تأثیر تنش اسمزی و دمایی بر برخی صفات فیزیولوژیک و جذب عناصر غذایی ژنوتیپ‌های سیب‌زمینی در کشت درون شیشه‌ای

فرنوش جعفری[۱]،جابر پناهنده[۱*]،علیرضا مطلبی آذر[۱] و موسی ترابی گیگلو[۲]

[۱] گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، [۲] گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۷/۲۹، تاریخ پذیرش نهایی: ۱۳۹۷/۱۱/۱۳)

چکیده

این پژوهش به‌منظور مطالعه برخی صفات فیزیولوژیک و تغییرات جذب عناصر غذایی گیاهچه‌های سیب‌زمینی در کشت درون شیشه‌ای تحت تنش‌های اسمزی و دمایی، این پژوهش به‌صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی اجرا شد. عامل اول تنش اسمزی اعمال‌شده توسط پلی‌اتیلن گلیکول ۶۰۰۰ در چهار سطح شاهد، ۰/۵-، ۱- و ۱/۵- مگاپاسکال و عامل دوم تنش دمایی در سه سطح ۱۵، ۲۵ و ۳۵ درجه سانتی‌گراد روی گیاهچه‌های سه کلون امیدبخش (۱۴۳، ۳۰۱ و ۳۰۶) و دو رقم تجاری سیب‌زمینی (مارفونا و پیکاسو) در محیط‌کشت MS اعمال شدند. هشت هفته پس از اعمال تنش وزن تر و خشک، تعداد برگ، مقدار عناصر فسفر، پتاسیم، کلسیم و سدیم اندازه‌گیری شدند. نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثرات ساده عامل‌ها و همچنین برهمکنش آنها در سطح یک درصد روی صفات معنی‌دار بودند. مقایسه میانگین‌ها نشان دادند تنش موجب کاهش وزن تر و خشک، تعداد برگ، مقدار جذب فسفر، کلسیم و پتاسیم، اما افزایش جذب سدیم شده است. براساس نتایج به‌دست آمده بیشترین مقدار وزن‌های تر و خشک و تعداد برگ در شرایط عدم‌تنش دمایی (۲۵ درجه سانتی‌گراد) مشاهده گردید. از طرف دیگر، با افزایش دما از ۱۵ به ۳۵ درجه سانتی‌گراد میزان جذب فسفر و سدیم افزایش پیدا کرد و مقدار جذب پتاسیم و کلسیم در ۲۵ درجه سانتی‌گراد (عدم‌تنش دمایی) بیشتر بود.

واژه‌های کلیدی: پلی‌اتیلن گلیکول، تنش اسمزی، تنش دمایی، سیب‌زمینی، عناصرغذایی

مقدمه

سیب‌زمینی (*Solanum tuberosum*) محصول فصل سرد است و دمای بالا برای رشد آن مناسب نیست (Gelmesa *et al.*, 2017). در مقایسه با بیشتر گونه‌ها سیب‌زمینی به‌دلیل ریشه‌های کم‌عمق نسبت به تنش خشکی حساس است (Hassanpanah *et al.*, 2008; Iwama and Yamaguchi, 2006). خشکی یکی از عوامل مهم مؤثر در کاهش تولید محصولات کشاورزی محسوب می‌شود زیرا اغلب با دیگر تنش‌های غیرزنده مهم مثل تنش شوری و تنش دمای بالا همراه است (Mahmood *et al.*, 2009).

رشد و تولید محصولات گیاهی همواره تحت تأثیر شرایط مختلف محیطی مانند خشکی، عدم‌تعادل مواد غذایی و دمای نامناسب است. کمبود آب به رشد گیاه آسیب می‌رساند و بهره‌مندی از مواد غذایی موجود در محیط‌کشت را کاهش و مقدار فشار اسمزی و آب گیاهان را نیز دست‌خوش تغییرات می‌نماید. کمبود عناصر غذایی در گیاهان تحت شرایط تنش

*نویسنده مسؤل، نشانی پست الکترونیکی: panahandeh@tabrizu.ac.ir

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-15]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.33.20.0]

آبی به‌علت کاهش رشد ریشه، دسترسی ناچیز به عناصر غذایی در خاک و کاهش‌یافتن میزان جذب عناصر معدنی اتفاق می‌افتد (Samarah *et al.*, 2004).

دیدگاه کلی این است که اگر گیاه با تنش خشکی مواجه شود، وزن تر و خشک آن کاهش می‌یابد (Farooq *et al.*, 2008). در طول دوره تنش آبی تعداد روزنه‌ها کاهش می‌یابد که پیامد آن تأثیر روی مقدار ساخته‌شدن مواد گیاهی تر و خشک در اندام‌های هوایی است و موجب کاهش وزن تر و خشک گیاه می‌گردد (Anjum *et al.*, 2011). ایجاد و گسترش تنش خشکی و در پی آن کاهش پتانسیل آب موجب کاهش فتوسنتز و تثبیت کربن می‌گردد که پیامد آن کاهش وزن تر و خشک همه اجزاء گیاه است. شروع تنش آبی با جلوگیری از رشد و تقسیم سلولی همراه است و منجر به کاهش توسعه برگ‌ها می‌شود، پذیرفته شده‌است که تنش خشکی یک عامل بسیار مهم محدودکننده فاز آغازی رشد و استقرار گیاهان است که روی طویل‌شدن گیاه و توسعه رشد تأثیر می‌گذارد. به‌طور کلی تنش آبی توسعه و رشد سلول را به‌علت فشار تورژسانس پائین متوقف می‌کند (Shao *et al.*, 2008). تنش خشکی بزرگ‌شدن سلول را بیشتر از تفسیم سلولی کاهش می‌دهد و از طریق تأثیر بر فرایندهای مختلف فیزیولوزیکی و بیوشیمیایی مانند فتوسنتز، تنفس، انتقال و جذب یون‌ها، کربوهیدرات‌ها، متابولیسم مواد و هورمون‌ها، رشد گیاه را کاهش می‌دهد (Farooq *et al.*, 2008). نجف‌زاده و احسانپور (۱۳۹۱) مشاهده کردند تنش اسمزی در محیط‌کشت حاوی PEG وزن خشک رقم‌های "Concord" و "Kenebec" سیب‌زمینی را کاهش‌داد با این تفاوت که این کاهش در رقم "Concord" در مقایسه با رقم "Kenebec" به‌طور معنی‌داری بیشتر بود. آنان دلیل این تفاوت را حساسیت بیشتر و ناسازگاری رقم "Concord" به تنش خشکی دانستند. نتایج مطالعه تأثیر تنش اسمزی بر سیب‌زمینی در شرایط درون شیشه‌ای نشان داد وزن تر و خشک ، تعداد برگ و ارتفاع گیاهچه تحت تأثیر تنش کاهش یافتند (Albiski *et al.*, 2012).

از دیگر علائم تنش خشکی در گیاهان پژمرده‌شدن آنها به دلیل کمبود عناصر غذایی است (Cakmak, 2005) تنش خشکی جذب مواد غذایی بوسیله ریشه‌ها و انتقال آنها به ساقه را کاهش می‌دهد که این کاهش به‌دلیل محدودشدن سرعت تعرق، آسیب‌رسیدن به انتقال فعال و کاهش قابلیت نفوذ غشایی است. جذب مواد غذایی از خاک با وضعیت آب موجود در خاک ارتباط مستقیم دارد، به‌طوریکه با کاهش رطوبت خاک جریان انتشاری مواد غذایی از خاک به سطح ریشه‌ها کاهش می‌یابد (Arndt *et al.*, 2001). کلیه مکانیسم‌های جذب و انتقال عناصر غذایی در گیاهان همچون جریان توده‌ای، انتشار و یا جذب و انتقال توسط پدیده اسمز به مقدار آب موجود در خاک و ریشه بستگی دارند و در صورت کاهش مقدار آب، شدت و مقدار جذب عناصر تحت تأثیر قرار می‌گیرند. برخی از سیستم‌های انتقال عناصر مانند انتشار به رطوبت کمتری جهت جذب عناصر غذایی نیازمند بوده و در صورت کاهش رطوبت نیز روند جذب و انتقال برخی از مواد غذایی ادامه می‌یابد. دیگر مکانیسم جذب یعنی جریان توده‌ای به مقدار آب وابستگی بیشتری داشته و در صورت کمبود آب جذب عناصری که توسط این شیوه انتقال می‌یابند، دچار اشکال خواهندشد (Taiz and Zeiger, 2006). گاهی اوقات ممکن است که کاهش جذب مواد غذایی به خاطر پایین‌بودن حلالیت آنها باشد که بر اثر تغییر فرآیندهای فیزیولوژیکی شامل جذب پایین مواد غذایی در گیاهانی که تحت چنین شرایطی رشد کرده‌اند حاصل شده است (Garg,2003; Fageria *et al.*, 2002). این کاهش در جذب مواد غذایی در گیاهان معمولاً به خاطر کاهش در میزان تعرق، کاهش انتقال فعال به‌علاوه نفوذپذیری غشا حاصل شده است (Baligar *et al.*, 2001; Gunes *et al.*, 2006; Jabeen *et al.*, 2008). که نتیجه آن کم‌شدن غلظت مواد غذایی در بافت است (Garg, 2003; McWilliams, 2003).

پژوهشگران با مطالعه تأثیر تنش خشکی بر جذب مواد غذایی (فسفر و پتاسیم) گزارش کردند که دلیل کاهش جذب مواد توسط ریشه گیاهان در خاک خشک دسترسی کمتر گیاه به عناصر غذایی است (Fatemy and Evans, 1986).

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-15]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.33.20.0]

نتایج پژوهش انجام‌گرفته در کشت درون شیشه‌ای کلزا نشان داد تنش خشکی کاهش معنی‌داری در میزان پتاسیم برگ و ریشه را موجب شد در حالیکه مقدار کلسیم برگ افزایش یافت اما کاهش کلسیم ریشه نسبت به شاهد معنی‌دار بود. از طرف دیگر مقدار سدیم برگ و ریشه تحت شرایط تنش رطوبتی افزایش چشمگیری نشان داد (عموبیگی و رضوی زاده، ۱۳۹۲). همچنین در گیاه نخود مقدار پتاسیم و کلسیم برگ‌ها و ریشه تحت شرایط تنش آبی کاهش یافت اما مقدار سدیم ریشه گیاه افزایش نشان داد (حسین‌زاده و همکاران، ۱۳۹٦). در گیاه شوید تنش آبی فسفر ریشه و برگ را کاهش داد. همچنین مقدار کلسیم کاهش معنی‌داری نشان داد زیرا جذب کلسیم به‌سرعت تعرق بستگی زیادی دارد و تنش خشکی از میزان تعرق گیاه کاست (ستایش‌مهر و گنجعلی، ۱۳۹۲).

بالابودن میزان آب گیاه به هنگام تغییرات دمای اطراف آن مهمترین متغیر است (Mazorra *et al.*, 2002). به‌طور کلی، اگر فاکتور دما در نظر گرفته نشود و آب به اندازه کافی وجود داشته باشد گیاهان تمایل به حفظ پایدار آب بافت دارند اما اگر آب محدود باشد دماهای بالا برای این گرایش به‌شدت مضر است (Machado and Paulsen, 2001). تحت شرایط مزرعه‌ای، تنش دمای بالا عالباً با کاهش دسترسی به آب همراه است (Simoes-Araujo *et al.*, 2003).دمای بالا باعث ایجاد تغییرات مورفولوژیکی، فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی در گیاهان می‌گردد و بر رشد و نمو گیاه تأثیر می‌گذارد (Singh *et al.*, 2017). رشد و نمو گونه‌های گیاهی به درجه حرارت اطراف آن بستگی دارد و هر گونه گیاهی دارای محدوده دمایی خاص خود است (Nicotra *et al.*, 2010). تنش دمای بالا دارای اثرات تخریبی بر مراحل رشدی گیاهان است، سطح برگ را کاهش می‌دهد، پیچیدگی برگ‌ها را باعث می‌شود، برگ‌ها زرد شده و رشد گیاه متوقف می‌شود (Gomez *et al.*, 2004). دماهای بالا برخی از فرآیندهای فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گیاهان شامل فعالیت آنزیم‌های فتوسنتزی، یکپارچگی غشاء، فسفوریلاسیون نوری، انتقال الکترون در کلروپلاست، هدایت روزنه‌ای، انتقال آسیمیلات‌های نوری را تحت تأثیر قرار می‌دهند (Dinar and Rudich, 1985). نشان داده شده‌است که تنش دمای بالا موجب کاهش جذب عناصر پتاسیم و کلسیم در گیاه نیشکر شده است (Rasheed *et al.*, 2011).

امروزه با تغییرات آب و هوایی و افزایش دمای جهانی مواجه هستیم و از طرف دیگر کمبود منابع آبی نیز بر مشکلات موجود افزوده است. در طی سال‌های گذشته، اکثر پژوهش‌ها روی واکنش گیاهان به یک تنش متمرکز بودند و انجام گرفته‌اند در صورتیکه معمولاً چندین تنش غیرزیستی به‌طور هم‌زمان اتفاق می‌افتند و به همین خاطر محصولات کشاورزی در مزرعه همیشه تحت تأثیر ترکیبی از تنش‌ها قرار می‌گیرند. در بین تنش‌های محیطی، تنش دمای بالا غالباً با تنش خشکی همراه است بر این اساس مطالعه واکنش گیاه به تنش دمای بالا و خشکی هم‌زمان ضرورت پیدا می‌کند. با توجه به اینکه مقدار عناصر غذایی با مقدار آب جذب‌شده از بستر کشت در ارتباط است و تغییر می‌کند و این تغییرات به‌طور مستقیم رشد و نمو و فیزیولوژی گیاه را تحت تأثیر قرار می‌دهند. از طرف دیگر تنش دمایی (چه دمای بالا و چه دمای پائین) بر واکنش‌های گیاه مؤثر است؛ لذا با توجه به اهمیت موضوع پژوهش حاضر به جهت تأثیر هم‌زمان تنش آبی و دمای بالا بر سیب‌زمینی در کشت درون شیشه‌ای انجام گرفت تا با توجه به کنترل شرایط محیطی، واکنش‌های فیزیولوژیکی و وضعیت عناصر غذایی گیاهچه‌ها پس از اعمال تنش مورد مطالعه قرار گیرند.

مواد و روش‌ها

مواد گیاهی: این پژوهش بر روی سه کلون امیدبخش "۱٤۳"، "۳۰۱" و "۳۰٦" (جدول ۱) و دو رقم تجاری "پیکاسو" و "مارفونا" سیب‌زمینی که از کلکسیون ایستگاه تحقیقات کشاورزی اردبیل تهیه شده‌بودند در محل آزمایشگاه کشت‌بافت و ریزازدیادی دانشگاه محقق اردبیلی انجام گرفت.

تیمارها و طرح آزمایشی: پژوهش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار انجام گرفت. هر واحد آزمایشی شامل یک ظرف شیشه‌ای حاوی پنج ریزنمونه بود.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-15]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.33.20.0]

جدول ۱- مشخصات والدین کلون‌های پیشرفته استفاده‌شده

ژنوتیپ	والد نر	والد ماده
۱۴۳	رقم کایزر	کلون پیشرفته حاصل تلاقی سولانوم توبروزوم × سولانوم استولونیفروم
۳۰۱	کلون پیشرفته به‌دست آمده از سولانوم توبروزوم	رقم لوکا
۳۰۶	رقم لوکا	کلون پیشرفته حاصل از تلاقی رقم کایزر × سولانوم استولونیفروم

عامل اول، تنش اسمزی ناشی از کاربرد پلی‌اتیلن گلیکول ۶۰۰۰ (PEG-6000) در چهار سطح شاهد، ۰/۵-، ۱- و ۱/۵- مگاپاسکال و عامل دوم، دما در سه سطح ۱۵، ۲۵ و ۳۵ درجه سانتی‌گراد بر روی ارقام اعمال شدند. برای ایجاد تنش اسمزی به‌ترتیب مقدار صفر، ۲۰۰، ۳۰۰ و ۳۷۰ گرم در لیتر PEG-6000 در آب‌مقطر حل گردید. pH محیط‌کشت ۵/۷ تنظیم شد.

نحوه تهیه نمونه گیاهی: به‌منظور تهیه نمونه گیاهی برای ریشه‌دارکردن در شرایط درون شیشه‌ای و اعمال تنش، ریزقلمه‌هایی حاوی جوانه انتهایی به طول ۲ سانتی‌متر از گیاهان گلدانی که در گلخانه کشت شده‌بودند، تهیه‌شدند. ریزقلمه‌ها ابتدا به‌مدت یک ساعت زیر آب جاری قرار داده شدند تا آلودگی‌های سطحی آنها شسته‌شود. سپس زیر هود ریزنمونه‌ها به‌مدت ۳۰ ثانیه در اتانول ۷۰ درصد قرار داده شدند و بعد از آن سه بار و هر بار به‌مدت ۲ دقیقه با آب‌مقطر شستشو داده شدند. در ادامه به‌مدت ۱۵ دقیقه داخل محلول هیپوکلریت سدیم ۱/۵ درصد به‌همراه چند قطره مایع ظرفشویی ضدعفونی شدند. این بار نیز نمونه‌ها سه بار و هر بار به‌مدت ۲ دقیقه با آب‌مقطر شستشو داده شدند. ریزنمونه‌ها پس از ضدعفونی در محیط ریشه‌زایی شامل محیط‌کشت MS که حاوی ۸ گرم در لیتر آگار و ۳۰ گرم در لیتر ساکارز اما عاری از مواد تنظیم‌کننده رشد بودند، کشت شدند. پس از ریشه‌دهی و رشد مناسب ریزنمونه‌ها و واکشت و تولید گیاهچه به تعداد کافی، ریزنمونه‌های تک‌جوانه به طول ۲ سانتی‌متر ریشه‌دار به محیط‌کشت نهایی حاوی PEG 6000 انتقال یافتند. برای جلوگیری از ژله‌ای‌شدن آگار، PEG 6000 با استفاده از تکنیک انتشار به محیط‌کشت افزوده‌شد. ظروف شیشه‌ای حاوی ریزنمونه‌ها به اتاقک‌های رشد با دمای تنظیم‌شده و دوره نوری ۱۶ ساعت روشنایی و ۸ ساعت تاریکی انتقال یافتند. هشت هفته پس از اعمال تنش برای اندازه‌گیری برخی صفات فیزیولوژیک و عناصر غذایی برداشت‌های لازم از نمونه‌ها به‌عمل آمد.

اندازه‌گیری صفات فیزیولوژیک: وزن تر و خشک از هر تکرار گیاهچه‌ای انتخاب شد و توسط ترازوی دیجیتالی با دقت ۰/۰۰۱ وزن شد و به‌عنوان شاخص وزن تر گیاهچه یادداشت گردید.

سپس گیاهچه‌ها به‌مدت ۲۴ ساعت در آون ۷۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند و پس از آن مجدداً وزن شدند و به‌عنوان مقدار وزن خشک یادداشت گردید.

تعداد برگ: از هر تکرار گیاهچه‌ای انتخاب شد و تعداد برگ‌های کامل و توسعه‌یافته با پهنک برگ کامل مشخص، شمارش و ثبت گردید.

اندازه‌گیری عناصر: به‌منظور اندازه‌گیری میزان عناصر موجود در بافت گیاهی، نمونه‌ها به‌مدت ۲۴ ساعت در آون ۷۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند. سپس از هر نمونه مقدار ۰/۰۵ گرم از خشک‌شده گیاه که به‌صورت پودر در آمده بود در ارلن ۱۰۰ میلی‌لیتری ریخته شد. مقدار ۳ میلی‌لیتر نیتریک اسید غلیظ (۶۵٪) به هر نمونه افزوده و در ادامه به‌مدت ۴۸ تا ۷۲ ساعت در محیط آزمایشگاه قرار گرفتند. ارلن‌ها در زیر هود و بر روی کوره دمایی به‌آرامی حرارت داده شدند. متصاعدشدن دود سفید رنگ و بی‌رنگ‌شدن محلول اسیدی نشانه پایان عمل هضم بود. با استفاده از کاغذ صافی عصاره صاف و حجم محلول باقیمانده با آب‌مقطر به ۵۰ میلی‌لیتر رسید (طباطبایی، ۱۳۹۲).

اندازه‌گیری سدیم: برای اندازه‌گیری سدیم از دستگاه فلیم

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-15]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.33.20.0]

فتومتر به‌روش نشر شعله‌ای استفاده شد. برای این منظور ابتدا محلول‌های استاندارد برای تهیه منحنی کالیبراسیون تهیه شدند. سپس با استفاده از منحنی استاندارد مقدار سدیم بر حسب میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم ماده خشک به‌دست آمد.

اندازه‌گیری پتاسیم: میزان پتاسیم موجود در نمونه‌های گیاهی توسط فلیم فتومتر و به‌روش نشر شعله‌ای خوانده شد و عدد به‌دست آمده به‌صورت گرم در ۱۰۰ گرم ماده خشک محاسبه شد. برای این منظور ابتدا محلول‌های استاندارد تهیه شد. قبل از هر عملی عدد دستگاه با آب‌مقطر روی صفر تنظم گردید و سپس با استفاده از محلول‌های استاندارد دستگاه کالیبره شد و از ارقام به‌دست آمده برای رسم منحنی کالیبراسیون استفاده شد.

اندازه‌گیری فسفر: برای اندازه‌گیری فسفر از روش رنگ‌سنجی بوسیله دستگاه اسپکتروفتومتر استفاده شد. برای این منظور وانادات مولیبدات مورد استفاده قرار گرفت. به همین منظور ابتدا نمونه‌ها در لوله‌های آزمایش به‌مقدار ۲ میلی‌لیتر عصاره حاصل از هضم، ۲ میلی‌لیتر از معرف نیترو وانادو مولیبدات و ۸ میلی‌لیتر آب‌مقطر اضافه شد.پس از گذشت یک ساعت و تشکیل کمپلکس زرد رنگ، مقدار جذب محلول‌ها در طول‌موج ٤۳۰ نانومتر توسط دستگاه اسپکتروفتومتر اندازه‌گیری شد. عدد به‌دست آمده به‌صورت گرم در ۱۰۰ گرم ماده خشک گیاهی محاسبه گردید.

اندازه‌گیری کلسیم: برای خواندن مقدار کلسیم در عصاره گیاهی به‌دست آمده از دستگاه جذب اتمی استفاده شد و مقدار آن بر حسب گرم در ۱۰۰ گرم ماده خشک گیاهی محاسبه شد.

تجزیه واریانس داده‌ها به‌صورت آزمایش فاکتوریل با بهره‌گیری از نرم‌افزار آماری SAS 9.1 انجام گرفت. مقایسه میانگین‌های صفات با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد انجام شدند. نمودارها نیز با استفاده از نرم‌افزار Excel رسم شدند.ضرایب همبستگی بین صفات نیز با استفاده از نرم افزار SAS 9.1 به‌دست آمد.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس (جدول ۲) نشان داد که غلظت PEG، دما و ارقام سیب‌زمینی و نیز اثرات متقابل آنها بر وزن تر، وزن خشک، تعداد برگ‌ها، مقدار فسفر، پتاسیم، کلسیم و سدیم معنی‌دار است.

وزن تر گیاهچه: بررسی کشت‌های تیمار شاهد نشان داد که گیاهچه‌ها در غیاب تنش اسمزی در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد (بدون تنش دمایی) نسبت به دیگر دماها بیشترین میزان وزن تر را داشتند در صورتیکه در دماهای ۱۵ و ۳۵ درجه سانتی‌گراد مقدار آن کمتر بود لیکن در ۱۵ درجه سانتی‌گراد گیاهچه‌ها مقدار وزن تر کمتری داشتند. در بین ارقام و کلون‌ها، رقم "مارفونا" در تیمار شاهد در مقایسه با سایر ارقام و کلون‌ها پائین‌ترین وزن تر را نشان داد ولی در همان شرایط کلون "۳۰٦" بیشترین وزن تر را داشت. با افزایش غلظت PEG و در تنش‌های اسمزی از میزان وزن تر گیاهچه‌ها کاسته شد و در تنش اسمزی ۱/۵- مگاپاسکال کمترین مقدار آن در دمای ۱۵ درجه سانتی‌گراد به‌دست آمد. کلون "۱٤۳" در مقایسه با سایر ارقام و کلون‌ها در تنش اسمزی وزن تر کمتری نشان داد ضمن اینکه کلون "۳۰۱" میزان وزن تر خود را به مقدار بیشتری حفظ نمود. آن طور که نتایج نشان دادند در غیاب تنش دمایی (۲۵ درجه سانتی‌گراد) وزن تر نمونه‌های گیاهی بیشتر بود و تنش دمایی چه دمای پائین و چه دمای بالا از مقدار آن کاست. تأثیر هم‌زمان تنش‌ها باعث شدند که نمونه‌ها وزن تر کمتری داشته باشند. به طوریکه تنش اسمزی ۰/۵- مگاپاسکال و بالاتر در ترکیب با دمای ۳۵ درجه سانتی‌گراد موجب از بین‌رفتن گیاهچه‌ها شدند (شکل ۱).

به‌نظر می‌رسد کاهش وزن تر در گیاهان تنش‌دیده به‌دلیل جلوگیری از توسعه و رشد سلولی ناشی از کاهش فشار تورژسانس باشد (Rane *et al.*, 2001). تنش آبی منجر به بسته‌شدن روزنه‌ها، کاهش سرعت تعرق، کاهش پتانسیل آب گیاه و جلوگیری از رشد گیاه در اثر عدم‌توانایی آن در جذب مواد غذایی از محیط رشد می‌شود. در اثر بسته‌شدن روزنه‌ها تثبیت کربن فتوسنتزی به‌شدت کاهش پیدا می‌کند و درنتیجه

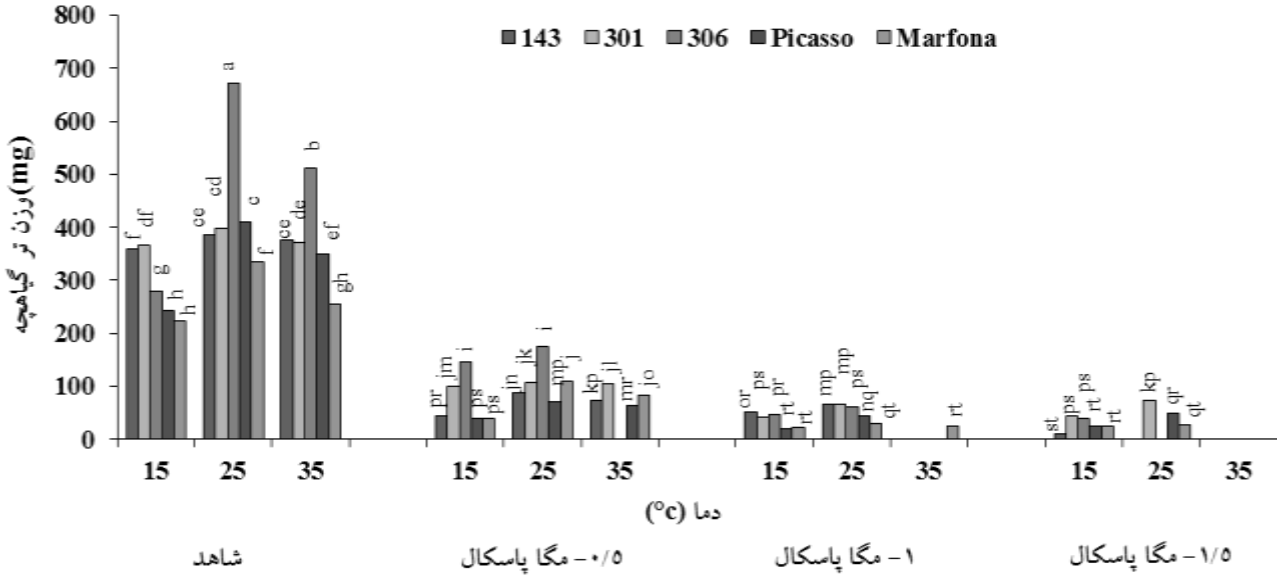
[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-15]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.33.20.0]

جدول ۲- تجزیه واریانس صفات مورد مطالعه ارقام و کلون‌های سیب‌زمینی تحت تأثیر تنش اسمزی و دمایی در کشت درون شیشه‌ای

منبع تغییر	df	وزن تر	وزن خشک	تعداد برگ	فسفر	پتاسیم	کلسیم	سدیم
		(mg)			(gr/100gr DW)			(mg/100gr DW)
PEG	۳	۱۵۰۶۰۷۷/۶۲**	٤۷۵۲/۵۵**	۳۷۰۳/۷٤**	۷/٦۲**	۵۲٤۵/٤۳**	۱۱۱۲۰٤۳/۲۱**	۸۲۸۳٦۲٤۸/۲**
دما	۲	۸۰۲٤/۳۲**	۲۱۷/۵۵**	۱۸۲/۷۵**	۳/۳۳**	۱٦۳۲/۵٦**	۱۱۰۵۸۷۵/۹۷**	۸۹۸۰٦۲۳۵/۹**
رقم	٤	٤۳۳۸٤/۱۹**	۱۸۳/۷٤**	٤٤/۹۷**	۰/۹٦**	۱۵۸/٤۰**	۱۱۲٦۸۱۰/۸٤**	۱٤۲۹۱۲۹/۹**
PEG × دما	٦	۵٤۸۳/۰۹**	۳۹/۹٦**	٦۸/۲۹**	۱/۸۳**	٦۷۹/۱۲**	۱۱۱۵۷۹٤/۵٦**	۳۷۸٤۸۷۰۱**
PEG × رقم	۱۲	٤۰۱۸٦/٦٤**	۱۵٤/۹۱**	٤۱/۸۵**	۰/۱٦**	۳۹/۳۷**	۱۱۲۲٤٤۸/۷٤**	٦٦۳۷۰۹/۸**
دما × رقم	۸	٤۹۰۱۱/۰٦**	۲۲۳/۰۲**	۱۵/٤٦**	۰/۱٦**	۲٦/۲۲**	۱۱۲۱۹۰٦/۲۰**	٦۲۲۱۰۳/۷**
PEG × دما × رقم	۲٤	٤۳۵۵۹/۲۷**	۱۹۲/۷٤**	۲۸/۳۳**	۰/۱٤**	۲٦/۰۳**	۱۱۲۲۸۱۸/٦۹**	٦٤۸۰٤۳**
خطای آزمایشی	۱۲۰	۳۹۵	۱/۵۵	۰/۷	۰/۰۱۷	٦/٦۷	۰/۹۷	۳۸۸/۹
ضریب تغییرات ٪	-	۱٤/۲۱	۱۱/۵۹	۱۳/۰۱	۱۱/۷٤	۱۱/۳۲	۱/۱۹	۲/۷۲

** معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد



شکل ۱- تأثیر فشار اسمزی و دما بر وزن تر گیاهچه ارقام و کلون¬های سیب¬زمینی در شرایط درون شیشه¬ای

مواد فتوسنتزی برای تولید ماده خشک در گیاه کاهش می‌یابد و رشد به‌شدت تحت تأثیر قرار می‌گیرد (Yordanov *et al.*, 2002). خشکی باعث می‌شود مقدار آب بافت‌های گیاهی کاهش یابد و در پی آن تورژسانس برگ‌ها کاهش و طویل‌شدن سلول‌ها بازداشته شود. این عمل باعث می‌شود از طول و قطر ساقه کاسته شود، تعداد برگ کاهش یابد، طول و قطر ریشه‌ها کاهش یابد و نهایتاً منجر به کاهش وزن تر و خشک گردد (Taiz and Zeiger, 2006; Albiski *et al.*, 2012). تنش خشکی به‌طور قابل توجهی با تغییر در محتوای کلروفیل، خسارت به دستگاه فتوسنتزی، تخریب ساختار فتوسنتز II، افزایش میزان فلورسانس کلروفیل (Dulai *et al.*, 2006)، مهار سنتز رنگدانه‌های فتوسنتزی و کاهش هدایت روزنه‌ای

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-15]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.33.20.0]

(Hasanuzzaman *et al.*, 2013)، محدودیت جذب آب و عناصر غذایی (Ashraf and Foolad, 2007)، تغییر میزان آسیمیلاسیون دی‌اکسید کربن، تعرق، کاهش سطح برگ و تسریع فرآیند پیری برگ‌ها شده (Wahid and Rasul, 2007) و با محدودیت میزان تولید و توزیع مواد فتوسنتزی در گیاهان، وزن تر اندام‌های هوایی را کاهش می‌دهد (Baghalian *et al.*, 2011). خسارت طولانی مدت تنش گرما شامل ممانعت از سنتز پروتئین محلول برگ و افزایش سیالیت ساختارهای سلولی و از بین‌رفتن غشاء می‌شود. این خسارت منجر به ممانعت از تولید مواد فتوسنتزی و درنهایت باعث کاهش رشد می‌گردد (Gur *et al.*, 2010). نجف‌زاده و احسانپور (۱۳۹۱) گزارش کرده‌اند تنش اسمزی در محیط‌کشت حاوی PEG، وزن تر رقم‌های "Concord" و "Kenebec" سیب‌زمینی را کاهش‌داد با این تفاوت که این کاهش در رقم "Concord" در مقایسه با رقم "Kenebec" به‌طور معنی‌داری بیشتر بود. آنها دلیل این تفاوت را حساسیت بیشتر و ناسازگاری رقم "Concord" به تنش خشکی دانستند. کاهش وزن تر گیاهچه‌های چهار رقم انگور ایرانی در شرایط درون شیشه‌ای در اثر تنش اسمزی ناشی از PEG مشاهده شده است (مهری و همکاران، ۱۳۹۳). همچنین کاهش وزن تر گیاهچه‌ها در اثر تنش اسمزی ناشی از مانیتول در کشت درون شیشه‌ای کلزا گزارش شده است (عمومبیگی و رضوی‌زاده، ۱۳۹۲).

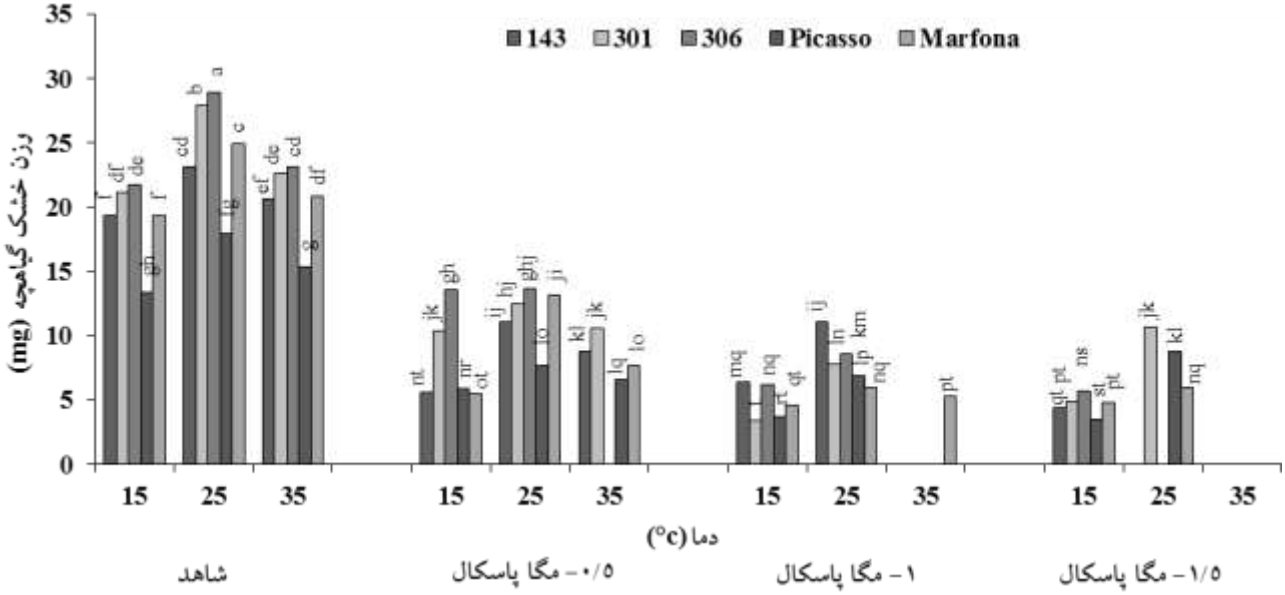
وزن خشک گیاهچه: در رابطه با وزن خشک بررسی گیاهچه‌های کشت‌شده در تیمار شاهد نشان دادند در غیاب تنش اسمزی وزن خشک گیاهچه‌ها در ۲۵ درجه سانتی‌گراد و در شرایط فقدان تنش دمایی بیشترین مقدار بود در صورتیکه دماهای بالا یا پائین‌تر از دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد از مقدار وزن خشک کاسته شد. در دمای ۳۵ درجه سانتی‌گراد وزن خشک گیاهچه‌ها بیشتر از دمای ۱۵ درجه سانتی‌گراد بود. در رابطه با عکس‌العمل ارقام و کلون‌ها نتایج نشان دادند که کلون "۳۰۶" بیشترین و رقم "پیکاسو" کمترین وزن خشک را داشتند. با افزایش غلظت PEG محیط‌کشت و در تنش اسمزی از مقدار وزن خشک گیاهچه‌ها کاسته شد و کمترین مقدار آن در ۱- مگاپاسکال در کلون "۳۰۱" مشاهده شد در صورتیکه در ۱/۵- مگاپاسکال وزن خشک در مقایسه با ۱- مگاپاسکال بیشتر بود. تأثیر هم‌زمان تنش‌ها بر روی گیاهچه‌ها باعث کاهش در مقدار وزن خشک گردید به طوریکه PEG با غلظت ۰/۵- مگاپاسکال و بالاتر در ترکیب با دمای ۳۵ درجه سانتی‌گراد موجب از بین‌رفتن گیاهچه‌ها شدند (شکل ۲).

معمولاً در گیاهان نخستین آثار کمبود آب به‌صورت بسته‌شدن روزنه‌ها جهت جلوگیری از تبخیر و تعرق خود را نشان می‌دهد که به‌دنبال آن تبادلات گازی کاهش‌یافته و در نتیجه CO_2 کمتری در اختیار گیاه قرار می‌گیرد. درنتیجه شدت فتوسنتز کاهش و به‌تبع آن کاهش رشد در گیاه نمایان می‌گردد (Riaz *et al.*, 2010). همچنین به‌علت افزایش آبسزیک اسید در تنش خشکی، تقسیم یاخته‌ای در برگ‌ها کاهش‌یافته و به‌دنبال آن سطح برگ‌ها کاهش می‌یابد درنتیجه کاهش رشد و کم‌شدن وزن‌های تر و خشک گیاهی است (Banon *et al.*, 2004). تنش خشکی با محدودیت‌هایی که در جذب آب توسط گیاه و همچنین جذب عناصر غذایی برای گیاه ایجاد می‌کند باعث کاهش زیست‌توده تولیدی می‌شود (Ashraf and Foolad, 2007). تحت شرایط گرما، تنفس افزایش‌یافته و گیاه برای کاهش اثرات گرما سازوکارهای جانبی بکار می‌گیرد و مقدار زیادی از انرژی را که از اندام هوایی جهت رشد خود دریافت می‌کند، صرف مقابله با تنش گرمایی می‌نماید. این عمل باعث کاهش کارایی در تأمین عناصر غذایی و آب برای اندام هوایی شده درنتیجه باعث کاهش رشد اندام هوایی و کاهش وزن تر و خشک گیاه می‌گردد (Gupta *et al.*, 2013).

نتایج مطالعات پژوهشگران کاهش مقدار وزن خشک در اثر تنش را نشان داده است. نجف‌زاده و احسانپور (۱۳۹۱) مشاهده کردند تنش اسمزی در محیط‌کشت حاوی PEG، وزن خشک رقم‌های "Concord" و "Kenebec" سیب‌زمینی را کاهش داد با این تفاوت که این کاهش در رقم "Concord" در مقایسه با رقم "Kenebec" به‌طور معنی‌داری بیشتر بود. آنان دلیل این تفاوت را حساسیت بیشتر و ناسازگاری رقم

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-15]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.33.20.0]



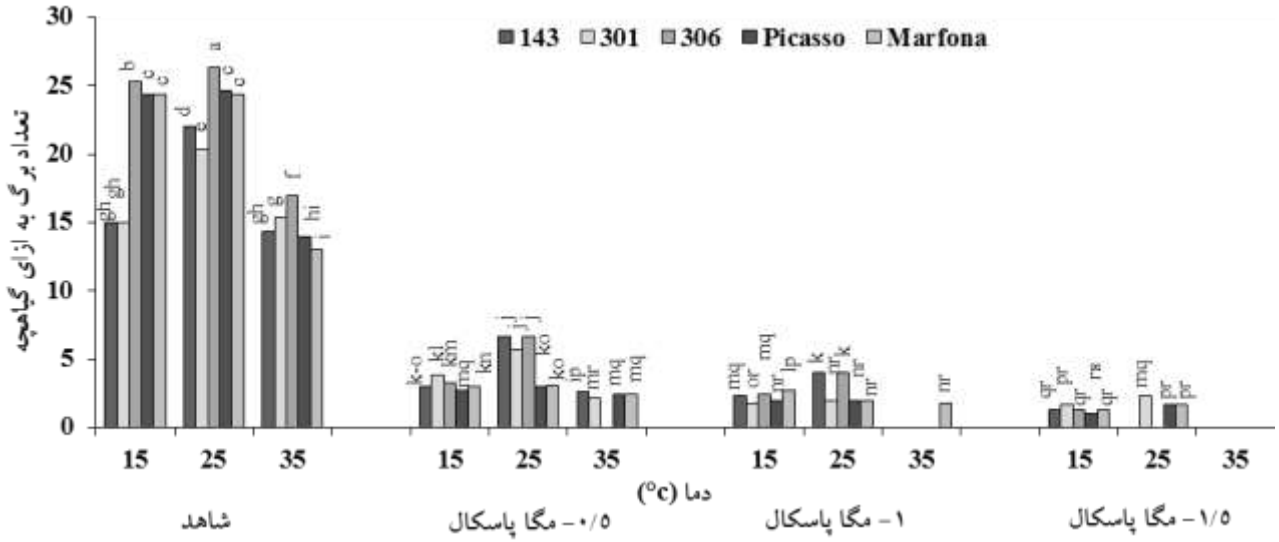
شکل ۲- تأثیر فشار اسمزی و دما بر وزن خشک گیاهچه ارقام و کلون‌های سیب‌زمینی در شرایط درون شیشه‌ای

"Concord" به تنش خشکی دادند. مهری و همکاران (۱۳۹۳) در چهار رقم انگور ایرانی کاهش وزن خشک ریزنمونه‌ها را در اثر تنش کم‌آبی گزارش کرده‌اند. در کشت درون شیشه‌ای کلزا کاهش وزن خشک گیاهچه‌ها در اثر تنش خشکی ناشی از مانیتول گزارش شده است (عمومیگی و رضوی‌زاده، ۱۳۹۲). در آزمایشی دیگر که بر روی آلبالو در غلظت‌های مختلف PEG در شرایط درون شیشه‌ای انجام گرفت، PEG باعث کاهش وزن خشک، طول شاخه و محتوای آب گیاه شد (Sivritep *et al.*, 2008). در گیاه دارویی مریم‌گلی لوله‌ای، تنش خشکی میزان تجمع ماده خشک یعنی مجموع وزن خشک ریشه و وزن خشک اندام‌های هوایی را کاهش داد (سودایی‌زاده و منصوری، ۱۳۹۳). تنش گرمایی در گیاه نیشکر رشد گیاه را قویا تحت تأثیر قرار داد و به‌خصوص در مراحل ابتدایی رشد و نمو این تأثیر مشهودتر بود و باعث کاهش وزن خشک جوانه‌ها گردید (Rasheed *et al.*, 2011).

تعداد برگ گیاهچه: در رابطه با تعداد برگ، در تیمار شاهد و در غیاب تنش اسمزی تعداد برگ در درجه حرارت ۲۵ سانتی‌گراد (بدون تنش دمایی) نسبت به دو دمای دیگر بیشتر بود و با بالا و پایین‌رفتن دما تعداد برگ‌ها کاهش نشان دادند. با این تفاوت که در ۳۵ درجه سانتی‌گراد تعداد برگ کمتر از دو دمای دیگر بود. در بین ارقام و کلون‌ها، کلون "۳۰۶" با داشتن بیشترین تعداد برگ کامل از سایر ارقام متمایز بود در حالیکه در همان شرایط کلون "۳۰۱" کمترین تعداد برگ داشت. با افزودن PEG به محیط‌کشت و ایجاد تنش اسمزی از تعداد برگ‌های گیاهچه در غیاب تنش دمایی کاسته شد به طوریکه کمترین آن در تنش اسمزی ۱/۵- مگاپاسکال و در رقم "پیکاسو" به‌دست آمد اما کلون "۳۰۱" در همان شرایط تعداد برگ بیشتری در مقایسه با ارقام و کلون‌های دیگر داشت. تأثیر هم‌زمان تنش‌ها بر روی گیاهچه‌ها منجر به کاهش چشمگیر برگ‌ها گردید. به طوریکه تنش اسمزی ۰/۵- مگاپاسکال و بالاتر باعث شد که گیاهچه‌ها توانایی مقابله با تنش‌ها را نداشته باشند و از بین بروند (شکل ۳).

ریزش و کاهش تعداد برگ در شرایط تنش یک سازش مورفولوژیکی و عاملی برای انتشار مجدد ماده غذایی در گیاه است (Mohammadkhani and Heidari, 2008). Sivritepe و همکاران (۲۰۰۸) و Molassiotis و همکاران (۲۰۱۱) نشان دادند کاهش تعداد برگ‌های توسعه‌یافته به‌عنوان مکانیسمی دفاعی در برابر تنش خشکی و تحمل به آن است و باعث می‌شود گیاهان نور کمتری جذب کنند و به‌تبع آن تعرق کمتری داشته باشند. Khurana و Singh (۲۰۰۰) گزارش

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-15]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.33.20.0]



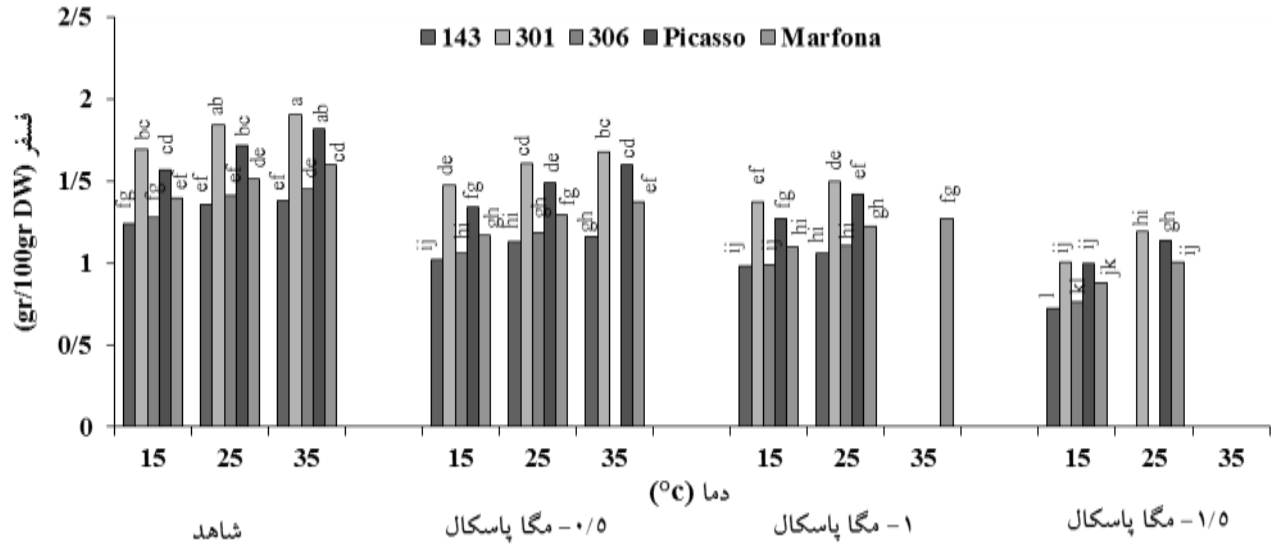
شکل ۳- **تأثیر فشار اسمزی و دما بر تعداد برگ گیاهچه ارقام و کلون‌های سیب‌زمینی در شرایط درون شیشه‌ای**

کردند کاهش سطح برگ و تعداد برگ در اثر افزایش تنش خشکی سبب کاهش اتلاف آب و تعرق و در پی آن افزایش مقاومت گیاهان در برابر خشکی می‌شود. آنها گزارش کردند کاهش سطح برگ در اثر افزایش تنش خشکی، نشان‌دهنده توانایی یک گونه برای مقاومت و سازش در برابر خشکی است. احتمالاً کاهش سطح برگ به‌دلیل کاهش محتوای نسبی آب برگ و متعاقب آن کوچک‌شدن اندازه سلول‌ها، کاهش تقسیم سلول‌های مریستمی و درنتیجه کندشدن رشد برگ، توقف تولید برگ، تسریع پیری و متعاقب آن ریزش برگ‌ها است. خشکی سبب کاهش در اندازه برگ‌ها، وزن خشک اندام هوایی، شاخص سطح برگ، تعداد برگچه، سطح برگ و فشار تورژسانس در بافت گیاهی می‌شود (Hu *et al.*, 2014). غربالگری ژنوتیپ‌های سیب‌زمینی تحت شرایط درون شیشه‌ای نشان داد تعداد برگ با افزایش غلظت PEG در محیط‌کشت کاهش یافت (Gelmesa *et al.*, 2017). در کشت درون شیشه‌ای بادام افزایش غلظت PEG محیط‌کشت تعداد برگ گیاهچه را کاهش‌داد (Akbarpour *et al.*, 2017) و مشابه این نتیجه در انگور نیز گزارش شده است (جلیلی‌مرندی و همکاران، ۱۳۹۰).

فسفر: در رابطه با مقدار فسفر، مطالعه سه دمای مورد مطالعه در کشت‌های فاقد PEG نشان داد که افزایش دما در غیاب تنش اسمزی موجب افزایش در میزان فسفر بافت گیاهی گردید و مقایسه بین دماها، حاکی از بالابودن مقدار فسفر در دمای ۳۵ درجه سانتی‌گراد در مقایسه با دماهای ۱۵ و ۲۵ درجه سانتی‌گراد بود. نتایج نشان دادند که کلون "۳۰۱" در میان ارقام و کلون‌ها بیشترین مقدار فسفر را جذب کرده است، در صورتیکه کلون "۱٤۳" مقدار فسفر بافت‌هایش کمتر از سایر ارقام و کلون‌ها بود. افزایش غلظت PEG در محیط‌کشت منجر به کاهش مقدار فسفر در گیاهچه‌ها گردید و این کاهش در ۱/۵- مگاپاسکال به بالاترین حد رسید و کلون "۱٤۳" با حداقل مقدار فسفر از سایر ارقام و کلون‌ها متمایز بود در حالیکه در همین شرایط کلون "۳۰۱" بهتر از سایر ارقام و کلون‌ها بود و مقدار فسفر بیشتری نشان داد. از طرف دیگر تأثیر هم‌زمان تنش‌ها حاکی از کاهش مقدار فسفر بود و بر همین اساس در دمای ۱۵ درجه سانتی‌گراد و ۱/۵- مگاپاسکال فسفر به کمترین مقدار جذب گیاه شده بود. ارقام و کلون‌ها بر اساس میزان فسفر بافت‌هایشان به‌ترتیب "۳۰۱"، "پیکاسو"، "مارفونا"، "۳۰٦" و "۱٤۳" بودند (شکل ٤).

نقش فسفر ذخیره انرژی برای اکسیداسیون ترکیباتی است که به انرژی احتیاج دارند (به‌صورت آدنوزین دی‌فسفات) و در واقع می‌تواند انرژی لازم را برای متابولیسم فراهم کند. ضمن اینکه فسفر نقش مؤثری را در کربن‌گیری ایفا می‌کند (نعمت

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-15]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.33.20.0]

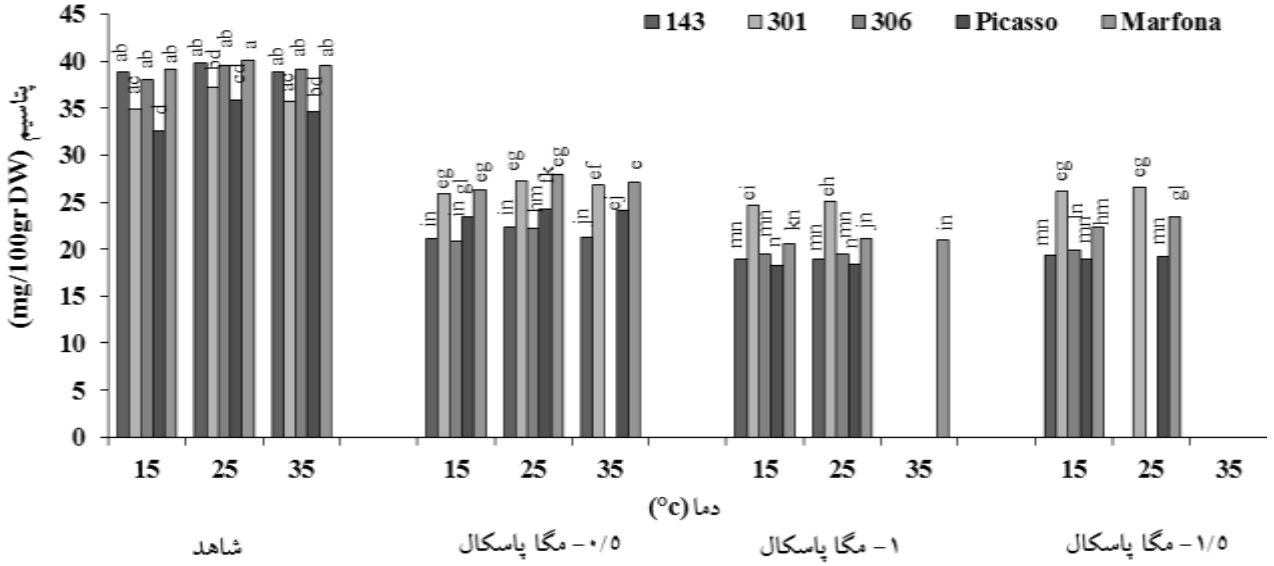


شکل ٤- تأثیر فشار اسمزی و دما بر مقدار فسفر ارقام و کلون‌های سیب‌زمینی در شرایط درون شیشه‌ای

اللهی و همکاران، ۱۳۹۲). رطوبت خاک موجب رشد و حرکت بهتر ریشه‌ها در خاک شده که درنهایت سبب رشد بهتر گیاه می‌شود. با افزایش رطوبت خاک در اثر آبیاری بیشتر، میزان جذب فسفر در گیاه افزایش می‌یابد (Mellisho *et al.*, 2012). کاهش جذب فسفر می‌تواند به کاهش حلالیت و قابل دسترس‌بودن آن، کاهش تعرق و رشد و توسعه سیستم ریشه‌ای گیاه تحت شرایط کمبود رطوبت محیط‌کشت نسبت داده شود (Hopkins and Huner, 2009). در شرایط تنش آبی، سرعت انتشار فسفر از خاک به سطح ریشه نسبت به سایر عناصر غذایی کاهش بیشتری می‌یابد، زیرا یون فسفات به ذرات رس چسبیده و کمتر در دسترس گیاه قرار می‌گیرد (Marschner, 1995). کاهش میزان فسفر در اثر تنش آبی در گیاهانی همچون مریم‌گلی لوله‌ای (سودایی‌زاده و منصوری، ۱۳۹۳) و بابونه آلمانی (پیرزاد و همکاران، ۱۳۹٤) گزارش شده است. دلیل این موضوع کاهش قابلیت تحرک فسفر در خاک‌هایی با محتوای پایین آب است چرا که محتوای آب خاک بر واکنش‌های تجزیه‌ای و فعالیت‌های بیولوژیک آن تأثیرگذار است. مطالعه واکنش گیاه لوبیا به تنش خشکی ناشی از PEG نشان داد در شرایط تنش، توانایی جذب فسفر توسط ریشه‌های این گیاهان ضعیف بوده و کاهش یافت و دلیل آن ممانعت PEG از جذب و انتقال فسفر در آوندها و ساقه بیان شده است (Hadidi, 1999). در گیاه گشنیز بیشترین جذب فسفر در تیمار شاهد و کمترین میزان آن در شرایط تنش شدید گزارش شده است (نورزاد و همکاران، ۱۳۹٤). در آفتابگردان و در رقم‌های مختلف آن نیز کاهش مقدار فسفر در اثر تنش مشاهده شده است (نعمت اللهی و همکاران، ۱۳۹۲).

پتاسیم: مطالعه دماها در تیمار شاهد فاقد PEG نشان داد مقدار پتاسیم در بافت‌های گیاهی در غیاب تنش اسمزی در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد نسبت به دماهای دیگر بیشتر بود و مقدار آن در دمای ۱۵ و ۳۵ درجه سانتی‌گراد کاهش نشان داد با این تفاوت که مقدار پتاسیم در ۳۵ درجه سانتی‌گراد بیشتر از۱۵ درجه سانتی‌گراد بود. از طرف دیگر نتایج نشان دادند که در بین ارقام و کلون‌ها، "مارفونا" پتاسیم بیشتری جذب نمود. غلظت‌های مختلف PEG در محیط‌کشت تا ۱- مگاپاسکال مقدار پتاسیم بافت‌های گیاهی را کاهش داد و پائین‌ترین مقدار پتاسیم در رقم "پیکاسو" و بیشترین مقدار آن در کلون "۳۰۱" مشاهده شد. افزایش غلظت PEG به میزان ۱/۵- مگاپاسکال باعث افزایش مقدار پتاسیم شد. تأثیر هم‌زمان تنش‌ها ابتدا موجب شد که مقدار پتاسیم بافت‌ها کاهش پیدا کند که کمترین مقدار آن در دمای ۱۵ درجه سانتی‌گراد و پتانسیل اسمزی۱- مگاپاسکال مشاهده شد، ضمن اینکه تنش اسمزی ۰/۵- مگاپاسکال و بالاتر در کنار دمای ۳۵ درجه سانتی‌گراد باعث

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-15]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.33.20.0]



شکل ۵- تأثیر فشار اسمزی و دما بر مقدار پتاسیم ارقام و کلون‌های سیب‌زمینی در شرایط درون‌شیشه ای

خشک‌شدن نمونه‌ها گردید (شکل ۵).

پتاسیم یک عنصر سیتوپلاسمی ضروری است و به‌علت نقش آن در تنظیم اسمزی و اثر رقابتی آن با سدیم غالباً به عنوان یک عنصر مهم در شرایط تنش در نظر گرفته می‌شود. پتاسیم نقش مهمی در تنظیم پتانسیل سلول‌های گیاهی دارد (Wind *et al.*, 2004). این عنصر نه تنها از نظر مقدار موجود در بافت‌های گیاهی بلکه از نظر فیزیولوژی و بیوشیمیایی نیز در زمره مهم‌ترین کاتیون‌ها قرار دارد (Mengel and Krik, 1982). ازخصوصیات بارز پتاسیم سرعت جذب آن توسط بافت‌های گیاهی است که این سرعت جذب به مکانیسم جذب فعال سلول‌ها بستگی دارد. پتاسیم همچنین در سنتز پروتئین، همکاری در انتقال آمینواسیدها، خنثی‌سازی اسیدهای آلی، تقسیم و رشد سلولی، مقاومت به شرایط محیطی ناسازگار مثل خشکی و سرما دخالت دارد (Fernando *et al.*, 1997). پتاسیم برای حفظ و ایجاد فشار آماس و تنظیم تعادل آبی گیاهان ضروری است (Parida and Das, 2005).

در شرایط تنش غلظت یون‌های محلول خاک افزایش یافته و موجب کاهش پتانسیل آب محیط‌کشت می‌شوند. درنتیجه جذب آب توسط ریشه گیاه محدود می‌گردد و در پی آن جذب عنصر پتاسیم کاهش می‌یابد (Raphael *et al.*, 2012). کمبود پتاسیم در گیاهان منجر بـه کـاهش فعالیـت روبیسـکو، هدایت روزنه‌ای و افزایش گونه‌های فعال اکسیژن ودرنهایت باعـث کـاهش فتوسـنتز مـی‌شـود. اگر گیاه وضعیت پتاسیم مساعدی داشته باشد می‌تواند تولید ROS را از طریق کاهش فعالیت NADPH اکسیداز و پایدار نگه‌داشتن مسیر انتقال الکترون، کاهش‌دهد (Cakmak, 2005). Hasse و Rose (۱۹۹٤) نشان دادند افزایش رطوبت خاک با افزایش جذب عناصر فسفر و پتاسیم همراه است. با کاهش مقدار آب خاک، تحرک پتاسیم کاهش یافته و قابلیت دسترسی به پتاسیم توسط ریشه گیاهان نیز کاهش می‌یابد (Hu and Schmidhalter, 2005). گزارش شده علت کاهش پتاسیم برگ بر اثر تنش خشکی ممکن است به‌دلیل حرکت این عنصر از برگ‌ها به ریشه باشد زیرا پتاسیم به‌عنوان محافظت‌کننده اسمزی عمل می‌نماید. پتاسیم در شرایط تنش آبی حلالیت کمتری داشته، درنتیجه کمتر جذب گیاه می‌شود (Osuagwu *et al.*, 2010).

در کشت درون شیشه‌ای کلزا افزایش میزان تنش آبی موجب کاهش پتاسیم ریشه و برگ گردید (عموبیگی و رضوی‌زاده، ۱۳۹۲). نتایج به‌دست آمده از پژوهش انجام‌گرفته بر روی دو رقم آفتابگردان نشان داد تنش خشکی پایین‌آمدن پتاسیم در گیاه را در پی دارد (نعمت اللهی و همکاران، ۱۳۹۲)، مشابه همین نتیجه در گیاه بابونه (آرزمجو و همکاران، ۱۳۸۸) و نخود (مرادی و همکاران، ۱۳۹٦) گزارش شده است.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-15]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.33.20.0]

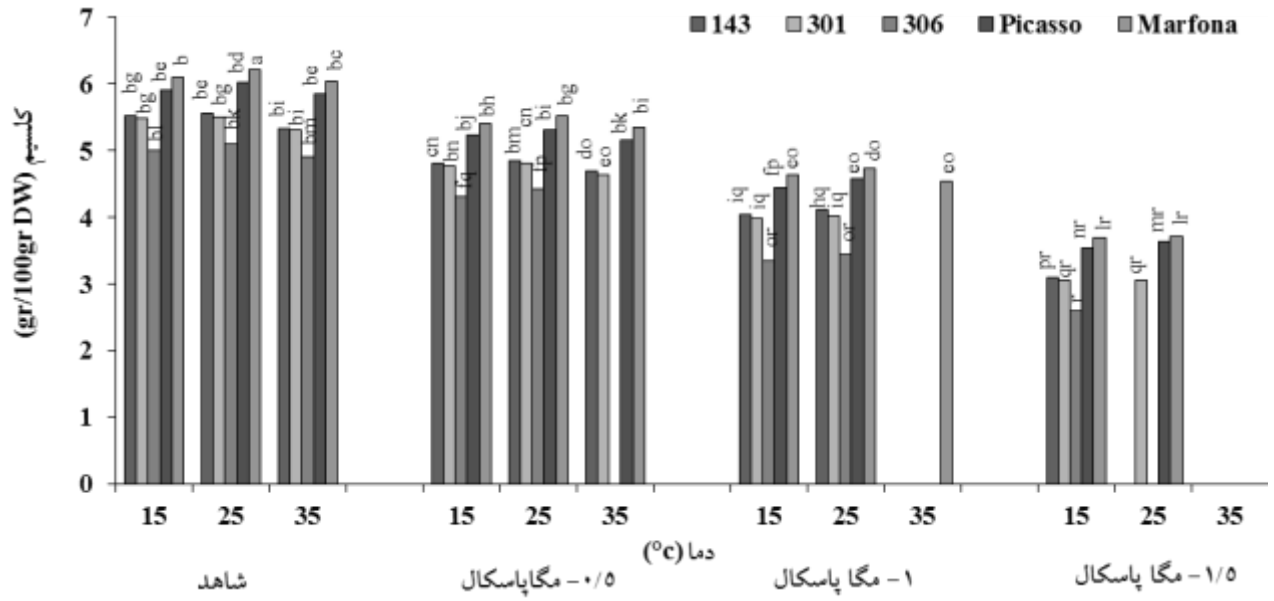
کلسیم: در کشت‌های شاهد، بررسی دماهای مورد مطالعه در غیاب تنش اسمزی نشان داد که در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد (عدم‌تنش دمایی) بیشترین مقدار کلسیم جذب گیاهچه‌های سیب‌زمینی شد و مقدار جذب آن در دمای بالا و پایین‌تر از ۲۵ درجه سانتی‌گراد کاهش یافت. نتایج نشان داد که رقم "مارفونا" در مقایسه با سایر ارقام و کلون‌ها مقدار کلسیم بیشتری در تیمار شاهد داشت و رقم "پیکاسو" و کلون‌های "۱٤۳"، "۳۰۱" و "۳۰٦" به‌ترتیب در رده‌های بعدی قرار گرفتند. از طرف دیگر افزایش غلظت PEG محیط‌کشت در نبود تنش دمایی مقدار جذب کلسیم را کاهش داد و این کاهش در ۱/۵- مگاپاسکال به بیشترین مقدار در کلون "۳۰٦" رسید و ارقام کلون‌های دیگرنسبت به کلون "۳۰٦" کاهش کمتری در میزان جذب کلسیم نشان دادند و از بین آنها رقم "مارفونا" کلسیم بیشتری داشت. تأثیر هم‌زمان تنش‌ها باعث کاهش در مقدار کلسیم جذب‌شده گردید به طوریکه در دمای ۱۵ درجه سانتی‌گراد و ۱/۵- مگاپاسکال کمترین مقدار کلسیم مشاهده شد (شکل ٦).

شواهد زیادی مبنی بر اهمیت کلسیم در رشد و نمو گیاه و تحمل به تنش‌های زیستی و غیرزیستی وجود دارد. در تنش‌های اسمزی کلسیم نقش اصلی را در تنظیم انتقال یون‌ها به سلول‌های گیاه بازی می‌کند. این یون بر ساختمان غشا و جابجایی یون‌ها اثر می‌گذارد. کلسیم برای حفظ و پایداری دیواره‌های سلولی، غشاها و پروتئین‌های متصل به غشا دارای اهمیت است (Nayyar, 2003). با کاهش رطوبت خاک حرکت کلسیم از خاک به سطح ریشه کاهش می‌یابد، زیرا جذب کلسیم توسط گیاه عمدتاً از طریق جریان توده‌ای بوده و به سرعت تعرق بستگی دارد (Yu *et al.*, 2007). دلیل پائین‌آمدن میزان کلسیم در اثر تنش خشکی، کاهش سرعت جذب آن تحت شرایط تنش بیان شده است (Ashraf and Naz, 1994). همچنین کاهش حلالیت و قابل دسترس‌شدن کلسیم تحت شرایط تنش رطوبتی و رشد و توسعه سیستم ریشه‌ای در تنش خشکی از دیگر دلایل کاهش جذب کلسیم بیان شده‌اند (Hopkins and Huner, 2009). یکی دیگر از دلایل کاهش جذب عناصر پتاسیم و کلسیم در اثر تنش کم‌آبی، کاهش تحرک این عناصر در خاک ذکر شده است. در اثر تنش خشکی کلسیم از برگ به ریشه حرکت می‌کند و متعاقب آن کلسیم برگ کاهش می‌یابد (Osuagwa *et al.*, 2010). گزارش شده تنش گرمایی جذب کلسیم توسط گیاه را کاهش می‌دهد (Rasheed *et al.*, 2011). درکشت درون شیشه‌ای کلزا بر اثر تنش اسمزی ناشی از مانیتول مقدار کلسیم در اندام هوایی افزایش و در ریشه کاهش یافت که علت آن افزایش انتقال یون کلسیم از ریشه به اندام هوایی بیان شده است (عمومیگی و رضوی‌زاده، ۱۳۹۲). پیرزاد و همکاران (۱۳۹٤) در گیاه بابونه آلمانی مشاهده کردند که میزان کلسیم در اثر تنش رطوبتی کاهش قابل توجهی یافت و همین نتیجه در گیاه عدس نیز مشاهده شد که بر اثر تنش خشکی مقدار کلسیم و پتاسیم کاهش یافت (احمدپور و همکاران، ۱۳۹۵). در خربزه تنش آبی تأثیر معکوسی بر یون‌های کلسیم و پتاسیم شاخساره و ریشه داشت و ژنوتیپ‌های متحمل به تنش، مقدار کلسیم و پتاسیم بیشتری داشتند (Kusvuran, 2010). در لوبیا ژنوتیپ‌هایی که مقدار پتاسیم و کلسیم آنها در اثر تنش خشکی کمتر کاهش یافتند نسبت به تنش متحمل‌تر بودند، افزون بر این ژنوتیپ‌های مقاوم به تنش آبی نسبت پتاسیم به سدیم و کلسیم به سدیم بیشتری در مقایسه با سایر ژنوتیپ‌ها داشتند (Kabay, 2017).

سدیم: نتایج نشان داد در نبود تنش اسمزی تنش دمایی موجب افزایش مقدار سدیم در بافت‌های گیاهچه‌ها شده است. بر این اساس در دمای ۳۵ درجه سانتی‌گراد بیشترین مقدار سدیم در رقم "پیکاسو" بود و بعد از آن به ترتیب رقم "مارفونا" و کلون‌های "۳۰٦"، "۱٤۳" و"۳۰۱" در رده‌های بعدی قرار گرفتند. بالارفتن غلظت PEG در نبود تنش دمایی نیز موجب افزایش مقدار سدیم در بافت گیاهچه‌ها گردید. نتایج نشان دادند مقدار سدیم در ۱/۵- مگاپاسکال به بیشترین مقدار در رقم "پیکاسو" رسید در صورتیکه کلون "۳۰۱" دارای کمترین مقدار سدیم در غیاب تنش دمایی بود. تأثیر هم‌زمان تنش‌ها موجب شد مقدار سدیم در اثر تنش‌ها افزایش

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-15]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.33.20.0]

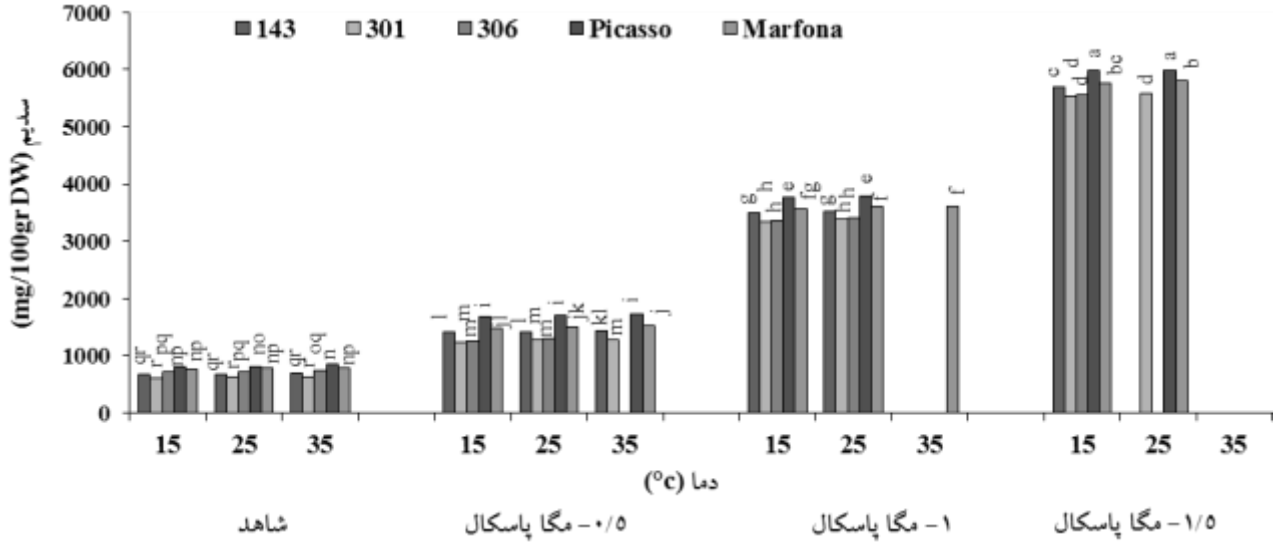


شکل ٦- تأثیر فشار اسمزی و دما بر مقدار کلسیم ارقام و کلون‌های سیب‌زمینی در شرایط درون شیشه‌ای

چشمگیری داشته باشد و بیشترین مقدار آن در دمای ۱۵ درجه سانتی‌گراد و تنش اسمزی ۱/۵- مگاپاسکال مشاهده شد. به‌نظر می‌رسد هر دو تنش موجب می‌شوند تا میزان سدیم در گیاه روند افزایشی داشته باشد (شکل ۷).

سدیم به‌عنوان یک عنصر ضروری برای گیاه در نظر گرفته نمی‌شود و تجمع سدیم در گیاه در شرایط تنش به کاهش کلسیم و پتاسیم منجر می‌شود. اگر چه سدیم می‌تواند به افزایش فشار تورژسانس کمک کند اما نمی‌تواند در فعالیت‌هایی مانند فعال‌سازی آنزیم‌ها و سنتز پروتئین، جایگزین یون پتاسیم شود (Rengel, 1992) و باعث ایجاد اختلال در فرآیندهای آنزیمی درون گیاه می‌شود زیرا در بسیاری از آنزیم‌ها جایگزینی یون سدیم بجای یون پتاسیم (کوفاکتور آنزیم)، آن‌را غیرفعال می‌سازد (Parido and Das, 2005). اغلب گیاهان به غلظت بالای سدیم حساس هستند زیرا پایداری یون‌های داخل سلول را بر هم می‌زند و منجر به عملکرد ضعیف غشا و اختلال در واکنش‌های متابولیکی می‌شود (Hu and Schmidhalter, 2005). غلظت زیاد سدیم در ریشه و برگ در شرایط تنش، مشکلات اسمزی و متابولیکی را در گیاه به وجود می‌آورد. تجمع آن در برگ و سمیت ناشی از این تجمع باعث کاهش فتوسنتز و تولید ماده خشک می‌شود. مطالعات نشان می‌دهد در هنگام تنش خشکی میزان سدیم در ریشه و برگ افزایش می‌یابد و برای جلوگیری از سمیت آن گیاه سعی در خروج و یا به واکوئل فرستادن آن دارد (Tester and Davenport, 2003). تجمع زیاد سدیم در بافت بیشتر به‌علت جذب بالای آن توسط ریشه و تخلیه بیشتر از آوند چوب به برگ است. در واقع گیاه با جذب سدیم بیشتر تعامل اسمزی را انجام می‌دهد و باعث می‌شود گیاه آب بیشتری جذب کند (Munns and James, 2003). یکی از مشخصه‌های تحمل به تنش در گیاهان توانایی در حفظ نسبت ثابتی از Na^+ و K^+ درون سلولی است. در مقادیر بالای تنش اسمزی مقدار یون‌های پتاسیم کاهش یافته و با سدیم جایگزین می‌گردد که این عمل علاوه بر به هم‌زدن تعادل یونی باعث اختلال در متابولیسم سلولی نیز می‌شود (Blumwald, 2000). سدیم همچنین موجب افزایش نسبت سدیم به کلسیم پروتوپلاست می‌گردد و ساختار فیزیولوژیکی و اجرایی غشای سلولی را مختل می‌نماید (Reid and Smith, 2000). برای جلوگیری از غلظت‌های سمی سدیم در سیتوزول، سدیم باید در واکوئل جا داده شود. پمپ سدیم به واکوئل توسط آنتی‌پورت Na^+/H^+ صورت می‌گیرد. شیب H^+ مورد نیاز بوسیله پمپ H^+-ATPase و H^+-pyrophosphate

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-15]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.33.20.0]



شکل ۷- تأثیر فشار اسمزی و دما بر مقدار سدیم ارقام و کلون‌های سیب‌زمینی در شرایط درون شیشه‌ای

نگه داشته می‌شود (Gaxiola *et al.*, 2001). پژوهش‌های انجام‌گرفته بیانگر افزایش سدیم بر اثر تنش خشکی هستند. عمویگی و رضوی‌زاده (۱۳۹۲) در گیاه کلزا مشاهده نمودند در اثر تنش میزان سدیم در مقایسه با شاهد در اندام‌های هوایی و ریشه‌ها تجمع بیشتری یافت. افزایش میزان سدیم در اثر تنش شدید خشکی در گیاه عدس گزارش شده است (احمدپور و همکاران، ۱۳۹۵). در گشنیز بر اثر تنش آبی و بالارفتن سطح تنش از شاهد به تنش شدید، میزان سدیم در بخش هوایی افزایش یافت (نورزاد و همکاران، ۱۳۹٤). در چغندر قند در اثر تنش خشکی سدیم به مقدار زیادی در گیاه تجمع می‌یابد (Ghoulam *et al.*, 2002).

نتیجه‌گیری

در طی دهه گذشته پژوهش‌ها روی تأثیر یک تنش بر گیاهان متمرکز بودند اما معمولاً گیاهان با ترکیبی از تنش‌ها مواجه هستند. تنش خشکی معمولاً با تنش دمای بالا همراه است. از طرف دیگر به جهت تغییرات آب و هوایی شاهد افزایش دمای جهانی هستیم و کمبود منابع آبی نیز مزید بر علت شده است تا کشورمان با مشکلاتی مواجه شود. با توجه به این موضوع، شناسایی و معرفی ارقامی که توان مقابله را داشته باشند، در زمره پژوهش‌های مؤسسات و مراکز تحقیقاتی قرار گرفته است. نتایج نشان دادند وزن تر و خشک و تعداد برگ و جذب عناصر پتاسیم و کلسیم در شرایط بدون تنش دمایی یعنی دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد بیشترین مقدار بودند و تنش دمایی تأثیر منفی گذاشت و موجب کاهش گردید اما در تنش دمای بالا عناصر سدیم و فسفر به مقدار بیشتری جذب گیاه شدند. افزایش تنش اسمزی محیط‌کشت ناشی از کاربرد PEG موجب کاهش در مقادیر وزن تر و خشک، تعداد برگ، عناصر فسفر، کلسیم و پتاسیم گردید اما مقدار سدیم با بالارفتن تنش اسمزی افزایش نشان داد. ترکیب تنش اسمزی ۰/۵- مگاپاسکال و بالاتر با دمای ۳۵ درجه سانتی‌گراد برای ارقام و کلون‌ها قابل تحمل نبود، کلون "۳۰٦" بیشترین آسیب را دید ولی رقم "مارفونا" در مقایسه با ارقام و کلون‌های دیگر در برابر تنش‌ها نسبتاً متحمل بود.

منابع

آزرمجو، ا.، حیدری، م. و قنبری، ا.(۱۳۸۸) بررسی تنش خشکی و سه نوع کود بر عملکرد کل، پارامترهای فیزیولوژیک و جذب عناصر غذایی در گیاه دارویی بابونه (*Matricaria chamamille* L.). تحقیقات گیاهان دارویی و معطر ایران ۲۵: ٤۹٤-٤۸۲.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-15]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.33.20.0]

احمدپور، ر.، آرمند، ن.، حسین‌زاده، س. ر. و رژه، م. (۱۳۹۵) ارزیابی تأثیر محلول‌پاشی متانول بر برخی شاخص‌های موفولوژیکی، فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی عدس (*Lens culinaris* Medik) تحت شرایط کم‌آبی. پژوهش‌های حبوبات ایران ۷: ۲۱۴-۲۰۲.

پیرزاد، ع. ر.، شکیبا، م. ر.، زهتاب سلماسی، س. و محمدی، س. ا. ق. (۱۳۹٤) تأثیر تنش آبی بر میزان جذب برخی عناصر غذایی در بابونه آلمانی (*Matricaria chamomilla* L). زراعت ۱۰٦: ۷-۱.

جلیلی‌مرندی، ر.، حسنی، ع.، دولتی‌بانه، ح.، عزیزی، ح. و حاجی تقی‌لو، ر. (۱۳۹۰) تأثیر سطوح مختلف رطوبت خاک بر خصوصیات مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی سه رقم انگور (*Vitis vinifera* L..) علوم باغبانی ایران ٤۲: ٤۰-۳۱.

حسین‌زاده، س. ر.، امیری، ح. واسماعیلی، ا. (۱۳۹٦) اثر سطوح ورمی کمپوست بر خصوصیات مورفولوژیک و غلظت عناصر در گیاه نخود (*Cicer arieticum* L, cv. Pirouz) تحت شرایط تنش آبی. تنش‌های محیطی در علوم زراعی ۱۰: ٥٤٥-٥۳۱.

ستایش‌مهر، ز. و گنجعلی، ع. (۱۳۹۲) بررسی اثرات تنش خشکی بر رشد و خصوصیات فیزیولوژیکی گیاه شوید. علوم باغبانی ۲۷: ۳٥-۲۷.

سودایی‌زاده، ح. و منصوری، ف. (۱۳۹۳) اثر تنش خشکی بر تجمع مکاده خشک، غلظت عناصر غذایی و قندهای محلول در گیاه دارویی مریم‌گلی لوله‌ای (*Salvia macrosiphon* Boiss). خشک بوم ٤: ۹-۱.

طباطبائی، س. ج. (۱۳۹۲) اصول تغذیه معدنی گیاهان. انتشارات دانشگاه تبریز، تبریز.

عمومیگی، م. و رضوی‌زاده، ر.(۱۳۹۲) تأثیر تنش خشکی و پاکلوبوترازول بر میزان تجمع فلاونوئیدها و عناصر معدنی در شرایط کشت درون شیشه‌ای در گیاه کلزا. پژوهش‌های اکوفیزیولوژی گیاهی ایران ۸: ۲۲-۱۲.

مرادی، ص.، بشارتی، ح.، فیضی اصل، و. و شیخی، ج. (۱۳۹٦) تأثیر تنش خشکی و تیمارهای قارچ ریشه آربوسکولار و ریزوبیوم بر غلظت عناصر غذایی ریشه، اندام هوایی و خاک در کشت نخود. علوم و فنون کشت‌های گلخانه‌ای ۸: ۱۳-۲٥

مهری، ح. ر.، قبادی، س.، بانی‌نسب، ب.، احسان‌زاده، پ. و غلامی، م. (۱۳۹۳) بررسی برخی پاسخ‌های فیزیولوژیک و مورفولوژیک چهار رقم انگور ایرانی به تنش خشکی در شرایط درون شیشه‌ای. فرآیند و کارکرد گیاهی ۳: ۱۲٥-۱۱٥.

نجف‌زاده اصل، س. و احسانپور، ع. ا. (۱۳۹۱) اثر تنش خشکی بر برخی از شاخص‌های فیزیولوژیکی دو رقم سیب‌زمینی (Kenebec و Concord) در شرایط کشت درون شیشه‌ای. خشک بوم ۲: ۸۲-۷۰.

نعمت اللهی، ا.، جعفری، ع. ر. و باقری، ع. ر. (۱۳۹۲) اثر تنش خشکی و سالیسیلیک اسید روی رنگدانه‌های فتوسنتزی و جذب عناصر غذایی ارقام زراعی آفتابگردان. اکوفیزیولوژی گیاهی ٥: ٥۱-۳۷.

نورزاد، س.، احمدیان، ا. و مقدم، م. (۱۳۹٤) بررسی میزان پرولین، شاخص کلروفیل، کربوهیدرات و مقدار جذب عناصر غذایی در گیاه داروئی گشنیز (*Coriandrum sativum* L.) تحت تأثیر تنش خشکی و تیمار کودی. پژوهش‌های زراعی ایران ۱۳: ۱۳۹-۱۳۱.

Akbarpour, E., Imani, A. and Ferdowskhah Yeganeh, Sh. (2017) Physiological and morphological responses of Almond cultivars under *in vitro* drought stress. Journal of Nuts 8: 61-72.

Albiski, F., Najla, S., Sanoubar, R., Alkabani, N. and Murshed, R. (2012) *In vitro* screening of potato lines for drought tolerance. Physiology and Molecular Biology of Plants 18: 315-321.

Anjum, S. A., Wang, L. C., Farooq, M., Hussain, M., Xue, L. L. and Zou, C. M. (2011) Brassinolide application improves the drought tolerance in maize through modulation of enzymatic antioxidants and leaf gas exchange. Journal of Agronomy and Crop Science 197: 177-185.

Arndt, S. K. K., Clifford, S. C., Wanek, W., Jones, H. G. and Popp, M. (2001) Physiological and morphological adaptations of the fruit tree *Ziziphus rotundifolia* in response to progressive drought stress. Tree Physiology 21: 705-715.

Ashraf, M. and Foolad, M. R. (2007) Roles of glycine betaine and proline in improving plant abiotic stress resistance. Environmental and Experimental Botany 59: 206-216.

Ashraf, M. and Naz, F. (1994) Responses of some arid zone grasses to K deficiency. Acta physiology Plant 16: 69-80.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-15]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.33.20.0]

Baghalian, K., Abdoshah, S. H., Khalighi-Sigaroodi, F. and Paknejad, F. (2011) Physiological and phytochemical response to drought stress of German chamomile (*Matricari arecutita* L.). Plant Physiology and Biochemistry 49: 201-207.

Baligar, V. C., Fageria, N. K. and He, Z. L. (2001) Nutrient use efficiency in plants. Communications in Soil Science and Plant Analysis 32: 921-950.

Banon, S., Fernandez, J. A., Franco, J. A., Torrecillas, A., Alarcon, J. J. and Sanchez-Blanco, M. J. (2004) Effects of water stress and night temperature preconditioning on water relation and anatomical change of *Lotus creticus* plants. Scientia Horticulturae 101: 333-342.

Blumwald, E. (2000) Sodium transport and salt tolerance in plants. Current in Cell Biology 12: 431-434.

Cakmak, I. (2005) The role of potassium inalleviating detrimental effects of abiotic stresses in plants. Journal of Plant Nutrition and Soil Science 168: 521-530.

Dinar, M. and Rudich, J. (1985) Effect of heat stress on assimilates partition in tomato. Annals of Botany 56: 239-249.

Dulai, S., Molnar, I., Pronay, J., Csernak, A., Tarnai, R. and Molnar-Lang, M. (2006) Effects of drought on photosynthetic parameters and heat stability of PSII in wheat and in Aegilops species originating from dry habitats. Acta Biologica Szegediensis 50: 11-17.

Fageria, N. K., Baligar, V. C. and Clark, R. B. (2002) Micronutrients in crop production. Advances in Agronomy 77: 158-67.

Farooq, M., Basra, S. M. A., Wahid, A., Cheema, Z. A., Cheema, M. A. and Khaliq, A. (2008) Physiological role of exogenously applied glycinebetaine in improving drought tolerance of fine grain aromatic rice (*Oryza sativa* L.). Jornul of Agronomy and Crop Scince 194: 325-333.

Fatemy, F. and Evans, K. (1986) Effects of *Globodera rostochiensis* and water stress on shoot and root growth andnutrient uptake of potatoes. Revue Nematol 9: 181-184.

Fernando, M., Mehroke, J., Glass, A. D. M. (1997) De novo synthesis of plasma membrane and tonoplast polypeptides of barley roots during short-term K deprivation. In search of the high-affinity K transport system. Plant Physiology 100: 1269-1276.

Garg, B. K. (2003) Nutrient uptake and management under drought: Nutrient-moisture interaction. Current Agriculture 27: 1-8.

Gaxiola, R. A., Li, J., Undurraga, S., Dang, L. M., Allen, G. J., Alper, S. L. and Fink, G. R. (2001) Drought-and salt-tolerant plants result from overexpression of the AVP1 H^+-pump. Proceedings of the National Academy of Sciences 98: 11444-11449.

Gelmesa, D., Dechassa, N., Mohammed, W., Gebre, E., Monneveux, Ph., Bundig, Ch. and Winkelmenn, T., (2017) In vitro screening of potato genotypes for osmotic stress tolerance. Open Agriculture 2: 308-316.

Ghoulam, C., Foursy, A. and Fares, K. (2002) Effects of salt stress on growth, inorganic ions and proline accumulation in relation to osmotic adjustment in five sugar beets cultivars. Environmental and Experimental Botany 47: 39-50.

Gomez, O., Pinon, M., Martinez, Y., Quinones, M., Fonesca, D. and Laterrot, H. (2004) Breeding for resistance to Begomo virus in tropic-adapted tomato genotypes. Plant Breeding 123: 275-279.

Gunes, A., Cicek, N., Inal, A., Alpaslan, M., Eraslan, F., Guneri, E. and Guzelordu, T. (2006) Genotypic response of chickpea (*Cicer arietinum* L.) cultivars to drought stress implemented at pre-and post-anthesis stages and its relations with nutrient uptake and efficiency. Plant, Soil and Environment 528: 368-376.

Gupta, N. K., Agarwal, S., Agarwal, V. P., Nathawat, N. S., Gupta, S. and Singh, G. (2013) Effect of short-term heat stress on growth,physiology and antioxidative defence system in wheat seedlings. Acta Physiologiae Plantarum 35: 1837-1842

Gur, A., Demirel, U., Ozden, M., Kahraman, A. and Copur, O. (2010) Diurnal gradual heat stress affects antioxidant enzymes, proline accumulation and some physiological components in cotton (*Gossypium hirsutum* L.). African Journal of Biotechnology 9: 1008-1015.

Hadidi, A. (1999) Germination and early growth of tea common bean cultivars as affected by water stress and seed size. Direct Agricultural Science 26: 23-25.

Hasanuzzaman, M., Nahar, K., Gill, S. S. and Fujita, M. (2013) Drought stress responses in plants, oxidative stress, and antioxidant defense In: Climate Change and Plant Abiotic Stress Tolerance. (eds. Gmb, H. and GaA, K.) Pp. 209-249. Wiley-VCH Verlag, Germany.

Hassanpanah, D., Gurbanov, E., Gadimov, A. and Shahriari, R (2008) Determination of yield stability in advanced potato cultivars as affected by water deficit and potassium humate in Ardabil region Iran. Pakistan Journal of Biological Sciences 15: 1330-1335.

Hasse, D. L. and Rose, R. (1994) Effects of soil water content and initial root volume on the nutrient status of 2+0 Douglas-fir seedlings. New Forests 8: 265-277.

Hopkins, W.G. and. Huner, N. P. A, (2009). Introduction to plant physiology. 4th Ed. John Wiley and Sons, Inc. New York, USA.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-15]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.33.20.0]

Hu, Y. C. and Schmidhalter, U. (2005) Drought and salinity: a comparison of their effects on mineral nutrition of plants. Journal of Plant Nutrition and Soil Science 168: 541-549.

Hu, Y. Y., Zhang, Y. L., Yi, X. P., Zhan, D. X., Luo, H. H., Chow, W. S. and Zhang, W. F. (2014) The relative contribution of non-foliar organs of cotton to yield and related physiological characteristics under water deficit. Journal of Integrative Agriculture 13: 975-989.

Iwama, K. and Yamaguchi, J. (2006) Abiotic stresses. In: Handbook of Potato Production, Improvement and Postharvest Management. (eds. Gopal, J. and Khurana, S. M.) Pp. 231-278. Food Product Press, New York.

Jabeen, F., Shahbaz, M. and Ashraf, M. (2008) Discriminating some prospective cultivars of maize (*Zea mays* L.) for drought tolerance using gas exchange characteristics and proline contents as physiological markers. Pakistan Journal of Botany 40: 2329-2343

Kabay, T., Erdinc, C. and Sensoy, S. (2017) Effect of drought stress on plant growth parameters, membrane damage index and nutrient content in common bean genotypes. Journal of Animal and Plant Sciences 27: 940-952.

Khurana, E. and Singh, J. S. (2000) Influence of seed size on seedling growth of *Albizia procera* under different soil water levels. Annals of Botany 86: 1185-1192.

Kusvuran, S. (2010) Relationships between physiological mechanisms of tolerances to drought and salinity in melons. PhD. thesis, University of Cukurova, Turkey.

Machado, S. and Paulsen, G. M. (2001) Combined effects of drought and high temperature on water relations of wheat and sorghum. Plant Soil 233: 179-187.

Mahmood, T., Ashraf, M. and Shahbaz, M. (2009) Does exogenous application of glycine betaine as a pre-sowing seed treatment improve growth and regulate some key physiological attributes in wheat plants grown under water deficit conditions? Pakistan Journal of Botany 41: 1291-1302.

Marshner, H. (1995) Mineral Nutrition of Higher Plants. 2nd Ed. Academic Press, London, UK.

Mazorra, L. M., Nunez, M., Echerarria, E., Coll, F. and S´anchez-Blanco, M. J. (2002) Influence of brassinosteriods and antioxidant enzymes activity in tomato under different temperatures. Plant Biology 45: 593-596.

McWilliams, D. (2003) Drought strategies for cotton, cooperative extension service circular 582, college of agriculture and home economics. New Mexico State University, USA.

Mellisho, C. D., Egea, I., Galindo, A., Rodriguez, P., Rodriguez, J., Conejero, W., Romojaro, F. ad Torrecillas, A. (2012) Pomegranate (*Punica granatum* L.) fruit response to different deficit irrigation conditions. Agricultural Water Management 114: 30-36.

Mengel, K. and Krik, E. A. (1982) Principles of Plant Nutrion. 3nd Ed. International Postal Institute Bern Switzerland.

Mohammadkhani, N. and Heidari, R. (2008) Effects of drought stress on soluble proteins in two maize varieties. Turkish Biology 32: 23-30.

Molassiotis, A. N., Sotiropoulos, T., Tanou, G., Kofidis, G., Diamantidis, G. and Therios, I. (2006) Antioxidant and anatomical responses in shoot culture of the apple rootstock MM 106 treated with NaCl, KCl, Mannitol or Sorbitol. Biologia Plantarum 50: 61-68.

Munns, R. and James, R. A. (2003) Screening methods for salinity tolerance: a case study with tetraploid wheat. Plant and Soil 253: 201-218.

Nayyar, H. (2003) Accumulation of osmolytes and osmotic adjustment in water-stressed wheat (*Triticum sativum*) and maize (*Zea mays*) as affected by calcium and its antagonists. Environment Experiment Botany 50: 253-264.

Nicotra, A. B., Atkin, O. K., Bonser, S. P., Davidson, A. M., Finnegan, E. J. and Mathesius, U. (2010) Plant phenotypic plasticity in a changing climate. Trends in Plant Science 15: 684-692.

Osuagwu, G. G. E., Edeoga, H. O. and Osuagwu, A. N. (2010) The influence of water stress (drought) on the mineral and vitamin potential of the leaves of *Ocimum gratissimum* L. Recent Research in Science and Technology 2: 27-33.

Parida, A. K. and Das, A. B. (2005) Salt tolerance and salinity effects on plants: a review. Ecotoxicology and Environmental Safety 60: 324-349

Rane, J., Maheshwari, M. and Nagarajan, S. (2001) Effect of pre-anthesis water stress on growth, photosynthesis and yield of six wheat cultivars differing in drought tolerance. Indian Journal of Plant Physiology 6: 53-60.

Ricardo, A. (2012) Effects of drought on nutrient uptake and assimilation in vegetable crops. In: Plant responses to drought stress (eds. Raphael, Y., Cardarelli, M., Schwarz, D., Franken, P. and Colla, G.) Pp. 171-195. Springer Berlin Heidelberg.

Rasheed, R., Wahid, A., Farooq, M., Hussain, I., Shahzad, M. and Basra, A. (2011) Role of proline and glycine betaine pretreatments in improving heat tolerance of sprouting sugarcane (*Saccharum* sp.) buds. Plant Growth Regulation 65: 35-45.

Reid, R. J. and Smith, F. A. (2000) The limits of sodium/calcium interactions in plant growth. Functional Plant Biology 27: 709-715.

Rengel, Z. (1992) The role of calcium in salt toxicity. Plant, Cell and Environment 15: 625-632.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-15]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.33.20.0]

Riaz, A., Younis, A., Hameed, M. and Kiran, S. (2010) Morphological and biochemical responses of turf grasses to water deficit conditions. Pakistan Journal of Botany 42: 3441-3448.

Samarah, N., Mullen, R. and Cianzio, S., (2004) Size distribution and mineral nutrients of soybean seeds in response to drought stress. Journal of Plant Nutrition 27: 815-835.

Shao, H. B., Chu, L. Y., Abdul Jaleel, Ch. and Zhao, Ch. X. (2008) Water-deficit stress-induced anatomical changes in higher plants. Comptes Rendus Biologies 331: 215-225.

Simoes-Araujo, J. L., Rumjanek, N. G. and Margis-Pinheiro, M. (2003) Small heat shock proteins genes are differentially expressed in distinct varieties of common bean. Brazilian Journal of Plant Physiology 15: 33-41.

Singh, A. K., Singh, M. K., Singh, V., Singh, R., Raghuvanshi, T. and Singh, C. (2017) Debilitation in tomato (*Solanum lycopersicum* L.) as result of heat stress. Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry 6: 1917-1922.

Sivritepe, N., Erturk, U., Yerlikaya, C., Turkan, I., Bor, M. and Ozdemir, F. (2008) Response of the cherry rootstock to water stress induced *in vitro*. Biology of Plants 52: 573-576.

Taiz, I. and Zeiger, E. (2006) Plant Physiology. Sinauer Associates Inc. Publishers, Massachusetts.

Testerm, M. and Davenport, R. (2003) Na^+ tolerance and Na^+ transport in higher plants. Annals of Botany 91: 503-505.

Wahid, A. and Rasul, E. (2005) Photosynthesis in leaf, stem, flower and fruit. In: Handbook of Photosynthesis (ed. Pessarakli, M.) Pp. 479-497. CRC Press, Florida.

Wind, W., Arend, M. and Fromm, J. (2004) Potassium-dependent cambial growth in poplar. Plant Biology 6:30-37.

Yordanov, I., Velikova, V. and Tsonev, T. (2003) Plant responses to drought and stress tolerance. Bulgarian Journal of Plant Physiology special issue:187-206.

Yu, X., Du, X. and Song, L. (2007) Effects of water stress on the growth and ecophysiology of seedlings of the *Rhus typhina*. Scientia Silvge Sinicae 43: 57-61.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-15]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.33.20.0]

The Effect of Osmotic and Temperature Stresses on the Some Physiological Traits and Nutrients Uptake in Different Potato Genotypes during *in vitro* culture

Farnoosh Jafari[1], Jaber Panahandeh[1*], Ali Reza Motallebi Azar[1], Mousa Torabi Giglou[2]

[1] Department of Horticultural Science, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Iran
[2] Department of Horticultural science, Faculty of Agriculture and natural resources, University of Mohaghegh Ardabili, Iran
(Received: 21/10/2018, Accepted: 02/02/2019)

Abstract

In order to study some physiological traits and the changes of nutrient uptake in potato plantlets under *in vitro* conditions in response to osmotic and temperature stresses, this research was conducted as a factorial experiment in a block design. The first factor was osmotic stress induced by PEG - 6000 in four levels (0, -0.5, -1 and -1.5 MPa), and the second factor was temperature at three levels (15, 25 and 35 ° C). The third factor was potato plantlets consist three promising clones (143, 301 and 306) and two commercial cultivars (Marfona and Picasso), which were planted in MS medium. Eight weeks later, plantlet's fresh and dry weights, number of developed leaves, the content of P, K, Ca and Na in above parts of plantlet were measured. The results showed that the simple effects of factors as well as their interactions at 1% level were significant. Mean comparison of treatments showed that the simultaneous effects of stresses reduced fresh and dry weights, leaf number as well as the uptake of P, K, Ca but Na uptake increased. According to the results, the highest fresh, dry weights were observed in non- heat stress conditions (25 ° C). On the other hand, increasing of temperature from 15 to 35 ° C, increased the absorption of P and Na, but the amount of K and Ca were greatest at 25 ° C (no temperature stress).

Keywords: Nutritions, Osmotic Stress, Polyethylen Glycol, Potato, Temperature Stress

Corresponding author, Email: panahandeh@tabrizu.ac.ir

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-15]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.33.20.0]