تنش‌های محیطی در علوم زراعی
Environmental Stresses in Crop Sciences
جلد پانزدهم، شماره اول، بهار ۱۴۰۱

http://dx.doi.org/10.22077/escs.2020.3553.1873

مقاله پژوهشی

تأثیر کاربرد هورمون بتا-استرادیول بر افزایش تحمل به تنش خشکی در ژنوتیپ‌های مختلف سیب‌زمینی (*Solanum tuberosum* L.)

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

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. دانشیار، 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 تولیدات گیاهی، دانشکده کشاورزی مشکین‌شهر، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

مشخصات مقاله

واژه‌های کلیدی:
آنتی‌اکسیدان
کم‌آبی
ماده خشک
وزن غده

تاریخ دریافت:
۱۳۹۹/۰۴/۲۸

تاریخ پذیرش:
۱۳۹۹/۰۷/۱۶

تاریخ انتشار:
بهار ۱۴۰۱

۱۵(۱): ۱۱۵-۱۳۵

چکیده

به‌منظور بررسی تأثیر کاربرد هورمون بتا-استرادیول در افزایش تحمل به تنش خشکی ژنوتیپ‌های مختلف سیب‌زمینی، آزمایشی به‌صورت فاکتوریل اسپلیت پلات بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در گلخانه شرکت فناوری زرع گستر آرتا در شهرستان اردبیل در سال ۱۳۹۸ انجام شد. تیمارهای تنش کم‌آبی در سه سطح (آبیاری با تأمین ۱۰۰، ۶۰ و ۴۰ درصد آب قابل‌استفاده) و بتا-استرادیول در سه سطح صفر (شاهد)، $۱۰^{-۱۲}$ و $۱۰^{-۶}$ مولار، به‌صورت فاکتوریل در کرت‌های اصلی و ۱۰ ژنوتیپ سیب‌زمینی در کرت‌های فرعی قرار گرفتند. نتایج نشان داد که در بین ژنوتیپ‌های موردبررسی در هر سه سطح خشکی بالاترین تعداد غده‌چه در بوته به دو ژنوتیپ G3 و G6، بالاترین محتوی آب نسبی برگ به ژنوتیپ G6، بالاترین درصد قند محلول و درصد ماده خشک به ژنوتیپ G3 و بالاترین ارتفاع بوته، درصد نشاسته و درصد پروتئین به ژنوتیپ G4 اختصاص داشت. در شرایط نرمال رطوبتی ژنوتیپ‌های G6، G4 و G3 به ترتیب با متوسط ۹۶/۹۰، ۹۳/۷۷ و ۹۲/۰۴ گرم در بوته بالاترین وزن غده‌چه در بوته را به خود اختصاص دادند. در تیمار خشکی تأمین ۶۰ درصد آب قابل‌استفاده نیز اگرچه بالاترین وزن غده‌چه به ژنوتیپ G1 اختصاص داشت، اما بین ژنوتیپ مذکور و ژنوتیپ‌های G2، G3، G5 و G6 اختلاف معنی‌دار وجود نداشت. همچنین در تیمار خشکی تأمین ۴۰ درصد آب قابل‌استفاده نیز تنها اختلاف معنی‌دار بین ژنوتیپ G6 و G9 دیده شد. کاربرد بتا-استرادیول (به‌خصوص $۱۰^{-۱۲}$ مولار) در هر سه سطح خشکی سبب افزایش معنی‌دار ارتفاع بوته، متوسط وزن غده‌چه، محتوی آب نسبی برگ، درصد ماده خشک، درصد نشاسته، محتوی پرولین، محتوی آنزیم کاتالاز و پلی‌فنل‌اکسیداز شد. درنهایت، در بین ژنوتیپ‌های موردبررسی G4 در سطح $۱۰^{-۱۲}$ (با متوسط ۶۲/۲۱ گرم در بوته) بیشترین وزن غده‌چه در بوته را به خود اختصاص داد.

مقدمه

سیب‌زمینی (*Solanum tuberosum* L.) یکی از گیاهان زراعی باارزش ازنظر غذایی بوده که به‌منظور استفاده از غده آن کشت می‌شود و ازنظر اقتصاد جهانی، بعد از سه گیاه غله‌ای مهم ذرت (Zea mays L.)، برنج (*Oryza sativa* L.) و گندم (*Triticum aestivum* L.) در رتبه چهارم قرار دارد (Rykaczewska, 2013). سطح زیر کشت سیب‌زمینی و مقدار تولید آن در جهان به ترتیب حدود ۱۷/۵۸ میلیون هکتار و ۳۶۸ میلیون تن برآورد شده است (FAO, 2021). گیاه سیب‌زمینی برای رشد به ۴۰۰ تا ۸۵۰ میلی‌متر آب نیاز داشته و برخی پژوهشگران این میزان را ۹۰۰ میلی‌متر نیز گزارش نموده‌اند (Carli et al., 2014).

* نگارنده پاسخگو: رسول اصغری زکریا پست الکترونیک: r-asghari@uma.ac.ir

سیب‌زمینی ازنظر 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 (Sriom et al., 2017).

تنش‌های زنده و غیرزنده از قبیل خشکی، اثرات سوئی بر رشد و عملکرد غده سیب‌زمینی می‌گذارند و به‌منظور دستیابی به عملکرد بالا و باکیفیت، تأمین آب موردنیاز گیاه لازم است. در این حالت محتوی رطوبت خاک نباید از ۵۰ درصد کل آب قابل‌دسترس گیاه در منطقه ریشه به‌خصوص در زمان تشکیل غده کمتر باشد (Cantore et al., 2014). سیب‌زمینی به کمبود رطوبت خاک بسیار حساس است. حتی سیب‌زمینی با آبیاری خوب و کافی می‌تواند در معرض تنش آبی موقت به‌ویژه در هوای داغ و روزهای آفتابی قرار گیرد. در حقیقت هنگامی‌که سیب‌زمینی در معرض تقاضای اتمسفری بالا قرار گیرد حتی در خاک مرطوب بستن روزنه و پژمردگی نسبی ممکن است اتفاق بیافتد (Steyn et al.,2007). در مطالعه کارآیی مصرف آب و بهره‌وری آب در ژنوتیپ‌های سیب‌زمینی تحت تنش کم‌آبی، عملکرد بیولوژیک، وزن تر غده، حداکثر شاخص سطح برگ، وزن خشک، تبخیر و تعرق و مصرف آب در ژنوتیپ‌ها تحت شرایط تنش نسبت به شاهد کاهش معنی‌دار نشان داد (Samaee et al., 2016).

در مهره‌داران، هورمون‌های استروئیدی استروژنی و آندروژنی عملکردهای مهمی در تکامل و تولیدمثل دارند. استروژن‌ها و ترکیبات شبه استروژن حاصل از کود دامی، زباله‌های حیوانات و زباله‌های انسانی (بخصوص زباله‌های دارویی) در سراسر جهان به‌سرعت در خاک کشاورزی و آب‌های زیرزمینی دفع می‌شوند (Schultz et al., 2013)؛ بنابراین، غلظت استروژن در خاک بسته به نوع خاک و منبع آلاینده می‌تواند از ۰/۵ نانوگرم تا ۷۰ نانوگرم در لیتر باشد (Hanselman et al., 2013).

برخی از مطالعات نشان داده است که استفاده از هورمون‌های جنسی پستانداران بر رشد و نمو گیاهان از تقسیم سلولی گرفته تا گلدهی، رشد جنین و تعدیل اثر تنش‌های محیطی تأثیر می‌گذارد. اظهار شده است که این هورمون‌ها به‌عنوان تنظیم‌کننده‌های بالقوه رشد گیاه عمل می‌کنند (Chaoui and El Ferjani, 2013)، یکی از این مواد هورمون بتا-استرادیول ($C_{18}H_{24}O_2$) است. این هورمون جنسی در تخمدان تولیدشده و از کلسترول مشتق می‌شود که 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., 2006). در مطالعه‌ای در مورد تأثیر هورمون‌های استروئیدی پستانداران بر گیاهچه آفتابگردان (*Helianthus annuus*) گزارش شد. استفاده از β-۱۷-استرادیول باعث رشد شاخساره گردید (Bhattacharya and Gupta, 1981). همچنین کاربرد یک میکرومولار استروژن در گندم زمستانه باعث رشد برگ و ریشه شد (Janeczko, 2000). گزارش شده است استفاده از بتا-استرادیول باعث تحریک گل‌دهی در آرابیدوپس (*Arabidopsis thaliana*) می‌شود (Janeczko et al., 2003). یلسترا و همکاران (Ylstra et al., 1995) دریافتند که تیمار گیاه توتون با هورمون‌های حیوانی جوانه‌زنی گرده را افزایش داد. مشاهده شده است که آبیاری گیاه یونجه با آب فاضلاب حاوی ۰/۳ میکروگرم در لیتر استروژن منجر به افزایش رشد رویشی شد (Shore et al., 1992). همچنین در مطالعه‌ای اظهار شد بتا-استرادیول باعث کاهش رشد و تعداد ریشه‌های گیاهچه گوجه‌فرنگی می‌شود (Janeczko and Skoczowski, 2005). 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 قابل‌توجهی عوارض سوء شوری را بر طول ریشه و گیاهچه بهبود می‌بخشد و موجب افزایش پروتئین، قند محلول، محتوای پرولین و آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان سوپراکسیددیسموتاز، کاتالاز و پراکسیداز شده درحالی‌که تولید سوپراکسید و پراکسیداسیون لیپیدی را کاهش می‌دهد.

اگرچه پیشرفت‌های چشمگیری در تعیین پیامدهای بیولوژیکی و زیست‌محیطی سطوح مختلف هورمون استروژن در حیوانات حاصل شده است (Sumpter and Jobling, 2013)، اما هنوز اطلاعات زیادی در مورد اثرات هورمون‌های استروئیدی پستانداران بر گیاهان زراعی به‌عنوان منابع اصلی تأمین‌کننده غذای انسان وجود ندارد. همچنین با توجه به اینکه گیاه سیب‌زمینی یک گیاه راهبردی در منطقه اردبیل است و گیاه مذکور دوره‌ای از تنش کم‌آبی را با شدت‌های مختلف در این ناحیه تجربه می‌کند تحقیق حاضر با هدف مطالعه تأثیر کاربرد هورمون بتا-استرادیول بر میزان تحمل ژنوتیپ‌های مختلف سیب‌زمینی به تنش کم‌آبی انجام‌گرفت.

مواد و روش‌ها

آزمایش در دانشگاه محقق اردبیلی و گلخانه شرکت فناوری زرع گستر آرتا 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 بر اساس فاکتوریل اسپلیت پلات بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در اردیبهشت‌ماه ۱۳۹۸ در سکوهای کاشت کشت شدند. در این مطالعه فاصله بین ردیف‌ها ۵۰ سانتی‌متر و روی ردیف‌ها ۲۰ سانتی‌متر بر روی پشته‌هایی به ارتفاع ۱۵ سانتی‌متر در نظر گرفته شد.

فاکتور اول شامل سه سطح آبیاری (آبیاری با تأمین ۱۰۰، ۶۰ و ۴۰ درصد آب قابل‌استفاده)، فاکتور دوم شامل سه سطح هورمون بتا-استرادیول (شاهد، 10^{-6}، 10^{-12} 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 M_1V_3 (Hassanpanah and Asghari Zakaria, 2018) در کرت‌های فرعی قرار گرفتند. تا زمان تشکیل غده، آبیاری همه تیمارها یکسان انجام شد، پس از اتمام فاز غده‌زایی و درحالی‌که ۸۰ درصد غده‌چه‌های تولیدشده بزرگ‌تر از دو میلی‌متر بودند تیمارهای آبیاری اعمال شدند.

برای اعمال تیمار آبیاری، رطوبت خاک به‌صورت روزانه در ساعت ۹-۸ صبح با استفاده از سنسور رطوبتی قرائت‌شده و حجم آب لازم برای تأمین سطوح رطوبتی با استفاده از رابطه (۱) محاسبه گردید؛ که در این رابطه V: حجم آب موردنیاز برحسب مترمکعب، θ_1: رطوبت حجمی خاک در سطح تنش موردنظر، θ_2: رطوبت حجمی قرائت‌شده خاک، Z: عمق ریشه گیاه که برابر ۰/۵ متر لحاظ شد. A: متوسط سطح برحسب مترمربع بود. در تیمار آبیاری تأمین ۱۰۰ درصد آب قابل‌استفاده رطوبت خاک همواره در حد ظرفیت مزرعه‌ای ± ۵ درصد نگهداری شد (Golestani Kermani et al., 2014). آبیاری به‌صورت قطره‌ای تیپ بود.

$$V=(\theta_1-\theta_2)\times Z\times A \qquad [۱]$$

هورمون بتا-استرادیول در دو مرحله قبل و بعد از اعمال تیمارهای سطوح آبیاری (در مرحله ابتدای غده‌بندی و پر شدن غده‌ها) به‌صورت محلول‌پاشی بر روی برگ‌ها انجام شد.

دمای گلخانه ۲۲-۱۸ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۷۵-۶۵ درصد بود. در این مطالعه صفات ارتفاع بوته، محتوی آب نسبی برگ، تعداد غده‌چه در بوته، وزن غده‌چه در بوته، میزان قند محلول، درصد پروتئین، وزن خشک غده و میزان فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان اندازه‌گیری شدند. برای تعیین وزن خشک غده از هر تکرار دو نمونه انتخاب و به قطعاتی تقسیم‌شده و سپس به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۱۰۰ درجه خشک شد. برای تعیین میزان نشاسته قطعاتی به ابعاد ۲۵×۱۰ میلی‌متر از مرکز هر غده خارج و درصد نشاسته با استفاده از روش سینگ و همکاران (Singh et al., 2009) اندازه‌گیری شد.

اندازه‌گیری فعالیت آنزیم‌های پراکسیداز، کاتالاز و پلی-فنل‌اکسیداز

استخراج عصاره آنزیمی

تهیه عصاره آنزیمی بر اساس روش مک‌آدم و همکاران (Mac-Adam et al., 1992) انجام شد. برای تهیه عصاره آنزیمی ابتدا محلول‌های ۰/۸ مولار کلرید پتاسیم (KCl) و بافر فسفات سدیم ۰/۱ مولار (pH=۷) به‌طور جداگانه تهیه شد، سپس از هر یک از این محلول‌ها یک حجم معین (۵۰ میلی-لیتر از محلول ۰/۸ مولار کلرید پتاسیم به‌اضافه ۵۰ میلی‌لیتر محلول بافر فسفات ۰/۱ مولار) برداشته و باهم مخلوط شدند، سپس ۰/۱ گرم از بافت برگ تازه را با ۱۰ میلی‌لیتر از محلول مذکور در هاون چینی خوب سائیده و مخلوط حاصل را با سرعت ۴۰۰۰ دور در دقیقه به مدت ۲۰ دقیقه سانتریفیوژ کرده و مایع فوقانی به‌عنوان عصاره آنزیمی مورداستفاده قرار گرفت. به‌منظور حفظ فعالیت آنزیم، کلیه مراحل استخراج آنزیم در ظرف یخ انجام شد.

اندازه‌گیری فعالیت آنزیم پلی‌فنل‌اکسیداز

اندازه‌گیری فعالیت آنزیم پلی‌فنل‌اکسیداز به روش رایموند و همکاران (Raymond et al., 1993) انجام شد. برای این کار نمونه لوله‌های آزمایش در حمام آب گرم در دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد و بعد به هر لوله‌آزمایش ۲/۵ میلی-لیتر محلول بافر فسفات ۰/۲ مولار با pH =۶/۸ و ۰/۲ میلی‌لیتر پیروگال ۰/۰۲ مولار اضافه‌شده و به آن‌ها فرصت داده شد تا به دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد برسند. در لحظه خواندن جذب آنزیم، به هر لوله ۲۰۰ میکرولیتر عصاره آنزیمی اضافه و تغییرات جذب پلی‌فنل‌اکسیداز در فاصله زمانی ۴ دقیقه در طول‌موج ۴۳۰ نانومتر با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر (Phamacia Biotech Novaspec II. UK) ثبت گردید.

سنجش فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز

فعالیت آنزیم SOD بر اساس روش گیانوپولیتیس و همکاران (Giannopolitis et al., 1977) اندازه‌گیری شد. اساس اندازه‌گیری فعالیت سوپراکسیددیسموتاز، اثر بازدارندگی این آنزیم با احیای نوری نیتروبلوتترازولیوم (NBT) است. مقدار ۲۰ میکرولیتر از نمونه‌های تیمار شده و ۱ میلی‌لیتر محلول واکنش در لوله‌های آزمایش ریخته شد و به‌منظور تهیه نمونه شاهد ۲۰ میکرولیتر آب مقطر و ۱ میلی‌لیتر محلول واکنش در لوله‌های مربوطه ریخته و لوله‌های آزمایش حاوی نمونه‌های تیماری و کنترل به مدت ۱۰ دقیقه در روشنایی حاصل از نور مصنوعی در یک اتاقک قرار گرفته شدند. سپس در طول‌موج ۵۶۰ نانومتر با کمک دستگاه اسپکتروفتومتر (Phamacia Biotech Novaspec II. UK) جذب نمونه‌ها قرائت شد.

اندازه‌گیری فعالیت آنزیم کاتالاز

اندازه‌گیری فعالیت آنزیم کاتالاز به روش چانس و مهلی (Chance and Maehley, 1955) انجام شد. برای این کار ۱ میلی‌لیتر از عصاره آنزیمی با ۳۰۰۰ میکرومول بافر فسفات ۰/۱ مولار با pH =۷ و ۱۰۰ میکرومولار آب‌اکسیژنه (H_2O_2) خالص مخلوط شدند. و این محلول برای مدت یک دقیقه در دمای آزمایشگاه (دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد قرار گرفت. سپس برای توقف فعالیت آنزیم کاتالاز، مقدار ۱۰ میلی‌لیتر اسید پرمنگنات پتاسیم ($KMnO_4$)۰/۰۱ مولار تا تشکیل رنگ صورتی کم‌رنگ (حداقل ۳۰ ثانیه با رنگ ثابت) تیتر شد و بعد فعالیت آنزیم کاتالاز برحسب حجم مصرفی محلول پرمنگنات پتاسیم برحسب درصد کنترل محاسبه گردید. در این واکنش آب‌اکسیژنه یا پراکسید هیدروژن (H_2O_2) توسط آنزیم کاتالاز موجود در عصاره آنزیمی به آب و اکسیژن تبدیل می‌شود. برای توقف آزمایش از اسیدسولفوریک استفاده شد، باقی‌مانده پراکسیدهیدروژن با پرمنگنات پتاسیم واکنش داده و رنگ صورتی کم‌رنگ به وجود می‌آید. بنابراین، هرچه میزان حجم مصرفی محلول پرمنگنات پتاسیم بیشتر باشد، به مفهوم آن است که آنزیم کاتالاز موجود در عصاره آنزیمی فعالیت کمتری داشته است و مقدار پراکسید هیدروژن به مقدار زیادتری در محلول باقی مانده است. به‌عکس، هر چه میزان حجم مصرفی محلول پرمنگنات پتاسیم کمتر باشد، به مفهوم آن است که آنزیم کاتالاز موجود در عصاره آنزیمی فعالیت بیشتری داشته است و مقدار پراکسید هیدروژن به مقدار کمتری در محلول باقی مانده است.

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 مول در لیتر با اسیدیته ۶/۷ خردشده و به مدت ۱۰ دقیقه با سرعت ۵۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ شدند. عصاره جمع‌آوری‌شده، پس از یک ساعت با دستگاه اسپکتروفتومتر (مدل Phamacia Biotech Novaspec II. UK) در طول‌موج ۴۸۵ نانومتر اندازه‌گیری شد. غلظت پروتئین‌های محلول به روش برادفورد (Bradford, 1976) تعیین گردید. برای آماده‌سازی و استخراج پروتئین از نمونه‌های برگ که در ازت مایع نگهداری شده بودند، از محلول بافر تریس و برای سنجش آن از معرف بیوراد استفاده شد. برای تعیین غلظت پرولین، روش بیتس (Bates, 1973) به کار 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 طول‌موج ۵۲۰ نانومتر مقدار پرولین قرائت شد. درنهایت مقدار آب نسبی برگ از رابطه (۲) محاسبه گردید. لازم به توضیح است که نمونه‌برداری از بالاترین برگ‌های بالغ در ارتفاع یک‌سوم از رأس بوته‌ها و در مرحله بعد از تشکیل غده‌ها انجام گرفت.

$$RWC=\frac{FW-DW}{TW-DW}\times 100 \qquad [۲]$$

که در آن FW: وزن‌تر، DW: وزن خشک (بعد از قرارگیری نمونه برگ‌ها در آون ۷۵ درجه سانتی‌گراد و حصول وزن ثابت) و TW: وزن آماس (بعد از غوطه‌ور شدن نمونه برگ‌ها در داخل آب مقطر در زمان معین) هستند.

داده‌های حاصل با استفاده از نرم‌افزار SAS, 9.2 تجزیه واریانس گردید و مقایسه میانگین صفات موردبررسی از طریق آزمون LSD در سطح احتمال ۵٪ انجام شد.

نتایج و بحث

تجزیه واریانس

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد بین سطوح خشکی ازلحاظ کلیه صفات موردبررسی اختلاف معنی‌دار در سطح

احتمال یک درصد وجود داشت، اختلاف بین سطوح هورمون بتا-استرادیول ازلحاظ ارتفاع بوته، تعداد غده‌چه در بوته، وزن غده‌چه در بوته، متوسط وزن غده‌چه، محتوی آب نسبی برگ، درصد ماده خشک غده، درصد پروتئین غده‌چه، درصد نشاسته، محتوی کاتالاز و پلی فنل اکسیداز در سطح احتمال یک درصد و سوپراکسید دیسموتاز در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۱).

اثر متقابل خشکی و هورمون نیز بر ارتفاع بوته، وزن غده‌چه در بوته، متوسط وزن غده‌چه، محتوی آب نسبی برگ، درصد قند محلول، درصد نشاسته، کاتالاز و پلی‌فنل‌اکسیداز در سطح احتمال یک درصد و تعداد غده در بوته، درصد ماده خشک غده در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود. بین ژنوتیپ‌های موردمطالعه ازلحاظ کلیه صفات موردبررسی اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد (به‌غیراز درصد قند محلول در سطح احتمال پنج درصد) دیده شد.

وجود اختلاف معنی‌دار بین ژنوتیپ‌ها حاکی از وجود تنوع ژنتیکی بین آن‌ها بر اساس صفات موردبررسی است. اثر متقابل ژنوتیپ در خشکی بر ارتفاع بوته، تعداد غده‌چه در بوته، وزن غده‌چه در بوته، متوسط وزن غده‌چه، درصد ماده خشک غده‌چه، درصد پروتئین، درصد نشاسته، محتوی پرولین و کاتالاز در سطح احتمال یک درصد و بر محتوی آب نسبی برگ و سوپراکسید دیسموتاز در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود و درنهایت اثر متقابل ژنوتیپ و هورمون نیز بر محتوی آب نسبی برگ تعداد غده‌چه در بوته، وزن غده‌چه در بوته، متوسط وزن غده‌چه، درصد پروتئین و محتوی کاتالاز در سطح احتمال یک درصد و بر ارتفاع بوته، درصد ماده خشک غده‌چه در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود. وجود اثر متقابل ژنوتیپ در خشکی و ژنوتیپ در هورمون نشان‌دهنده این نکته است که واکنش ژنوتیپ‌های موردبررسی به سطوح خشکی و هورمون بتا-استرادیول متفاوت بوده است (جدول ۱).

جدول ۱. تجزیه واریانس خصوصیات کمی و کیفی سیب‌زمینی در ارقام مختلف

Table 1. Analysis of variance of quantitative and qualitative characteristics of different cultivars of potatoes

S.O.V	منابع تغییر	درجه آزادی df	ارتفاع بوته Plant height	محتوی آب نسبی برگ Relative water content	تعداد غده‌چه در بوته Number of minitubers per plant	وزن غده‌چه در بوته Minitubers weight per plant	متوسط وزن غده‌چه Average minituber weight	درصد قند محلول Soluble sugar percentage	درصد ماده خشک غده Dry matter percentage
Replication	تکرار	2	23.84	40.58	3.89	1464	9.50	0.0001	0.29
Drought	خشکی	2	2744.73**	3395.87**	247.17**	136987**	2888.1**	0.00049*	0.48**
Hormone	هورمون	2	650.50**	279.80**	9.53**	19839**	381.74**	0.00035ns	0.34**
D×H	خشکی×هورمون	4	194.66**	128.22**	2.83*	17497**	154.58**	0.0065**	0.18*
Ea	خطای اول	16	20.24	15.44	0.80	383	2.60	0.00015	0.05
Genotype	ژنوتیپ	9	65.07**	93.06**	3.15**	496**	2.53**	0.00023*	6.47**
D×G	خشکی × ژنوتیپ	18	63.61**	73.56*	18.71**	424**	5.08**	0.00018ns	0.22**
H×G	هورمون × ژنوتیپ	18	21.08*	124.68**	0.94**	220**	1.68**	0.0001ns	0.11*
D×H×G	خشکی × هورمون × ژنوتیپ	36	16.00ns	26.13ns	0.51ns	17	0.07ns	0.00009ns	0.05ns
Eb	خطای دوم	162	11.86	21.63	0.46	22	0.09	0.00014	0.058
CV(%)		-	*7.42*	*5.96*	*20.04*	*13.33*	*4.29*	*3.81*	*2.19*

Table 1. Continued **جدول ۱. ادامه**

S.O.V	منابع تغییر	درجه آزادی df	درصد پروتئین غده Protein percentage of minitubers	درصد نشاسته Starch Percentage	محتوی پرولین Proline content	سوپراکسید دیسموتاز Superoxide dismutase	کاتالاز Catalase	پلی فنل اکسیداز Polyphenol oxidase
Replication	تکرار	2	0.0001	44.38	10496	0.06	1.16	0.068
Drought	خشکی	2	0.0028**	180.42**	1031237**	22.36**	57.35**	5.86**
Hormone	هورمون	2	0.0022**	42.71**	79952**	0.81*	7.98**	4.54**
D×H	خشکی × هورمون	4	0.00003ns	1.38ns	35668*	0.01ns	2.73**	4.71**
Ea	خطای اول	16	0.0002	1.32	9267	0.05	0.27	0.18
Genotype	ژنوتیپ	9	0.021**	4.18**	5656**	0.49**	0.57**	0.39**
D×G	خشکی × ژنوتیپ	18	0.001**	12.79**	70.20ns	0.56*	0.09**	0.08ns
H×G	هورمون× ژنوتیپ	18	0.006**	1.38ns	97.00ns	0.008ns	0.11**	0.07ns
D×H×G	خشکی × هورمون × ژنوتیپ	36	0.0004ns	1.05ns	82.00 ns	0.007ns	0.028ns	0.06ns
Eb	خطای دوم	162	0.0005	0.78	80.00	0.19	0.032	0.07
CV(%)		-	*3.92*	*7.61*	*5.18*	*7.49*	*3.57*	*6.44*

ns، ** و *: به ترتیب عدم معنی‌داری و معنی‌دار در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد

**,* and ns: Significant at 1 and 5%, and non-significant, respectively

ارتفاع بوته

مقایسه میانگین تیمارها نشان داد ژنوتیپ G4 در شرایط نرمال رطوبتی (تأمین ۱۰۰ درصد آب مورداستفاده) با متوسط ۵۷/۵۵ سانتی‌متر بالاترین ارتفاع بوته را به خود اختصاص داد. بین ژنوتیپ مذکور و ژنوتیپ‌های شماره G8 و G1 در شرایط نرمال رطوبتی اختلاف معنی‌دار مشاهده نشد. کمترین ارتفاع بوته نیز به ژنوتیپ شماره G2 با متوسط ۳۷/۵۵ سانتی‌متر در تیمار خشکی تأمین ۴۰ درصد آب قابل‌استفاده اختصاص یافت. هرچند بین ژنوتیپ مذکور و ژنوتیپ‌های شماره G1، G3، G6 و G8 در این سطح خشکی اختلاف معنی‌داری وجود نداشت (جدول ۲).

در این مطالعه کم‌آبی ارتفاع بوته را در کلیه ژنوتیپ‌ها کاهش داد، یکی از اولین نشانه‌های کمبود آب، کاهش تورژسانس و درنتیجه کاهش رشد و توسعه‌ی سلول به‌خصوص در ساقه و برگ‌هاست. رشد سلول حساس‌ترین فرآیندی است که به‌وسیله‌ی تنش آبی تحت تأثیر قرار می‌گیرد. با کاهش رشد سلول اندازه‌ی اندام محدود می‌شود، به همین دلیل است که اولین اثر محسوس کم‌آبی روی گیاهان را می‌توان از روی اندازه‌ی کوچک‌تر برگ‌ها یا ارتفاع گیاهان تشخیص داد. در مطالعه خانی نژاد و همکاران (Khaninejad et al., 2017) تنش خشکی سبب کاهش ۱۱ درصدی در ارتفاع بوته‌های سیب‌زمینی شد.

در بین ترکیبات تیماری خشکی و هورمون بتا استرادیول، تیمار نرمال رطوبتی در تلفیق با دو سطح 10^{-6} و 10^{-12} مولار بتا-استرادیول به ترتیب با متوسط ۵۳/۱۰ و ۵۲/۶۰ سانتی‌متر بالاترین و تیمار خشکی تأمین ۴۰ درصد آب قابل‌استفاده

بدون مصرف بتا-استرادیول با متوسط ۳۶/۳۳ سانتی‌متر کمترین ارتفاع بوته را به خود اختصاص دادند.

در تحقیق حاضر استفاده از سطوح 10^{-6} و 10^{-12} مولار در تیمار خشکی تأمین ۶۰ درصد آب قابل‌استفاده و سطح 10^{-6} در تیمار خشکی ۴۰ درصد آب قابل‌استفاده به‌صورت معنی‌داری ارتفاع بوته را در مقایسه با تیمار شاهد افزایش داد که بیانگر نقش مثبت کاربرد هورمون در تعدیل اثر تنش کم‌آبی است (جدول ۳). در تحقیقی روی آفتابگردان (*Helianthus annuus*) گزارش شد استفاده از β-۱۷-استرادیول باعث رشد شاخساره گیاه شد (Bhattacharya and Gupta, 1981).

در این تحقیق ژنوتیپ شماره G4 در دو سطح 10^{-6} و 10^{-12} مولار هورمون بتا-استرادیول به ترتیب با متوسط ۵۳/۸ و ۵۱/۵۵ سانتی‌متر بالاترین ارتفاع بوته را به خود اختصاص داد، کمترین ارتفاع بوته نیز با متوسط ۴۰/۷۷ سانتی‌متر به ژنوتیپ شماره G10 در تیمار شاهد اختصاص داشت (جدول ۴). در مطالعه براون (Brown, 2006) کاربرد هورمون بتا-

جدول ۲. مقایسه میانگین ترکیبات تیماری حاصل از برهمکنش ژنوتیپ‌های سیب‌زمینی و سطوح تنش خشکی ازلحاظ اثر بر صفات موردبررسی

Table 2. Mean comparison of treatment resulting from the interaction of potato genotypes and drought stress levels in terms of effect on the studied traits

خشکی Drought	ژنوتیپ Genotype	ارتفاع بوته Plant height	تعداد غده‌چه در بوته Number of minitubers per plant	وزن غده‌چه در بوته Minitubers weight per plant	متوسط وزن غده‌چه Avarage minituber weight	محتوی آب نسبی برگ Leaf relative water content
		cm		g/plant	g	%
نرمال (۱۰۰ درصد) Normal (100%)	1	54.66^{ab}	5.11^{c}	74.25^{d}	14.29^{e}	88.33^{a}
	2	54.22^{bc}	4.22^{d}	56.44^{e}	13.24^{f}	87.77^{ab}
	3	51.11^{cd}	5.77^{ab}	92.04^{ab}	15.07^{cd}	83.88^{bc}
	4	57.55^{a}	5.33^{bc}	93.77^{ab}	16.60^{a}	78.88^{d-g}
	5	49d^{ef}	5.00^{c}	82.42^{c}	15.70^{b}	80.27^{cde}
	6	49.11^{def}	6.11^{a}	96.90^{a}	15.75^{b}	90.00^{a}
	7	54.22^{bc}	5.00^{c}	77.36^{d}	15.18^{c}	87.77^{ab}
	8	55.00^{ab}	4.77^{cd}	73.94^{d}	14.90^{d}	88.75^{a}
	9	49.55^{de}	4.77^{cd}	77.45^{d}	15.33^{c}	81.94^{cd}
	10	45.44^{gh}	5.00^{c}	77.97^{d}	15.08^{cd}	76.80^{e-h}
۶۰ درصد آب قابل‌استفاده 60% usable water	1	43.88^{h-k}	2.77^{ef}	22.39^{f}	8.33^{h}	74.86^{g-j}
	2	45.55^{gh}	2.55^{efg}	21.74^{fg}	8.72^{g}	76.94^{e-h}
	3	46.22^{fgh}	3.00^{e}	20.98^{fg}	7.28^{i}	77.77^{d-g}
	4	50.22^{de}	2.55^{efg}	17.43^{ghi}	6.91^{jk}	79.72^{d-f}
	5	47.88^{d-g}	2.55^{efg}	20.21^{fg}	8.15^{h}	79.86^{c-f}
	6	47.44^{efg}	2.77^{ef}	19.22^{fgh}	7.20^{i}	77.63^{d-g}
	7	44.66^{g-j}	2.22^{fgh}	15.31^{hi}	7.04^{ij}	75.83^{f-i}
	8	45.22^{ghi}	2.22^{fgh}	14.78^{i}	6.88^{jk}	76.52^{e-h}
	9	47.77^{efg}	2.23^{fgh}	15.48^{hi}	7.25^{i}	79.72^{c-f}
	10	45.00^{ghi}	2.00^{ghi}	13.42^{ij}	6.71^{k}	76.25^{e-h}
۴۰ درصد آب قابل‌استفاده 40% usable water	1	39.11^{lm}	2.22^{fgh}	8.79^{kl}	4.12^{m}	68.88^{kl}
	2	37.55^{m}	2.44^{efg}	8.66^{kl}	3.70^{o}	66.94^{l}
	3	39.66^{lm}	2.66^{ef}	9.33^{jkl}	3.73^{o}	69.58^{kl}
	4	42.11^{i-l}	2.00^{ghi}	9.31^{jkl}	4.66^{l}	74.72^{kl}
	5	42.12^{i-l}	2.00^{ghi}	8.07^{lk}	4.03^{mn}	72.63^{h-k}
	6	40.66^{klm}	2.22^{fgh}	9.74^{jk}	4.51^{l}	78.88^{d-g}
	7	41.11^{kl}	2.22^{fgh}	9.21^{jkl}	4.17^{m}	71.38^{jk}
	8	40.77^{klm}	1.44^{i}	5.47^{kl}	4.19^{m}	70.97^{jkl}
	9	44.88^{ghi}	1.55^{i}	5.17^{l}	3.61^{o}	76.11^{e-i}
	10	41.44^{jkl}	1.66^{hi}	6.25^{kl}	3.84^{no}	71.80^{ijk}

جدول ۲. ادامه **Table 2. Continued**

خشکی Drought	ژنوتیپ Genotype	محتوی آب نسبی برگ Leaf Relative Water Content	قند محلول Soluble sugar	ماده خشک Dry Matter	پروتئین غده Protein Tubers	نشاسته Starch
		----------%----------				
نرمال (۱۰۰ درصد) Normal (100%)	1	88.33^{a}	0.654^{b-e}	20.72^{cde}	0.86^{lm}	9.72^{op}
	2	87.77^{ab}	0.635^{ghi}	20.09^{ijk}	0.83^{m}	9.33^{p}
	3	83.88^{bc}	0.654^{a}	21.07^{a}	0.88^{lm}	9.87^{op}
	4	78.88^{d-g}	0.628^{ijk}	19.88^{kl}	0.93^{i-k}	10.49^{j-o}
	5	80.27^{cde}	0.606^{m}	19.18^{n}	0.93^{i-k}	10.49^{j-o}
	6	90.00^{a}	0.648^{def}	20.51^{efg}	0.90^{klm}	10.12^{nop}
	7	87.77^{ab}	0.647^{def}	20.49^{fg}	0.91^{kl}	10.24^{l-p}
	8	88.75^{a}	0.616^{lm}	19.50^{m}	0.90^{klm}	10.15^{n-p}
	9	81.94^{cd}	0.651^{cde}	20.62^{d-g}	0.99^{ghi}	11.21^{h-m}
	10	76.80^{e-h}	0.640^{fgh}	20.26^{hi}	0.92^{jkl}	10.32^{k-p}
۶۰ درصد آب قابل‌استفاده 60% usable water	1	74.86$_{g-j}$	0.659^{abc}	20.87^{abc}	0.97^{h-k}	10.93^{j-n}
	2	76.94^{e-h}	0.635^{ghi}	20.1^{l}	1.01^{gh}	11.38^{f-k}
	3	77.77^{d-g}	0. 666^{a}	21.08^{a}	1.02^{fgh}	11.55^{e-j}
	4	79.72^{d-f}	0.637^{f-i}	20.17^{ij}	1.11^{de}	12.57^{cde}
	5	79.86^{c-f}	0.618^{kl}	19.57^{m}	1.06^{d-g}	11.97^{d-i}
	6	77.63^{d-g}	0.645^{efg}	20.41^{gh}	1.05^{efg}	11.86^{d-i}
	7	75.83^{f-i}	0.661^{abc}	20.88^{abc}	0.99^{g-j}	11.15^{i-n}
	8	76.52^{e-h}	0.621^{kl}	19.66^{lm}	1.00^{ghi}	11.29^{g-l}
	9	79.72^{c-f}	0.654^{a-d}	20.77^{bcd}	1.06^{efg}	11.23^{g-l}
	10	76.25^{e-h}	0.633^{hij}	20.03^{jk}	1.00^{ghi}	11.23^{g-l}
۴۰ درصد آب قابل‌استفاده 40% usable water	1	68.88^{kl}	0.657^{a-d}	20.79^{bcd}	1.21^{ab}	13.71^{ab}
	2	66.94^{l}	0.636^{ghi}	20.13^{ij}	1.20^{bc}	13.60^{abc}
	3	69.58^{kl}	0.662^{abc}	20.95^{ab}	1.13^{cd}	12.80^{bcd}
	4	74.72^{kl}	0.638^{f-i}	20.21^{hij}	1.27^{a}	14.45^{a}
	5	72.63^{h-k}	0.623^{jkl}	19.72l^{m}	1.08^{def}	12.26^{d-h}
	6	78.88^{d-g}	0.639^{fgh}	20.23^{hij}	1.09^{def}	12.29^{d-g}
	7	71.38^{jk}	0.654^{cde}	20.70^{c-f}	1.20^{bc}	13.60^{abc}
	8	70.97^{jkl}	0.634^{ghi}	20.07^{ijk}	1.22^{ab}	13.80^{ab}
	9	76.11^{e-i}	0.653^{cde}	20.69^{c-f}	1.10^{de}	12.40^{def}
	10	71.80^{ijk}	0.635^{ghi}	20.09^{ijk}	1.00^{hg}	11.35^{f-k}

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون فاقد اختلاف معنی دار در سطح احتمال ۵ درصد بر اساس آزمون LSD هستند

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

استرادیول به‌صورت معنی‌داری بر رشد رویشی ساقه و ریشه در سیب‌زمینی افزود. در این مطالعه استفاده از بتا-استرادیول به‌خصوص سطح $^{-6}$۱۰ ارتفاع بوته را در اکثر ژنوتیپ‌های موردبررسی افزایش داد؛ بنابراین، می‌توان اظهار داشت هورمون بتا-استرادیول اثر مثبتی بر خصوصیات رویشی سیب‌زمینی دارد.

محتوی نسبی آب برگ

در بین تیمارهای تلفیقی خشکی و ژنوتیپ، بالاترین محتوی آب نسبی برگ با متوسط ۹۰/۰۰، ۸۸/۷۵ و ۸۸/۳۳ درصد به ترتیب به ژنوتیپ‌های G6، G8 و G1 در شرایط نرمال رطوبتی (تأمین ۱۰۰ درصد قابل‌استفاده) اختصاص داشت. در بین این دسته از تیمارها کمترین محتوی آب نسبی برگ با متوسط ۶۶/۹۴ درصد در ژنوتیپ شماره G9 در تیمار تأمین ۴۰ درصد آب قابل‌استفاده مشاهده شد (جدول ۲). در مطالعه حاضر با تشدید تنش کم‌آبی از محتوی آب نسبی برگ در ژنوتیپ‌های موردبررسی کاسته شد. اظهار شده است گیاهانی که تحت تنش رطوبتی قرار می‌گیرند، فضای بین سلولی و میزان آب در پیکره خود را از طریق افزایش مواد اسمزی در درون بافت‌ها به حداقل می‌رسانند تا آب از بافت خاک با نیروی بیشتری وارد شود این امر موجب کاهش میزان آب نسبی برگ در شرایط تنش خشکی می‌گردد (Khan et al., 2007). در مطالعه نوری و همکاران (Nouri et al., 2016) در مرحله غده‌زایی بالاترین محتوی آب نسبی برگ در تیمار آبیاری ۸۰ درصد آب قابل‌استفاده (تنش ملایم) همراه با

ارقام خاوران، ساوالان، لوکا، سانته، کایزر، آگریا و دراگا گزارش شد. یکی از ویژگی‌هایی که برای شناسایی ارقام محتمل به خشکی استفاده می‌شود محتوی آب نسبی برگ برگ است، ژنوتیپ‌هایی که در شرایط مختلف کم‌آبی پتانسیل نگه داری آب در برگ بالاتری دارند می‌توانند مقدار فتوسنتز خود را حفظ نموده و از عملکرد بالاتری برخوردار باشند.

جدول ۳. مقایسه میانگین ترکیبات تیماری حاصل از برهمکنش هورمون بتا-استرادیول و سطوح تنش خشکی از لحاظ صفات موردبررسی

Table 3. Mean comparison of treatment resulting from the interaction of B-Estradiol and drought stress levels in terms of effect on the studied traits

خشکی Drought	بتا-استرادیول (مولار) β-stradiol	ارتفاع بوته Plant height	تعداد غده‌چه در بوته Number of minitubers per plant	وزن غده‌چه در بوته Minitubers weight per plant	متوسط وزن غده‌چه Avarage minituber weight	محتوی آب نسبی برگ Relative water content
	M	cm		g/plant	g	%
نرمال (۱۰۰ درصد) Normal (100%)	0	50.26^{b}	3.93^{c}	39.03^{c}	10.33^{c}	83.75^{a}
	10^{-12}	53.10^{a}	6.33^{a}	124.16a	19.67^{a}	84.83^{a}
	10^{-6}	52.60^{a}	5.06$_{b}$	76.99b	15.34^{b}	84.83^{a}
۶۰ درصد آب قابل‌استفاده 60% usable water	0	43.70^{d}	2.46^{de}	15.749^{e}	6.69^{f}	75.79^{d}
	10^{-12}	48.66^{b}	2.2^{e}	14.46^{e}	8.06^{d}	78.53^{b}
	10^{-6}	46.80^{c}	2.80^{de}	21.05^{d}	7.59^{e}	78.16^{bc}
۴۰ درصد آب قابل‌استفاده 40% usable water	0	36.33^{f}	2.13^{ef}	6.56^{f}	3.22^{i}	69.08^{f}
	10^{-12}	40.06^{e}	1.83^{f}	8.83^{f}	4.85^{g}	75.83^{cd}
	10^{-6}	46.43^{c}	2.16^{ef}	8.63^{f}	4.10^{h}	71.66^{e}

Table 3. Continued **جدول ۳. ادامه**

خشکی Drought	بتا-استرادیول (مولار) β-estradiol	درصد ماده خشک Dry Matter Percent	درصد نشاسته Starch Percent	محتوی پرولین Proline content	سوپراکسید دیسموتاز Superoxide dismutase	کاتالاز Catalase	پلی‌فنل اکسیداز Polyphenol oxidase
	M	----------%----------		----------µmol g^{-1} FW----------			
نرمال Normal (100%)	**0**	20.11^{c}	9.01^{f}	517.65^{e}	5.55^{c}	5.13^{e}	3.34^{e}
	10^{-12}	20.34^{ab}	9.97^{e}	574.51^{d}	5.62^{c}	6.20^{d}	3.78^{cd}
	10^{-6}	20.24^{b}	11.60^{c}	521.61^{e}	5.59^{c}	6.17^{d}	3.76^{d}
۶۰ درصد آب قابل‌استفاده 60% usable water	**0**	20.35^{ab}	10.90^{d}	601.62^{c}	5.62^{c}	6.21^{d}	3.91^{c}
	10^{-12}	20.36^{ab}	12.17^{bc}	701.88^{b}	5.63^{c}	6.51^{c}	3.78^{d}
	10^{-6}	20.34^{ab}	11.69^{c}	601.35^{c}	5.62^{c}	6.20^{d}	4.24^{b}
۴۰ درصد آب قابل‌استفاده 40% usable water	**0**	20.27^{b}	12.58^{b}	649.02^{b}	6.21^{b}	7.24^{b}	3.76^{d}
	10^{-12}	20.34^{ab}	13.31^{a}	751.29^{a}	6.71^{a}	7.64^{a}	4.80^{a}
	10^{-6}	20.46^{a}	13.18^{a}	754.81^{a}	6.50^{a}	7.30^{b}	3.80^{cd}

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد بر اساس آزمون LSD هستند

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

در این تحقیق سطح نرمال رطوبتی همراه با هر سه سطح شاهد، $۱۰^{-۶}$ و $۱۰^{-۱۲}$ مولار بتا-استرادیول به ترتیب با متوسط ۸۴/۸۳، ۸۴/۷۵ و ۸۳/۷۵ درصد بالاترین محتوی آب نسبی برگ را به خود اختصاص دادند. کمترین مقدار نیز در تیمار

خشکی در تیمار تأمین ۴۰ درصد آب قابل‌استفاده همراه با تیمار شاهد بتا-استرادیول با متوسط ۶۹/۰۸ درصد ثبت شد. در مطالعه حاضر بتا-استرادیول در تیمارهای تیمار تأمین ۶۰ و ۴۰ درصد آب قابل‌استفاده محتوی آب نسبی برگ را به‌صورت معنی‌دار در مقایسه با شاهد افزایش دادند (جدول ۳)، با توجه به نتایج تحقیق حاضر در شرایط نرمال رطوبتی کاربرد هورمون بتا-استرادیول احتمالاً به دلیل عدم محدودیت آب نتوانست اثر معنی‌داری در افزایش محتوی آب نسبی برگ داشته باشد، اما در شرایط آبیاری با تأمین ۶۰ و ۴۰ درصد آب موردنیاز توانست محتوی آب نسبی برگ را افزایش دهد. اردال (Erdal et al., 2011) نشان داد که کاربرد هورمون جنسی حیوانات (مانند آندروسترون) از طریق افزایش محتوای قندها، پرولین، کلروفیل‌ها و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی اثر تنش شوری را در گندم تعدیل می‌کند.

در بین ترکیبات تیماری ژنوتیپ و هورمون بتا-استرادیول ژنوتیپ G6 همراه با هر دو سطح 10^{-6} و 10^{-12} مولار بتا-استرادیول به ترتیب با متوسط ۸۷/۳۶ و ۸۴/۴۴ درصد بالاترین و ژنوتیپ‌های G2 و G10 به ترتیب با متوسط ۷۰/۹۷ و ۷۱/۱۱ درصد کمترین مقدار محتوی آب نسبی برگ را دارا بودند. شور و همکاران (Shore et al., 1992) دریافتند که آبیاری گیاه یونجه با آبی که حاوی ۰/۳ میکروگرم بر لیتر استروژن منجر به افزایش رشد رویشی و بهبود مقدار محتوی آب نسبی برگ شد (جدول ۴).

تعداد غده‌چه در بوته

در این مطالعه ژنوتیپ‌های G3 و G6 در شرایط نرمال رطوبتی به ترتیب با متوسط ۶/۱۱ و ۵/۷۷ بالاترین تعداد غده‌چه در بوته را به خود اختصاص دادند، کمترین مقدار صفت مذکور نیز به ترتیب با متوسط ۱/۴۴ و ۱/۵۵ به ژنوتیپ-های شماره G8 و G9 در تیمار خشکی تأمین ۴۰ درصد آب قابل‌استفاده ثبت شد (جدول ۲). با توجه به این که صفت تعداد غده‌چه در بوته از مهمترین اجزای عملکرد سیب‌زمینی محسوب می‌شود، این صفت در کنار صفت وزن غده‌چه دو رکن اساسی اجزای عملکرد را تشکیل می‌دهند. در این بررسی دو رقم G3 و G6 در هر سه تیمار خشکی در مقایسه با دیگر ژنوتیپ‌ها از تعداد غده‌چه بالاتری برخوردار بودند. می‌توان اظهار داشت ژنوتیپ‌های مذکور پتانسیل ژنتیکی تولید غده مناسبی در شرایط مختلف رطوبتی دارند. در بین تیمارهای تلفیقی خشکی و هورمون بتا-استرادیول بالاترین تعداد غده‌چه در بوته با متوسط ۶/۳۳ غده‌چه به تیمار نرمال رطوبتی همراه با سطح 10^{-12} مولار اختصاص داشت، کمترین تعداد غده‌چه نیز با متوسط ۱/۸۳ غده به سطح 10^{-12} مولار بدون اختلاف معنی‌دار با سطح شاهد و 10^{-6} مولار در تیمار خشکی تأمین ۴۰ درصد آب قابل‌استفاده اختصاص یافت (جدول ۳). می‌توان اظهار داشت کاربرد هورمون بتا-استرادیول زمانی اثر مثبتی بر تعداد غده‌چه در بوته دارد که شرایط رطوبتی مناسب باشد.

نتایج نشان داد ژنوتیپ G3 همراه با سطح 10^{-12} مولار بتا-استرادیول با متوسط ۴/۱۱ غده بالاترین مقدار صفت مذکور را به خود اختصاص داد، لازم به ذکر است که بین تیمار مذکور و سطح 10^{-12} مولار همراه با ژنوتیپ‌های G4، G6 و G1 در سطح 10^{-6} مولار بتا-استرادیول اختلاف معنی‌دار دیده نشد. کمترین تعداد غده به ترتیب با متوسط ۲/۲۲ و ۲/۴۴ غده به ژنوتیپ‌های G4 و G7 در تیمار شاهد بتا-استرادیول مشاهده شد (جدول ۴). براون (Brown, 2006) اظهار داشتند استفاده از ۰/۱ میلی‌گرم بر لیتر بتا-استرادیول در هفته هشتم رشد سیب‌زمینی به‌صورت معنی‌دار تعداد غده در بوته سیب‌زمینی را افزایش داد.

وزن غده‌چه در بوته

نتایج نشان داد ژنوتیپ‌های G6، G4 و G3 در شرایط نرمال رطوبتی به ترتیب با متوسط ۹۶/۹۰، ۹۳/۷۷ و ۹۲/۰۴ گرم در بوته بالاترین وزن غده‌چه در بوته را به خود اختصاص دادند. کمترین وزن غده‌چه در بوته نیز با متوسط ۵/۱۷ گرم به ژنوتیپ شماره G9 در شرایط تأمین ۴۰ درصد آب قابل‌استفاده مشاهده شد (جدول ۲). در تیمار خشکی تأمین ۶۰ درصد آب قابل‌استفاده اگرچه بالاترین وزن غده‌چه در بوته با متوسط ۲۲/۳۹ گرم در بوته به G1 اختصاص داشت اما بین ژنوتیپ مذکور و ژنوتیپ‌های G2، G3، G5 و G6 اختلاف معنی‌دار وجود نداشت. در تیمار خشکی تأمین ۴۰ درصد آب قابل‌استفاده نیز تنها اختلاف معنی‌دار بین ژنوتیپ G6 و G9 دیده شد و اختلاف بین دیگر ژنوتیپ‌ها از لحاظ وزن غده‌چه در بوته معنی‌دار نبود.

در این بررسی تنش خشکی به‌طور معنی‌داری از وزن غده‌چه در ژنوتیپ‌های موردبررسی کاست. این کاهش وزن می‌تواند به دلیل عمق کم ریشه‌دهی، تشکیل ریشه‌های نازک‌تر، ناتوانی شدید در خاک‌های متراکم و حساسیت بیشتر روزنه‌ای برگ که در اثر کاهش پتانسیل آب برگ

و کاهش فتوسنتز در بوته‌ها باشد. در مطالعه خانی‌نژاد و همکاران (Khaninejad et al., 2017) رقم فونتانه با میانگین تولید ۱۲۹ گرم در هر بوته نسبت به رقم آگریا ۳۶ درصد افزایش تولید داشت، میانگین وزن غده در تیمارخشکی نسبت به شاهد بطور معنی‌داری پایین‌تر بود. حمزه‌ای و همکاران (Hamzehei et al., 2017) نشان دادند تنش شدید میانگین وزن غده سیب‌زمینی را نسبت به آبیاری بدون تنش ۵۶ درصد کاهش داد. کاهش در رقم سانته ۱۲/۶ درصد کمتر از رقم ساولان بود. در مطالعه حسن‌آبادی و حسن‌پناه (Hassanpanah and Hassanabadi, 2011) عملکرد غده‌ی کل در ارقام ساوالان، آگریا و کایزر و کلون ۳-۳۹۷۰۰۹ در شرایط بدون تنش (۱۰۰ درصد آب موردنیاز) و رقم ساوالان و کلون ۳-۳۹۷۰۰۹ در شرایط تنش متوسط (۷۵ درصد آب موردنیاز) و تنش شدید (۵۰ درصد آب موردنیاز) بالاتر از سایر ژنوتیپ‌های موردبررسی بود.

جدول ۴. مقایسه میانگین ترکیبات تیماری حاصل از برهمکنش ژنوتیپ‌های سیب‌زمینی و هورمون بتا-استرادیول از لحاظ اثر بر صفات موردبررسی

Table 4. Mean comparison of treatment resulting from the interaction of potato genotypes and β-estradiol levels in terms of the effect on the studied traits

بتا-استرادیول (مولار) β-Estradiol	ژنوتیپ Genotype	ارتفاع بوته Plant height	تعداد غده‌چه در بوته Number of minitubers per plant	وزن غده‌چه در بوته Minitubers weight per plant	متوسط وزن غده‌چه Avarage minituber weight
M		cm		g/plant	g
شاهد Control	1	43.88^{i-n}	3.00^{e-j}	22.73^{ijk}	7.56^{j}
	2	40.88^{mn}	3.11^{e-i}	22.52^{jk}l	7.08^{k}
	3	42.44^{k-n}	3.33^{c-g}	23.03^{ij}	6.31^{m}
	4	44.44^{g-l}	2.22^{k}	22.57^{jkl}	7.184^{k}
	5	44.11^{h-m}	2.88^{f-j}	16.52^{m}	7.119^{k}
	6	42.00^{lmn}	3.44^{b-f}	25.28^{hij}	$6.50l^{m}$
	7	45.33^{e-k}	2.44^{jk}	17.61^{m}	6.67^{l}
	8	44.88^{f-l}	2.66^{h-k}	18.25^{lm}	$6.47l^{m}$
	9	45.55^{e-k}	2.77^{g-k}	18.59^{klm}	6.328^{m}
	10	40.77^{n}	2.55ijk	17.40^{m}	6.26^{m}
10^{-12}	1	45.55^{e-k}	3.55^{a-e}	46.21^{c}	10.47^{c}
	2	47.33^{c-h}	3.22^{d-h}	37.29^{f}	9.959^{d}
	3	47.44^{c-g}	4.11^{a}	57.32^{b}	10.82^{b}
	4	51.55^{ab}	3.88^{abc}	62.21^{a}	11.57^{a}
	5	47.33^{c-h}	3.33^{c-g}	48.04^{c}	10.92^{b}
	6	47.22^{c-h}	3.77^{a-d}	54.53^{b}	11.35^{a}
	7	48.44^{b-e}	3.22^{d-h}	46.67^{c}	10.93^{b}
	8	46.11^{d-j}	3.00^{e-j}	46.80^{c}	10.75^{b}
	9	48.11^{c-f}	3.22^{d-h}	53.33^{b}	11.37^{a}
	10	43.66^{j-n}	3.22^{d-h}	48.99^{c}	10.468^{c}
10^{-6}	1	48.22^{cde}	3.55^{a-e}	36.48^{f}	8.70^{ghi}
	2	49.11^{bcd}	2.88^{f-j}	27.03^{ghi}	8.620^{hi}
	3	47.11^{c-i}	4.00^{ab}	40.00^{ef}	8.954^{g}
	4	53.88^{a}	3.77^{a-d}	41.76^{de}	9.41^{f}
	5	47.55^{c-g}	3.33^{c-g}	40.09^{ef}	9.86^{de}
	6	48.00^{c-f}	3.88^{abc}	46.04^{cd}	9.61^{ef}
	7	46.22^{d-j}	3.77^{a-d}	37.59^{ef}	8.79^{gh}
	8	50.00^{bc}	2.77^{g-k}	29.14^{gh}	8.74^{ghi}
	9	48.55^{b-e}	2.55^{ijk}	26.12^{hij}	8.509^{i}
	10	47.44^{c-g}	2.88^{f-j}	31.25_{g}	8.916^{g}

جدول ۴. ادامه **Table 4. Continued**

بتا استرادیول (مولار) β-Estradiol	ژنوتیپ Genotype	محتوی آب نسبی برگ Leaf relative water content	درصد ماده خشک Dry matter percentage	درصد پروتئین غده Protein percentage of minitubers	کاتالاز Catalase
M		----------%----------			µmol g^{-1} FW
شاهد Control	1	74.86^{g-l}	20.61^{d}	0.97^{i-n}	6.30^{klm}
	2	71.11^{l}	19.98^{gh}	0.90^{mn}	6.11^{mno}
	3	73.05^{jkl}	20.99^{ab}	0.94^{k-n}	6.42^{jkl}
	4	80.83^{b-e}	20.21^{ef}	0.98^{g-l}	6.18^{lmn}
	5	74.16^{i-k}	19.41^{j}	0.98^{g-l}	5.94^{o}
	6	74.72^{h-l}	20.19^{efg}	0.93l^{mn}	6.18^{mno}
	7	76.66^{e-k}	20.62^{d}	1.00^{e-k}	6.31^{klm}
	8	76.11^{f-k}	19.62^{ij}	0.99^{f-l}	6no
	9	76.94^{e-j}	20.60^{d}	1.01^{e-k}	6.30^{klm}
	10	70.97^{l}	20.20^{efg}	0.90^{n}	6.18^{mno}
10^{-12}	1	80.27^{b-f}	20.85^{bc}	1.01^{e-k}	6.81^{b-e}
	2	81.38^{bcd}	20.14^{fgh}	1.05^{c-h}	6.59^{e-j}
	3	78.88^{c-h}	21.08^{a}	1.05^{c-h}	6.88^{a-d}
	4	72.50^{k-l}	19.98^{gh}	1.14^{ab}	6.55f^{g}
	5	79.44^{c-f}	19.59^{ij}	1.05^{e-h}	6.43^{jk}
	6	88.36^{a}	20.59^{d}	1.04^{c-h}	6.73^{c-j}
	7	77.79^{d-i}	20.73^{cd}	1.07^{b-e}	6.73^{c-j}
	8	82.50^{bc}	19.67^{i}	1.02^{d-j}	7.01^{a}
	9	80.69^{b-e}	20.74^{cd}	1.06^{c-f}	7.11^{a}
	10	79.30^{c-f}	20.12^{fgh}	0.97^{j-n}	6.92^{abc}
10^{-6}	1	76.94^{e-j}	20.97^{abc}	1.07^{cde}	6.73^{c-g}
	2	79.16^{c-g}	20.21^{ef}	1.09^{bcd}	6.52^{g-k}
	3	79.30^{c-f}	21.03^{ab}	1.04^{c-i}	6.76^{c-f}
	4	80.00^{cf}	20.06^{fgh}	1.19^{a}	6.47^{h-k}
	5	79.16^{c-g}	19.47^{ij}	1.05^{c-g}	6.29^{klm}
	6	84.44^{ab}	20.36^{e}	1.06^{c-f}	6.56^{f-g}
	7	80.55^{b-e}	20.74^{cd}	1.02^{d-j}	6.67^{d-i}
	8	77.63^{d-i}	19.94^{h}	1.11^{bc}	6.43^{ijk}
	9	80.13^{b-f}	20.73^{cd}	1.07b^{-e}	6.67^{d-h}
	10	74.58^{h-l}	20.06^{fgh}	1.05^{c-g}	6.47^{h-k}

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد بر اساس آزمون LSD هستند

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

در بین ترکیبات تیماری خشکی و کاربرد هورمون بتا-استرادیول تیمار تأمین ۱۰۰ درصد آب قابل‌استفاده همراه با سطح $۱۰^{-۱۲}$ مولار هورمون با متوسط ۱۲۴/۱۶ گرم در بوته بالاترین وزن غده‌چه را به خود اختصاص دادند، کمترین مقدار صفت مذکور در تیمار تأمین ۴۰ درصد آب قابل‌استفاده همراه با هر سطوح شاهد، $۱۰^{-۶}$ و $۱۰^{-۱۲}$ مولار بتا-استرادیول به ترتیب با متوسط ۶/۵۶، ۸/۶۳ و ۸/۸۳ گرم در بوته اختصاص یافت (جدول ۳). تحت شرایط نرمال رطوبتی با افزایش سطح هورمون از شاهد به $۱۰^{-۶}$ و $۱۰^{-۱۲}$ مولار به‌صورت معنی‌دار بر وزن غده‌چه در بوته افزوده شد، در شرایط تأمین ۶۰ درصد آب قابل‌استفاده سطح $۱۰^{-۶}$ مولار در مقایسه با دو سطح دیگر از وزن غده‌چه در بوته برخوردار بود، در شرایط تأمین ۴۰ درصد آب قابل‌استفاده بین سطوح هورمون بتا-استرادیول اختلاف معنی‌دار دیده نشد؛ بنابراین می‌توان اظهار داشت استفاده از بتا-استرادیول تحت شرایط نرمال و تنش ملایم رطوبتی اثر چشم‌گیری در افزایش وزن غده‌چه در بوته دارد

و چنانچه گیاه با تنش شدید کم‌آبی روبر باشد استفاده از این هورمون نمی‌تواند موجبات افزایش وزن غده چه در بوته را فراهم سازد. تأثیر مثبت کاربرد استرادیول بر خصوصیات رشدی گیاهان در مطالعات دیگر محققین نیز گزارش شده است (Janeczko and Skoczowski, 2005; Bhattacharya and Gupta, 1981; Janeczko et al., 2003).

در این تحقیق ژنوتیپ G4 همراه با سطح 10^{-12} مولار بتا-استرادیول با متوسط ۶۲/۲۱ گرم در بوته بالاترین وزن غده‌چه در بوته را به خود اختصاص داد، کمترین وزن غده نیز در ژنوتیپ‌های G5، G7 و G10 در سطح شاهد بتا-استرادیول به ترتیب با متوسط ۱۶/۵۵، ۱۷/۴۰ و ۱۷/۶۱ گرم در بوته مشاهده شد (جدول ۴). مقایسات میانگین همچنین نشان داد در تیمار شاهد بتا-استرادیول ژنوتیپ G6 با متوسط ۲۵/۲۸ گرم در بوته بالاترین وزن غده‌چه در بوته را نشان داد اما بین ژنوتیپ مذکور و ژنوتیپ‌های G3،G1،G4 و G2 اختلاف معنی‌دار مشاهده نشد. در سطح 10^{-6} مولار بتا-استرادیول نیز دو ژنوتیپ G6 و G4 با متوسط ۴۶/۰۴ و ۴۱/۷۶ گرم در بوته بالاترین وزن غده‌چه در بوته را به خود اختصاص دادند.

جریان آب در گیاه و رسانیدن آب به سلول‌ها به حضور و فعالیت پروتئین‌های کانالی در غشاء سلولی به نام آکیوپورین بستگی دارد. آکیوپورین‌ها یک مسیر مهم انتخابی برای جریان آب به سلول را در غشاء سلولی فراهم می‌سازند (Eisenbarth et al., 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. گزارش شده است در گیاه آرابیدوپس که میزان بیان ژن آکیوپورین‌ها P_1P_1 و P_1P_2 تعرق کاهش نشان داده و بهبودی حاصل از تنش خشکی رخ نداده است (Martre et al., 2002). 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 می توان اظهار داشت که کاربرد هورمون بتا-استرادیول احتمالاً از طریق بهبود روابط آبی در سیب‌زمینی زمینه را برای رشد رویشی و افزایش عملکرد فراهم ساخته است. در مطالعه براون (Brown, 2006) کاربرد هورمون بتا-استرادیول در سیب‌زمینی اثر معنی‌داری در افزایش وزن غده داشت. تحقیقات در مورد تأثیر غلظت بسیار کم استروژن بر رشد گیاهان سیب‌زمینی مهم است زیرا سایر محققان دریافتند که غلظت‌های بسیار کم (۰/۰۰۵ میکروگرم بر لیتر) رشد گیاه را افزایش می‌دهد (Shore et. al, 1992; Janeczko and Skoczowski, 2005). اگر استروژن در غلظت‌های پایین رشد گیاهان سیب‌زمینی را بهبود بخشد می‌تواند با تحریک رشد بهتر سیب‌زمینی در کشاورزی با اهمیت باشد.

متوسط وزن غده‌چه

در بین تیمارهای تلفیقی خشکی و ژنوتیپ بالاترین متوسط وزن غده‌چه با متوسط ۱۹/۶۷ گرم به ژنوتیپ G4 در شرایط نرمال رطوبتی (تأمین ۱۰۰ درصد قابل‌استفاده) اختصاص داشت. در بین این دسته از تیمارها کمترین وزن متوسط غده‌چه به ترتیب با متوسط ۳/۶۱، ۳/۷۰، ۳/۷۳ گرم در ژنوتیپ‌های شماره G9، G2 و G3 در تیمار تأمین ۴۰ درصد آب قابل‌استفاده مشاهده شد (جدول ۲). لازم به ذکر است در تیمار تأمین ۶۰ درصد آب قابل‌استفاده ژنوتیپ G2 و در تیمار تأمین ۴۰ درصد آب قابل ژنوتیپ‌های G4 و G6 بالاترین متوسط وزن غده‌چه را به خود اختصاص دادند.

در بین تیمارهای تلفیقی خشکی و هورمون بتا-استرادیول بالاترین متوسط وزن غده‌چه با متوسط ۱۹/۶۷ گرم به تیمار نرمال رطوبتی همراه با سطح 10^{-12} مولار اختصاص داشت، کمترین تعداد غده‌چه نیز با متوسط ۳/۲۲ گرم به سطح شاهد هورمون در تیمار خشکی تأمین ۴۰ درصد آب قابل‌استفاده اختصاص یافت. (جدول ۳). در این مطالعه استفاده از هورمون بتا-استرادیول هم در شرایط نرمال رطوبتی و هم در شرایط تنش کم‌آبی توانست متوسط وزن غده‌چه را به‌صورت معنی‌داری در مقایسه با تیمار شاهد افزایش دهد.

در این مطالعه ژنوتیپ‌های G4، G9 و G6 در سطح 10^{-12} مولار هورمون بتا-استرادیول به ترتیب با متوسط ۱۱/۵۷، ۱۱/۳۷ و ۱۱/۳۵ گرم بالاترین و ژنوتیپ‌های G10، G3 و G9 در تیمار شاهد به ترتیب با متوسط ۶/۲۶، ۶/۳۱ و ۶/۳۲ گرم کمترین متوسط وزن غده‌چه را به خود اختصاص دادند (جدول ۴).

درصد قند محلول

نتایج نشان داد ژنوتیپ شماره G3 در تیمار تأمین ۶۰ درصد آب قابل‌استفاده با متوسط ۰/۶۶۶ درصد بالاترین درصد قند محلول را به خود اختصاص داد، بین تیمار مذکور و ترکیبات تیماری ژنوتیپ شماره G3 در تیمار نرمال رطوبتی و ژنوتیپ-های G7، G1 و G9 تیمار خشکی تأمین ۶۰ درصد آب قابل‌استفاده و ژنوتیپ‌های G3 و G1 در تیمار خشکی تأمین ۴۰ درصد آب قابل‌استفاده اختلاف معنی‌دار دیده نشد. کمترین درصد قند محلول به ژنوتیپ‌های G8 و G5 در تیمار نرمال رطوبتی به ترتیب با متوسط ۰/۶۰۶ و ۰/۶۱۸ درصد اختصاص یافت (جدول ۲). در شرایط تنش خشکی، کربوهیدرات‌های پیچیده موجود در بافت‌های گیاهان به کربوهیدرات‌های ساده‌تر تجزیه می‌شوند تا ضمن افزایش حلالیت، تنظیم اسمزی صورت گرفته و تحمل گیاه به تنش خشکی افزایش یابد (Chaves et al., 2003)؛ بنابراین، در تحقیق حاضر، با توجه به افزایش میزان کربوهیدرات‌های محلول در اثر تنش شدید خشکی، می‌توان نتیجه گرفت محتوای قندهای محلول غده می‌تواند به‌عنوان معیاری جهت ارزیابی تحمل گیاه سیب‌زمینی به تنش خشکی مورد استفاده قرار گیرد. افزایش محتوای قندهای محلول در سیب‌زمینی با تشدید تنش کم‌آبی در مطالعه کروسکیول و همکاران (Crusciol et al., 2009) و مسعودی صدقیانی و همکاران (Masoudi-Sadaghiani et al., 2011) نیز گزارش شده است. در مطالعه حمزه‌ای و همکاران (Hamzehei et al., 2017) بالاترین درصد قند غده (۲/۸ میکرومول بر گرم وزن-تر) در تیمار آبیاری ۵۰ درصد اختصاص داشت.

درصد ماده خشک غده‌چه

در این مطالعه بالاترین درصد ماده خشک در ژنوتیپ شماره G3 در تیمار خشکی تأمین ۶۰ درصد آب قابل‌استفاده و شرایط نرمال رطوبتی به ترتیب با متوسط ۲۱/۰۸ و ۲۱/۰۵ دیده شد، کمترین مقدار صفت مذکور با متوسط ۱۹/۱۸ درصد به ژنوتیپ شماره G5 در شرایط نرمال رطوبتی اختصاص یافت (جدول ۲). در این بررسی خشکی باعث افزایش مقدار ماده خشک غده در ژنوتیپ‌های سیب‌زمینی شد. پژوهش‌های بسیاری مؤید این مطلب است که با کاهش میزان آبیاری و اعمال تنش خشکی، ضمن کاهش عملکرد، درصد ماده خشک اندامهای هوایی و غده‌ها در سیب‌زمینی افزایش می‌یابد. در این تحقیقات دلیل کاهش پتانسیل آب اطراف ریشه و کمبود آب در دسترس گیاه ذکر شده است که در نتیجه آن آب کمتری به بافت‌های زنده گیاه هدایت و درصد ماده خشک غده‌ها افزایش می‌یابد (Ayas and Korukcu, 2010; Ayas, 2010). گلستانی کرمانی و همکاران (Golestani Kermani et al., 2014) مشاهده کردند در تیمار کم آبیاری سنتی، ماده خشک غده به طور متوسط ۱۴ درصد نسبت به آبیاری کامل افزایش یافت، همچنین در کم آبیاری متناوب نیز درصد ماده خشک غده نسبت به آبیاری کامل به طور متوسط ۸/۵۲ درصد افزایش یافت. جووانویک و همکاران (Jovanovic et al., 2010) نیز دریافتند با اعمال کم آبیاری، وزن خشک غده نسبت به آبیاری کامل افزایش نشان داد.

در بین ترکیبات تیماری تنش خشکی و هورمون بتا-استرادیول بالاترین درصد ماده خشک غده به تیمار خشکی تأمین ۶۰ درصد آب قابل‌استفاده و سطح 10^{-12} مولار با متوسط ۲۰/۴۶ درصد اختصاص داشت، این در حالی بود که ترکیب تیمار نرمال رطوبتی همراه با عدم مصرف هورمون با متوسط ۲۰/۱۱ درصد کمترین درصد ماده خشک را به خود اختصاص داد. در این مطالعه اگرچه خشکی درصد ماده خشک غده را افزایش داد اما استفاده از هورمون بتا-استرادیول در سطوح تنش موجب تسریع افزایش ماده خشک غده شد (جدول ۳). پاپدی و همکاران (Papdi et al., 2008) نشان دادند مقدار تحمل به شوری در آرابیدوپس در تیمارهایی هورمونی بتا-استرادیول به‌صورت معنی‌داری در مقایسه با شاهد افزایش نشان داد. همچنین جانیژکو (Janeczko et al., 2012) اظهار داشت کاربرد هورمون بتا-استرادیول در گیاه سویا با تحریک مسیرهای فتوسنتزی در گیاه موجب بهبودی رشد رویشی در گیاه مذکور شد.

نتایج نشان داد ژنوتیپ شماره G3 در هر سه سطح شاهد، 10^{-6} و 10^{-12} مولار به ترتیب با متوسط ۲۱/۰۸، ۲۱/۰۳ و ۲۱/۹۹ درصد بالاترین درصد ماده خشک را به خود اختصاص داد، کمترین درصد ماده خشک در این دسته از تیمارها به ژنوتیپ شماره G5 در هر سه سطح شاهد، 10^{-6} و 10^{-12} مولار به ترتیب با متوسط ۱۹/۴۱، ۱۹/۴۷ و ۱۹/۵۹ درصد اختصاص یافت (جدول ۴). گزارش شده است کاربرد هورمون‌های جنسی پستانداران باعث کاهش نفوذپذیری غشای سلولی و بهبود کارآیی جریان انرژی در فتوسیستم دو در آرابیدوپس در طول آلودگی باکتریایی می‌شود (Janeczko et al., 2012).

درصد پروتئین غده‌چه

در تحقیق حاضر بالاترین درصد پروتئین غده‌چه با متوسط ۱/۲۷ درصد به ژنوتیپ شماره G4 بدون اختلاف معنی‌دار با ژنوتیپ‌های شماره G8 و G1 در تیمار خشکی تأمین ۴۰ درصد آب قابل‌استفاده اختصاص داشت، کمترین درصد پروتئین غده نیز با متوسط ۰/۸۳ درصد به ژنوتیپ شماره G2 در تیمار نرمال رطوبتی اختصاص داشت، بین ژنوتیپ مذکور و ژنوتیپ‌های شماره G1، G3، G6 و G8 در تیمار نرمال رطوبتی اختلاف معنی‌دار دیده نشد (جدول ۳). در مطالعه حمزه‌ای و همکاران (Hamzehei et al., 2017) بالاترین محتوای پروتئین محلول (سه میکرومول بر گرم وزن‌تر)، به رژیم آبیاری ۸۰ درصد مربوط بود.

در مطالعه حاضر ژنوتیپ شماره G4 در هر دو سطح 10^{-12} و 10^{-6} مولار هورمون بتا-استرادیول به ترتیب با متوسط ۱/۱۹ و ۱/۱۴ درصد بالاترین و ژنوتیپ شماره G10 در تیمار شاهد هورمون با متوسط ۰/۹۰ درصد کمترین درصد پروتئین غده را به خود اختصاص داد (جدول ۴). توجه به افزایش سطح پروتئین در ژنوتیپ‌های موردبررسی در اثر کاربرد هورمون بتا-استرادیول می‌توان اظهار داشت کاربرد این هورمون از طریق افزایش رونویسی و ترجمه ژن‌ها زمینه را برای سنتز پروتئین‌ها را فراهم ساخته است. چودری و همکاران (Choudhary et al., 2012) نشان دادند که کاربرد ۲۴-اپی براسینوئید (یک براسینواستروئید فعال) و اسپرمیدین (یک پلی آمین فعال) روش مؤثری برای کاهش سمیت مس و برقراری تعادل مس در ترب وحشی (*Raphanus sativus*) است. در مطالعه اردال و همکاران (Erdal and Dumlupinar, 2011) کاربرد هورمون بتا-استرادیول به‌صورت معنی‌دار محتوی پروتئین گیاهچه را افزایش داد و بالاترین محتوی پروتئین، گیاهچه نخود در تیمار 10^{-9} مولار هورمون گزارش شد.

درصد نشاسته

در مطالعه حاضر ژنوتیپ‌های شماره G4، G8، G1، G7 و G2 در شرایط تأمین ۴۰ درصد آب قابل‌استفاده به ترتیب با متوسط ۱۴/۴۵، ۱۳/۸۰، ۱۳/۷۱، ۱۳/۶۰ و ۱۳/۶۰ درصد بالاترین و ژنوتیپ‌های شماره G2، G1، G3، G6، G8، G7 و G10 در تیمار شرایط آبیاری نرمال کمترین درصد نشاسته غده را به خود اختصاص دادند (جدول ۲).

در بین ترکیبات تیماری خشکی و هورمون، تیمار تأمین ۶۰ درصد آب قابل‌استفاده با دو سطح 10^{-12} و 10^{-6} مولار به ترتیب با متوسط ۱۳/۳۱ و ۱۳/۱۸ درصد بالاترین درصد نشاسته غده را به خود اختصاص دادند، کمترین درصد نشاسته غده نیز با متوسط ۹/۰۱ درصد شرایط آبیاری نرمال همراه با تیمار شاهد هورمون بتا-استرادیول اختصاص داشت (جدول ۳). به نظر می‌رسد بر اثر اعمال تنش خشکی انتقال مواد تجمع یافته به ریشه و غده سیب‌زمینی افزایش یافته که باعث افزایش بیشتر وزن خشک ریشه و درصد ماده خشک و نشاسته در تیمار خشکی شده است (Liu et al., 2006). در مطالعه گلستانی کرمانی و همکاران (Golestani Kermani et al., 2014) بین سطوح خشکی از لحاظ اثر بر درصد نشاسته اختلاف معنی‌دار گزارش شد، آن‌ها اظهار داشتند نشاسته سیب‌زمینی به طور متوسط در کم آبیاری متناوب ۶/۱ درصد نسبت به آبیاری کامل افزایش نشان داده است. ووانوویک و همکاران (Jovanovic et al., 2010) و جنسن و همکاران (Jensen et al., 2010) نیز اظهار داشته‌اند کم‌آبی میزان نشاسته و آنتی‌اکسیدان‌ها غده سیب‌زمینی نسبت به آبیاری کامل افزایش می‌دهد.

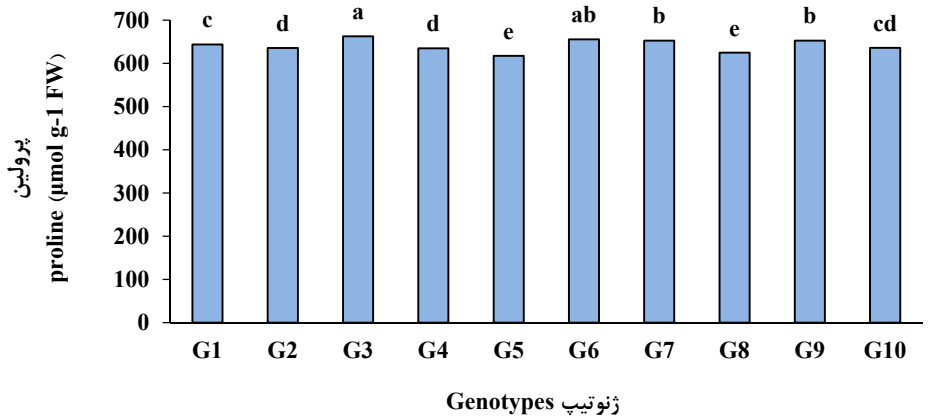
محتوی پرولین

در بین ترکیبات تیماری بالاترین محتوی پرولین به سطح خشکی تأمین ۴۰ درصد آب قابل‌استفاده همراه با دو سطح 10^{-12} و 10^{-6} مولار هورمون بتا-استرادیول اختصاص داشت کمترین محتوی پرولین نیز در تیمار نرمال رطوبتی همراه با تیمار شاهد و 10^{-6} هورمون دیده شد (جدول ۴). در مطالعه حاضر استفاده از هورمون بتا-استرادیول در دو سطح آبیاری با تأمین ۴۰ و ۶۰ درصد آب قابل‌استفاده سطح خشکی محتوی پرولین را به‌صورت معنی‌دار افزایش داد. افزایش بیانِ ژن‌های مسئول ساخت پرولین و جلوگیری از تخریب پرولین دو مسیری هستند که منجر به پیدایش چرخه پرولین می‌شوند، احتمالاً استفاده از هورمون بتا-استرادیول با دخالت در این دو مسیر توانسته است زمینه را برای افزایش فعالیت پرولین در شرایط تنش فراهم سازد. در مطالعه حمزه‌ای و همکاران (Hamzehei et al., 2017) و کای (Kai, 2011) تنش کم‌آبی محتوی پرولین را در سیب‌زمینی به‌صورت معنی دار افزایش داد. با توجه به عدم معنی‌داری برهمکنش ژنوتیپ با سطوح خشکی و هورمون، در بین ژنوتیپ‌های موردبررسی، بالاترین محتوی پرولین در ژنوتیپ‌های G3 و G6 و کمترین

مقدار در ژنوتیپ G5 دیده شد (شکل ۱). یکی از دلایل متحمل بودن به تنش کم‌آبی در ژنوتیپ G6 احتمالاً بالا بودن محتوی پرولین است که در مقاوم به خشکی در گیاهان نقش دارد.

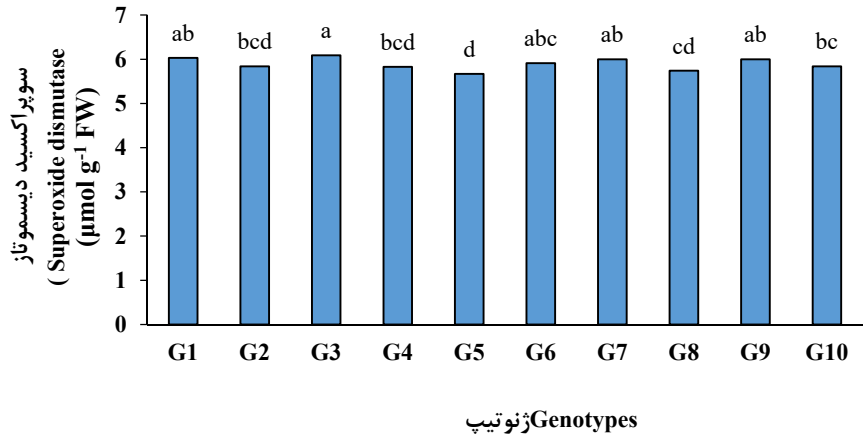
سوپراکسید دیسموتاز

در این بررسی سطح نرمال رطوبتی در ترکیب با هر سه سطح هورمون بتا-استرادیول کمترین محتوی سوپراکسید دیسموتاز را به خود اختصاص دادند و بین آن‌ها اختلاف معنی‌داری دیده نشد، این در حالی بود که سطح خشکی تأمین ۴۰ درصد آب قابل‌استفاده همراه با سطوح $^{-12}$۱۰ و $^{-6}$۱۰ هورمون بتا-استرادیول بالاترین مقدار فعالیت آنزیم مذکور را به خود اختصاص دادند (جدول ۳). نوذری و همکاران (Nozari et al., 2018) در بررسی تأثیر هورمون استروئیدی تستوسترون بر گیاهچه بابونه آلمانی نشان دادند این هورمون تأثیر معنی‌داری بر فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان گیاهچه دارد به طوری که تحت تأثیر این هورمون فعالیت این آنزیم‌ها افزایش می‌یابد. در بین ژنوتیپ‌های موردبررسی بالاترین و پایین‌ترین مقدار فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز به ترتیب به ژنوتیپ‌های G3 و G5 اختصاص داشت (شکل ۲).



شکل ۱. مقایسه ژنوتیپ‌های سیب‌زمینی در میانگین سطوح تنش خشکی و هورمون بتااسترادیول از لحاظ محتوی پرولین برگ

Fig. 1. Comparison of potato genotypes means under average drought stress and β-estradiol levels in terms of leaf proline content



شکل ۲. مقایسه ژنوتیپ‌های سیب‌زمینی در میانگین سطوح تنش خشکی و هورمون بتااسترادیول از لحاظ محتوی سوپراکسید دیسموتاز برگ

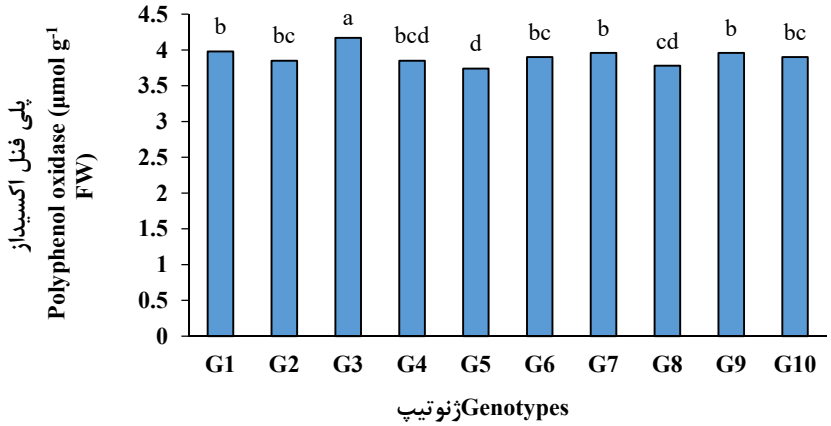
Fig. 2. Comparison of potato genotypes means under average drought stress and β-estradiol levels

کاتالاز

در بین تیمارهای تلفیقی سطح تأمین ۴۰ درصد آب قابل‌استفاده همراه با سطح $۱۰^{-۱۲}$ مولار هورمون بتا-استرادیول بالاترین و تیمار نرمال رطوبتی همراه با تیمار شاهد هورمون بتا-استرادیول کمترین مقدار فعالیت هورمون کاتالاز را به خود اختصاص دادند (جدول ۳). در مطالعه نوذری و همکاران (Nozari et al., 2018) بالاترین مقدار فعالیت آنزیم کاتالاز در گیاهچه بابونه آلمانی در سطح ۰/۱ و ۱ میلی‌گرم در لیتر هورمون استروئیدی تستوسترون گزارش شد. آن‌ها اظهار داشتند کاربرد هورمون استروئیدی تستوسترون ممکن است به وسیله تنظیم فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان به پاکسازی گونه‌های فعال اکسیژن (ROS) و کاهش اثرات تخریبی آن‌ها کمک کند. افزایش فعالیت آنزیم-های آنتی‌اکسیدان با کاربرد هورمون جنسی آندروسترون در گیاهان مختلف تحت شرایط تنش‌های محیطی در مطالعه اردال (Erdal, 2012a; Erdal, 2012b) نیز گزارش شده است. اردال و دوملوپینار (Erdal and Dumlupinar, 2011) گزارش کردند بالاترین محتوی سوپراکسید دیسموتاز، پلی‌فنل‌اکسیداز و کاتالاز در گیاه نخود به تیمار $۱۰^{-۶}$ مولار هورمون بتا-استرادیول اختصاص داشت. در این مطالعه ژنوتیپ‌های شماره G9، G8، G10 و G3 در ترکیب با سطح $۱۰^{-۱۲}$ مولار هورمون بتا-استرادیول بالاترین و ژنوتیپ‌های G5، G8، G6،G2 و G10 در سطح شاهد هورمون کمترین مقدار فعالیت آنزیم کاتالاز را به خود اختصاص دادند (جدول ۴).

پلی‌فنل‌اکسیداز

در بین ترکیبات تیماری خشکی و هورمون بتا-استرادیول بالاترین مقدار فعالیت پلی‌فنل‌اکسیداز به سطح خشکی تأمین ۴۰ درصد آب قابل‌استفاده همراه با سطح $۱۰^{-۱۲}$ مولار مولار بتا-استرادیول اختصاص داشت کمترین مقدار فعالیت آنزیم مذکور نیز در تیمار نرمال رطوبتی همراه با تیمار شاهد هورمون اختصاص یافت (جدول ۳). در تحقیقی چائوی و الفرجانی (Chaoui and El Ferjani, 2013) اظهار داشتند کاربرد هورمون بتا-استرادیول از طریق بهبود فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان به‌خصوص سوپراکسید دیسموتاز، کاتالاز و پلی‌فنل‌اکسیداز اثر تنش عناصر سنگین (مس) را بر گیاهچه‌های عدس تعدیل می‌کند. در بین ژنوتیپ‌های موردبررسی ژنوتیپ شماره G3 بالاترین و ژنوتیپ G5 کمترین مقدار فعالیت آنزیم مذکور را به خود اختصاص دادند (شکل ۳).



شکل ۳. مقایسه ژنوتیپ‌های سیب‌زمینی در میانگین سطوح تنش خشکی و هورمون بتااسترادیول از لحاظ محتوی پلی‌فنل‌اکسیداز برگ

Fig. 3. Comparison of potato genotypes means under average drought stress and β-estradiol levels in terms of leaf polyphenol oxidase content

نتیجه‌گیری نهایی

نتایج نشان داد ژنوتیپ‌های G6، G4 و G3 در شرایط نرمال رطوبتی بالاترین وزن غده‌چه در بوته را به خود اختصاص دادند. در تیمار خشکی تأمین ۶۰ درصد آب قابل‌استفاده نیز اگرچه بالاترین وزن غده‌چه به ژنوتیپ G1 اختصاص داشت اما بین ژنوتیپ مذکور و ژنوتیپ‌های G2، G3، G5 و G6

اختلاف معنی‌دار وجود نداشت؛ بنابراین دو ژنوتیپ G3 و G6 می‌توانند ژنوتیپ‌های امیدبخشی برای کشت در شرایط نرمال و تنش ملایم رطوبتی در منطقه باشند، در تیمار خشکی تأمین ۴۰ درصد آب قابل‌استفاده نیز تنها اختلاف معنی‌دار بین ژنوتیپ G6 و G9 دیده شد. می‌توان نتیجه گرفت که واکنش ۱۰ ژنوتیپ موردبررسی به شرایط تنش شدید تقریباً مشابه بوده است. در این مطالعه استفاده از هورمون بتا-استرادیول به‌خصوص سطح 10^{-12} موجب بهبود خصوصیات کمی و کیفی سیب‌زمینی در سطوح مختلف خشکی شد، بنابراین استفاده از هورمون مذکور جهت بهبود خصوصیات کمی و کیفی سیب‌زمینی در منطقه که گیاه دامنه متنوعی از تنش کم‌آبی را تجربه می‌کند می‌تواند برای تعدیل اثر تنش کم‌آبی مفید باشد. در بین ژنوتیپ‌های موردبررسی G4 در سطح 10^{-12} مولار بتا-استرادیول بیشترین وزن غده‌چه در بوته را به خود اختصاص دادند. می‌توان نتیجه گرفت پتانسیل ژنتیکی این ژنوتیپ جهت جذب و بکارگیری این هورمون در مقایسه با دیگر ژنوتیپ‌های موردبررسی بالاتر است.

منابع

Agili, S., Aggrey, B.N., Ngamau, K., Masinde, W.P., 2015. In vitro evaluation of orange-fleshed sweet potato genotypes for drought tolerance using polyethylene glycol. Potato and Sweet Potato in Africa: Transforming the Value Chains for Food and Nutrition Security. 30th June to 4th July 20139, the Triennial Conference of APA, Naivasha, Kenya

Ayas, S., 2013. The effects of different regimes on potato (*Solanum tuberosum* L. Hermes) yield and quality characteristics under unheated greenhouse conditions. Bulgarian Journal of Agricultural Science. 19, 87-95.

Ayas, S., Korukcu, A., 2010. Water-yield relationships in deficit irrigated potato. Journal of Agricultural Faculty of Uludag University. 24, 23-26.

Bates, L.S., Waldren, R.P., Teare, I.D., 1973. Rapid determination of free proline for water stress studies. Plant and Soil. 39, 205-207.

Bhattacharya, B., Gupta, K., 1981. Steroid hormone effects on growth and apical dominance of sunflower. Phytochemistry. 20, 989-991.

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

Cantore, V., Wassar, F., Yamaç, S.S., Sellami, M. H., Albrizio, R., Stellacci, A.M., Todorovic, M., 2014. Yield and water use efficiency of early potato grown under different irrigation regimes. International Journal of Plant Production. 8, 409-428.

Carli, C., Yuldashev, F., Khalikov, Condori, B., Mares, V., and Monneveux, A., 2014. Effects of different irrigation regimes on yield, water use efficiency and quality of potato in the lowlands of Tashkent, Uzbekistan: A field and modeling perspective. Field Crops Research 163, 90-99.

Carreau, S., Delalande, C., Silandre, D., Bourguiba, S. Lambard, S., 2004. Aromatase and estrogen receptors in male reproduction. Molecular and Cellular Endocrinology. 246, 65-68.

Chance, B., Maehley, A., 1955. Assay of catalases and peroxidase, Methods in Enzymology. 2, 764–775.

Chaoui, A., El Ferjani, E., 2013. β-Estradiol protects embryo growth from heavy-metal toxicity in germinating lentil seeds. Journal of Plant Growth Regulation. 32, 1-16.

Chaves, M.M., Maroco, J.P., Pereira, J.S., 2003. Understanding plant responses to drought from genes to the whole plant. Functional Plant Biology. 30, 239-264.

Choudhary, S.P., Oral, H.V., Bhardwaj, R., Yu, J.Q., Tran, L.S.P. 2012. Interaction of brassinosteroids and polyamines enhances copper stress tolerance in Raphanus sativus. Journal of Experimental Botany. 63, 5659–5675

Crusciol, C.A.C., Pulz, A.L., Lemos, L.B., Soratto, R.P. Lima, G.P.P., 2009. Effects of

silicon and drought stress on tuber yield and leaf biochemical characteristics in potato. Crop Science. 49, 949-954.

Eisenbarth D.A., Weig A.R., 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. Androsterone-induced molecular and physiological changes in maize seedlings in response to chilling stress. Plant Physiology and Biochemistry. 57, 1-7.

Erdal, S., 2012b. Exogenous mammalian sex hormones mitigate inhibition in growth by enhancing antioxidant activity and synthesis reactions in germinating maize seeds under salt stress. Journal of the Science of Food and Agriculture. 92, 839-843

Erdal, S., Dumlupinar, R., 2011. Mammalian sex hormones stimulate antioxidant system and enhance growth of chickpea plants. Acta Physiologiae Plantarum. 33, 1011–1017

Food and Agriculture Organization. 2018. FAOSTAT, Retrieved January 12, 2018, from http://faostat.fao.org/site/291/default.aspx. (Accessed 10 September 2018).

Giannopolitis, C.N., Ries. S.K., 1977. Superoxide dismutases I. occurrence in higher plants. Plant Physiology. 59, 309-14.

Golestani Kermani, S., Nouri Imamzadehei, M., Shayannezhad, M., Shahnazari, A., Mohammadkhani, A., 2014. Effects of water stress on quantitative and qualitative properties of potato crop (c.v. Agria) in deficit irrigation and partial root zone drying techniques. Journal of Irrigation Sciences and Engineering, 37, 123-135.

Gu F., Hata R., Toku K., Yang L., Ma Y.J., Maeda, N., 2003. Testosterone up-regulates aquaporin-4 expression in cultured astrocytes. Journal of Neuroscience Research. 72, 709-715.

Hamzehei, R., Davtyan, V. A., Ghobadi, M. E., Parvizi, KH., Ghadami-Firoozabadi, A., 2017. Effect of deficit irrigation on some physiological characteristics and yield in two potato (*Solanum tuberosum* L.) cultivars. Plant Production Technology. 17, 15-26. [In Persian with English summary]

Hanselman, T.A., Graetz, D.A. Wilkie, A.C., 2003. Manure-borne estrogens as potential environmental contaminants: A review. Environmental Science and Technology. 37, 5471-5478.

Hassanpanah, D., 2009. In vitro and in vivo screening of potato cultivars plantlets against water stress by polyethylene glycol and potassium humate. Biotechnology. 8, 132-137.

Hassanpanah, D., 2010. Evaluation of potato advanced cultivars against water deficit stress under in vitro and in vivo condition. Biotechnology. 9, 164-169.

Hassanpanah, D., Asghari Zakaria, R., 2018. Evaluation of radiated potato genotypes with gamma rays in water deficit stress. Agricultural Science and Sustainable Production. 28, 107-122. [In Persian with English summary].

Hassanpanah, D., Hassanabadi, H., 2011. Evaluating tolerance of potato cultivars and promising clones to water deficit in Ardabil region. Journal of Crop and Weed Ecophysiology. 4, 1-18. [In Persian with English summary].

Janeczko A., Tóbiás I., Skoczowski A., Dubert F., Gullner G, Barna B., 2012. Progesterone attenuates both cell membrane damage and loss of photosynthetic efficiency caused by infection with Pseudomonas bacteria in *Arabidopsis thaliana*. Biologia Plantarum. 56, 192–196

Janeczko, A., 2000. Influence of selected steroids on plant physiological processes especially flowering induction. Ph.D. Thesis, Agriculture University, Krakow.

Janeczko, A., Filek, W., Biesaga-Kościelniak, J., Marcińska, I., Janeczko, Z., 2003. The influence of animal sex hormones on the Iinduction of fowering in *Arabidopsis thaliana*: comparison with the effect of 24-Epibrassinolide. Plant Cell, Tissue and Organ Culture. 72, 147-151

Janeczko, A., Kocurek, M., Marcińska, I., 2012. Mammalian androgen stimulates photosynthesis in drought-stressed soybean. Central European Journal of Biology. 7, 902-909.

Janeczko, A., Skoczowski, A., 2005. Mammalian sex hormones in plants. Folia Histochemica ET Cytobiologica. 43, 71-79.

Jensen, C.R., Battilani, A., Plauborg, F., Psarras, G., Chartzoulakis, K., Jovanovic, Z. Li, G., Andersen, M.N., 2010. Deficit irrigation based on drought tolerance and root signaling in potatoes and tomatoes. Agricultural Water Management. 98, 403-413.

Jovanovic, Z., Stikic, R., Vucelic-Radovic, B., Paukovic, M., Brocic, Z., Matoric, G., Rovcanin, S., Mojevic, M., 2010. Partial root zone drying increases WUE, N and antioxidant content in field potatoes. European Journal of Agronomy. 33, 124-131.

Khan, H., Link, U., Hocking, W., Stoddard, F., 2007. Evaluation of physiological traits for improving drought tolerance in faba bean (*Vicia faba* L.). Plant and Soil. 292, 205-217.

Khaninejad, S., Khazaie, H.R., Nabati, J., Kafi, M., 2017. Effect of three species of Mycorrhiza inoculation on yield and some physiological properties of two potato cultivars under drought stress in controlled conditions. Iranian Journal of Field Crops Research. 14, 558-574. [In Persian with English summary].

Liu, F., Shahnazri, A., Andersen, M.N., Jacobsen, S.E., Jensen, C.R., 2006. Effects of deficit irrigation (DI) and partial root drying (PRD) on gas exchange, biomass partitioning and water use efficiency in potato. Scientia Horticulturae. 109, 113-117.

Mac-Adam J. W., Nelson C.J., Sharp R.E., 1992. Peroxidase activity in the leaf elongation zone of tall fescue I. Spatial distribution of ionically bound peroxidase activity in genotypes differing in length of the elongation zone. Plant Physiology, 99, 872-878.

Martre P., Morillon R., Barrieu F., North G.B., Nobel P.S., Chrispeels M.J., 2002. Plasma membrane aquaporins play a significant role during recovery from water deficit. Plant Physiology. 130, 2101–2110.

Masoudi-Sadaghiani, F., Abdollahi-Mandoulakani, B., Zardoshti, M. R., Rasouli-Sadaghiani, M. H. and Tavakoli, A., 2011. Response of proline, soluble sugars, photosynthetic pigments and antioxidant enzymes in potato (*Solanum tuberosum* L.) to different irrigation regimes in greenhouse condition. Australian Journal of Crop Science. 5, 55-60.

Morillon R., Catterou M., Sangwan R.S., Sangwan B.S., Lassalles J.P., 2001. Brassinolide may control aquaporin activities in *Arabidopsis thaliana*. Planta. 212, 199-204

Nouri, A., Ahmad Nezami, A., Kafi, M, Hassanpanah. D., 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, 243-268. [In Persian with English summary].

Nozari, E., Asghari-Zakaria, R., Jahanbakhsh, S., Zare, N., 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, 31-38. [In Persian with English summary].

Papdi, C.A.,´ Braha´m, E., Joseph, M.P., Popescu, C., Koncz, C., Szabados, L., 2008. Functional identification of Arabidopsis stress regulatory genes using the controlled cDNA overexpression system. Plant Physiology. 147, 528–542.

Raymond J., Rakariyatham, N., Azanza J. L., 1993. Purification and some properties of polyphenoloxidase from sunflower seeds. Phytochemistry. 34, 927–931.

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. 04, 2386–2393.

Samaee, M., Mohammad Modarres-Sanavy, S. A., Mousapour Gorji. A., Zand, E., 2016. Water use efficiency and water productivity in potato genotypes under water stress conditions. Journal of Water and Soil Conservation. 6, 15-31. [In Persian].

Schultz, M.M., Minarik, T.A., Martinovic-Weigelt, D., Curran, E.M., Bartell, S.E., Schoenfuss, H.L., 2013. Environmental estrogens in an urban aquatic ecosystem: II. Biological effects. Environment International. 61, 138-149.

Shore, L.S., Kapulink, Y., Ben-Dor, B., Fridman, Y., Winninger, S., Shenesh, M., 1992. Effects of estrone and 17-β-estradiol on vegetative growth of *Medicago sativa*. Plant Physiology. 84, 217-222.

Singh, J., Kaur, L., Mc carthy, O. J., Moughan, P. J., Singh, H., 2009. Development and characterization of extruded snacks from New Zealand taewa (*Maori potato*) flours. Food Research International. 42, 663-673.

Sriom, S., Mishra, D. P., Rajbhar, P., Singh, D., Singh, R. K., Mishra, S. K., 2017. Effect of

different levels of nitrogen on growth and yield in potato (*Solanum Tuberosum* L.) Cv. Kufri Khyati. International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences, 6, 1456–1460.

Steyn, J.M., Kagabo, D.M., Annandale, J.G., 2007.Potato growth and yield responses to irrigation regimes in contrasting seasons a subtropical region. African Crop Science Conference Proceeding. 8, 1647-1651.

Sumpter, J.P. and Jobling, S., 2013. The occurrence, causes and consequences of estrogens in the aquatic environment. Environmental Toxicology and Chemistry, 32, 249-251.

Ylstra, B., Touraev, A., Brinkmann, A.O., Heberle-Bors, E. Tunen, A., 1995. Steroid hormones stimulate germination and tube growth of in vitro matured tobacco pollen. Plant Physiology. 107, 639-643.