نشریه علمی اکوفیزیولوژی گیاهان زراعی، جلد شانزدهم، شماره ۱(۶۱)، بهار ۱۴۰۱، صفحه ۲۶-۱

مقاله پژوهشی DOI: 10.30495/JCEP.2022.1911931.1721

کاربرد هورمون بتااسترادیول با هدف افزایش تحمل تنش به شوری در ژنوتیپ‌های سیب‌زمینی (*Solanum tuberosum* L.)

فهیمه جی‌دار[۱]، رسول اصغری زکریا[۲*]، ناصر زارع[۲]، داوود حسن‌پناه[۳] و لیلا غفارزاده نمازی[۴]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۷/۲۰ تاریخ بازنگری: ۱۳۹۹/۱۱/۱۵ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱/۸

چکیده

این آزمایش به‌منظور بررسی تأثیر کاربرد هورمون بتااسترادیول بر افزایش تحمل به تنش شوری ژنوتیپ‌های مختلف سیب‌زمینی، به‌صورت فاکتوریل اسپلیت پلات بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در دانشگاه محقق اردبیلی در سال ۱۳۹۸ انجام شد. تیمارهای تنش شوری شامل سه سطح (صفر، ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌مولار کلرید سدیم) و هورمون بتااسترادیول در سه سطح (صفر، $۱۰^{-۱۲}$ و $۱۰^{-۶}$ مولار) به‌صورت فاکتوریل در کرت‌های اصلی، و ۱۰ ژنوتیپ سیب‌زمینی در کرت‌های فرعی بودند. نتایج نشان داد ارتفاع بوته، تعداد و وزن غده‌چه در بوته، وزن متوسط غده‌چه، محتوی آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان در ژنوتیپ‌های مورد بررسی تحت تاثیر کاربرد هورمون بتااسترادیول قرار گرفتند. به‌طوری‌که با افزایش میزان مصرف بتااسترادیول از $۱۰^{-۱۲}$ به $۱۰^{-۶}$ مولار، تعداد و وزن غده‌چه در بیشتر ژنوتیپ‌های مورد مطالعه افزایش یافت ولی مقدار این افزایش در بین ژنوتیپ‌ها متفاوت بود. ژنوتیپ‌های G5 و G6 به‌ترتیب با میانگین ۷/۸۵ و ۷/۸۳ غده‌چه، بالاترین تعداد غده‌چه در بوته را در سطح $۱۰^{-۶}$ مولار بتااسترادیول به خود اختصاص دادند. کمترین مقدار صفت مذکور نیز با میانگین ۳/۶۶ غده‌چه بدون اختلاف معنی‌دار با ژنوتیپ‌های G8 و G9 به ژنوتیپ G10 تعلق داشت. با افزایش سطح شوری میزان آنزیم‌های سوپراکسید دیسموتاز، کاتالاز و پلی فنل اکسیداز و قندهای محلول افزایش یافت. در هر سه سطح شوری مصرف بتااسترادیول به‌طور معنی‌داری باعث افزایش میزان این آنزیم‌ها شد. بالاترین میزان این آنزیم‌ها در سطح شوری ۱۰۰ میلی‌مولار و با مصرف $۱۰^{-۱۲}$ یا $۱۰^{-۶}$ مولار بتااسترادیول مشاهده شد. در این تحقیق کاربرد بتااسترادیول بسته به ژنوتیپ توانست اثر شوری را بر خصوصیات کمّی و کیفی سیب‌زمینی تعدیل نماید. در کل، در این مطالعه ژنوتیپ‌های G5 و G6 در شرایط تنش شوری به‌طور نسبی از تعداد و وزن غده‌چه در بوته بالایی برخوردار بودند، بنابراین گزینش این ژنوتیپ‌ها برای برنامه‌های به‌نژادی آتی توصیه می‌شود. همچنین، این دو ژنوتیپ در سطوح $۱۰^{-۱۲}$ و $۱۰^{-۶}$ مولار بتااسترادیول بیشترین تعداد و وزن غده‌چه در بوته را به خود اختصاص دادند که نشان می‌دهد این ژنوتیپ‌ها در مقایسه با دیگر ژنوتیپ‌های مورد بررسی از پتانسیل ژنتیکی بالایی برای مصرف این هورمون برخوردارند.

واژگان کلیدی: آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان، غده‌چه، نشاسته، هورمون‌های استروئیدی.

۱- دانشجوی دکتری، گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.

۲ - استاد گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.

۳- عضو هیات علمی بخش تحقیقات زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اردبیل (مغان)، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اردبیل، ایران.

۴- استادیار، گروه علوم گیاهی و گیاهان دارویی، دانشگاه محقق اردبیلی، دانشکده کشاورزی مشکین‌شهر، مشکین‌شهر، ایران.

نگارنده‌ی مسئول r-asghari@uma.ac.ir

مقدمه

سیب‌زمینی (*Solanum tuberosum* L.) یکی از گیاهان زراعی با ارزش از نظر غذایی بوده که به‌منظور استفاده از غده آن کشت می‌شود و از نظر اقتصاد جهانی، بعد از سه گیاه غله‌ای مهم ذرت، برنج و گندم در رتبه چهارم قرار دارد (Rykaczewska, 2013). سطح زیرکشت سیب‌زمینی و مقدار تولید آن در جهان به‌ترتیب حدود ۱۷/۵۸ میلیون هکتار و ۳۶۸ میلیون تن برآورد شده است (Anonymus, 2020). سیب زمینی از نظر مقدار پروتئین، نشاسته، کربوهیدرات و اسیدهای آمینه ضروری، ویتامین‌ها و مواد معدنی در تغذیه انسان اهمیت خاصی دارد و با پتانسیل تولید ۳۲۷ میلیون تن در سال و ۶/۱۸ میلیون هکتار سطح زیر کشت، جایگاه بسیار مهمی را در کشاورزی جهان به خود اختصاص داده است (Nouri *et al.*, 2016).

شوری خاک بر رشد و نمو گیاهان اثر منفی دارد و یکی از مهم‌ترین مشکلات جهانی است که بهره‌وری محصول را کاهش می‌دهد (Isayenkov and Maathuis, 2019). تخمین زده شده است که در جهان حدود هشت میلیون هکتار از اراضی (۶ درصد از کل مساحت زمین) تقریباً و ۵۰ درصد از اراضی قابل کشت در جهان در معرض تهدید شوری قرار دارند (Parihar *et al.*, 2015; Charfeddine *et al.*, 2019). در ایران بر اساس نقشه خاک منتشر شده در سال‌های اخیر، خاک‌های با شوری کم تا متوسط ۲۵/۵ میلیون هکتار و خاک‌های با شوری بالا ۸/۵ میلیون هکتار هستند (Mohammadi *et al.*, 2019). تنش شوری منجر به تنش یونی و تنش اسمزی در سلول‌های گیاهی می‌شود. همچنین، شوری با تولید گونه‌های فعال اکسیژن (ROS) باعث ایجاد تنش اکسیداتیو در گیاهان می‌شود که در غلظت‌های بالا برای سلول‌های گیاهی سمی هستند. تنظیم اسمزی یکی از سازوکارهای اصلی است که منجر به تحمل در برابر تنش شوری می‌شود (Bündig *et al.*, 2016). سیب‌زمینی یکی از محصولات نسبتاً حساس به شوری است و تنش شوری تأثیرات قابل توجه و مخربی بر تولید غده سیب‌زمینی دارد. رشد غده سیب‌زمینی به‌طور قابل توجهی تحت تأثیر شوری قرار گرفته و می‌تواند کیفیت غده‌ها را به شدت کاهش دهد (Parihar *et al.*, 2015; Jha *et al.*, 2017). بنابراین، بهبود تحمل به شوری در ارقام مختلف سیب‌زمینی می‌تواند زمینه را برای کشت و تولید این محصول در مناطق مختلف فراهم آورد (Shimazaki *et al.*, 2017; Uranbey *et al.*, 2017). در شرایط تنش شوری، بسیاری از ژن‌هایی که ساختارهای پروتئینی پیچیده را رمزگذاری می‌کنند، بسته به ویژگی‌های ژنتیکی گونه‌های گیاهی فعال می‌شوند (Çulha and Çakırlar, 2011; Jing *et al.*, 2015). همچنین، بسیاری از تغییرات متابولیکی و فیزیولوژیکی مختلف تحت تنش شوری در سیب‌زمینی اتفاق می‌افتند که ژن‌ها و عوامل رونویسی در این فرآیندها دخیل هستند (Shimazaki *et al.*, 2017; Uranbey *et al.*, 2017). مطالعات قبلی نشان داد که تنش شوری عملکرد غده و اجزای عملکرد ارقام مختلف سیب‌زمینی را به‌شدت کاهش داده است (Khalid and Aftab, 2016; Shimazaki *et al.*, 2017; Perez-Gomez *et al.*, 2017; Faried *et al.*, 2017; Wang *et al.*, 2019).

از زمان کشف ارتباط بین هورمون‌های استروئیدی با رشد و توسعه گیاهان (Janeczko *et*

al., 2003) و شناسایی و تعیین کمیت چندین هورمون جانوری (MSH) در گیاهان (Simersky *et al*., 2009) اثرات مفید آنها مشاهده شده است (Janeczko and Skoczowski, 2005). یکی از این مواد، هورمون بتا استرادیول ($C_{18}H_{24}O_2$) است که از کلسترول مشتق می‌شود و می‌تواند آزادانه وارد سلول شده و با اتصال به لیگاند وارد هسته سلول شده و در آنجا تنظیم رونویسی ژن‌ها را تحت تأثیر قرار دهد (Carreau *et al*., 2004). تیمار گیاهان با هورمون‌های جنسی جانوری تقسیم سلولی، رشد و توسعه اندام‌های هوایی، گلدهی، باززایی بافت‌های کالوس و گرده‌افشانی و باروری را تحت تأثیر قرار می‌دهند (Janeczko *et al*., 2003؛ Janeczko and Skoczowski, 2005). از نظر بیوشیمیایی کاربرد هورمون‌های جنسی محتوی عناصر غیرآلی را در جو (Erdal *et al*., 2011; Dumlupinar *et al*., 2011; Erdal and Dumlupinar, 2011) افزایش داد. برخی از محققین بیان ژن‌هایی را که توسط فاکتورهای رونویسی القا شده توسط استرادیول مانند مواردی که در تنظیم مسیر فلاونوئید در ذرت نقش دارند، شناسایی و آنالیز کرده‌اند (Bruce *et al*., 2000). اردال (Erdal, 2012a) با بررسی اثر هورمون‌های استروئیدی بر رشد، فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان و واکنش‌های فتوسنتزی در ذرت در شرایط تنش شوری نشان داد که تیمار گیاهچه‌ها با این هورمون‌ها به‌طور قابل توجهی عوارض سوء شوری را بر طول ریشه و گیاهچه بهبود می‌بخشد و موجب افزایش پروتئین، قند محلول، محتوای پرولین و آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان سوپراکسید دیسموتاز، کاتالاز و پراکسیداز شده و تولید سوپراکسید و پراکسیداسیون لیپیدی را کاهش می‌دهد. در مطالعه براون (Brown, 2006) کاربرد هورمون بتااسترادیول در سیب‌زمینی اثر معنی‌داری در افزایش وزن غده داشت. با توجه به اینکه سیب‌زمینی یک گیاه راهبردی در منطقه اردبیل است (Moghaddaszadeh-Ahrabi, *et al*., 2018) و به‌دلیل شور شدن خاک زراعی در برخی مناطق این استان به دلیل آبیاری نادرست و کوددهی بیش از اندازه، تحقیق حاضر با هدف مطالعه تأثیر کاربرد هورمون بتااسترادیول بر افزایش میزان تحمل ژنوتیپ‌های مختلف سیب‌زمینی به تنش شوری انجام گرفت.

این تحقیق در آزمایشگاه دانشگاه محقق اردبیلی و گلخانه شرکت فناوری زرع گستر آرتا در سال ۱۳۹۸ انجام شد. گیاهچه‌های ژنوتیپ‌ها پس از تکثیر در آزمایشگاه کشت بافت، به گلخانه منتقل و در بستر کاشت شامل کوکوپیت و پوکه معدنی به نسبت ۱:۱ (خصوصیات کوکوپیت در وب‌سایت Azhar Saba.co.ir آمده است) بر اساس فاکتوریل اسپلیت پلات بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در اردیبهشت ماه ۱۳۹۸ کشت شدند. در این مطالعه فاصله بین ردیف‌ها ۵۰ سانتی‌متر و روی ردیف‌ها ۲۰ سانتی‌متر و بر روی پشته‌هایی به ارتفاع ۱۵ سانتی‌متر در نظر گرفته شد.

فاکتور اول تنش شوری در سه سطح (صفر، ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌مولار کلرید سدیم)، فاکتور دوم شامل سه سطح هورمون بتااسترادیول (شاهد، 10^{-12}، 10^{-6} مولار) به‌صورت فاکتوریل در کرت‌های اصلی و فاکتور سوم شامل ۱۰ ژنوتیپ سیب‌زمینی (جدول ۱) حاصل از پرتوتابی با اشعه گاما و اتیل متیل سولفونات در ارقام جلی، اسپیریت، بانبا، میلوا و آگریا نسل M1V3 (Hassanpanah and Asghari Zakaria, 2018) در کرت‌های فرعی قرار گرفتند. آب آبیاری با مشخصات pH =۷/۴۲،

به صورت قطره‌ای با استفاده از تیپ انجام گرفت و EC = ۰/۸۹ (ds/m) و TDS = ۶۰۸ (mg/l) تیمارهای شوری در دو مرحله (ابتدای غده‌بندی و زمان پر شدن غده‌ها) از طریق آبیاری با آب شور (تیمار شاهد دسی‌زیمنس برمتر EC=۲/۲)، سطح ۵۰ میلی‌مولار (دسی زیمنس بر متر EC=۶/۵) و سطح ۱۰۰ مولار (دسی زیمنس بر متر EC=۹/۱) اعمال شدند. به‌منظور اطمینان از میزان شوری تیمارهای مورد نظر، آب مخازن پس از هم زدن و یکنواختی شوری توسط دستگاه هدایت‌سنج اندازه‌گیری شد. سطوح هورمون بتااسترادیول در دو مرحله قبل از اعمال تنش شوری (قبل از غده‌بندی) و بعد از اعمال تنش شوری (یک هفته بعد از زمان اعمال تنش شوری مرحله دوم یعنی زمان پر شدن غده‌ها) به‌صورت محلول‌پاشی در تیمارهای مربوطه اعمـال شدند. دمای گلخانه ۲۲-۱۸ درجه سلسیوس و رطوبت نسبی ۷۵-۶۵ درصد در نظر گرفته شد.

در این مطالعه ارتفاع بوته، تعداد غده‌چه در بوته، وزن متوسط غده‌چه، وزن غده‌چه در بوته، میزان قند محلول، درصد پروتئین، وزن خشک غده و میزان فعالیت برخی از آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان اندازه‌گیری شد. برای تعیین وزن خشک غده از هر تکرار دو نمونه انتخاب و به قطعاتی تقسیم شده و سپس به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۱۰۰ درجه سلسیوس خشک شدند.

استخراج نشاسته با روش مک‌کریدی و همکاران (McCready *et al.*, 1950) صورت گرفت. در این روش ۴۰ میلی‌گرم از بقایای بافتی حاصل از استخراج قندهای محلول، را در میکروتیوب ریخته و ۲/۰ میلی‌لیتر آب مقطر به آن افزوده و در یخ نگهداری شد و بلافاصله به آن ۲۶/۰ میلی‌لیتر اسید پرکلریک ۵۲ درصد افزوده و به‌مدت ۱۵ دقیقه در یخ نگهداری شد. پس از گذشت این مدت، ۴/۰ میلی‌لیتر آب مقطر به آن افزوده و به‌مدت ۱۰ دقیقه با سرعت ۵۸۰۰g سانتریفیوژ گردید. پس از سانتریفیوژ، فاز بالایی به درون لوله آزمایش منتقل شد و در یخ نگهداری گردید. رسوبات باقی مانده نیز با ۱/۰ میلی‌لیتر آب مقطر و ۱۳/۰ میلی‌لیتر اسید پرکلریک ۵۲ درصد مجدداً استخراج و پس ازسانتریفیوژ، فاز بالایی آن به لوله اول منتقل شد و در نهایت حجم فاز محلول درون لوله آزمایش با آب مقطر به ۲ میلی‌لیتر رسانده شد و از آن برای اندازه‌گیری نشاسته استفاده شد. برای اندازه‌گیری نشاسته نیز از روش مک‌کریدی و همکاران (McCready *et al.*, 1950) استفاده شد. در این روش، ۲/۰ میلی‌لیتر از عصاره حاوی نشاسته با ۳ میلی‌لیتر از معرف آنترون مخلوط و به‌مدت ۲۰ دقیقه در دمای ۱۰۰ درجه سلسیوس قرار گرفت. پس از سرد شدن لوله‌ها جذب نور نمونه‌ها در طول موج ۶۲۰ نانومتر قرائت شد.

برای سنجش فعالیت آنزیمی، ابتدا آنزیم‌ها از اندام هوایی گیاه (جوان‌ترین برگ بعد از اعمال تنش شوری و محلول‌پاشی بتا استرادیول) در دمای ۰-۴ درجه سلسیوس استخراج شدند. به‌این منظور یک گرم بافت تر در یک هاون چینی محتوی سه میلی‌لیتر بافر فسفات ۵۰ میلی‌مولار با pH =۷/۲ که شامل اتیلن دی‌آمین ترا استیک اسید (EDTA) ۱ میلی‌مولار، فنیل متان سولفونیل فلوراید (PMSF) ۱ میلی‌مولار و پلی وینیل پیرولیدون (PVP) ۱ درصد بود، ساییده شد. عصاره حاصل به مدت ۱۵ دقیقه در سانتریفیوژ یخچال‌دار در ۱۴۰۰۰g و دمای ۴ درجه سلسیوس سانتریفیوژ و از محلول رویی برای

مطالعه فعالیت آنزیم‌ها و نیز سنجش پروتئین استفاده شد.

جهت سنجش فعالیت آنزیم پلی‌فنل اکسیداز (PPO) از پیروگالل به‌عنوان پیش ماده آنزیم استفاده شد. مخلوط واکنش شامل ۲/۵ میلی‌لیتر بافر فسفات پتاسیم ۵۰ میلی‌مولار (pH=7)، ۲۰۰ میکرولیتر پیروگالل ۰/۰۲ مولار و ۱۰۰ میکرولیتر عصاره آنزیمی بود. جذب نمونه‌ها در طول موج ۴۲۰ نانومتر و بعد از سه دقیقه (هر ۳۰ ثانیه به مدت سه دقیقه) در دستگاه اسپکتروفتومتر خوانده شد. برای محاسبه واحد آنزیمی از ضریب خاموشی ۶/۲ mM^{-1} cm^{-1} استفاده شد (Kar and Mishra, 1976).

برای اندازه‌گیری فعالیت آنزیم سوپر اکسید دیسموتاز ۳ میلی‌لیتر محلول واکنش شامل ۱۳ میلی‌مولار متیونین، ۷۵ میکرومولار نیتروبلو تترازولیوم کلراید (NBT)، ۲ میکرومولار ریبوفلاوین، ۵۰ میلی مولار بافر فسفات (pH =۷) و ۵۰ میکرولیتر آنزیم استخراجی بود. واکنش با روشن کردن لامپ فلورسنت شروع گردید. محلول واکنش به مدت ۱۰ دقیقه زیر دو لامپ فلورسنت ۱۵ وات با ارتفاع ۲۰ سانتی‌متر با شدت نور ۱۰۰۰ لوکس قرار داده شد و با خاموش کردن لامپ‌ها واکنش خاتمه یافت. سپس محلول واکنش تا اندازه‌گیری جذب، توسط پارچه سیاه پوشانده شد. جذب در طول موج ۵۶۰ نانومتر با اسپکتروفتومتر (SHIMADZU، ژاپن) اندازه‌گیری شد. به یکی از ظروف آنزیمی اضافه نگردید و در نتیجه حداکثر رنگ ایجاد گردید. یکی از ظروف نیز تحت تابش نور قرار نگرفته و هیچ رنگی ایجاد نشده و به عنوان بلانک در نظر گرفته شد. یک واحد فعالیت SOD به‌عنوان مقدار آنزیم لازم برای ۵۰ درصد ممانعت از احیای فتوشیمیایی نیترو بلوتترازولیوم کلراید در نظر گرفته شد و با روش آسادا و همکاران (Asada *et al*., 1974) محاسبه شد.

فعالیت کاتالاز با روش اسپکتروفتومتری و بر اساس کاهش جذب پراکسیدهیدروژن در مدت ۳۰ ثانیه در طول موج ۲۴۰ نانومتر اندازه‌گیری شد. مخلوط واکنش حاوی بافر فسفات پتاسیم ۵۰ میلی‌مولار (pH =۷)، آب اکسیژنه ۱۵ میلی‌مولار و ۱۰۰ میکرولیتر عصاره آنزیمی بود. واکنش با اضافه کردن H_2O_2 آغاز و کاهش جذب در مدت ۳۰ ثانیه اندازه‌گیری گردید. مقدار پراکسید هیدروژن تجزیه شده با استفاده از ضریب خاموشی معادل ۳۹/۴ mM^{-1} cm^{-1} محاسبه شد (Velikova *et al*., 2000)

به‌منظور تعیین غلظت قندهای محلول، نمونه‌های ۰/۵ گرمی از برگ منجمد شده با نیتروژن مایع، در هاون چینی حاوی پنج میلی‌لیتر محلول بافر فسفات ۰/۲ مولار در لیتر با اسیدیته ۶/۷ خرد شده و به‌مدت ۱۰ دقیقه با سرعت ۵۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ شدند. عصاره جمع‌آوری شده، پس از یک ساعت با دستگاه با اسپکتروفتومتر (SHIMADZU، ژاپن) در طول موج ۴۸۵ نانومتر اندازه‌گیری شد (Schlegel, 1956). غلظت پروتئین‌های محلول به‌روش برادفورد (Bradford, 1976) تعیین گردید.

برای تعیین غلظت پرولین، روش بیتس و همکاران (Bates *et al*.,1973) به‌کار رفت. بدین ترتیب که برای استخراج آن، ۰/۴ گرم از برگ در اسید سولفوسالسیلیک ۳٪ هموژن شد. پس از ۷۲ ساعت این ماده به‌مدت ۲۰ دقیقه سانتریفیوژ شد. این محلول پس از ترکیب با اسید استیک و نین‌هیدرین به‌مدت یک ساعت در حمام آب گرم حرارت داده شد و سپس با دستگاه اسپکتروفتومتر

(مدل Phamacia Biotech Novaspec II. UK) با طول موج ۵۲۰ نانومتر مقدار پرولین قرائت شد.

تجزیه واریانس داده‌های حاصل پس از بررسی و تأیید برقراری مفروضات تجزیه واریانس با استفاده از نرم‌افزار SAS 9.2 انجام و همچنین مقایسه میانگین صفات مورد بررسی توسط آزمون LSD در سطح احتمال ۵٪ انجام شد.

نتایج و بحث

بر اساس نتایج جدول تجزیه واریانس داده‌ها بین سطوح شوری از لحاظ اثر بر کلیه صفات مورد بررسی به‌غیر از درصد ماده خشک در سطح احتمال یک درصد اختلاف معنی‌دار وجود داشت. اختلاف بین سطوح هورمون از لحاظ اثر بر کلیه صفات به‌غیر از درصد ماده خشک و محتوی پرولین در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. اثر متقابل شوری در هورمون نیز بر ارتفاع بوته، تعداد غده‌چه در بوته، وزن غده‌چه در بوته، وزن متوسط غده‌چه، درصد نشاسته، درصد قند محلول، سوپراکسید دیسموتاز و کاتالاز در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. در این تحقیق بین ۱۰ ژنوتیپ مورد بررسی از لحاظ کلیه صفات مورد بررسی اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد وجود داشت. اثر متقابل شوری در ژنوتیپ نیز بر کلیه صفات به‌غیر از درصد ماده خشک در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. در نهایت اثر متقابل هورمون در ژنوتیپ نیز بر ارتفاع بوته، تعداد و وزن غده‌چه در بوته، وزن متوسط غده‌چه، درصد نشاسته، درصد قند محلول، پرولین، سوپراکسید دیسموتاز، کاتالاز و پلی فنل اکسیداز در سطح احتمال یک درصد و درصد ماده خشک غده در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار به دست آمد (جدول ۲).

ارتفاع بوته

مقایسه میانگین‌های ارتفاع بوته تحت تاثیر برهمکنش شوری و هورمون نشان داد که تیمار شاهد (عدم شوری) همراه با کاربرد 10^{-6} و 10^{-12} مولار هورمون بتا استرادیول، به‌ترتیب با متوسط ۶۵/۴۹ و ۶۴/۸۳ سانتی‌متر، به‌طورمعنی‌دار بیشترین ارتفاع بوته را به خود اختصاص داد. در حالی‌که سطح شوری ۱۰۰ میلی‌مولار بدون مصرف بتااسترادیول با متوسط ۴۷/۰۴ سانتی‌متر کمترین ارتفاع بوته را داشت. در این مطالعه کاربرد سطح 10^{-12} مولار بتااسترادیول در هر سه سطح شوری ارتفاع بوته را در مقایسه با شاهد در هر سطح به‌ترتیب ۴/۳۶، ۷/۰۴ و ۲۲/۰۴ درصد افزایش داد (جدول ۳). رفتار هورمون بتااسترادیول در سطوح مختلف شوری متفاوت بود. به‌طوری‌که در شرایط بدون شوری افزایش سطح هورمون از 10^{-12} به 10^{-6} اثر معنی‌داری بر تغییرات ارتفاع بوته نشان نداد، ولی در سطح ۵۰ میلی‌مولار شوری افزایش سطح هورمون از 10^{-12} به 10^{-6} موجب افزایش و در سطح ۱۰۰ میلی‌مولار آن موجب کاهش ارتفاع بوته شد (جدول ۳). به نظر می‌رسد در سطوح شوری بالا، افزایش در غلظت بتااسترادیول منجر به کاهش رشد می‌شود. براون (Brown, 2006) اعلام کرد که هورمون بتااسترادیول (غلظت ۰/۱ mg/L) اثر مثبتی بر افزایش ارتفاع بوته در سیب‌زمینی دارد.

در مطالعه حاضر با افزایش سطح شوری از ارتفاع بوته ژنوتیپ‌های سیب‌زمینی کاسته شد. این نتایج همسو با نتایج محققین دیگر است که اشاره داشته‌اند با افزایش غلظت شوری از ارتفاع و رشد رویشی ارقام سیب‌زمینی کاسته می‌شود (Sudhersan *et al*., 2012; Zaman *et al*., 2015). کاهش میزان رشد گیاه تحت تنش شوری

می‌تواند به دلایلی چون مهار تقسیم و گسترش سلولی و یا حتی مرگ سلولی، کمبود آب و یا سمیت نمک همراه با جذب زیادی یون‌هایی مثل سدیم و کلر، عدم تعادل مواد غذایی و اختلال در جذب و انتقال یون‌هایی مانند پتاسیم و کلسیم، دخالت در فرایندهای طبیعی سلول به‌ویژه فرایندهای دخیل در تولید انرژی و تنفس باشد (Shibli *et al*., 2007). در مطالعه احمد و همکاران (Ahmed *et al*., 2020) با افزایش سطح شوری از ارتفاع بوته در ارقام سیب‌زمینی کاسته شد، و بالاترین ارتفاع بوته به سطح شاهد شوری و واریته توکات اختصاص داشت. در این مطالعه ژنوتیپ G4 در سطح شاهد شوری با متوسط ۶۹/۸۳ سانتی‌متر بالاترین ارتفاع بوته را به خود اختصاص داد. بین ژنوتیپ مذکور و ژنوتیپ G8 و G1 در شرایط بدون شوری اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. ژنوتیپ G3 در تیمار شوری ۱۰۰ میلی‌مولار با متوسط ۴۹/۰۶ سانتی‌متر کمترین ارتفاع بوته را به خود اختصاص داد. لازم به ذکر است که اختلاف بین ژنوتیپ مذکور و ژنوتیپ‌های G7، G8، G2 و G5 در تیمار شوری ۱۰۰ میلی‌مولار از نظر ارتفاع بوته معنی‌دار نبود (جدول ۴). بیشترین ارتفاع بوته در سطوح شوری ۵۰ میلی‌مولار در ژنوتیپ G4 و در ۱۰۰ میلی‌مولار در ژنوتیپ G9 و G4 به‌دست آمد. این امر نشان می‌دهد که ژنوتیپ G4 در تمام سطوح شوری مورد مطالعه عملکرد بهتری از لحاظ ارتفاع بوته دارد.

بالاترین ارتفاع بوته به‌ترتیب با متوسط ۶۵/۷۳ و ۶۳/۰۰ سانتی‌متر در ژنوتیپ G4 با مصرف $۱۰^{-۱۲}$ و $۱۰^{-۶}$ مولار هورمون بتااسترادیول دیده شد. کمترین مقدار صفت مذکور نیز به ترتیب با میانگین ۵۰/۱۵ و ۵۲/۴۸ سانتی‌متر به ژنوتیپ‌های G10 و G3 در سطح شاهد هورمون اختصاص یافت (جدول ۵). در این بررسی کاربرد هورمون بتااسترادیول در هر دو سطح اثر مثبتی بر افزایش ارتفاع بوته در ژنوتیپ‌های مختلف سیب‌زمینی داشت. با این حال، تعدادی از ژنوتیپ‌ها مانند G4، G6 و G10 در مقایسه با ژنوتیپ‌های دیگر از لحاظ ارتفاع بوته پاسخ بهتری به مصرف بتااسترادیول داشتند (جدول ۵). در مطالعه براون (Brown, 2006) کاربرد هورمون بتااسترادیول به‌صورت معنی‌داری بر رشد رویشی ساقه و ریشه در سیب‌زمینی افزود. در این مطالعه استفاده از بتااسترادیول به‌خصوص سطح $۱۰^{-۶}$ مولار ارتفاع بوته را در اکثر ژنوتیپ‌های مورد بررسی افزایش داد.

تعداد غده‌چه در بوته

بالاترین تعداد غده‌چه در بوته در شرایط عدم شوری با مصرف $۱۰^{-۶}$ و $۱۰^{-۱۲}$ مولار بتااسترادیول به‌ترتیب با متوسط ۶/۴۵ و ۶/۶۰ غده، و کمترین مقدار آن نیز با متوسط ۴/۰۰ غده در سطح شوری ۱۰۰ میلی‌مولار و عدم مصرف هورمون بتااسترادیول مشاهده شد. در این مطالعه مصرف $۱۰^{-۶}$ مولار بتا استرادیول، تعداد غده در بوته را در هر سه سطح شوری به‌صورت معنی‌داری در مقایسه با تیمار شاهد افزایش داد. نتایج مقایسه میانگین همچنین نشان داد که رفتار سطوح هورمون بتااسترادیول در سطوح مختلف شوری از لحاظ تعداد غده‌چه در بوته متفاوت است. به‌نحوی‌که در شرایط بدون شوری و سطح ۵۰ میلی‌مولار آن تغییر سطح هورمون از $۱۰^{-۱۲}$ به $۱۰^{-۶}$ مولار اثر معنی‌داری بر تعداد غده‌چه در بوته نداشت، اما در سطح شوری ۱۰۰ میلی‌مولار شوری، افزایش سطح بتااسترادیول از $۱۰^{-۱۲}$ به $۱۰^{-۶}$ به‌طور معنی‌داری باعث افزایش تعداد غده‌چه در

بوته شد (جدول ۳). اردال (Erdal, 2011) نشان داد که کاربرد هورمون جنسی جانوری مانند آندروسترون از طریق افزایش محتوای قندها، پرولین، کلروفیل‌ها و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی اثر تنش شوری را در گندم تعدیل می‌کند. براون (Brown, 2006) اظهار داشت استفاده از ۰/۱ میلی‌گرم در لیتر بتااسترادیول تعداد غده در بوته سیب‌زمینی را به‌صورت معنی‌دار افزایش داد. همچنین نتایج نشان داد که ژنوتیپ G6 در شرایط بدون شوری با میانگین ۷/۳۳ غده‌چه بالاترین تعداد غده‌چه در بوته را به خود اختصاص داد، کمترین مقدار صفت مذکور نیز با میانگین ۲/۶۶ غده‌چه در بوته به ژنوتیپ G10 در تیمار شوری ۱۰۰ میلی‌مولار اختصاص یافت. هرچند بین ژنوتیپ مذکور و ژنوتیپ‌های شماره G8 و G9 در شرایط شوری ۱۰۰ میلی‌مولار اختلاف معنی‌دار دیده نشد. لازم به ذکر است که ژنوتیپ‌های G6 و G5 در هر دو سطح شوری در مقایسه با ژنوتیپ‌های دیگر از تعداد غده‌چه در بوته بالاتری برخوردار بودند (جدول ۴). در مجموع شوری باعث کاهش تعداد غده‌چه در ژنوتیپ‌های سیب‌زمینی شد و این کاهش در تعدادی از ژنوتیپ‌ها مانند G8، G9 و G10 بیشتر بود (جدول ۴). در مطالعه شیمازاکی و همکاران (Shimazaki *et al*., 2017) تنش شوری به‌صورت معنی‌دار از تعداد غده‌چه در لاین‌های تراریخت سیب‌زمینی کاست. در بین لاین‌های مورد بررسی آنها بالاترین تعداد غده‌چه در بوته در شرایط شوری برای لاین D164 ثبت شد. در مطالعه همایون و همکاران (Homayoun *et al*., 2011) اثر شوری، واریته و اثر متقابل آنها بر تعداد غده‌چه در بوته معنی‌دار بود. آنها اظهار داشتند در هر سه سطح شوری صفر، ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر، رقم آگریا در مقایسه با دیگر ارقام از تعداد غده‌چه در بوته بالاتری برخوردار است. در مطالعه کافی و همکاران (Kafi *et al*., 2016) با افزایش سطح شوری از ۰/۳ به ۱۲ دسی‌زیمنس آب آبیاری به‌صورت معنی‌داری از تعداد غده در بوته کاسته شد، اما محلول‌پاشی ترکیبات حاوی سیلیسیم توانست اثر تنش شوری را تعدیل کند.

در مطالعه حاضر تعداد غده‌چه در بوته در ژنوتیپ‌های مورد بررسی واکنش مثبتی به اعمال هورمون بتااسترادیول نشان داد. به‌طوری‌که با افزایش میزان مصرف بتااسترادیول از 10^{-12} به 10^{-6} مولار، تعداد غده‌چه در همه ژنوتیپ‌های مورد مطالعه افزایش یافت ولی مقدار این افزایش در تعدادی از ژنوتیپ‌ها مانند G8، G9 و G10 معنی‌دار نبود. ژنوتیپ‌های G5 و G6 به‌ترتیب با میانگین ۷/۸۵ و ۷/۸۳ غده‌چه، بالاترین تعداد غده‌چه در بوته را در سطح 10^{-6} مولار بتااسترادیول به خود اختصاص دادند. کمترین مقدار صفت مذکور نیز با متوسط ۳/۶۶ غده‌چه بدون اختلاف معنی‌دار با ژنوتیپ‌های G8 و G9 به ژنوتیپ G10 تعلق داشت (جدول ۵).

وزن متوسط غده‌چه

با بررسی برهمکنش شوری و مصرف بتااسترادیول مشاهده شدکه شوری وزن متوسط غده‌چه را در ژنوتیپ‌های سیب‌زمینی کاهش داد ولی با مصرف بتااسترادیول از مقدار این کاهش کاسته شد. به‌طوری‌که کاربرد 10^{-12} مولار بتااسترادیول در سطح شاهد (۳۱/۴۵ درصد)، ۵۰ میلی‌مولار (۳۶/۷۰ درصد) و ۱۰۰ میلی‌مولار (۲۹/۳۸ درصد) وزن میانگین غده‌چه را در مقایسه با عدم مصرف آن در هر سه سطح به‌صورت معنی‌دار افزایش داد (جدول ۳). این مورد با درصد

کمتر در مورد سطح $۱۰^{-۶}$ بتااسترادیول صادق بود. در سطح شوری ۱۰۰ میلی‌مولار اختلاف معنی‌داری بین دو سطح $۱۰^{-۶}$ و $۱۰^{-۱۲}$ مولار مصرف بتااسترادیول مشاهده نشد. تیمار بدون شوری همراه با سطح $۱۰^{-۱۲}$ مولار بتااسترادیول با ۱۶/۵۹ گرم بالاترین، و سطح شوری ۱۰۰ میلی‌مولار بدون مصرف بتااسترادیول با ۸/۷۸ گرم کمترین وزن متوسط غده‌چه را به خود اختصاص دادند. بنابراین، می‌توان اظهار داشت استفاده از بتااسترادیول در سطوح مختلف شوری اثر مثبتی بر افزایش وزن غده‌چه دارد. تأثیر مثبت کاربرد استرادیول بر خصوصیات رشدی گیاهان در مطالعات دیگر محققین نیز گزارش شده است (Janeczko and Skoczowski, 2005; Janeczko *et al.*, 2003).

مقایسه میانگین ژنوتیپ‌ها در سطوح مختلف شوری نشان داد که بیشترین و کمترین وزن متوسط غده‌چه با متوسط ۱۷/۲۱ و ۸/۲۹ گرم به ژنوتیپ شماره G1 در تیمار شاهد شوری و ژنوتیپ G3 در سطح ۱۰۰ میلی‌مولار اختصاص یافت. نتایج مقایسات میانگین همچنین نشان داد با افزایش سطح شوری از صفر به ۱۰۰ میلی‌مولار وزن متوسط غده‌چه به صورت معنی‌داری کاهش نشان داد، همچنین تحت شرایط شوری ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌مولار ژنوتیپ‌های G5 و G6 در مقایسه با دیگر ژنوتیپ‌های مورد بررسی از وزن متوسط غده‌چه بالاتری برخوردار بودند (جدول ۴). در تحقیقی بر روی لاین‌های تراریخته سیب‌زمینی، تنش شوری از متوسط وزن غده‌چه‌ها کاست، اما دو لاین تراریخته D163 و D164 (حاوی ژن *AtDREB1A* بودند) تحت شرایط تنش شوری از وزن غده‌چه بالاتری برخوردار بودند (Shimazaki *et al.*, 2017). همچنین، وانگ و همکاران (Wang *et al.*, 2017) اظهار داشتند تنش شوری به صورت معنی‌دار از وزن متوسط غده‌چه و وزن غده‌چه در بوته در لاین‌های سیب‌زمینی کاست. در مطالعه آنها بالاترین مقدار تحمل به شوری در لاین‌های T3 و 13 به‌واسطه بیان بالای ژن *AtHKT1* مشاهده شد. در تحقیق حاضر کاربرد بتااسترادیول در ژنوتیپ‌های مورد بررسی بر وزن متوسط غده‌چه در بوته افزود. نتایج مقایسات میانگین نشان داد دو ژنوتیپ G1 و G6 در تیمار $۱۰^{-۱۲}$ مولار بتااسترادیول به‌ترتیب با متوسط ۱۵/۸۷ و ۱۵/۴۱ گرم بالاترین وزن متوسط غده‌چه را به خود اختصاص دادند. این در حالی بود که کمترین مقدار صفت مذکور با متوسط ۹/۳۰ گرم در ژنوتیپ G8 در تیمار عدم مصرف هورمون مشاهده شد. لازم به ذکر است ژنوتیپ G6 هم در شرایط عدم استفاده و هم در سطوح $۱۰^{-۶}$ و $۱۰^{-۱۲}$ مولار بتااسترادیول از وزن متوسط غده‌چه بالاتری در مقایسه با دیگر ژنوتیپ‌های مورد بررسی برخوردار بود. می‌توان نتیجه گرفت علاوه بر پتانسیل ژنتیکی بالای این ژنوتیپ توانایی استفاده از بتااسترادیول در فرآیندهای فیزیولوژیکی در جهت افزایش وزن غده در این ژنوتیپ بالا است (جدول ۵).

وزن غده‌چه در بوته

وزن غده‌چه در بوته تحت تأثیر سطوح شوری کاهش یافت به‌طوری‌که بیشترین وزن غده‌چه در بوته با ۱۰۹/۷۱ گرم در شرایط نرمال و با مصرف $۱۰^{-۱۲}$ مولار بتااسترادیول به‌دست آمد و کمترین مقدار آن در سطح شوری ۱۰۰ میلی‌مولار و بدون مصرف بتااسترادیول مشاهده شد. در این بررسی مصرف بتااسترادیول در هر سه تیمار شوری توانست وزن غده‌چه در بوته را به‌صورت معنی‌داری در مقایسه با عدم مصرف هورمون

افزایش دهد (جدول ۳). به‌طوری‌که مصرف $۱۰^{-۱۲}$ مولار بتااسترادیول در مقایسه با مصرف $۱۰^{-۶}$ مولار آن وزن غده‌چه در بوته بالاتری در دو سطح شوری صفر و ۵۰ میلی‌مولار تولید کرد ولی اختلاف این دو سطح بتااسترادیول در شوری ۱۰۰ میلی‌مولار معنی‌دار نبود.

جریان آب در گیـاه و رسانیدن آب به سلول‌ها به حضور و فعالیت پروتئین‌های کانالی در غشای سلولی به نام آکیوپورین[۱] بستگی دارد. آکیوپورین‌ها یک مسیر مهم انتخابی برای جریان آب به سلول را در غشای سلولی فراهم می‌سازند (Eisenbarth and Weig, 2005). انواع مختلفی از آکیوپورین‌ها وجود دارند که فعالیت آنها به میزان بیان ژن یا سازوکارهای فیزیولوژیکی (مانند فسفریلاسیون، pH و Ca^{+2}) بستگی دارد. نقش آکیوپورین‌ها در تطابق‌پذیری با تنش خشکی در مطالعات اندکی به اثبات رسیده است. استروئیدهای گیاهی (براسینواستروئیدها) فعالیت آکیوپورین را تحریک می‌کنند (Morillon *et al.*, 2001). در پستانداران، نیز هورمون‌های استروئیدی (هم استروژن‌ها و هم آندروژن‌ها) بیان آکیوپورین را در سلول‌ها تحریک می‌کنند (Gu *et al.*, 2003). با توجه به نکات ذکر شده می‌توان اظهار داشت که کاربرد هورمون بتااسترادیول احتمالاً از طریق بهبود روابط آبی در سیب‌زمینی زمینه را برای رشد رویشی و افزایش عملکرد را در شرایط شوری فراهم ساخته است. در مطالعه براون (Brown, 2006) کاربرد هورمون بتااسترادیول در سیب‌زمینی اثر معنی‌داری در افزایش وزن غده داشت. نتایج نشان داد با افزایش سطح شوری از صفر به ۱۰۰ میلی‌مولار وزن غده‌چه در بوته در کلیه ژنوتیپ‌ها به صورت معنی‌دار کاهش نشان داد. در این مطالعه بالاترین وزن غده‌چه در بوته با متوسط ۱۱۶/۷۲ گرم در ژنوتیپ شماره G6 در تیمار عدم شوری ثبت شد. این در حالی بود که ژنوتیپ‌های G8، G9 و G10 در تیمار شوری ۱۰۰ میلی‌مولار کمترین وزن غده‌چه در بوته را به خود اختصاص دادند. مقایسات میانگین‌ها همچنین نشان داد که تحت شرایط ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌مولار شوی بالاترین وزن غده‌چه در بوته به دو ژنوتیپ G5 و G6 اختصاص داشت (جدول ۴). بالا بودن وزن غده‌چه در بوته تحت شرایط ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌مولار شوری در ژنوتیپ‌های G5 و G6 به بالا بودن تعداد غده‌چه در بوته و متوسط وزن غده‌چه در این تیمارها نسبت داد. می‌توان گفت که دو ژنوتیپ مذکور با تحمل بهتر تنش شوری توانسته‌اند غده‌چه‌های بیشتر و با وزن بالاتری تولید نمایند. در تحقیق مونیرا و همکاران (Munira *et al.*, 2015) اثر متقابل شوری و رقم بر عملکرد تک بوته در سیب‌زمینی معنی‌دار بود. آنها اظهار داشتند با افزایش غلظت شوری از عملکرد تک بوته کاسته شد به‌طوری‌که رقم ساجیتا در تیمار شاهد شوری بالاترین و رقم شیلبیلاتی در سطح شوری ۸/۹۰ dS/m کمترین عملکرد غده را به خود اختصاص داد. در تحقیق پیرزکومز و همکاران (Perez-Gomez *et al.*, 2017) و شیمازاکی و همکاران (Shimazaki *et al.*, 2017) تنش شوری به‌صورت معنی‌داری از وزن غده‌چه در بوته کاست. همچنین، مشاهده شده است که کاهش عملکرد سیب‌زمینی در هر سه سطح شوری ۵، ۸ و ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر آب آبیاری بسیار شدیدتر از کاهش تعداد غده در بوته بود. به‌طوری‌که، در شرایط تنش شوری، شدت کاهش متوسط وزن غده بالاتر از تعداد آن

۱ -Aquaporins

در بوته بوده و در نتیجه، عملکرد کل غده افت بالاتری نسبت به تعداد غده داشته است (Kafi *et al*., 2016).

تفاوت معنی‌داری در پاسخ ژنوتیپ‌ها به سطوح مختلف مصرف بتااسترادیول مشاهده شد به‌طوری‌که بیشترین عملکرد غده‌چه در بوته در ژنوتیپ‌های G5 و G6 در هر دو سطح مصرف هورمون بتااسترادیول مشاهده شد در حالی بیشترین عملکرد ژنوتیپ‌هایی مانند G1 و G2 در سطح 10^{-12} مولار آن به‌دست آمد (جدول ۵). این امر به خوبی نشان می‌دهد که کاربرد هورمون بتااسترادیول در شرایط تنش به بهبود عملکرد غده‌چه در ژنوتیپ‌های سیب‌زمینی کمک می‌کند. در مطالعه فرید و همکاران (Faried *et al*., 2017) بین ارقام، سطوح شوری و کاربرد سالیسیلیک اسید از لحاظ اثر بر عملکرد غده در بوته اختلاف معنی‌دار دیده شد. آنها اظهار داشتند شوری عملکرد غده در بوته را کاهش داد اما محلول‌پاشی با سالیسیلیک اسید موجب افزایش عملکرد غده در بوته در هر دو رقم در شرایط تنش شوری شد.

درصد ماده خشک غده

با توجه به معنی‌داری اثر متقابل شوری و ژنوتیپ از لحاظ این صفت و غیر معنی‌دار بودن سایر اثرات، نتایج مقایسات میانگین نشان داد که ژنوتیپ G3 در شوری ۵۰ میلی‌مولار با متوسط ۲۱/۹۰ درصد بالاترین درصد ماده خشک غده را به خود اختصاص داد. کمترین مقدار صفت مذکور نیز با متوسط ۱۹/۹۸ درصد به ژنوتیپ G4 در شرایط بدون شوری اختصاص داشت (جدول ۴). در مطالعه لیوی و تای (Levy and Tai, 2013) و پیرزکومز و همکاران (Perez-Gomez *et al*., 2017) تنش شوری اثر مثبتی بر افزایش ماده خشک غده در ارقام سیب‌زمینی داشت و به صورت معنی‌داری مقدار صفت مذکور را در مقایسه با شاهد افزایش داد. گزارش شده است که تنش شوری بر درصد ماده خشک میوه در گوجه فرنگی افزود (Krauss *et al*., 2006). همچنین، کافی و همکاران (Kafi *et al*., 2016) نیز بالاترین درصد خشک غده را در تیمار شوری هشت دسی زیمنس بر متر گزارش کردند.

نشاسته

با توجه به معنی‌دار بودن اثر متقابل شوری در هورمون بتا استرادیول، شرایط بدون شوری و مصرف 10^{-6} مولار بالاترین درصد نشاسته غده را نشان داد ولی در سطوح شوری ۵۰ و ۱۰۰ میلی مولار اختلاف معنی‌داری بین 10^{-6} و 10^{-12} مولار بتااسترادیول مشاهده نشد. در هر حال مصرف هورمون بتااسترادیول باعث افزایش درصد نشاسته در هر سه سطح شوری شد. به‌طوری‌که کمترین مقدار با متوسط ۷/۱۱ درصد در شوری ۱۰۰ میلی‌مولار و بدون مصرف هورمون بتااسترادیول مشاهده شد (جدول ۳). در این مطالعه سطح شوری بالا از محتوی نشاسته غده کاست. یکی از معمول‌ترین واکنش‌هایی که گیاهان در برابر تنش‌های محیطی به‌خصوص تغییرات اسمزی محیط (تنش شوری) از خود بروز می‌دهند، پدیده‌ای موسوم به تنظیم اسمزی است. تجمع یافتن قند در اندام‌های گیاه و کاهش نشاسته در آنها که با تخریب مولکول‌های درشت در سلول‌های گیاهان به‌منظور گریز از انجام پلاسمولیز و برقراری تورژسانس بر اثر تنش‌های محیطی تحقق می‌یابد و در نتیجه مولکول‌های درشت‌تری نظیر نشاسته به ساکارز و سپس به گلوکز و فروکتوز شکسته می‌شوند، موجب منفی‌تر شدن پتانسیل آب در سلول‌ها و تنظیم اسمزی می‌شود. علاوه بر تبدیل نشاسته به قندهای

محلول، کاهش مصرف قند نیز عامل دیگری بر افزایش غلظت قند در سلول است (Morsy *et al.*, 2007). اردال (Erdal, 2011) اظهار داشت که کاربرد هورمون جنسی بتااسترادیول موجب بهبود وزن خشک گیاه‌چه، محتوی نشاسته، پرولین، پروتئین، کلروفیل و گلوتاتیون در کلیه سطوح تنش شوری در گندم می‌شود.

در هر سه سطح شوری ژنوتیپ‌های G6 و G5 بیشترین درصد نشاسته غده را به خود اختصاص دادند. با افزایش سطح شوری از مقدار نشاسته غده کاسته شد به‌طوری‌که کمترین مقدار نشاسته در ژنوتیپ‌های G8، G9 و G10 مشاهده شد (جدول ۴). وجود تنوع ژنتیکی بین ارقام مختلف سیب‌زمینی تحت شرایط تنش محیطی از نظر درصد نشاسته در مطالعه جنسن و همکاران (Jensen *et al.*, 2010) نیز گزارش شده است. همچنان که اشاره شد مصرف بتااسترادیول باعث افزایش درصد نشاسته در ژنوتیپ‌های سیب‌زمینی مورد مطالعه شد ولی مقدار این افزایش در ژنوتیپ‌های مختلف یکسان نبود به‌طوری‌که ژنوتیپ G7 کمترین افزایش را در سطوح مختلف هورمون بتااسترادیول از خود نشان داد. در حالی که ژنوتیپ‌های G5 و G6 با بیشترین افزایش در درصد نشاسته بیشترین درصد نشاسته را به خود اختصاص دادند (جدول ۵).

درصد قند محلول

در مطالعه حاضر شوری باعث افزایش درصد قند محلول در ژنوتیپ‌های سیب‌زمینی شد. به طوری‌که بالاترین درصد قند محلول در سطح شوری ۱۰۰ میلی‌مولار مشاهده شد (جدول ۳). پژوهشگران افزایش قند را در گیاهان تحت تنش شوری به‌دلیل تأثیر این تنش بر کاهش قدرت انتقال آوندهای آبکش و یا تقلیل در مصرف اندام‌های مصرف‌کننده گزارش نمودند (Morsy *et al.*, 2007). از سوی دیگر با افزایش غلظت هورمون بتااسترادیول در شرایط بدون شوری درصد قند محلول افزایش یافت. به‌طوری‌که بیشترین درصد قند محلول در شرایط نرمال، در غلظت 10^{-6} مولار بتااسترادیول دیده شد ولی در سطوح شوری ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌مولار شوری تفاوت معنی‌داری بین دو سطح بتااسترادیول مشاهده نشد. در کل در هر یک از سطوح شوری مصرف بتااسترادیول در مقایسه با عدم مصرف آن باعث افزایش درصد قند محلول گردید. همچنین تفاوت معنی‌داری بین ژنوتیپ‌های سیب‌زمینی در هر یک از سطوح شوری وجود داشت که در آن بیشترین درصد قند محلول در شوری ۱۰۰ میلی‌مولار و در ژنوتیپ‌های G1، G2، G6، G7 و G8 مشاهده شد (جدول ۴). در مطالعه‌ای پیرگومز و همکاران (Perez-Gomez *et al.*, 2017) اظهار داشتند تنش شوری اثر مثبتی بر افزایش درصد قند محلول در غده‌های ارقام سیب‌زمینی داشت. عامریان و اثنی عشری (Amerian and Esna-Ashari, 2017) نیز نشان دادند با افزایش شدت تنش بر مقدار قندهای محلول در سیب‌زمینی افزوده شد که بیشترین و کمترین مقدار قندهای محلول مربوط به تیمار ۲۵۰ میلی‌مولار کلرید سدیم و محیط فاقد نمک بود.

چینسامی و همکاران (Chinsamy *et al.*, 2013) دریافتند که افزایش محتوی قند در گوجه‌فرنگی (*Lycopersicum esculentum*) تحت تنش شوری به دلیل افزایش فعالیت آنزیم ساکاروز فسفات سنتاز است. به‌نظر می‌رسد ژنوتیپ‌هایی که در شرایط شوری درصد قند محلول بالایی دارند به دلیل تعدیل اسمزی بهتر می‌توانند شرایط شوری را تحمل نمایند.

به‌طوری‌که در بررسی حاضر ژنوتیپ G6 با مصرف 10^{-6} یا 10^{-12} مولار هورمون بتااسترادیول بالاترین درصد قند محلول را به خود اختصاص داد (جدول ۵). این ژنوتیپ از لحاظ وزن و تعداد غده‌چه نیز عملکرد بهتری در شرایط شوری از خود نشان داد.

محتوی پرولین

با توجه به معنی‌داری اثرات متقابل شوری در ژنوتیپ در مورد این صفت، نتایج مقایسه میانگین ژنوتیپ‌ها در سطوح مختلف شوری نشان داد که ژنوتیپ‌های G1، G3، G6 و G8 در سطح ۱۰۰ میلی‌مولار شوری بالاترین محتوی پرولین را به خود اختصاص دادند. کمترین محتوی پرولین نیز در شرایط بدون شوری و در اغلب ژنوتیپ‌های سیب‌زمینی مشاهده شد (جدول ۴). بدین ترتیب مشاهده می‌شود که با افزایش شدت تنش شوری بر محتوی پرولین برگ افزوده می‌شود. با این حال، رفتار ژنوتیپ‌ها در سطوح مختلف شوری متفاوت بود به‌طوری‌که در شرایط نرمال تفاوت بین ژنوتیپ‌ها کم ولی در شرایط شوری بیشتر بود (جدول ۴). پرولین از موادی است که تجمع آن یکی از معمول‌ترین پاسخ‌ها به تنش کم آبی و شوری است. پرولین به‌عنوان یک ماده سازگار و یک محافظ اسمزی برای آنزیم‌های سیتوزولی و اندامک‌های سلولی عمل می‌کند. همچنین، به عنوان یک منبع کربن و نیتروژن برای بهبود اثرات تنش و رشد بعدی، پایدارکننده غشاهای زیستی و ماکرومولکول‌های آزاد و حتی یک مولکول علامت‌دهنده مرتبط با تنش عمل می‌کند (Patada *et al*., 2006). عامریان و اثنی‌عشری (Amerian and Esna-Ashari, 2017) نشان دادند که با افزایش غلظت نمک، میزان پرولین سلول‌ها در سیب‌زمینی افزایش یافت. همچنین، تیمار شوری ۲۵۰ میلی‌مولار در رقم سانته بیشترین مقدار پرولین و ارقام آگریا، مارفونا و سانته در محیط فاقد نمک کمترین مقدار پرولین را تولید کردند.

سوپر اکسید دیسموتاز

با افزایش سطح شوری مقدار فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز افزایش یافت. به‌طوری‌که در سطح شوری ۱۰۰ میلی‌مولار NaCl، بیشترین میزان فعالیت این آنزیم مشاهده شد. در هر سه سطح شوری مصرف بتااسترادیول تأثیر معنی‌داری بر فعالیت این آنزیم داشت و باعث افزایش میزان این آنزیم شد. همان‌طورکه در جدول ۳ مشاهده می‌شود بالاترین میزان آنزیم سوپراکسید دیسموتاز به سطح شوری ۱۰۰ میلی‌مولار در شرایط مصرف 10^{-12} یا 10^{-6} مولار هورمون بتااسترادیول اختصاص داشت. کمترین مقدار فعالیت آنزیم مذکور نیز در سطح شاهد شوری و بدون مصرف هورمون مشاهده شد. در این مطالعه استفاده از سطوح 10^{-6} و 10^{-12} مولار هورمون بتااسترادیول در هر سه سطح شوری بر میزان آنزیم سوپراکسید دیسموتاز افزود و موجب بهبود خصوصیات آنتی‌اکسیدانی گیاه شد. در عین حال، در سطوح شوری کم غلظت 10^{-12} مولار هورمون بتااسترادیول کارکرد بهتری داشت. اردال و همکاران (Erdal and Dumlupinar, 2011) گزارش کردند که بالاترین محتوی سوپراکسید دیسموتاز، پلی‌فنل‌اکسیداز و کاتالاز در گیاه نخود به تیمار 10^{-6} مولار هورمون بتااسترادیول اختصاص داشت. همچنین، جها و همکاران (Jha *et al*., 2017) نشان دادند که کاربرد ۲۴- اپی براسینوئید (یک براسینواستروئید فعال) و اسپرمیدین (یک پلی‌آمین فعال) روش مؤثری برای کاهش سمیت مس و برقراری تعادل مس در

ترب (*Raphanus sativus*) و جلوگیری از تنش اکسیداتیو است.

در بین ژنوتیپ‌های مورد بررسی، ژنوتیپ‌های G6، G1 و G8 در سطح شوری ۱۰۰ میلی‌مولار بالاترین مقدار سوپراکسید دیسموتاز را نشان دادند. کمترین مقدار فعالیت آنزیم مذکور نیز به ژنوتیپ G3 در تیمار عدم شوری اختصاص یافت. در سطح شوری۵۰ میلی‌مولار ژنوتیپ G6 به تنهایی از محتوی سوپراکسید دیسموتاز بالاتری در مقایسه با ژنوتیپ‌های دیگر برخوردار بود (جدول ۳). ژنوتیپ G6 در هر دو سطح 10^{-6} و 10^{-12} مولار هورمون بتااسترادیول بیشترین مقدار آنزیم سوپراکسید دیسموتاز را نشان داد (جدول ۵). فرید و همکاران (Faried *et al*., 2017) بالاترین مقدار فعالیت سوپراکسید دیسموتاز را در واریته سیب‌زمینی N-Y LARA در تیمار ۰/۵ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید در شرایط شوری ۵۰ میلی‌مولار NaCl مشاهده کردند.

کاتالاز

شوری باعث افزایش میزان فعالیت آنزیم کاتالاز در ژنوتیپ‌های سیب‌زمینی شد. با این حال، مصرف هورمون بتااسترادیول در هر سه سطح شوری فعالیت آنزیم کاتالاز را افزایش داد، به‌طوری‌که بیشترین میزان این آنزیم در هر سه سطح شوری با مصرف 10^{-12} مولار هورمون بتااسترادیول به‌دست آمد و سطح 10^{-6} مولار آن در رتبه بعدی قرار داشت. در بین ترکیبات تیماری شوری و هورمون بالاترین مقدار فعالیت آنزیم کاتالاز در سطح ۱۰۰ میلی‌مولار شوری و 10^{-12} مولار هورمون بتااسترادیول مشاهده شد (جدول ۳). ژنوتیپ G1 در شوری ۱۰۰ میلی‌مولار و ژنوتیپ G3 در تیمار بدون شوری به‌ترتیب بالاترین و پایین‌ترین محتوی آنزیم کاتالاز را به خود اختصاص دادند، رفتار ژنوتیپ‌های مورد بررسی از لحاظ محتوای این آنزیم در سطوح مختلف شوری متفاوت بود به‌طوری‌که در شوری ۵۰ میلی‌مولار ژنوتیپ‌های G6 و G5 بالاترین میزان این آنزیم را به خود اختصاص دادند (جدول ۴). از لحاظ اثر متقابل ژنوتیپ و هورمون نیز مشاهده شد که ژنوتیپ‌های G1، G5 و G6 با مصرف 10^{-12} مولار بتااسترادیول بالاترین مقدار آنزیم کاتالاز را به‌خود اختصاص دادند. در سطح 10^{-6} مولار هورمون بتااسترادیول نیز این ژنوتیپ‌ها بیشترین مقدار را داشتند (جدول ۵). طبق اعلام اردال (Erdal, 2011)، فعالیت سوپراکسید دیسموتاز، پراکسیداز، کاتالاز، آسکوربات پراکسیداز و نیترات ردوکتاز با مصرف هورمون بتااسترادیول در گندم افزایش یافتند. نوذری و همکاران (Nozari *et al*., 2018) گزارش کردند که بالاترین مقدار فعالیت آنزیم کاتالاز در گیاهچه بابونه آلمانی در سطح ۰/۱ و ۱ میلی‌گرم در لیتر هورمون استروئیدی تستوسترون مشاهده شد. آنها اظهار داشتند که کاربرد هورمون استروئیدی تستوسترون ممکن است به‌وسیله تنظیم فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان به پاکسازی گونه‌های فعال اکسیژن (ROS) و کاهش اثرات تخریبی آنها کمک کند. مطالعه فرید و همکاران (Faried *et al*., 2017) نیز نشان داد که شوری مقدار فعالیت آنزیم کاتالاز را در مقایسه با تیمار شاهد به صورت معنی‌داری افزایش داد.

پلی فنل اکسیداز

با افزایش سطح شوری مقدار فعالیت آنزیم پلی‌فنل اکسیداز افزایش یافت. به‌طوری‌که در سطح شوری ۱۰۰ میلی‌مولار بیشترین میزان فعالیت این آنزیم مشاهده شد و در این سطح شوری مصرف بتااسترادیول تأثیر معنی‌داری بر

فعالیت این آنزیم نداشت. به‌طوری‌که تفاوت معنی‌داری بین سطوح هورمون بتااسترادیول در سطح شوری ۱۰۰ میلی‌مولار مشاهده نشد. اما در سطوح دیگر شوری مصرف بتااسترادیول توانست باعث افزایش مقدار فعالیت آنزیم پلی‌فنل اکسیداز شود (جدول ۳).

نتایج مقایسات میانگین نشان داد که در سطح شوری ۱۰۰ میلی‌مولار، غیر از ژنوتیپ G10 بقیه ژنوتیپ‌های سیب‌زمینی بیشترین محتوی آنزیم پلی فنل اکسیداز را به خود اختصاص دادند. در سطح شوری ۵۰ میلی‌مولار نیز، ژنوتیپ‌های G4، G5 و G6 بیشترین محتوی آنزیم پلی‌فنل اکسیداز را داشتند (جدول ۴). در مطالعه‌ی آقایی و همکاران (Aghaei *et al*., 2009) خصوصیات آنتی‌اکسیدانی و یونی یک واریته مقاوم به شوری (cv. Kennebec) و یک واریته حساس به شوری (cv. Concord) در سطوح مختلف شوری مورد ارزیابی قرار گرفت آنها مشاهده کردند که مقدار فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان آسکوربات پراکسیداز، کاتالاز و سوپراکسید دیسموتاز در واریته حساس Concord در سطوح محتلف شوری کاهش یافت. این در حالی بود که مقدار فعالیت آنزیم‌های مذکور در رقم مقاوم Kennebec در سطوح مختلف شوری به‌صورت معنی‌داری افزایش نشان داد. فرید و همکاران (Faried *et al*., 2017) نیز اظهار داشتند شوری بر فعالیت پلی فنل اکسیداز افزود. گزارش شده است که کاربرد هورمون بتااسترادیول از طریق بهبود فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان به‌خصوص سوپراکسید دیسموتاز، کاتالاز و پلی‌فنل اکسیداز اثر تنش عناصر سنگین (مس) را بر گیاهچه‌های عدس تعدیل می‌کند (Chaoui and El Ferjani, 2013). مطالعات اردال (Erdal, 2012 a,b) نشان داد که تیمار گیاهچه‌های ذرت و گندم با هورمون‌های استروئیدی در شرایط تنش شوری به‌طور قابل توجهی اثرات شوری را بهبود می‌بخشد و موجب افزایش میزان پروتئین، قند محلول، محتوای پرولین و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان سوپراکسید دیسموتاز، کاتالاز و پراکسیداز شده و تولید سوپراکسید و پراکسیداسیون لیپیدی را کاهش می‌شود. گنیسل و همکاران (Genisel *et al*., 2013) نیز نشان دادند که فعالیت سیستم آنتی‌اکسیدانی گیاهچه‌های نخود تحت تنش سرما تحت تأثیر هورمون‌های جنسی پستانداران افزایش می‌یابد.

نتیجه‌گیری کلی

در مطالعه حاضر استفاده از هورمون بتااسترادیول در هر دو سطح 10^{-12} و 10^{-6} مولار علاوه بر اینکه موجب بهبود خصوصیات کمّی و کیفی سیب‌زمینی شد، با بهبود خصوصیات بیوشیمیایی و آنتی‌اکسیدانی توانست اثر تنش شوری را بر خصوصیات مورد بررسی تعدیل کند. بنابراین، استفاده از این ترکیب می‌تواند در تعدیل اثرات تنش شوری و افزایش عملکرد مؤثر باشد. در این مطالعه ژنوتیپ‌های G5 و G6 در شرایط تنش شوری به‌طور نسبی از تعداد و وزن غده‌چه در بوته بالایی برخوردار بودند، بنابراین گزینش ژنوتیپ‌های مذکور برای برنامه‌های اصلاحی آتی توصیه می‌شوند. همچنین، این دو ژنوتیپ در بین ژنوتیپ‌های مورد بررسی در سطوح 10^{-12} و 10^{-6} مولار بتااسترادیول بیشترین تعداد و وزن غده‌چه در بوته را به خود اختصاص دادند. می‌توان نتیجه گرفت پتانسیل ژنتیکی این ژنوتیپ‌ها جهت جذب و بکارگیری این هورمون در مقایسه با دیگر ژنوتیپ‌های مورد بررسی بالاتر است.

جدول ۱- فهرست و منشأ ژنوتیپ‌های سیب‌زمینی مورد بررسی
Table 1- List and origin of studied potato genotypes

شماره No.	ژنوتیپ Genotype	منشأ Origin
1	Milva-G4	A genotype obtained from irradiated plants of Milva potato cultivar by Gamma ray (M1V3 generation)
2	Esprit-G8	A genotype obtained from irradiated plants of Esprit potato cultivar by Gamma ray (M1V3 generation)
3	Agria-G1	A genotype obtained from irradiated plants of Agria potato cultivar by Gamma ray (M1V3 generation)
4	Satina-G10	A genotype obtained from irradiated plants of Satina potato cultivar by Gamma ray (M1V3 generation)
5	Caesar-G9	A genotype obtained from irradiated plants of Caesar potato cultivar by Gamma ray (M1V3 generation)
6	Milva-EMS11	A genotype obtained from irradiated plants of Milva potato cultivar by Ethyl-Methane-Sulfonate (EMS) (M1V3 generation)
7	Jelly-EMS1	A genotype obtained from irradiated plants of Jelly potato cultivar by Ethyl-Methane-Sulfonate (EMS) (M1V3 generation)
8	Banab-G8	A genotype obtained from irradiated plants of Banab potato cultivar by Gamma ray (M1V3 generation)
9	Jelly-EMS2	A genotype obtained from irradiated plants of Jelly potato cultivar by Ethyl-Methane-Sulfonate (EMS) (M1V3 generation)
10	Banab-G4	A genotype obtained from irradiated plants of Banab potato cultivar by Gamma ray (M1V3 generation)

جدول ۲- تجزیه واریانس برخی از خصوصیات کمی و کیفی در ژنوتیپ‌های مختلف سیب‌زمینی

Table 2- Analysis of variance of some quantitative and qualitative characteristics in different genotypes of potato

منابع تغییر S.O.V.	درجه آزادی df	ارتفاع بوته Plant Height	تعداد غده‌چه در بوته Number of Tubers Per Plant	متوسط وزن غده‌چه Average Tubers Weight	وزن غده‌چه در بوته Tubers Weight per Plant	درصد ماده خشک غده Dry Matter Percent	درصد قند محلول Soluble sugar percentage
بلوک R	2	18.56^{ns}	0.07^{ns}	1.18^{ns}	414.0^{ns}	0.39^{ns}	0.0027ns
شوری Salt	2	3181.57**	16.49**	424.97**	40308.5**	0.75^{ns}	0.18**
هورمون Hormone	2	521.47**	2.87**	280.55**	23895.5**	0.08^{ns}	0.03**
شوری × هورمون S×H	4	168.48**	0.31**	6.07**	1720.2**	0.38^{ns}	0.0068**
خطای اول Ea	16	6.98	0.06	0.86	114.7	0.29	0.00069
ژنوتیپ Genotype	9	93.19**	0.65**	20.87**	6894.8**	2.74**	0.0053**
شوری × ژنوتیپ S×G	18	82.83**	0.83**	8.47**	437.9**	0.28^{ns}	0.0045**
هورمون× ژنوتیپ H×G	18	17.62**	0.51**	1.65**	825.1**	0.66*	0.0014**
شوری × هورمون× ژنوتیپ S×H×G	36	1.65^{ns}	0.02ns	0.17^{ns}	56.2^{ns}	0.15^{ns}	0.0001ns
خطا دوم Eb	162	2.55	0.07	0.38	41.6	0.39	0.0003
ضریب تغییرات (٪) C.V.		5.77	6.10	4.90	9.37	6.05	7.54

ns، *، ** به ترتیب نشان‌دهنده معنی‌دار نشدن، معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد و ۱ درصد.

ns, *, ** indicate non-significance, significance at 5% and 1% probability levels, respectively.

ادامه جدول ۲-

Table 2- Continued

منابع تغییر S.O.V.	درجه آزادی df	درصد نشاسته Starch Percent	پرولین برگ Leaf Prolin	سوپراکسید دیسموتاز Superoxide dismutase	کاتالاز Catalase	پلی فنل اکسیداز Polyphenol oxidase
بلوک R	2	16.56^{ns}	825.12^{ns}	0.09^{ns}	0.18^{ns}	0.18^{ns}
شوری Salt	2	1313.26**	141403**	16.23**	60.51**	18.14**
هورمون Hormone	2	955.83**	843.85^{ns}	4.34**	39.95**	2.31**
شوری × هورمون S×H	4	114.34**	783.31^{ns}	0.85**	0.86**	0.17^{ns}
خطای اول Ea	16	27.67	311.17	0.03	0.12	0.06
ژنوتیپ Genotype	9	275.79**	41.42**	0.47**	2.96**	0.91**
شوری × ژنوتیپ S×G	18	10.56**	7488.33**	0.42**	1.20**	0.52**
هورمون× ژنوتیپ H×G	18	33.00**	81.41^{ns}	0.08**	0.23**	0.24**
شوری × هورمون× ژنوتیپ S×H×G	36	2.57^{ns}	140.87^{ns}	0.01^{ns}	0.03^{ns}	0.11^{ns}
خطا دوم Eb	162	3.06	114.58	0.01	0.05	0.10
ضریب تغییرات (٪) C.V.	-	12.72	2.45	3.77	4.90	7.23

ns، *، ** به ترتیب نشان‌دهنده معنی‌دار نشدن، معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد و ۱ درصد.

ns, *, ** indicate non-significance, significance at 5% and 1% probability levels, respectively.

جدول ۳- مقایسه میانگین ترکیبات تیماری حاصل از برهمکنش هورمون بتااسترادیول و سطوح تنش شوری از لحاظ صفات مورد بررسی

Table 3- Mean comparison of treatments resulting from the interaction of β-estradiol and salt stress in terms of the studied traits

شوری Salt	بتااسترادیول (مولار) Beta-Estradiol	ارتفاع بوته Plant Height (cm)	تعداد غده‌چه در بوته Number of Tubers Per Plant	وزن متوسط غده‌چه Average Tubers Weight (g)	وزن غده‌چه در بوته Tubers Weight per Plant (g)	درصد نشاسته غده Starch Percent	درصد قند محلول Soluble sugar percentage (%)	سوپراکسید دیسموتاز Superoxide dismutase μmol g^{-1} FW	کاتالاز Catalase μmol g^{-1} FW	پلی فنل اکسیداز Polyphenol oxidase μmol g^{-1} FW
شاهد (صفر)	0	62.12	5.00	12.62	63.65	12.72	0.458	3.33	3.31	3.73
	10^{-12}	64.83	6.60	16.59	109.71	15.27	0.493	3.72	4.28	4.00
	10^{-6}	65.49	6.45	14.54	93.43	19.28	0.525	4.07	4.030	4.20
۵۰ میلی‌مولار	0	54.05	4.80	10.79	52.10	10.42	0.504	3.83	4.07	4.06
	10^{-12}	57.86	5.600	14.78	83.57	18.68	0.549	4.27	5.57	4.60
	10^{-6}	60.16	5.750	13.11	76.39	19.37	0.536	4.11	4.94	4.26
۱۰۰ میلی مولار	0	47.04	4.00	8.78	35.59	7.11	0.571	4.41	4.76	4.80
	10^{-12}	57.41	4.450	11.36	51.55	10.61	0.588	4.65	6.26	4.83
	10^{-6}	52.45	4.90	10.68	53.06	10.30	0.585	4.60	5.48	4.96
	LSD (5%)	1.4462	0.1341	0.5076	5.8623	2.8793	0.0143	0.0948	0.1896	0.1341

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد هستند.

Means with same letters in each column have no significant difference at the 5% probability level.

جدول ۴- مقایسه میانگین ترکیبات تیماری حاصل از برهمکنش ژنوتیپ‌های سیب‌زمینی و سطوح تنش شوری از لحاظ اثر بر صفات مورد بررسی

Table 4- Mean comparison of treatments resulting from the interaction of potato genotypes and salt stress levels in terms of effect on the studied traits

شوری S	ژنوتیپ G	ارتفاع بوته Plant Heigh (cm)	تعداد غده‌چه در بوته Number of Tubers Per Plant (g)	وزن متوسط غده‌چه Average Tubers Weight (g)	وزن غده‌چه در بوته Tubers Weight per Plant (g)	درصد ماده خشک Dry Matter Percentage (%)	درصد نشاسته Starch Percentage (%)
صفر	1	67.24	6.16	17.21	109.57	20.81	18.52
	2	66.69	6.83	13.94	96.82	20.39	17.66
	3	62.86	6.16	15.04	93.26	21.26	17.15
	4	69.83	6.00	12.94	78.60	19.98	14.52
	5	60.27	6.83	13.59	94.70	20.20	18.41
	6	63.40	7.33	16.00	116.72	20.16	21.46
	7	66.69	6.00	14.78	88.02	20.72	14.07
	8	67.65	5.166	12.91	68.37	20.50	11.61
	9	60.95	5.16	13.79	71.88	20.33	12.12
	10	55.89	4.50	15.66	71.36	20.16	12.08
۵۰ میلی مولار	1	53.98	5.66	13.49	77.55	20.87	18.90
	2	56.03	5.83	11.85	70.07	20.67	15.71
	3	56.85	6.00	13.77	83.43	21.90	18.18
	4	61.77	5.50	13.12	72.58	20.24	15.70
	5	58.90	6.33	14.36	93.15	20.64	19.15
	6	61.35	6.66	14.10	93.69	20.08	20.62
	7	54.94	4.83	12.10	57.73	20.56	15.07
	8	55.62	4.16	11.20	47.58	20.48	11.57
	9	58.76	4.16	12.38	52.43	20.50	12.73
	10	55.35	4.66	12.55	58.65	20.28	13.92
۱۰۰ میلی مولار	1	52.20	5.33	10.63	57.51	20.59	11.50
	2	51.66	4.66	10.41	49.79	20.36	9.95
	3	49.06	4.50	8.29	38.21	20.88	7.64
	4	54.25	4.33	9.40	41.12	20.29	8.22
	5	51.79	6.500	11.59	76.11	20.63	15.22
	6	53.02	6.500	11.66	76.70	20.94	15.33
	7	50.56	3.83	9.82	37.31	20.58	7.46
	8	51.52	3.00	9.74	29.24	20.33	5.84
	9	55.21	3.166	9.890	31.14	20.75	6.22
	10	53.71	2.666	11.31	30.21	20.61	6.04
	LSD (5%)	1.5040	0.2491	0.5806	6.0748	0.5882	1.6476

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد هستند.

Means with same letters in each column have no significant difference at the 5% probability level.

ادامه جدول ۴-

Table 4- Continued

شوری S	ژنوتیپ G	درصد قند محلول Soluble sugar percentage	پرولین Prolin (µmol g^{-1} FW)	سوپراکسید دیسموتاز Superoxide dismutase (µmol g^{-1} FW)	کاتالاز Catalase (µmol g^{-1} FW)	پلی فنل اکسیداز Polyphenol oxidase (µmol g^{-1} FW)
صفر	1	0.491	398.04	3.72	4.01	3.77
	2	0.487	394.40	3.69	3.92	3.88
	3	0.468	411.71	3.50	3.13	3.66
	4	0.499	383.47	3.57	3.54	4.00
	5	0.488	395.31	3.69	4.37	3.88
	6	0.506	407.09	3.87	4.40	4.22
	7	0.479	387.11	3.61	3.70	4.00
	8	0.486	393.49	3.68	3.67	4.00
	9	0.514	418.09	3.94	3.73	4.11
	10	0.502	408.07	3.83	4.26	4.22
۵۰ میلی مولار	1	0.504	409.89	3.85	5.09	4.00
	2	0.520	423.56	4.00	4.47	4.33
	3	0.526	461.82	4.06	5.19	4.22
	4	0.557	439.04	4.16	4.95	4.77
	5	0.541	442.69	4.20	5.42	4.33
	6	0.563	459.02	4.41	5.32	4.77
	7	0.512	416.27	3.92	4.56	4.22
	8	0.517	420.82	3.97	4.22	4.00
	9	0.540	441.78	4.19	4.67	4.44
	10	0.515	419.00	3.95	4.73	4.00
۱۰۰ میلی مولار	1	0.604	498.27	4.80	6.49	5.00
	2	0.600	494.62	4.76	5.26	5.00
	3	0.571	515.58	4.49	5.67	4.88
	4	0.579	452.71	4.31	4.88	4.88
	5	0.552	451.80	4.30	5.13	4.66
	6	0.623	499.11	4.98	6.03	5.33
	7	0.600	494.62	4.76	5.57	5.00
	8	0.607	501.00	4.83	4.87	5.00
	9	0.557	456.36	4.35	5.20	4.77
	10	0.519	422.64	3.99	5.91	4.11
	LSD (%%)	0.0163	10.0819	0.0942	0.2106	0.2978

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد هستند.

Means with same letters in each column have no significant difference at the 5% probability level.

جدول ۵- مقایسه میانگین ترکیبات تیماری حاصل از برهمکنش ژنوتیپ‌های سیب‌زمینی و سطوح بتااسترادیول از لحاظ اثر بر صفات مورد بررسی

Table 5- Mean comparison of treatments resulting from the interaction of potato genotypes and Beta-Estradiol levels in terms of effect on the studied traits

هورمون S	ژنوتیپ G	ارتفاع بوته Plant Height (cm)	تعداد غده-چه در بوته Number of Tubers Per Plant (g)	وزن متوسط غده‌چه Average Tubers Weight (g)	وزن غده‌چه در بوته Tubers Weight per Plant (g)	درصد نشاسته Starch Percent	درصد قند محلول Soluble sugar percentage	سوپراکسید دیسموتاز Superoxide dismutase µmol g^{-1} FW	کاتالاز Catalase µmol g^{-1} FW	پلی فنل اکسیداز Polyphenol oxidase µmol g^{-1} FW
صفر	1	55.35	4.33	11.59	50.83	10.18	0.515	3.95	4.37	4.11
	2	53.02	4.66	10.39	49.94	9.98	0.497	3.78	3.92	4.22
	3	52.48	4.66	10.45	50.96	10.18	0.493	3.74	3.94	4.00
	4	57.12	4.50	10.27	46.59	9.31	0.543	3.69	3.87	4.44
	5	54.25	4.83	11.18	53.72	10.74	0.506	3.87	4.22	4.00
	6	54.66	6.16	12.40	77.26	15.44	0.528	4.08	4.68	4.44
	7	55.76	5.50	9.94	55.92	11.20	0.518	3.98	3.75	4.33
	8	55.21	3.83	9.30	35.85	7.16	0.514	3.94	3.50	4.22
	9	56.03	3.83	10.46	40.70	8.14	0.520	4.00	3.94	4.22
	10	50.15	3.66	11.31	42.55	8.53	0.476	3.58	4.26	4.00
10^{-12} مولار	1	59.31	6.50	15.87	105.80	17.57	0.540	4.19	5.98	4.33
	2	60.40	6.66	14.10	95.97	14.16	0.557	4.35	5.32	4.66
	3	57.94	5.83	14.15	85.65	15.65	0.537	4.16	5.34	4.55
	4	65.73	5.16	13.31	71.41	14.86	0.533	4.14	5.02	4.55
	5	58.49	7.00	14.81	104.08	21.24	0.536	4.15	5.58	4.55
	6	62.04	6.50	15.41	99.91	22.00	0.572	4.50	5.81	4.66
	7	56.85	4.66	14.01	68.01	11.82	0.546	4.25	5.28	4.55
	8	61.50	4.50	13.20	62.71	9.31	0.535	4.14	4.98	4.33
	9	59.72	4.50	13.64	63.05	10.33	0.543	4.22	5.14	4.55
	10	58.35	4.16	13.95	59.58	11.60	0.523	4.03	5.26	4.00
10^{-6} مولار	1	58.76	6.33	13.88	87.88	21.16	0.544	4.23	5.23	4.33
	2	60.95	6.00	11.70	70.77	19.18	0.553	4.31	4.41	4.33
	3	58.35	6.16	12.49	78.35	17.14	0.534	4.13	4.71	4.22
	4	63.00	6.16	11.88	74.19	14.28	0.560	4.21	4.48	4.66
	5	58.22	7.83	13.55	106.22	20.79	0.538	4.17	5.11	4.33
	6	61.08	7.85	13.95	110.07	19.97	0.593	4.69	5.26	5.22
	7	59.58	4.50	12.75	59.11	13.58	0.526	4.06	4.81	4.33
	8	58.08	4.00	11.35	46.48	12.55	0.561	4.39	4.28	4.44
	9	59.17	4.16	11.96	51.65	12.61	0.547	4.26	4.51	4.55
	10	56.44	4.00	14.25	58.05	11.90	0.537	4.16	5.38	4.33
	LSD (5%)	1.5040	0.2491	0.5806	6.0748	1.6176	0.0163	0.0942	0.2106	0.2978

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون فاقد اختلاف معنی دار در سطح احتمال ۵ درصد هستند.

Means with same letters in each column have no significant difference at the 5% probability level.

References منابع مورد استفاده

- Aghaei, K., A.A. Ehsanpour, and S. Komatsu. 2009. Potato responds to salt stress by increased activity of antioxidant enzymes. *Journal of Integrative Plant Biology*. 51(12): 1095–1103.
- Ahmed, H.A.A., N. Koçak Şahin, G. Akdoğan, C. Yaman, D. Köm, and S. Uranbey. 2020. Variability in salinity stress tolerance of potato (*Solanum tuberosum* L.) varieties using in vitro screening. *Ciência e Agrotecnologia*. 44: 1-14.
- Amerian, M., and M. Esna-Ashari. 2017. Effect of different levels of salinity on some physiological and cells-growth characteristics in three potato (*Solanum tubrosum* L.) cultivars *in vitro*. *Plant Production Technology*. 17(1): 209-225. (In Persian).
- Asada, K., M. Takahashi, and M. Nagate. 1974. Assay and inhibitors of spinach superoxide dismutase. *Agricultural and Biological Chemistry*. 38: 471-473.
- Bates, L.S., R.P. Waldren, and I.D. Teare. 1973. Rapid determination of free proline for water stress studies. *Plant and Soil*. 39: 205-207.
- Bradford, M.M. 1976. A rapid and sensitive method for the qualify cation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein dye binding. *Analytical Biochemistry*. 72: 248-254.
- Brown, C. 2006. The effects of estrogen on the growth and tuberization of potato plants (*Solanum tuberosum* cv. 'Iwa') grown in liquid tissue culture media. A Thesis for the Degree of Master of Science in Plant Biotechnology. University of Canterbury School of Biological Sciences. 128P
- Bruce, W., O. Folkerts, C. Garnaat, O. Crasta, B. Roth, and B. Bowen. 2000. Expression profiling of the maize flavonoid pathway genes controlled by estradiol-inducible transcription factors CRC and P. *Plant Cell*. 12: 65–80.
- Bündig, C., T.H. Vu, P. Meise, S. Seddig, and A. Schum. 2016. Winkelmann variability in osmotic stress tolerance of starch potato genotypes (*Solanum tuberosum* L.) as revealed by an *in vitro* screening: Role of proline, osmotic adjustment and drought response in pot trials. *Journal of Agronomy and Crop Science*. 203: 206-218.
- Carreau, S., C. Delalande, D. Silandre, S. Bourguiba, and S. Lambard. 2004. Aromatase and estrogen receptors in male reproduction. *Molecular and Cellular Endocrinology*. 246(1): 65-68.
- Chaoui, A., and E. El Ferjani. 2013. β-Estradiol protects embryo growth from heavy-metal toxicity in germinating lentil seeds. *Journal of Plant Growth Regulation*. 32 (1): 1-16.
- Charfeddine, M., S. Charfeddine, I. Ghazala, D. Bouaziz, and A. Radhia Gargouri Bouzid. 2019. Investigation of the response to salinity of transgenic potato plants overexpressing the transcription factor StERF94. *Journal of Biosciences*. 44(141): 2-16.
- Chinsamy, M., M.G. Kulkarni, and S. Van. 2013. Gardenwaste- vermicompost leachate alleviates salinity stress in tomato seedlings by mobilizing salt tolerance mechanisms. *Plant Growth Regulation*. 71: 41–47.
- Çulha, Ş., and H. Çakirlar, 2011. The effect of salinity on plants and salt tolerance mechanisms. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*. 11: 11-34.

- Dumlupinar, R., M. Genisel Erdal, T. Korkut, M.S. Taspinar, and T. Taskin. 2011. Effects of progesterone, β-estradiol and androsterone on the changes of inorganic element content in barley leaves. *Biological Trace Element Research*. 143: 1740–1745.
- Eisenbarth, D.A., and A.R. Weig. 2005. Dynamics of aquaporins and water relations during hypocotyl elongation in *Ricinus communis* L. seedlings. *Journal of Experimental Botany.* 56: 1831–1842.
- Erdal, S. 2011. Alleviation of salt stress in wheat seedlings by mammalian sex hormones. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 92: 1411-1416.
- Erdal, S. 2012a. Exogenous mammalian sex hormones mitigate inhibition in growth by enhancing antioxidant activity and synthesis reactions in germinating maize seeds under salt stress. *Science of Food and Agriculture*. 92: 839–843.
- Erdal, S. 2012b. Alleviation of salt stress in wheat seedlings by mammalian sex hormones. *Science of Food and Agriculture*. 92: 1411–1416.
- Erdal, S., and R. Dumlupinar. 2011. Mammalian sex hormones stimulate antioxidant system and enhance growth of chickpea plants. *Acta Physiologiae Plantarum*. 33: 1011–1017.
- Faried, H.N., C. Muhammad Ayyub, M. Amjad Rashid Ahmed, F. MasoudWattoo, and M. Butt. 2017. Salicylic acid confers salt tolerance in potato plants by improving water relations, gaseous exchange, antioxidant activities and osmoregulation. *Science of Food and Agriculture*. 97 (6): 1868-1875.
- Genisel, M., H. Turk, and S. Erdal. 2013. Exogenous progesterone application protects chickpea seedlings against chilling-induced oxidative stress. *Acta Physiologiae Plantarum*. 35(1): 241–251.
- Gu, F., R. Hata, K. Toku, L.Yang, Y.J. Ma, and N. Maeda. 2003. Testosterone up-regulates aquaporin-4 expression in cultured astrocytes. *Journal of Neuroscience Research*. 72: 709-715.
- Hassanpanah, D., and R. Asghari Zakaria. 2018. Evaluation of radiated potato genotypes with gamma rays in water deficit stress. *Agricultural Science and Sustainable Production.* 28(2): 107-122. (In Persian).
- Homayoun, H., P. Mehrabi, and M. Sam Daliri. 2011. Study of salinity stress effect on two commercial varieties of potato (*Solanum tuberosum* L.) after transmitting to green house from *in vitro* culture. *American-Eurasian Journal of Agricultural & Environmental Sciences.* 11(5): 725-728.
- Isayenkov, S.V., and F.J.M. Maathuis. 2019. Plant salinity stress: Many unanswered questions remain. *Frontiers in Plant Science*. 10(80): 1-11.
- Janeczko, A. 2000. Influence of selected steroids on plant physiological processes especially flowering induction. Ph.D. Thesis, Agriculture University, Krakow.
- Janeczko, A., and A. Skoczowski. 2005. Mammalian sex hormones in plants. *Folia Histochemica ET Cytobiologica.* 43(2): 71-79.
- Janeczko, A., W. Filek, J. Biesaga-Kościelniak, I. Marcińska, and Z. Janeczko. 2003. The influence of animal sex hormones on the induction of flowering in *Arabidopsis thaliana*: comparison with the effect of 24-Epibrassinolide. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture.* 72: 147-151

- Jensen, C.R., A. Battilani, F. Plauborg, G. Psarras, K. Chartzoulakis, F. Janowiak, R. Stikic, Z. Jovanovic, G. Li, X. Qi, F. Liu, S.E. Jacobsen, and M.N. Andersen. 2010. Deficit irrigation based on drought tolerance and root signalling in potatoes and tomatoes. *Agricultural Water Management.* 98(3): 403-413.
- Jha, G., O.P. Choudhary, and R. Sharda Manuel Tejada Moral. 2017. Comparative effects of saline water on yield and quality of potato under drip and furrow irrigation. *Cogent Food and Agriculture*. 3(1): 2-14.
- Jing, X., P. Hou, Y. Lu, S. Deng, N. Li, R. Zhao, J. Sun, Y. Wang, Y. Han, T. Lang, M. Ding, X. Shen, and S. Chen. 2015. Overexpression of copper/zinc superoxide dismutase from mangrove Kandelia candel in tobacco enhances salinity tolerance by the reduction of reactive oxygen species in chloroplast. *Frontiers in Plant Science*. 6(23): 1-13.
- Kafi, M., J. Nabati, B. Saadatian, A. Oskoiyan, and E. Boroumand Rezazadeh. 2016. Adjustment of salinity effect by silicon compounds (nano and micro) and potassium on in potato. 15th National Iranian Crop Science Congress. Sep. 4-6, 2018. Karaj, Iran. (In Persian).
- Kar, M., and D. Mishra .1976. Catalase, peroxidase, and polyphenoloxidase activities during rice leaf senescence. *Plant Physiology*. 57(2): 315-319.
- Khalid, A., and F. Aftab. 2016. Effect of exogenous application of 24-epibrassinolideon growth, protein contents, and antioxidant enzyme activities of in vitro-grown (*Solanum tuberosum* L.) under salt stress. *In Vitro Cellular and Developmental Biology-Plant*. 52: 81-91.
- Krauss, S., W.H. Schnitzler, J. Grassmann, and M. Woitke. 2006. The influence of different electrical conductivity values in a simplified recirculating soilless system on inner and outer fruit quality characteristics of tomato. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 54: 441–448.
- Levy, D., and G.C.C. Tai. 2013. Differential response of potatoes (*Solanum tuberosum* L.) to salinity in an arid environment and field performance of the seed tubers grown with fresh water in the following season. *Agricultural Water Management*. 116: 122–127.
- McCready, R.M., J. Guggolz, V. Silviera, and H.S. Owens. 1950. Determination of starch and amylose in vegetables. *Analytical Chemistry*. 22: 1156–1158.
- Moghaddaszadeh-Ahrabi, M., R. Asghari Zakaria, D. Hassanpanah, and N. Zare. 2018. Evaluation of agronomic traits and yield stability in several potato (*Solanum tuberosum* L.) genotypes. *Journal of Crop Ecophysiology.*12(45): 153-170 (In Persian).
- Mohammadi, Z., A. Motallebi Azar, F. Zaare-Nahandi, A. Tarinejad, and G. Gohari. 2019. Effect of sodium nitroprusside on growth, physiological and biochemical characters of *Solanum tuberosum* cv. Agria under salinity stress on in vitro condition. *Journal of Plant Production Research.* 26(1): 155-167. (In Persian).
- Morillon, R., M. Catterou, R.S. Sangwan, B.S. Sangwan, and J.P. Lassalles. 2001. Brassinolide may control aquaporin activities in *Arabidopsis thaliana*. *Planta*. 212: 199-204.
- Morsy, M.R., L. Jouve, J.F. Hausman, L. Hoffmann, and J.M. Stewart. 2007. Alteration of oxidative and carbohydrate metabolism under abiotic stress in two

rice (*Oryza sativa* L.) genotypes contrasting in chilling tolerance. *Journal of Plant Physiology.* 164: 157–67.

- Munira, S., M.M. Hossain, M. Zakaria, J.U. Ahmed, and M.M. Islam. 2015. Evaluation of potato varieties against salinity stress in Bangladesh. *International Journal of Plant & Soil Science*. 6(2): 73-81.
- Nouri, A., A. Ahmad Nezami, M. Kafi, and D. Hassanpanah. 2016. Evaluation of water deficit tolerance of 10 potato cultivars based on some physiological traits and (*Solanum tuberosum* L.) tuber yield in Ardabil region. *Journal of Crop Ecophysiology*. 1(37): 243-268. (In Persian).
- Nozari, E., R. Asghari-Zakaria, S. Jahanbakhsh, and N. Zare. 2018. The effect of steroidal testosterone hormone on seedling growth, antioxidant enzymes activity and callus induction in German chamomile (*Matricaria chamomilla* L.). *Journal of Crop Breeding.* 10(27): 31-38. (In Persian).
- Parihar, P., S. Singh, R. Singh, V. Pratap Singh, and S. Mohan Prasad. 2015. Effect of salinity stress on plants and its tolerance strategies: A review. *Environmental Science and Pollution Research*. 22(6): 4056-4075.
- Patade, V.Y., P. Suprasanna, and V.A. Bapat. 2006. Selection for abiotic (salinity and drought) stress tolerance and molecular characterization of tolerance lines in sugarcane. The National Conference on Biotechnological Aspects towards Cultivation, Utilization and Disease Management of Plants. Issue. 273.
- Perez-Gomez, J.J., M. Abud-Archila, J. Jose Villalobos-Maldonado, S. Enciso-Saenz, H. Hernandez deLeon, V.M. Ruiz-Valdiviezo, and F.A. Gutierrez-Miceli. 2017. Vermicompost and vermiwash minimized the influence of salinity stress on growth parameters in potato plants. *Compost Science & Utilization*. 12: 1-7.
- Rykaczewska, K. 2013. The impact of high temperature during growing season on potato cultivars with different response to environmental stresses. *American Journal of Plant Sciences*. 4: 2386–2393.
- Schlegel, H.G. 1956. Die verwertung organischer sauren durch chlorella in lincht. *Planta*. 47: 510-515.
- Shibli, R.A., M. Kushad, G.G. Yousef, and M. Lila, 2007. Physiological and biochemical responses of tomato micro shoots to induced salinity stress with associated ethylene accumulation. *Plant Growth Regulation*. 51: 159-169.
- Shimazaki, T., T. Endo, M. Kasuga, K. Yamaguchi-Shinozaki, K.N. Watanabe, and A. Kikuchi. 2017. Evaluation of the yield of abiotic-stress-tolerant *tDREB1A* transgenic potato under saline conditions in advance of field trials. *Breeding Science*. 66: 703–710.
- Simersky, R., O. Nova´, K.D.A. Morris, V. Pouzar, and M. Strnad .2009. Identification and quantification of several mammalian steroid hormones in plants by UPLC–MS/MS. *Journal of Plant Growth Regulation*. 28: 125–136.
- Sudhersan, C., S. Jibi Manuel, J. Ashkanani, and A. Al-Ajeel. 2012. In vitro screening of potato cultivars for salinity tolerance. *American-Eurasian Journal of Sustainable Agriculture*. 6(4): 344-348.
- Uranbey, S., D. Köm, G. Akdoğan, H.A.A. Ahmed, N. Koçak, and M.E. Kara. 2017. The effects of salt stress on expression of Asg1 gene related stomatal resistance in potato. *Mediterranean Agricultural Sciences*. 30(3): 235-238.

- Velikova, V., I. Yordanov, and A. Edreva .2000. Oxidative stress and some antioxidant systems in acid rain treated bean plants. Protective role of exogenous polyamines. *Plant Science*. 151: 59-66.
- Wang, L., Y. Liu, D. Li, S. Feng, J. Yang, J. Zhang, J. Zhang, D. Wang, and Y. Gan. 2017. Improving salt tolerance in potato through overexpression of *AtHKT1* gene. *BMC Plant Biology*. 9(357): 1-57.
- Zaman, S.M., G.M. Ali, A. Muhammad, and I. Hussain. 2015. In vitro screening of salt tolerance in potato (*Solanum tuberosum* L.) varieties. *Sarhad Journal of Agriculture.* 31(2): 106-113.

Research Article DOI:10.30495/JCEP.202201911931.1721

Beta-Estradiol Hormone Application to Increase Salt Tolerance of Different Potato Genotypes (*Solanum tuberosum* L.)

Fahimeh Jidar[1], Rasool Asghari Zakaria[2]*, Nasser Zare [2], Davood Hassanpanah[3] and Leila Ghaffarzadeh Namazi[4]

Received: October 2020 , Revised: 4 February 2021, Accepted: 28 March 2021

Abstract

This experiment was performed to investigate the effect of beta estradiol hormone application on increasing salinity stress tolerance of different potato genotypes in a factorial split plot experiment based on a randomized complete block design with three replications in Mohaghegh Ardabili University in 2020. Salinity stresses with three levels (0, 50 and 100 mM sodium chloride) and beta-estradiol also with three levels (0, 10^{-12} and 6^{-10} M) were assigned to main plots, and 10 potato genotypes to subplots. The results revealed that plant height, number and weight of minituber per plant, average tuber weight and content of antioxidant enzymes in the studied genotypes showed a positive response to beta-estradiol. Thus, with increasing the amount of beta-estradiol application from 10^{-12} to 10^{-6} M, the number and weight of minitubers increased in most of the studied genotypes, but the amount of this increase was varied between genotypes. G5 and G6 genotypes with an average of 7.85 and 7.83 minitubers had the highest number of tubers per plant at 10^{-6} M beta-estradiol, respectively. The lowest value of this trait belonged to G10 genotype with an average of 3.66 minitubers, without significant differences with those of G8 and G9 genotypes. With increasing salinity level, the enzymes of superoxide dismutase, catalase and polyphenol oxidase and also soluble sugars were increased. In all of three salinity levels, beta-estradiol application significantly increased the levels of these enzymes. The highest levels of these enzymes were observed at salinity level of 100 mM with the use of 10^{-12} or 6^{-10} M beta estradiol. In this study, the use of beta-estradiol, depending on the genotype, was able to moderate the effect of salinity on the quantitative and qualitative characteristics of potatoe tubers. Overall, in this study, G5 and G6 genotypes had relatively high minituber number and weight per plant under salinity stress conditions, Thus, selection of these genotypes is recommended for future breeding programs. Also, these two genotypes had the highest number and weight of minitubers per plant at 10^{-12} and 10^{-6} M beta estradiol, which indicates that these genotypes have a high genetic potential for consumption of this hormone as compared to other genotypes.

Key words: Antioxidant enzymes, Minituber, Starch, Steroid Hormones.

1- Ph.D. Student, Dept. of Crop Production and Genetics, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardebil, Iran.
2- Prof., Deptartment of Crop Production and Genetics, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardebil, Iran.
3- Scientific Member of Horticulture and Crops Research Department, Ardabil Agricultural and Natural Resources Research Centre, AREEO, Ardabil, Iran.
4- Assistant Prof., Deptartment of Department of Plant Sciences and Medicinal Plants, Faculty of Agriculture, University of Mohaghegh Ardabili, Meshgin Shahr, Iran.
**Corresponding Author: r-asghari@uma.ac.ir*