

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

فرنوش جعفری<sup>۱</sup>، جابر پناهنده<sup>۱\*</sup>، علیرضا مطلبی آذر<sup>۱</sup> و موسی ترابی گیگلو<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup> گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، <sup>۲</sup> 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 به منظور مطالعه برخی صفات فیزیولوژیک و تغییرات جذب عناصر غذایی گیاهچه‌های سیب‌زمینی در کشت درون شیشه‌ای تحت تنش‌های اسمزی و دمایی، این پژوهش به صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی اجرا شد. عامل اول تنش اسمزی اعمال شده توسط پلی اتیلن 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 محیط کشت 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 به دست آمده بیشترین مقدار وزن‌های تر و خشک و تعداد برگ در شرایط عدم تنش 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 (عدم تنش دمایی) بیشتر بود.

واژه‌های کلیدی: پلی اتیلن گلیکول، تنش اسمزی، تنش دمایی، سیب‌زمینی، عناصر غذایی

### مقدمه

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، عدم تعادل مواد غذایی و دمای نامناسب است. کمبود آب به رشد گیاه آسیب می‌رساند و بهره‌مندی از مواد غذایی موجود در محیط کشت را کاهش و مقدار فشار اسمزی و آب گیاهان را نیز دست‌خوش تغییرات می‌نماید. کمبود عناصر غذایی در گیاهان تحت شرایط تنش

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 به دلیل 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

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

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 به دلیل محدود شدن سرعت تعرق، آسیب رسیدن به انتقال فعال و کاهش قابلیت نفوذ غشایی است. جذب مواد غذایی از خاک با وضعیت آب موجود در خاک ارتباط مستقیم دارد، به طوری که 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 خواهند شد (Taiz and Zeiger, 2006). گاهی اوقات ممکن است که کاهش جذب مواد غذایی به خاطر پایین بودن 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 به علاوه نفوذپذیری غشا حاصل شده است (Baligar et al., 2001; Gunes et al., 2006; Jabeen et al., 2008). که نتیجه آن کم شدن 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).

آبی به علت کاهش رشد ریشه، دسترسی ناچیز به عناصر غذایی در خاک و کاهش یافتن 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 ساخته شدن 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 شده است که تنش خشکی یک عامل بسیار مهم محدودکننده فاز آغازی رشد و استقرار گیاهان است که روی طول شدن گیاه و توسعه رشد تأثیر می‌گذارد. به طور کلی تنش آبی توسعه و رشد سلول را به علت فشار تورژانس پائین متوقف می‌کند (Shao et al., 2008). تنش خشکی بزرگ شدن سلول را بیشتر از تقسیم سلولی کاهش می‌دهد و از طریق تأثیر بر فرایندهای مختلف فیزیولوژیکی 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 محیط کشت 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" به طور 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 پژمرده شدن آنها به

روزنه‌ای، انتقال آسیمیلات‌های نوری را تحت تأثیر قرار می‌دهند (Dinar and Rudich, 1985). نشان داده شده‌است که تنش دمایی 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 دمایی بالا غالباً با تنش خشکی همراه است بر این اساس مطالعه واکنش گیاه به تنش دمایی 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 دمایی بالا و چه دمایی پائین) بر واکنش‌های گیاه مؤثر است؛ لذا با توجه به اهمیت موضوع پژوهش حاضر به جهت تأثیر هم‌زمان تنش آبی و دمایی 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 "۱۴۳"، "۳۰۱" و "۳۰۶" (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.

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 (عمویگی 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، ۱۳۹۶). 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 دمایی 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 دمایی بالا غالباً با کاهش دسترسی به آب همراه است (Simoes-Araujo *et al.*, 2003). دمایی 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 دمایی 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

جدول ۱- مشخصات والدین کلون‌های پیشرفته استفاده شده

ژنوتیپ	والد نر	والد ماده
۱۴۳	رقم کایزر	کلون پیشرفته حاصل تلاقی سولانوم توپروزوم × سولانوم استولونیفروم
۳۰۱	کلون پیشرفته به دست آمده از سولانوم توپروزوم	رقم لوکا
۳۰۶	رقم لوکا	کلون پیشرفته حاصل از تلاقی رقم کایزر × سولانوم استولونیفروم

تنظیم شده 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 به عمل 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 به مدت 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 به مدت 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 به مدت 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 بی‌رنگ شدن محلول اسیدی نشانه پایان عمل هضم بود. با استفاده از کاغذ صافی عصاره صاف و حجم محلول باقیمانده با آب مقطر به ۵۰ میلی‌لیتر رسید (طباطبایی، ۱۳۹۲).

**اندازه‌گیری سدیم:** برای اندازه‌گیری سدیم از دستگاه فلیم

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 به ترتیب مقدار صفر، ۲۰۰، ۳۰۰ و ۳۷۰ گرم در لیتر PEG-6000 در آب مقطر حل گردید. pH محیط کشت 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 شده بودند، تهیه شدند. ریزقلمه‌ها ابتدا به مدت یک ساعت زیر آب جاری قرار داده شدند تا آلودگی‌های سطحی آنها شسته شود. سپس زیر هود ریزنمونه‌ها به مدت ۳۰ ثانیه در اتانول ۷۰ درصد قرار داده شدند و بعد از آن سه بار و هر بار به مدت ۲ دقیقه با آب مقطر شستشو داده شدند. در ادامه به مدت ۱۵ دقیقه داخل محلول هیپوکلریت سدیم ۱/۵ درصد به همراه چند قطره مایع ظرفشویی ضدعفونی شدند. این بار نیز نمونه‌ها سه بار و هر بار به مدت ۲ دقیقه با آب مقطر شستشو داده شدند. ریزنمونه‌ها پس از ضدعفونی در محیط ریشه‌زایی شامل محیط کشت 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 محیط کشت نهایی حاوی PEG 6000 انتقال یافتند. برای جلوگیری از ژله‌ای شدن آگار، PEG 6000 با استفاده از تکنیک انتشار به محیط کشت افزوده شد. ظروف شیشه‌ای حاوی ریزنمونه‌ها به اتاقک‌های رشد با دمای

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 "۳۰۶" 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 "۱۴۳" 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 ۱/۵- مگاپاسکال و بالاتر در ترکیب با دمای ۳۵ درجه سانتی‌گراد موجب از بین رفتن گیاهچه‌ها شدند (شکل ۱).

به نظر می‌رسد کاهش وزن تر در گیاهان تنش‌دیده به دلیل 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 عدم توانایی آن در جذب مواد غذایی از محیط رشد می‌شود. در اثر بسته‌شدن روزنه‌ها تثبیت کربن فتوسنتزی به‌شدت کاهش پیدا می‌کند و در نتیجه

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 آب مقطر روی صفر تنظیم 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 آب مقطر اضافه شد. پس از گذشت یک ساعت و تشکیل کمپلکس زرد رنگ، مقدار جذب محلول‌ها در طول موج ۴۳۰ نانومتر توسط دستگاه اسپکتروفتومتر اندازه‌گیری شد. عدد به‌دست آمده به‌صورت گرم در ۱۰۰ گرم ماده خشک گیاهی محاسبه گردید.

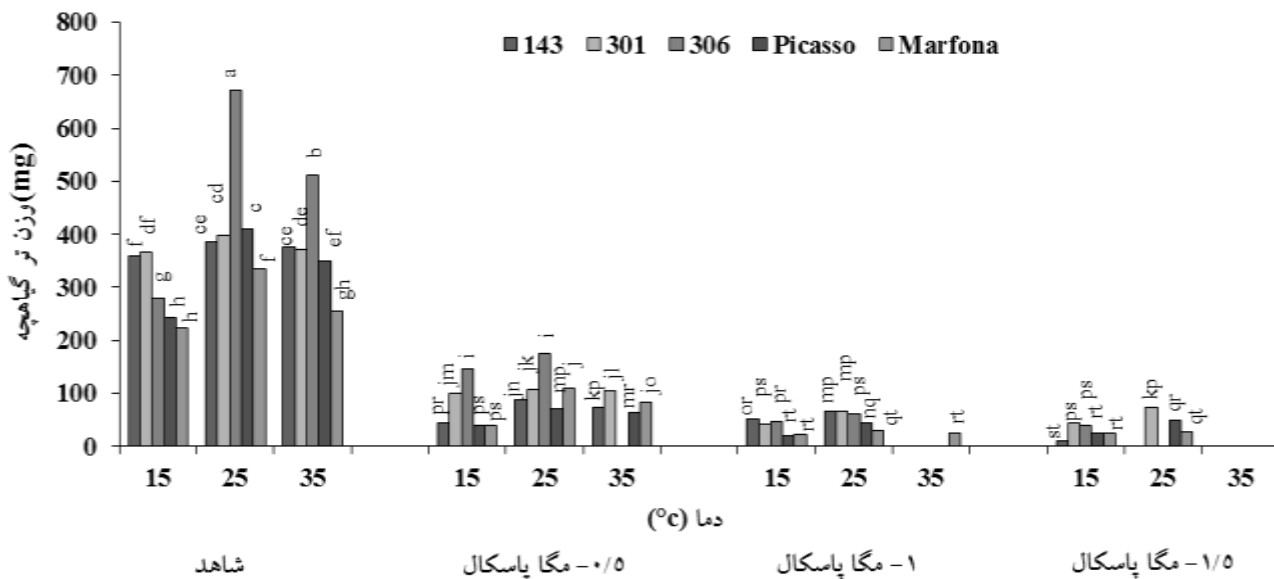
**اندازه‌گیری کلسیم:** برای خواندن مقدار کلسیم در عصاره گیاهی به‌دست آمده از دستگاه جذب اتمی استفاده شد و مقدار آن بر حسب گرم در ۱۰۰ گرم ماده خشک گیاهی محاسبه شد. تجزیه واریانس داده‌ها به‌صورت آزمایش فاکتوریل با بهره‌گیری از نرم‌افزار آماری SAS 9.1 انجام گرفت. مقایسه میانگین‌های صفات با استفاده از آزمون 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 نرم‌افزار SAS 9.1 به‌دست آمد.

نتایج و بحث

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		تعداد برگ	وزن خشک		
		(mg)	(mg)		فسفر	پتاسیم	کلسیم
		(gr/100gr DW)			(mg/100gr DW)		
PEG	۳	۱۵۰۶۰۷۷/۶۲**	۴۷۵۲/۵۵**	۳۷۰۳/۷۴**	۷/۶۲**	۵۲۴۵/۴۳**	۱۱۱۲۰۴۳/۲۱**
دما	۲	۸۰۲۴/۳۲**	۲۱۷/۵۵**	۱۸۲/۷۵**	۳/۳۳**	۱۶۳۲/۵۶**	۱۱۰۵۸۷۵/۹۷**
رقم	۴	۴۳۳۸۴/۱۹**	۱۸۳/۷۴**	۴۴/۹۷**	۰/۹۶**	۱۵۸/۴۰**	۱۱۲۳۶۸۱۰/۸۴**
PEG × دما	۶	۵۴۸۳/۰۹**	۳۹/۹۶**	۶۸/۲۹**	۱/۸۳**	۶۷۹/۱۲**	۱۱۱۵۷۹۴/۵۶**
PEG × رقم	۱۲	۴۰۱۸۶/۶۴**	۱۵۴/۹۱**	۴۱/۸۵**	۰/۱۶**	۳۹/۳۷**	۱۱۲۲۴۴۸/۷۴**
دما × رقم	۸	۴۹۰۱۱/۰۶**	۲۲۳/۰۲**	۱۵/۴۶**	۰/۱۶**	۲۶/۲۲**	۱۱۲۱۹۰۶/۲۰**
PEG × دما × رقم	۲۴	۴۳۵۵۹/۲۷**	۱۹۲/۷۴**	۲۸/۳۳**	۰/۱۴**	۲۶/۰۳**	۱۱۲۲۸۱۸/۶۹**
خطای آزمایشی	۱۲۰	۳۹۵	۱/۵۵	۰/۷	۰/۰۱۷	۶/۶۷	۰/۹۷
ضریب تغییرات %	-	۱۴/۲۱	۱۱/۵۹	۱۳/۰۱	۱۱/۷۴	۱۱/۳۲	۱/۱۹
							۳۸۸/۹

\*\* معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد



شکل ۱- تأثیر فشار اسمزی و دما بر وزن تر گیاهچه ارقام و کلون‌های سیب‌زمینی در شرایط درون شیشه‌ای

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

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 طولی شدن سلول‌ها بازداشته شود. این عمل باعث می‌شود از طول و قطر ساقه کاسته شود، تعداد برگ کاهش یابد، طول و قطر ریشه‌ها

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 بین رفتن گیاهچه‌ها شدند (شکل ۲).

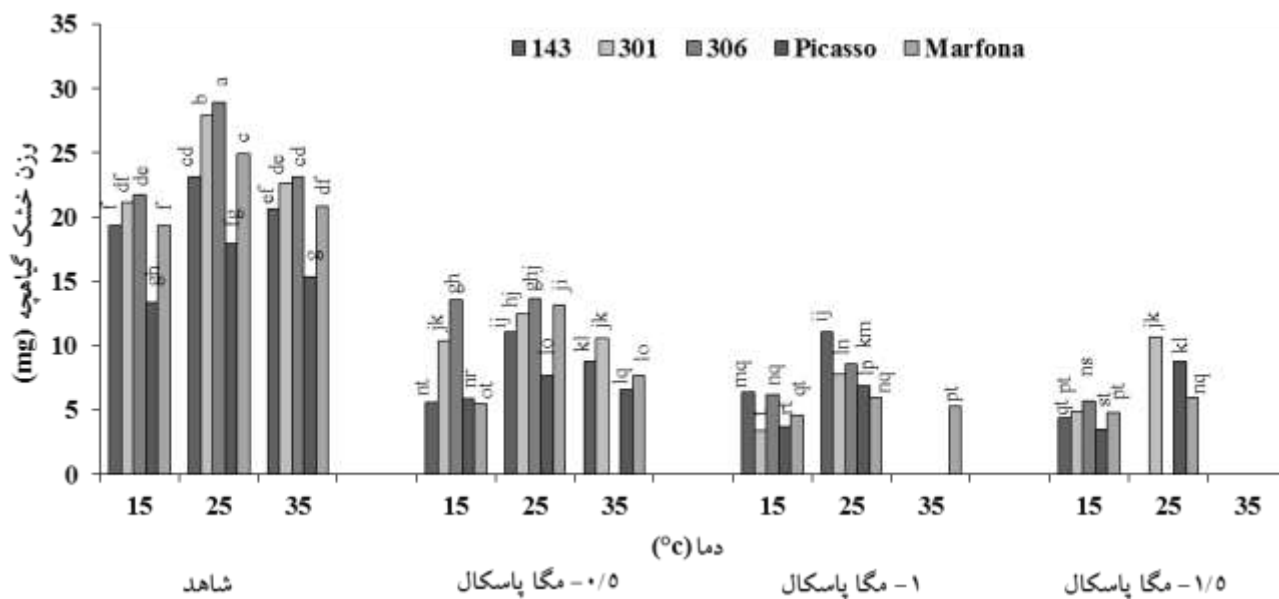
معمولاً در گیاهان نخستین آثار کمبود آب به‌صورت بسته‌شدن روزنه‌ها جهت جلوگیری از تبخیر و تعرق خود را نشان می‌دهد که به‌دنبال آن تبادلات گازی کاهش‌یافته و در نتیجه  $CO_2$  کمتری در اختیار گیاه قرار می‌گیرد. در نتیجه شدت فتوسنتز کاهش و به‌تبع آن کاهش رشد در گیاه نمایان می‌گردد (Riaz et al., 2010). همچنین به‌علت افزایش آبسزیک اسید در تنش خشکی، تقسیم یاخته‌ای در برگ‌ها کاهش‌یافته و به‌دنبال آن سطح برگ‌ها کاهش می‌یابد در نتیجه 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 در نتیجه 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

(Hasanuzzaman et al., 2013)، محدودیت جذب آب و عناصر غذایی (Ashraf and Foolad, 2007)، تغییر میزان آسمیلاسیون 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 بین رفتن 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 کاهش داد 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 ماینیتول در کشت درون شیشه‌ای کلزا گزارش شده است (عمویگی 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



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

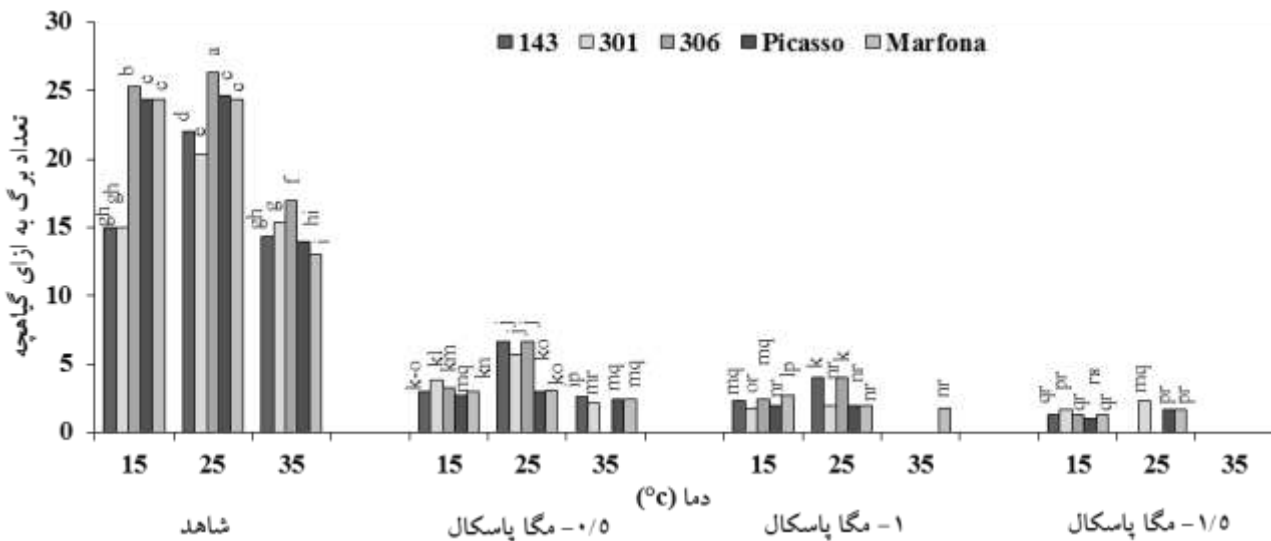
کمتر از دو دمای دیگر بود. در بین ارقام و کلون‌ها، کلون "۳۰۶" با داشتن بیشترین تعداد برگ کامل از سایر ارقام متمایز بود در حالیکه در همان شرایط کلون "۳۰۱" کمترین تعداد برگ داشت. با افزودن PEG به محیط‌کشت و ایجاد تنش اسمزی از تعداد برگ‌های گیاهچه در غیاب تنش دمایی کاسته شد به طوری‌که کمترین آن در تنش اسمزی 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). Sivritep 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

"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 (عمویگی 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 منصور، 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





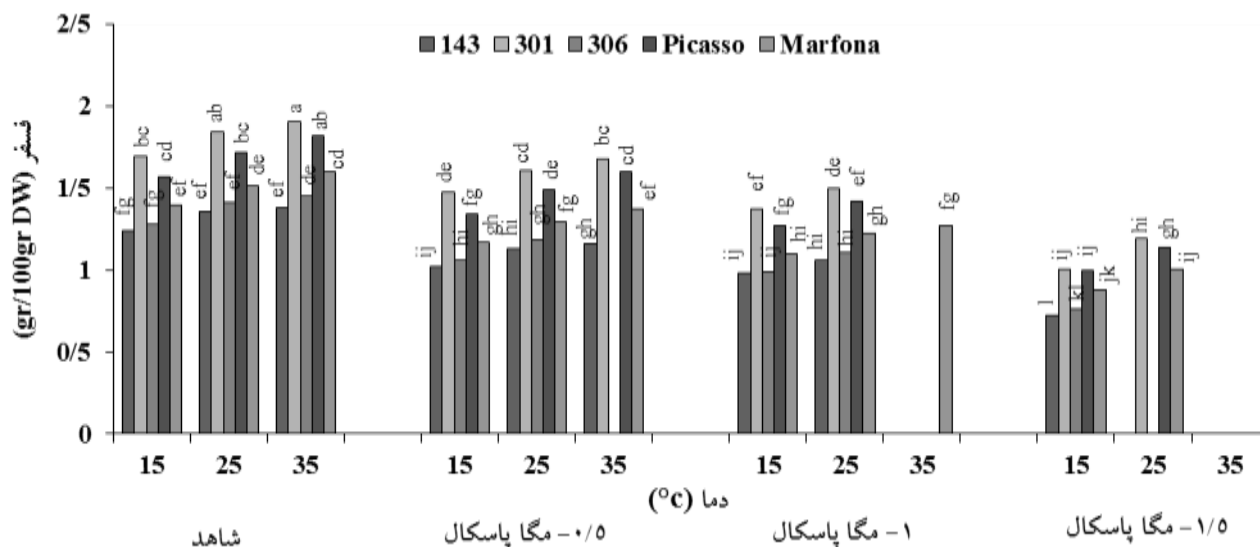
شکل ۳- تأثیر فشار اسمزی و دما بر تعداد برگ گیاهچه ارقام و کلون‌های سیب‌زمینی در شرایط درون شیشه‌ای

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 "۱۴۳" مقدار فسفر بافت‌های کمتری 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 "۱۴۳" 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 به ترتیب "۳۰۱"، "پیکاسو"، "مارفونا"، "۳۰۶" و "۱۴۳" بودند (شکل ۴).

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

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 به دلیل کاهش محتوای نسبی آب برگ و متعاقب آن کوچک‌شدن اندازه سلول‌ها، کاهش تقسیم سلول‌های مریستمی و در نتیجه 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 با دام افزایش غلظت PEG محیط‌کشت تعداد برگ گیاهچه را کاهش داد (Akbarpour *et al.*, 2017) و مشابه این نتیجه در انگور نیز گزارش شده است (جلیلی‌مردی و همکاران، ۱۳۹۰).

**فسفر:** در رابطه با مقدار فسفر، مطالعه سه دمای مورد مطالعه در کشت‌های فاقد PEG نشان داد که افزایش دما در

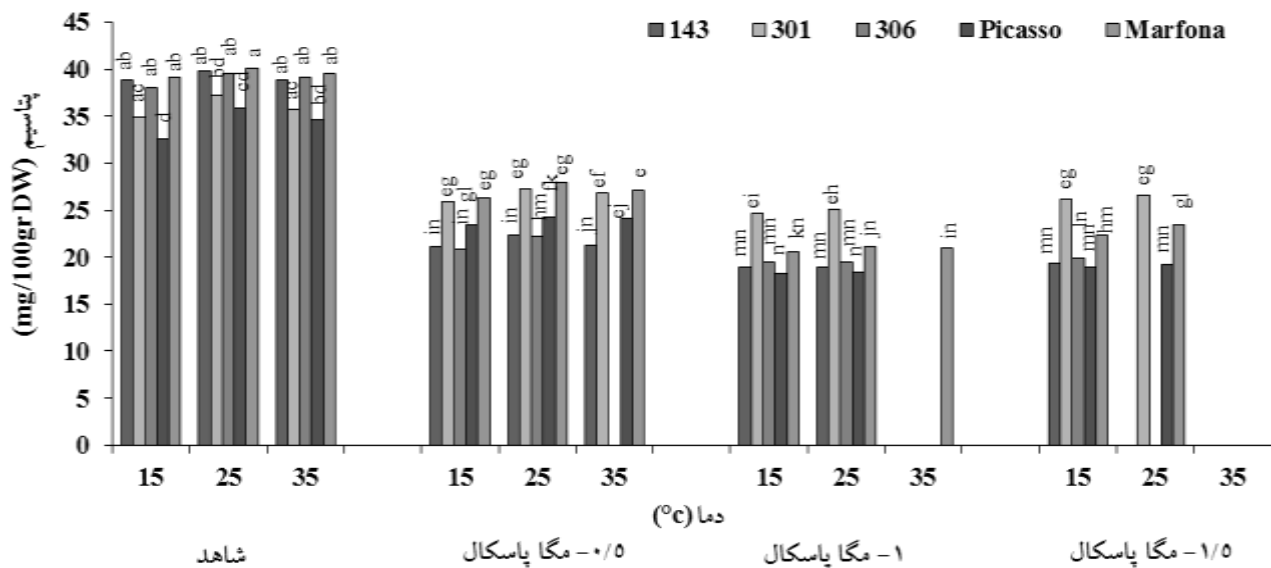


شکل ۴- تأثیر فشار اسمزی و دما بر مقدار فسفر ارقام و کلون‌های سیب‌زمینی در شرایط درون شیشه‌ای

1999). در گیاه گشنیز بیشترین جذب فسفر در تیمار شاهد و کمترین میزان آن در شرایط تنش شدید گزارش شده است (نورزاد و همکاران، ۱۳۹۴). در آفتابگردان و در رقم‌های مختلف آن نیز کاهش مقدار فسفر در اثر تنش مشاهده شده است (نعمت‌اللهی 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 از ۱۵ 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 اسمزی ۱- مگاپاسکال مشاهده شد، ضمن اینکه تنش اسمزی ۰/۵- مگاپاسکال و بالاتر در کنار دمای ۳۵ درجه سانتی‌گراد باعث

اللهمی و همکاران، ۱۳۹۲). رطوبت خاک موجب رشد و حرکت بهتر ریشه‌ها در خاک شده که در نهایت 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 دسترس بودن 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 منصور، ۱۳۹۳) و بابونه آلمانی (پیرزاد و همکاران، ۱۳۹۴) 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, 2012).



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

هدایت روزنه‌ای و افزایش گونه‌های فعال اکسیژن و درنهایت باعث کاهش فتوسنتز می‌شود. اگر گیاه وضعیت پتاسیم مساعدی داشته باشد می‌تواند تولید ROS را از طریق کاهش فعالیت NADPH اکسیداز و پایدار نگه‌داشتن مسیر انتقال الکترون، کاهش دهد (Cakmak, 2005). Rose و Hasse (۱۹۹۴) 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 به دلیل حرکت این عنصر از برگ‌ها به ریشه باشد زیرا پتاسیم به‌عنوان محافظت‌کننده اسمزی عمل می‌نماید. پتاسیم در شرایط تنش آبی حلالیت کمتری داشته، در نتیجه 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 (نعمت‌اللهی و همکاران، ۱۳۹۲)، مشابه همین نتیجه در گیاه بابونه (آرمجو و همکاران، ۱۳۸۸) و نخود (مرادی و همکاران، ۱۳۹۶) گزارش شده است.

خشک‌شدن نمونه‌ها گردید (شکل ۵).

پتاسیم یک عنصر سیئوپلاسمی 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). از خصوصیات 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).

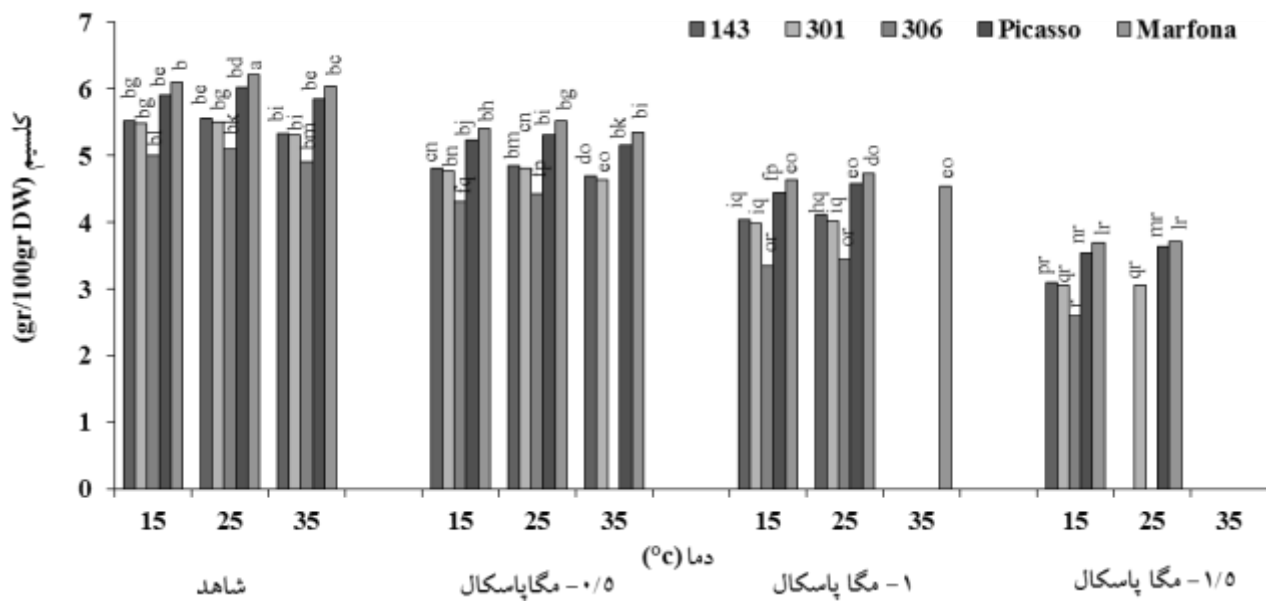
در شرایط تنش غلظت یون‌های محلول خاک افزایش یافته و موجب کاهش پتانسیل آب محیط‌کشت می‌شوند. در نتیجه جذب آب توسط ریشه گیاه محدود می‌گردد و در پی آن جذب عنصر پتاسیم کاهش می‌یابد (Raphael et al., 2012). کمبود پتاسیم در گیاهان منجر به کاهش فعالیت روبیسکو،

**کلسیم:** در کشت‌های شاهد، بررسی دماهای مورد مطالعه در غیاب تنش اسمزی نشان داد که در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد (عدم تنش 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 "۱۴۳"، "۳۰۱" و "۳۰۶" به ترتیب در رده‌های بعدی قرار گرفتند. از طرف دیگر افزایش غلظت PEG محیط کشت در نبود تنش دمایی مقدار جذب کلسیم را کاهش داد و این کاهش در ۱/۵- مگاپاسکال به بیشترین مقدار در کلون "۳۰۶" رسید و ارقام کلون‌های دیگر نسبت به کلون "۳۰۶" 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 ۶).

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 دسترس شدن 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 (Osugwa et al., 2010). گزارش شده تنش گرمایی جذب کلسیم توسط گیاه را کاهش می‌دهد (Rasheed et al., 2011). در کشت 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 (عموبیگی و رضوی‌زاده، ۱۳۹۲). پیرزاد و همکاران (۱۳۹۴) 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 "۳۰۶"، "۱۴۳" 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

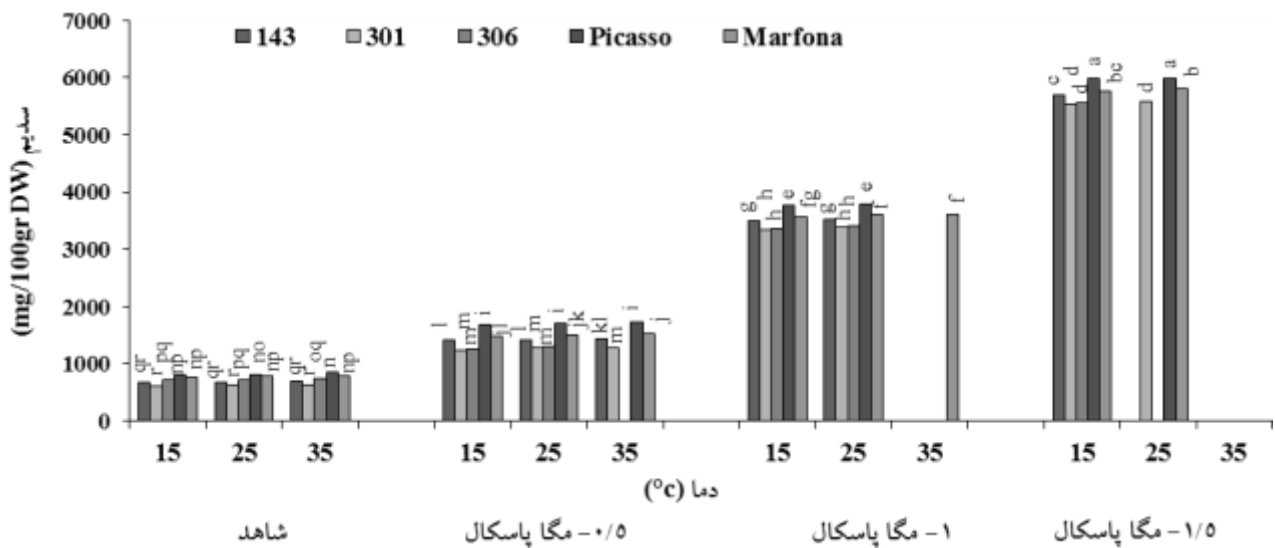


شکل ۶- تأثیر فشار اسمزی و دما بر مقدار کلسیم ارقام و کلون‌های سیب‌زمینی در شرایط درون شیشه‌ای

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 به علت 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  $H^+-pyrophosphate$

چشمگیری داشته باشد و بیشترین مقدار آن در دمای ۱۵ درجه سانتی‌گراد و تنش اسمزی ۱/۵- مگاپاسکال مشاهده شد. به نظر 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 می‌زنند 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



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

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 بالا رفتن 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 "۳۰۶" بیشترین آسیب را دید ولی رقم "مارفونا" در مقایسه با ارقام و کلون‌های دیگر در برابر تنش‌ها نسبتاً متحمل بود.

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 بالا رفتن سطح تنش از شاهد به تنش شدید، میزان سدیم در بخش هوایی افزایش یافت (نورزاد و همکاران، ۱۳۹۴). 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

#### منابع

آزمجو، 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: ۴۹۴-۴۸۲.

- احمدپور، ر.، آرمنند، ن.، حسین‌زاده، س. ر. و رژه، م. (۱۳۹۵) ارزیابی تأثیر محلول‌پاشی متانول بر برخی شاخص‌های مورفولوژیک، فیزیولوژیک 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. (۱۳۹۴) تأثیر تنش آبی بر میزان جذب برخی عناصر غذایی در بابونه آلمانی (*Matricaria chamomilla L*). زراعت ۱۰۶: ۱-۷.
- جلیلی‌مرندی، ر.، حسنی، ع.، دولتی‌بانه، ح.، عزیزی، ح. و حاجی تقی‌لو، ر. (۱۳۹۰) تأثیر سطوح مختلف رطوبت خاک بر خصوصیات مورفولوژیک و فیزیولوژیک سه رقم انگور (*Vitis vinifera L.*) علوم باغبانی ایران ۴۲: ۴۰-۳۱.
- حسین‌زاده، س. ر.، امیری، ح. و اسماعیلی، ا. (۱۳۹۶) 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: ۵۴۵-۵۳۱.
- ستایش‌مهر، ز. و گنجعلی، ع. (۱۳۹۲) بررسی اثرات تنش خشکی بر رشد و خصوصیات فیزیولوژیک گیاه شوید. علوم باغبانی ۲۷: ۲۷-۳۵.
- سودایی‌زاده، ح. و منصور، 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 ۴: ۹-۱.
- طباطبائی، س. ج. (۱۳۹۲) اصول تغذیه معدنی گیاهان. انتشارات دانشگاه تبریز، تبریز.
- عمویگی، 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. (۱۳۹۶) 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: ۱۳-۲۵.
- 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: ۱۲۵-۱۱۵.
- نجف‌زاده اصل، س. و احسانپور، ع. ا. (۱۳۹۱) اثر تنش خشکی بر برخی از شاخص‌های فیزیولوژیک دو رقم سیب‌زمینی (Kenebec و Concord) در شرایط کشت درون شیشه‌ای. خشک بوم ۲: ۸۲-۷۰.
- نعمت‌اللهی، 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 ۵: ۵۱-۳۷.
- نورزاد، س.، احمدیان، ا. و مقدم، م. (۱۳۹۴) 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.

- 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 in alleviating 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 Science* 194: 325-333.
- Fatemy, F. and Evans, K. (1986) Effects of *Globodera rostochiensis* and water stress on shoot and root growth and nutrient 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<sup>+</sup>-pump. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 98: 11444-11449.
- Gelmesa, D., Dechassa, N., Mohammed, W., Gebre, E., Monneveux, Ph., Bundig, Ch. and Winkelmann, 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 Begomovirus 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*. 4<sup>th</sup> Ed. John Wiley and Sons, Inc. New York, USA.



- 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*. 2<sup>nd</sup> Ed. Academic Press, London, UK.
- Mazorra, L. M., Nunez, M., Echerarria, E., Coll, F. and S´anchez-Blanco, M. J. (2002) Influence of brassinosteroids 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 Nutrition*. 3<sup>rd</sup> Ed. International Postal Institute Bern Switzerland.
- Mohammadhani, 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.

- 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<sup>+</sup> tolerance and Na<sup>+</sup> 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. Pessaraki, 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 Silvae Sinicae* 43: 57-61.

## 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<sup>1</sup>, Jaber Panahandeh<sup>1\*</sup>, Ali Reza Motallebi Azar<sup>1</sup>, Mousa Torabi Giglou<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Department of Horticultural Science, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Iran

<sup>2</sup> 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