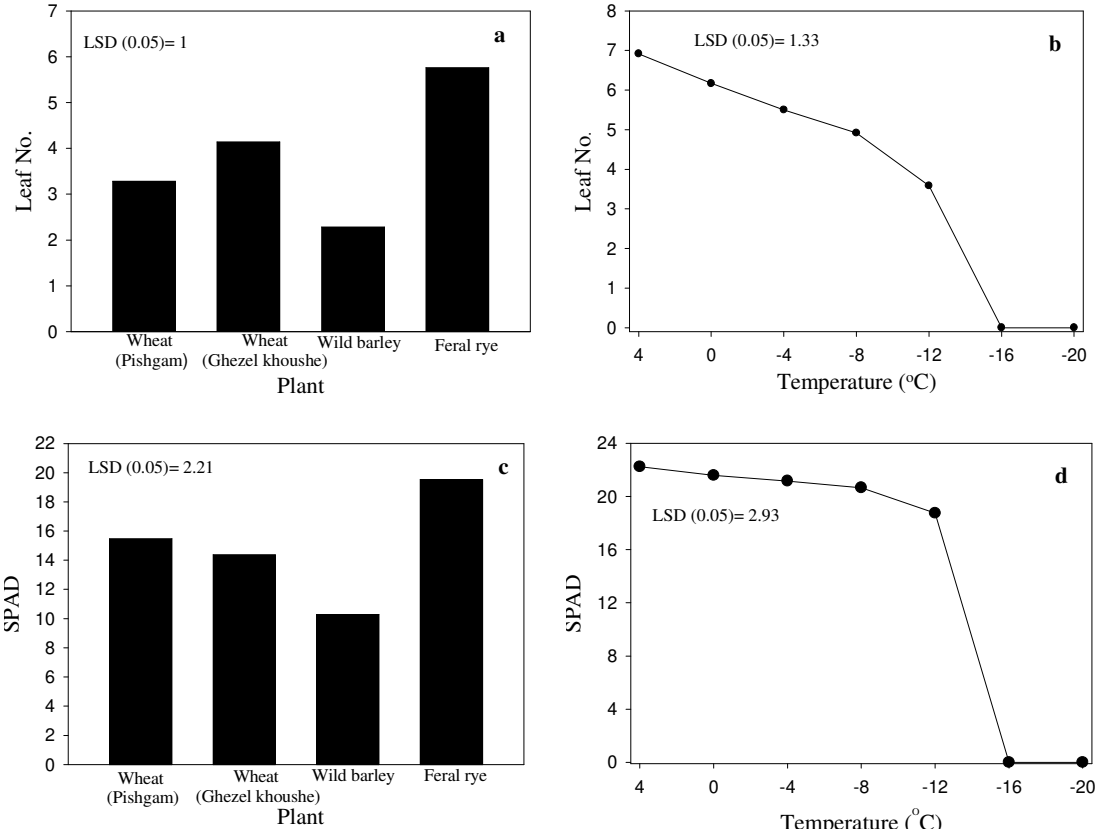
شکل ۳- ارتفاع بوته (a)، تعداد پنجه (b)، سطح برگ (c)، وزن خشک اندام هوایی (d) و وزن خشک ریشه (e) در گندم (رقم پیشگام و توده قزل‌خوشه)، جودره و چاودار وحشی در ۲۱ روز پس از تنش یخزدگی

Figure 3. Plant height (a), tiller number (b), leaf area (c), shoot dry weight (d) and root dry weight (e) in wheat (cultivar Pishgam and landrace Ghezel Khoushe), wild barley and feral rye at 21 days after freezing stress

عدد کلروفیل‌متر (SPAD)

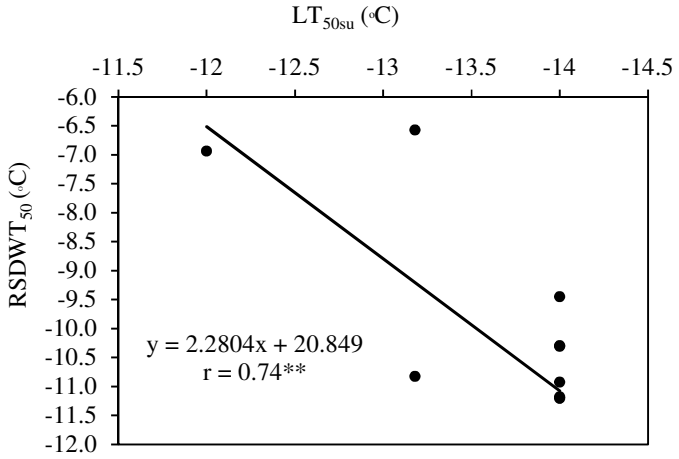
ارزیابی محتوای کلروفیل به‌عنوان یکی از روش‌های معمول در تعیین میزان تحمل گیاهان به دماهای پایین محسوب می‌شود (Hyun *et al.*, 2016). نتایج این آزمایش نشان داد که بیش‌ترین و کم‌ترین عدد کلروفیل‌متر در بین گیاهان زنده، به‌ترتیب در چاودار وحشی (۱۹/۵ واحد اسپد) و جودره (۱۰/۳ واحد اسپد) مشاهده شد (جدول ۱ و شکل ۴-c). مقایسه دماهای مورد مطالعه نیز نشان داد که دماهای ۴+ و ۱۲- درجه سلسیوس به‌ترتیب بیش‌ترین و کم‌ترین عدد کلروفیل‌متر را داشتند (جدول ۱ و شکل ۴-d) و کاهش دما از ۴+ به ۱۲- درجه سلسیوس منجر به کاهش ۱۴ درصدی عدد کلروفیل‌متر در گونه‌های گیاهی شد. همچنین، ادامه کاهش دما به ۱۶- و ۲۰- درجه سلسیوس، منجر به مرگ گونه‌های گیاهی شد و عدد کلروفیل‌متر به صفر رسید. نظامی و همکاران (Nezami *et al.*, 2010b) نیز گزارش کردند که کاهش دما از صفر به ۱۲- درجه سلسیوس، منجر به کاهش ۱۶ درصدی عدد کلروفیل‌متر در تریتیکاله شد.

بررسی ارتباط بین LT_{50su} و $RSDWT_{50}$ در چهار گونه گیاهی مطالعه شده نیز نشان داد که تغییرات این‌دو شاخص همسو با هم بود، به‌نحوی‌که با کاهش LT_{50su}، $RSDWT_{50}$ نیز کاهش یافت (شکل ۵). به بیان دیگر، هر چه دمای کاهنده ۵۰ درصد بقا کم‌تر باشد، دمای کاهنده ۵۰ درصد از وزن خشک اندام هوایی نیز کم‌تر و برعکس، هر چه دمای کاهنده ۵۰ درصد بقا بیش‌تر باشد، دمای کاهنده ۵۰ درصد از وزن خشک اندام هوایی نیز بیش‌تر است. بنابراین، گیاهانی که LT_{50su} کم‌تری دارند، تولید بیوماس آن‌ها بیش‌تر است (Hekneby *et al.*, 2006).



شکل ۴- تعداد برگ و عدد کلروفیل‌متر (اسپد) ۲۱ روز پس از اعمال تنش یخزدگی. a و c) گندم (رقم پیشگام و توده قزل‌خوشه)، جودره و چاودار وحشی، b و d) اثر اصلی دماهای یخزدگی بر این صفات.

Figure 4. Number of leaf and chlorophyll content (SPAD) at 21 days after freezing stress. a and c) Wheat (cv. Pishgam and Ghezel Khoushe), wild barley and feral rye; b and d) Effect of freezing temperatures on these traits.



شکل ۵- ارتباط بین LT_{50su} و $RSDWT_{50}$ در گندم (رقم پیشگام و توده قزل‌خوشه) و علف‌های هرز جودره و چاودار وحشی. هر نقطه میانگین هفت داده است.

Figure 5. Relationship between LT_{50su} and $RSDWT_{50}$ in wheat (cultivar Pishgam and landrace Ghezel Khoushe) and wild barley and feral rye. Each point is mean of seven data.

نتیجه‌گیری کلی

در این تحقیق، اثر دماهای یخزدگی بر رشد مجدد و بقای علف‌های هرز جودره و چاودار وحشی و مقایسه آن‌ها با دو ژنوتیپ گندم بررسی شد. اگرچه انجام آزمایش‌های تکمیلی ضروری است، اما نتایج این آزمایش نشان داد که چاودار وحشی در تمامی صفات و شاخص‌های ارزیابی‌شده توانایی بالایی در حفظ بقا و رشد مجدد در مقایسه با سایر گونه‌های گیاهی داشت. بنابراین، یکی از دلایل اصلی حضور وسیع چاودار وحشی در مزارع گندم پاییزه، احتمالاً تحمل بالای آن به تنش یخزدگی است. از این‌رو، پیش‌بینی حضور و در نتیجه اقدامات مناسب برای مدیریت آن در مناطقی با اقلیم سرد ضروری است، به‌طوری‌که انواع روش‌های کنترل زراعی مانند حاصلخیزی خاک، انتخاب رقم، تاریخ کاشت، تراکم بوته و سایر روش‌های مدیریت زراعی، باید به‌نحوی پیش‌بینی و تنظیم شوند که قدرت رقابتی گندم در برابر علف‌های هرز متحمل به یخزدگی بهینه‌سازی شود. همچنین، با توجه به این‌که جودره در ایران گیاهی مهاجم است، احتمالاً توزیع جغرافیایی آن در مناطقی با دماهای بالاتر، بیش‌تر باشد. علاوه بر این، با توجه به تنوع ژنتیکی بالا در توده‌های علف هرز جودره، احتمالاً تحمل به یخزدگی در توده‌های مناطق دیگر متفاوت از توده‌های آزمایش حاضر باشد. به‌طورکلی، با توجه به شرایط اقلیمی ایران، احتمالاً جودره نیز پتانسیل پراکنش، استقرار، بومی‌شدن و در نتیجه تهاجم بیش‌تر را دارد.

References

Allen, D. J. and Ort, D. R. 2001. Impacts of chilling temperatures on photosynthesis in warm-climate plants. **Trends in Plant Science** 6 (1): 36-42.

Azizi, H., Nezami, A., Nassiri Mahallati, M. and Khazaie H. R. 2007. Evaluation of cold tolerance in wheat (*Triticum aestivum*) cultivars under controlled conditions. **Iranian Journal of Field Crops Research** 5 (1): 109-121. (In Persian with English Abstract).

Baghestani Meybodi, M. A., Akbari, G. A., Atri, A. R. and Mokhtari, M. 2004. Competitive effects of rye (*Secale cereale* L.) on growth indices, yield and yield components of wheat. **Pajouhesh and Sazandegi** 16: 2-11. (In Persian with English Abstract).

Baghestani Meybodi, M. A., Sayedipour, H., Zand, E., Minbashi-Moeini, M., Maighani, F. and Lashkari, A. 2009. Integrated management of wild barley (*Hordeum spontaneum* Koch) in wheat field under stale seedbed condition. **Journal of Agroecology** 1: 81-89. (In Persian with English Abstract).

Chase, W. R., Nair, M. G. and Putnam, A. R. 1991. 2,2-oxo-1,1-azobenzene: Selective toxicity of rye (*Secale cereale* L.) allelochemicals to weed and crop species. **Journal of Chemical Ecology** 17 (1): 9-19.

Cici, S. Z. H. and Acker, R. C. V. 2011. Relative freezing tolerance of facultative winter annual weeds. **Canadian Journal of Plant Science** 91 (4): 759-763.

Cvetkovic, J., Müller, K. and Baier, M. 2017. The effect of cold priming on the fitness of *Arabidopsis thaliana* accessions under natural and controlled conditions. **Scientific Reports** 7: 44055.

Fowler, D. B., Gusta, L. V. and Tyler, N. J. 1981. Selection for winter hardiness in wheat. III. Screening methods. **Journal of Crop Science** 21: 896-901.

Gorash, A., Armonienė, R., Liatukas, Z. and Brazauskas, G. 2017. The relationship among freezing tolerance, vernalization requirement, Ppd alleles and winter hardiness in European wheat cultivars. **The Journal of Agricultural Science** 155 (9): 1353-1370.

Gusta, L. V., O'Connor, B. J., Gao, Y. P. and Jana, S. 2001. A re-evaluation of controlled freeze-tests and controlled environment hardening conditions to estimate the winter survival potential of hardy winter wheats. **Canadian Journal of Plant Science** 81 (2): 241-246.

Hekneby, M., Antolín, M. C. and Sánchez-Díaz, M. 2006. Frost resistance and biochemical changes during cold acclimation in different annual legumes. **Environmental and Experimental Botany** 55 (3): 305-314.

Hyun, U. J., Yeo, S. M., Lee, S. B., Lee, J. H., Jeong, J. M., Seong, Y. K., Seo, D. H., Won, Y. J., Ahn, E. K., Lee, J. H., Mun, J. C. and Jang, C. S. 2016. Optimization of temperature regime to screen cold tolerant rice seedlings. **Plant Breeding and Biotechnology** 4 (2): 176-187.

ISTA. 2012. International rules for seed testing. International Seed Testing Association. Seed Science and Technology 27 (Supplement).

Izadi-Darbandi, E., Nezami, A., Abbasian, A. and Heidari, M. 2015. Investigation of the relationship betwean herbicide resistance in wild oat biotypes (*Avena ludoviciana* L.) and their freezing tolerance. **Agronomy Journal (Pajouhesh and Sazandegi)** 104: 127-133. (In Persian with English Abstract).

Karimi, H. 2001. Weeds of Iran. University Publication Center, Tehran, Iran. 419 p. (In Persian).

Li, X., Pu, H., Liu, F., Zhou, Q., Cai, J., Dai, T., Cao, W. and Jiang, D. 2015. Winter wheat photosynthesis and grain yield responses to spring freeze. **Agronomy Journal** 107 (3): 1002-1010.

Liang, Y., Zhu, J., Li, Z., Chu, G., Ding, Y., Zhang, J. and Sun, W. 2008. Role of silicon in enhancing resistance to freezing stress in two contrasting winter wheat cultivars. **Environmental and Experimental Botany** 64 (3): 286-294.

Lindow, S. E., Arny, D. C. and Upper, C. D. 1982. Bacterial ice nucleation: A factor in frost injury to plants. **Plant Physiology** 70: 1084-1089.

Najafi, H., Zand, E. and Baghestani Meybodi, M. A. 2009. Biology and weed management of Iran. Plant Protection Research Institute Publications, Tehran, Iran. 590 p. (In Persian).

Nezami, A., Nabati, J., Borzooei, A., Kamandi, A., Masomi, A. and Salehi, M. 2010a. Evaluation of freezing tolerance in barley (*Hordeum vulgar* L.) cultivars at seedling stage under controlled conditions. **Environmental Stresses in Crop Sciences** 3: 9-22. (In Persian with English Abstract).

Nezami, A., Soleimani, M. R., Ziaee, M., Ghodsi, M. and Bannayan Avval, M. 2010b. Evaluation of freezing tolerance of hexaploid triticale genotypes under controlled conditions. **Notulae Scientia Biologicae** 2 (2): 114-120.

Okeyo, D. O., Fry, J. D., Bremer, D., Rajashekar, C. B., Kennelly, M., Chandra, A., Genovesi, D. A. and Engelke, M. C. 2011. Freezing tolerance and seasonal color of experimental zoysiagrasses. **Crop Science** 51 (6): 2858-2863.

Østrem, L., Rapacz, M., Larsen, A., Marum, P. and Rognli, O. A. 2018. Chlorophyll a fluorescence and freezing tests as selection methods for growth cessation and increased winter survival in ×*Festulolium*. **Frontiers in Plant Science** 9: 1200. Doi: 10.3389/fpls.2018.01200.

Qian, Y. L., Ball, S., Tan, Z., Koski, A. J. and Wilhelm, S. J. 2001. Freezing tolerance of six cultivars of buffalograss. **Journal of Crop Science** 41: 1174-1178.

Sahoo, A., Shiferaw, B. and Sika, G. 2016. Economy-wide impacts of promising maize and wheat technologies on food security and welfare in Kenya. **SSRN Electronic Journal** 3167260. Working Paper Series 2016-14. Doi: 10.2139/ssrn.3167260.

Skinner, D. Z. and Garland-Campbell, K. A. 2008. The relationship of LT_{50} to prolonged freezing survival in winter wheat. **Canadian Journal of Plant Science** 88 (5): 885-889.

Steponkus, P. L., Uemura, M., Balsamo, R. A., Arvinte, T. and Lynch, D. V. 1988. Transformation of the cryobehavior of rye protoplasts by modification of the plasma membrane lipid composition. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States** 85: 9026-9030.

VanKiet, H., Nose, A. and Zheng, S. H. 2016. Effect of cold stress on root growth, accumulation of soluble proteins and free amino acids of sheath blight-resistant rice genotype 32R. **Tropical Agriculture and Development** 60 (3): 191-194.

Vyse, K., Pagter, M., Zuther, E. and Hincha, D. K. 2019. Deacclimation after cold acclimation-a crucial, but widely neglected part of plant winter survival. **Journal of Experimental Botany** 70 (18): 4595-4604.

Wisniewski, M., Glenn, D. M. and Fuller, M. P. 2002. Use of a hydrophobic particle film as a barrier to extrinsic ice nucleation in tomato plants. **Journal of the American Society for Horticultural Science** 127 (3): 358-364.

Zand, E., Baghestani Meybodi, M. A., Shimi, P., Nezamabadi, N., Mousavi, M. R. and Mousavi, K. 2013. Guide to chemical weed control of Iran's crop and horticultural products (4th Ed.). Jahad Daneshgahi Mashhad Publications, Mashhad, Iran. (In Persian).

Zand, E., Nezamabadi, N., Baghestani Meybodi, M. A., Shimi, P. and Mousavi, K. 2019. A guide to chemical control of weeds in iran. Jahad Daneshgahi Mashhad Publications, Mashhad, Iran. (In Persian).

University of Guilan
Faculty of Agricultural Sciences

doi: 10.22124/cr.2020.15633.1562

(Research Article)

Cereal Research
Vol. 10, No. 1, Spring 2020 (73-85)

Investigating the regrowth of wild barley (*Hordeum spontaneum* Koch.) and feral rye (*Secale cereale* L.) weeds compared to wheat after freezing stress

Alireza Hasanfard[1] and Ebrahim Izadi-Darbandi[2*]

Received: February 4, 2020 Accepted: May 23, 2020

Abstract

Knowledge of freezing stress tolerance in wild barley and feral rye as the most important weeds in wheat fields can be used to predict their geographical distribution and management plannings. To this end, an experiment was conducted in Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran, in autumn 2017. Two wheat genotypes (cultivar Pishgam and Iranian landrace Ghezel Khoushe) and two weeds (wild barley and feral rye) were grown up to two to four true leaves stage under natural conditions and then exposed to a temperature range of +4 to -20 °C (+4 ºC as control and 0, -4, -8, -12, -16 and -20 ºC as freezing temperatures). The results showed that reducing temperature from -8 to -12 °C led to a 36% decrease in survival of wild barley, while the survival of wheat (Pishgam and Ghezel Khoushe) and feral rye was 100%. Wild barley had the highest lethal temperature reducing 50% of survival (LT_{50su} = -12.8 °C) and temperature rducing 50% of leaf area ($RLAT_{50}$ = -11.2 °C). Among the studied plant species, wheat (landrace Ghezel Khoushe) and feral rye with -11.8 °C and -11.6 °C, respectively, had the lowest temperature rducing 50% of shoot dry weight ($RSDWT_{50}$), while the wild barley with -8.1 °C had the highest $RSDWT_{50}$. The highest and lowest chlorophyll content (SPAD) among the living plants were observed at +4 and -12 °C, respectively, and feral rye with 19.5 and wild barley with 10.3 SPAD unit showed the highest and lowest chlorophyll content, respectively. The results of this study showed that high tolerance of feral rye to freezing stress is probably one of the main reasons for its widespread distribution in winter wheat fields. Therefore, it is necessary to predict dispersion and possible invasion and consequently appropriate strategies to manage this weed in areas with cold climates.

Keywords: Geographical distribution, Leaf area, Management planning, SPAD, Survival percentage

1. Ph. D. Student, Dept. of Agroechology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran
2. Assoc. Prof., Dept. of Agroechology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran
* Corresponding author: e-izadi@um.ac.ir