



تأثیر پرتوتابی گاما روی عملکرد کمی و کیفی ژنوتیپ‌های مختلف چغندرقد تحت شرایط مختلف آبیاری[†]

The effect of gamma radiation on quantitative and qualitative yield of different sugar beet genotypes under different irrigation conditions

رحیم محمودی^۱، بهزاد ثانی^{۲*}، مهدی صادقی شعاع^۳، فائزه رجبزاده^۴ و حمید مظفری^۴

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۲/۰۷ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۵/۲۵

نوع مقاله: پژوهشی

DOI: 10.22092/JSB.2023.357667.1297

ز. محمودی، ب. ثانی، م. صادقی شعاع، ف. رجبزاده و ح. مظفری. ۱۴۰۱. تأثیر پرتوتابی گاما روی عملکرد کمی و کیفی ژنوتیپ‌های مختلف چغندرقد تحت شرایط مختلف آبیاری. چغندرقد، ۳۸(۱): ۵۵-۷۰

چکیده

اثر پرتوگاما روی بذر و تنش آبی بر عملکرد کمی و کیفی در ژنوتیپ‌های مختلف چغندرقد در دو مکان قم و اسلامشهر بررسی شد. آزمایش به صورت اسپلیت پلات فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار به اجرا درآمد. فاکتور آبیاری شامل دو سطح (نرمال و تنش کم آبیاری) بود که در کرت اصلی قرار گرفت و فاکتور دوم شامل ژنوتیپ (اکباتان، مطهر، پایا و مادری پایا) و فاکتور سوم پرتوهی پرتوگاما بر روی بذر (شاهد، ۵۰، ۱۰۰، ۲۰۰ و ۴۰۰ گری) بودند که در کرت‌های فرعی قرار گرفتند. نتایج نشان داد بین دو مکان مورد ارزیابی اختلاف معنی‌داری برای اکثر صفات وجود داشت به‌صورتی که مکان اسلامشهر عملکرد ریشه بالاتر و شرایط مطلوب‌تری را نسبت به مکان قم داشت. بررسی اثرات متقابل میزان آبیاری × ژنوتیپ بر روی عملکرد شکر سفید نشان داد در آبیاری نرمال، بیش‌ترین مقدار این صفت را ارقام اکباتان، مطهر و پایا داشتند که از نظر آماری در یک گروه قرار گرفتند. در حالی که در شرایط تنش، رقم پایا بیش‌ترین عملکرد شکر سفید را داشت. بررسی نتایج هم‌چنین نشان داد کاربرد پرتوگاما با دز ۱۰۰ گری در چغندرقد، باعث افزایش عملکرد شکر سفید ریشه، کم‌ترین مقدار عملکرد شکر سفید ریشه، مربوط به دز ۴۰۰ گری بود. بنابراین استفاده از دزهای مناسب پرتوگاما می‌تواند در افزایش عملکرد چغندرقد نقش داشته باشد.

واژه‌های کلیدی: آبیاری، پرتو گاما، ژنوتیپ چغندرقد، عملکرد ریشه، عملکرد شکر سفید

†- این مقاله مستخرج از پایان نامه دانشجویی دکتر، تحت عنوان «ارزیابی واکنش کمی و کیفی ژنوتیپ‌های مختلف چغندرقد به پرتوتابی اشعه گاما در شرایط مختلف آبیاری» می‌باشد.



۱- دانشجوی دکتری گروه زراعت، واحد شهرقدس، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.
۲- دانشیار گروه زراعت، واحد شهرقدس، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران. *- نویسنده مسئول sani.behzad@yahoo.com
۳- استادیار مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه بذر چغندرقد سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.
۴- استادیار گروه زراعت، واحد شهرقدس، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

مقدمه

چغندر قند (*Beta vulgaris* L.) بعد از نیشکر دومین گیاه قندی مهم برای تأمین شکر مورد نیاز جهان می باشد (Sadeghi-shoae and Taleghani 2017). در بسیاری از مناطق دنیا محدودیت آب میزان تولید چغندر قند را تحت تأثیر قرار داده است (Choluj *et al.* 2014). به طوری که در بسیاری از مناطق خشک و نیمه خشک تا ۳۰ درصد کاهش عملکرد را تحت تأثیر کمبود آب گزارش نموده اند (Ober 2001). رویکردهای زراعی و مولکولی مختلفی وجود دارند که می توانند اثرات مخرب تنش آبی را در گیاهان نشان دهند (Alam *et al.* 2014; Hasanuzzaman and Fujita 2011). تنش خشکی باعث محدودیت های مختلفی در گیاهان مانند کوچک تر شدن جثه گیاه، تغییرات در سیستم ریشه ای، کاهش سطح و وزن برگ، رسیدگی زود هنگام، کاهش فتوسنتز و بسیاری تغییرات دیگر می شوند (Fayaz and Bazaid 2014). تنظیم برنامه های زراعی برای توقف یا محدودیت رشد با تغییر در روابط منبع- مخزن و افزایش سنتز و ذخیره ساکارز منجر به افزایش درصد قند می شود (Eck *et al.* 1990). مدیریت آبیاری علاوه بر اینکه ظرفیت چغندر قند را به طور مثبت تحت تأثیر قرار می دهد موجب کاهش موادمضره نظیر نیتروژن، سدیم و پتاسیم در ریشه شده و برای افزایش عملکرد قند حائز اهمیت است. از طرف دیگر آبیاری بیش از حد می تواند به علت ماندابی و یا آبشویی، افزایش و شیوع آفات، بیماری ها و دشواری های برداشت ریشه را سبب گردد و باعث کاهش کارایی مصرف آب نیز گردد (Kocheiki *et al.* 2003). ایجاد تنش آبی در اواخر فصل رشد چغندر قند، انگور و نیشکر می تواند باعث افزایش درصد قند شود (Kheirabi 1995).

در بررسی چغندر قند تحت شرایط کم آبی مشاهده شد کاهش مصرف آب باعث کاهش معنی دار عملکرد ریشه و عملکرد قند خالص می گردد و محدودیت رطوبت در خاک باعث کاهش سطح برگ و در پی آن کاهش فتوسنتز و در نتیجه

کاهش عملکرد ریشه می شود (Firoozabadi *et al.* 2003). کوک و اسکات (Cook and Scott 1993) اظهار داشتند عامل اصلی تعیین کننده رشد ریشه، انتقال کربوهیدرات ها از برگ به ریشه است که وقتی تنش این عرضه را کاهش دهد، رشد ریشه به طور اجتناب ناپذیری نقصان می یابد. صادقی شعاع و همکاران (Sadeghi Shoae *et al.* 2011) نشان دادند سطوح مختلف رژیم آبیاری بر روی صفات عملکرد ریشه ذخیره ای، وزن خشک کل تولیدی چغندر قند و کارایی مصرف آب تأثیر داشت به طوری که در شرایط تنش خشکی به علت افزایش اسیدآبسیزیک در مسیرهای مزوفیل، روزنه ها بسته می شوند و هدایت روزنه ای در برگ کاهش می یابد و نفوذ دی اکسید کربن در گیاه برای آسیمیلاسیون کاهش می یابد در نتیجه آماس سلول نیز کاهش می یابد که این کاهش و افزایش قدرت مکانیکی خاک خشک می تواند رشد ریشه را محدود سازد. تنش خشکی از توسعه بیشتر سلول و تقسیم سلولی ممانعت به عمل می آورد و سبب کاهش عملکرد در گیاهان می شود. با اینکه گزارش شده است چغندر گیاهی مقاوم به تنش خشکی است اما جهت دستیابی به عملکرد بالا به کارگیری راهکارهایی که به تواند اثرات منفی تنش خشکی را کاهش دهد، مورد توجه است (Ober 2001).

پرتوهای الکترومغناطیسی (نظیر پرتوهای کیهانی) گاما، ایکس، فرابنفش، نور مرئی، فروسرخ و امواج رادیویی) از نظر طول موج، فرکانس و در نتیجه مقدار انرژی و نفوذ پذیری در بافت های موجودات زنده متفاوت می باشند (Shojaei *et al.* 2010). این یک تصور اشتباه است که پرتوهای یونیزه تأثیر منفی بر سلول های زنده دارند، چرا که دزهای پایین پرتوهای گاما می توانند اثرات فیریولوژیکی مطلوبی بر فعالیت های سلول در گیاهان و میکروارگانیسم ها نظیر تأثیر بر فرایند فتوسنتز، شتاب دادن به تکثیر سلولی، بهبود جوانه زنی، افزایش نرخ رشد، افزایش مقاومت در برابر تنش و یا بهبود محصول دهی گیاهان زراعی داشته باشند (Brahmi *et al.* 2014; Nepal *et al.*).

ملکی و دهمنی (Melki and Dahmani 2009) بر روی گندم، پرتوگاما با دز ۲۰ گری باعث افزایش سرعت و ظرفیت جوانه‌زنی شد. پرتوگاما با دز مناسب موجب افزایش صفات کمی و کیفی برنج شد اما دزهای بالا نتایج برعکس داد (Saha *et al.* 2005). در بررسی اثر دزهای مختلف پرتوگاما بر روی چغندرلبوئی، گزارش شد محتوای کل فنولیک و محتوای کل فلاونوئید در برگ و ریشه چغندرلبوئی بیشتر شد همچنین میزان آنتی‌اکسیدانت‌های ریشه و برگ‌ها نسبت به شاهد افزایش یافت (Elshiemy *et al.* 2019). اثرات پرتوتابی پرتوگاما در گیاهان مختلفی از جمله کاهو (Marcu *et al.* 2013a)، نخود (Melki *et al.* 2008)، برنج (Maity *et al.* 2005)، ذرت (Marcu *et al.* 2013b)، سویا (Moussa *et al.* 2011) و جو (Wang *et al.* 2017) گزارش شده است. همچنین نتایج آزمایش مزرعه‌ای بر روی چغندر قند نشان داد که عملکرد تر و خشک ریشه این گیاه بر اثر پرتوتابی پرتوگاما بر روی بذر به‌طور معنی‌داری افزایش یافت. عملکرد ریشه با افزایش دز پرتوگاما تا ۱۰۰ گری به تدریج افزایش یافت اما در دز ۲۰۰ گری کاهش یافت. بیشترین عملکرد ریشه را دز ۱۰۰ گری نشان داد و بیشترین عملکرد اندام‌هوایی در دز ۵۰ گری حاصل شد (Moursy and Ismail 2021).

این مطالعه با هدف بررسی اثر آبیاری و پرتوتابی با پرتوگاما بر صفات کمی و کیفی ژنوتیپ‌های مختلف چغندر قند طراحی و اجرا شد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش به‌صورت اسپلیت‌پلات فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در دو مکان قم (منطقه جعفریه، موقوفات حرم‌مطهر حضرت معصومه (س)) و اسلامشهر در سال ۱۳۹۸ به اجرا درآمد. فاکتور اول شامل آبیاری شامل ۲ سطح (نرمال: آبیاری بعد از ۹۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر و آبیاری: آبیاری بعد از ۱۸۰ میلی‌متر تبخیر از

(Kim *et al.* 2005; 2014). پرتودهی با پرتو گاما با دزهای متفاوت، اثرات گوناگونی را ایجاد می‌کند که می‌تواند منجر به سنتز پروتئین، کلروفیل، پراکسیداسیون لیپیدی، فعالیت آنزیمی و تجمع ترکیبات فنولی شود (Kafi 2013; Alikamanoglu *et al.* 2011). دزهای مختلف پرتوگاما ممکن است اجزای مفید و یا نامطلوب را در سلول‌های گیاهی تولید کنند (Mohajer *et al.* 2014). تابش پرتوهای گاما با دز بالا موجب جهش ژنتیکی در گیاهان می‌شود و در اصلاح نباتات کاربرد فراوانی دارد (Ciftci *et al.* 2006). در دزهای کمتر، پرتودهی پیش از کاشت بذر موجب بهبود عملکرد، اجزای عملکرد و ترکیبات شیمیایی برخی در گیاهان می‌گردد (Singh and Datt 2009).

با توجه به بررسی منابع موجود، اثرات کلی پرتودهی پرتو گاما منجر به افزایش ظرفیت فتوسنتزی و افزایش میزان کلروفیل می‌شود. همچنین پرتودهی با پرتوگاما منجر به افزایش قندهای محلول گردیده که به تبع آن سیستم دفاعی در برابر تنش‌ها تقویت می‌گردد. این سیستم با تغییر در بیان الگوی ژن‌ها ایجاد شده که منجر به تغییر شیمیایی شامل خرد شدن پیوندهای حدواسط و اکسیداسیون به‌وسیله رادیکال‌های تولید شده توسط هیدرولیز آب می‌شود. نتایج بررسی منابع نشان داده که هر کدام از دزهای پرتودهی اثرات مختلف بر گیاهان داشته که گاهی منجر به نتایج منفی نیز گردید (Melki *et al.* 2010). هاوانگ و همکاران (Hwang *et al.* 2007) در بررسی تأثیر پرتو در سویا وجود تنوع ژنتیکی معنی‌دار در عملکرد دانه، ارتفاع گیاه، زمان رسیدن و اندازه بذر را گزارش نمودند. گزارش شده است که پرتوگاما با دزهای پایین موجب بهبود سرعت جوانه‌زنی (به دلیل شکستن برخی از مولکول‌های بزرگ درون بذر به مولکول‌های کوچکتر و استفاده جنین از آن‌ها)، افزایش تکثیر سلولی و در نتیجه بالا رفتن نرخ رشد و همچنین افزایش فعالیت‌های متابولیکی به دنبال شدت گرفتن فعالیت برخی از آنزیم‌ها می‌گردد (Borzouei *et al.* 2010) بر اساس گزارش

خمیر جهت اندازه گیری صفات کمی و کیفی به آزمایشگاه تکنولوژی قند مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه بذر چغندر قند کرج ارسال گردید.

صفات مورد ارزیابی در این تحقیق شامل عملکرد ریشه، درصد قند (روش پلاریمتری با استفاده از دستگاه ساکارومات (Colver *et al.* 1998)، عملکرد قند ناخالص، مقادیر سدیم، پتاسیم (روش فلیم فتومتر (Clover *et al.* 1998)، نیتروژن مضره، درصد قند قابل استحصال و ضریب استحصال شکر بودند.

عملکرد شکر ناخالص (SY) از طریق حاصل ضرب عملکرد ریشه (RY) و درصد قند (SC) بر حسب تن در هکتار به دست آمد (رابطه ۱).

$$SY = RY \times SC \quad (1)$$

با استفاده از رابطه ۲ درصد شکر قابل استحصال (WSC) بر حسب گرم شکر در صد گرم چغندر قند محاسبه شد (Reinfeld *et al.* 1974).

$$WSC = SC - (MS + 0.6) \quad (2)$$

راندمان استحصال شکر همان مقدار شکر سفید قابل استحصال از ساکاروز موجود در ریشه چغندر قند است و با استفاده از رابطه ۳ بر حسب درصد به دست آمد:

$$ECS = (WSC / SC) * 100 \quad (3)$$

بعد از جمع آوری داده های مورد نظر با استفاده از مدل طرح آماری، تجزیه واریانس با استفاده از نرم افزار SAS انجام شد و برای مقایسه میانگین ها از روش چند دامنه ای دانکن استفاده گردیده و برای بیان اثرات متقابل از روش برش دهی استفاده شد. همچنین جهت بررسی امکان تجزیه مرکب از آزمون بارتلت استفاده شد. برای رسم نمودارها از نرم افزار Excel استفاده گردید.

نتایج و بحث

عملکرد ریشه

تشتک تبخیر، فاکتور دوم ژنوتیپ شامل چهار ژنوتیپ (اکباتان، مطهر، پایا و مادری پایا) و فاکتور سوم پرتو دهی پرتوگاما بر روی بذر شامل پنج سطح (شاهد، ۵۰، ۱۰۰، ۲۰۰ و ۴۰۰ گری) بودند که پرتوتایی از چشمه کبالت ۶۰ با میزان ۵ گری در دقیقه توسط دستگاه مگاسل در پژوهشکده کشاورزی هسته ای کرج انجام شد. سطوح آبیاری در کرت اصلی و ترکیب فاکتوریل فاکتورهای سطوح پرتوگاما و ژنوتیپ در کرت های فرعی قرار گرفت. زمان آبیاری توسط تشتک تبخیر کلاس A مشخص شد و زمان اعمال تنش، پس از استقرار بوته (شش برگی) انجام شد.

در پاییز جهت تهیه بستر کاشت نسبت به شخم عمیق اقدام گردید. در ادامه عملیات کشاورزی زمین در بهار نسبت به اجرای شخم سبک، دیسک و تسطیح و خط کشی اقدام گردید. در زمین مورد کاشت پس از یک دوره ی آیش اقدام به کاشت بذر شد. کود نیتروژنه در دو قسمت (یک نوبت پس از تنک و وجین و استقرار کامل بوته ها (مرحله ۶ برگی) و مرحله دوم حدود سه ماه بعد از کشت) در مزرعه مورد استفاده قرار گرفت. مقدار کل مصرف کود نیتروژنه ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن خالص از منبع اوره بود. هم چنین همزمان با کاشت ۱۵۰ کیلوگرم سوپرفسفات تریپل به زمین داده شد و همراه دیسک در عمق ۱۵ سانتی متری خاک قرار گرفت. هر کرت شامل شش خط کاشت به طول پنج متر و فاصله بین ردیف ها ۶۰ سانتی متر در نظر گرفته شد. فاصله بوته ها روی خط کاشت بعد از تنک ۲۰ سانتی متر بود. تراکم تئوری ۱۰۰ هزار بوته در هکتار مدنظر بود. با توجه به اینکه گیاه چغندر قند به تنش های محیطی نظیر تنش خشکی در مراحل اولیه رشد حساس است بنابراین در مرحله جوانه زنی تا استقرار کامل گیاه آبیاری به اندازه کافی انجام شد و از مرحله شش برگی پس از تنک بوته ها اقدام به اعمال تنش گردید. نمونه های ریشه از هر کرت پس از حذف نیم متر از بالا و پایین هر کرت و از خطوط میانی به مساحت چهار متر مربع برداشت شد. پس از شستشوی ریشه ها و تهیه

بعدی قرار گرفتند که این دو در یک گروه آماری قرار گرفتند و در آخر ژنوتیپ مادری پایا کم‌ترین عملکرد ریشه را داشت اما در اسلامشهر در آبیاری نرمال ژنوتیپ‌ها واکنش متفاوتی داشتند و به ترتیب بیش‌ترین عملکرد را رقم پایا، گروه بعدی مطهر، گروه سوم اکباتان و در آخر مادری پایا قرار گرفتند (جدول ۷). هم‌چنین در تنش کم‌آبی در مکان قم، بیش‌ترین عملکرد ریشه را رقم اکباتان، در گروه بعد رقم مطهر، گروه سوم رقم پایا و در آخر مادری پایا داشت اما در مکان اسلامشهر، در شرایط تنش کم‌آبی واکنش ژنوتیپ‌ها متفاوت بود و بیش‌ترین عملکرد ریشه را رقم اکباتان و بعد از آن رقم پایا و در گروه سوم رقم مطهر و در آخر ژنوتیپ مادری پایا داشت.

عملکرد ریشه به‌عنوان یک پارامتر کمی مهم در زراعت چغندر قند می‌باشد. در تحقیقات چغندر قند همواره سعی بر این بوده است که ریشه‌های با فرم و وزن مطلوب و از نظر تکنولوژیکی با کیفیت بالا تولید گردد. این موضوع با توجه به وجود همبستگی منفی بین وزن ریشه و درصد قند مهم است. نتایج تحقیقات حاکی از آن است که معمولاً ریشه‌هایی با وزن ۵۰۰-۷۰۰ گرم از نظر کیفی مطلوب است (Gohari and Tohidloo 1998). کمبود آب رشد چغندر قند را کاهش می‌دهد، به‌خصوص باعث کم‌شدن آماس سلول و افزایش پتانسیل خاک می‌شود که این کمبود علت کاهش عملکرد تحت شرایط تنش کم‌آبی می‌باشد (Cooke and Scott 1993). هم‌چنین عبداللهیان‌نوقابی و ویلیامز (Abdollahian Noghahi and Williams 1998) نیز کاهش رشد و عملکرد ریشه را در شرایط خشکی گزارش داده‌اند. تحت شرایط تنش خشکی به‌علت افزایش اسیدآبسیزیک در مسیرهای مزوفیل، روزنه‌ها بسته می‌شوند و هدایت‌روزنه‌ای در برگ کاهش می‌یابد و نفوذ دی‌اکسید کربن در گیاه برای آسیمیلایسیون کاهش می‌یابد، در نتیجه آماس سلول نیز کاهش می‌یابد. کاهش آماس و افزایش قدرت مکانیکی خاک خشک می‌تواند رشد ریشه‌ی ذخیره‌ای و سیستم ریشه را محدود سازد

بررسی نتایج تجزیه‌وارانس داده‌ها نشان داد اثر پرتوگاما بر روی عملکرد ریشه در سطح احتمال آماری یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۱). بدین ترتیب که بیش‌ترین عملکرد ریشه به ترتیب با ۶۲/۶۸ و ۶۲/۶۳ تن در هکتار مربوط به سطوح پرتوتابی به‌وسیله پرتوگاما با دزهای ۱۰۰ و ۲۰۰ گری بود، به طوری که این دو از نظر آماری در یک گروه قرار گرفتند و کم‌ترین میزان عملکرد ریشه را سطوح شاهد و پرتوگاما ۴۰۰ گری به ترتیب با ۵۳/۸۲ و ۵۲/۱۱ تن در هکتار داشتند که از نظر آماری اختلافی نداشتند و در یک گروه آماری قرار گرفتند (جدول ۲). اثر متقابل مکان × ژنوتیپ برای صفت عملکرد ریشه معنی‌دار شد. بیش‌ترین عملکرد ریشه در مکان قم، ارقام اکباتان و پایا به ترتیب با ۵۳/۲۲ و ۵۳/۹۰ تن در هکتار داشتند که در یک گروه آماری قرار گرفتند و اما در مکان اسلامشهر واکنش ژنوتیپ‌ها متفاوت بود و بیش‌ترین عملکرد ریشه را رقم پایا با ۷۰/۴۸ تن در هکتار حاصل نمود و دیگر ارقام میزان عملکرد ریشه کم‌تری را داشتند. (جدول ۳).

اثر متقابل آبیاری × ژنوتیپ برای عملکرد ریشه معنی‌دار بود (جدول ۱). در آبیاری نرمال رقم پایا با ۷۸/۷۴ تن در هکتار بیش‌ترین عملکرد ریشه را داشت اما در شرایط تنش کم‌آبی رقم اکباتان با ۵۱/۴۴ تن در هکتار بالاترین عملکرد ریشه را داشت (جدول ۴).

اثر متقابل آبیاری × پرتوگاما نیز معنی‌دار به‌دست آمد (جدول ۱). در سطح آبیاری نرمال بیش‌ترین عملکرد ریشه را در دو سطح ۱۰۰ و ۲۰۰ گری پرتوگاما به‌دست آمد و سطح ۴۰۰ گری کم‌ترین میزان این صفت را داشت اما در شرایط کم‌آبیاری کم‌ترین میزان عملکرد ریشه را سه سطح شاهد، ۵۰ و ۴۰۰ گری داشتند که از نظر آماری در یک گروه قرار گرفتند (جدول ۶).

اثر متقابل مکان × آبیاری در رقم برای عملکرد ریشه معنی‌دار بود (جدول ۱) بدین ترتیب که در قم در آبیاری نرمال رقم پایا بیش‌ترین و بعد از آن ارقام اکباتان و مطهر در گروه

اثر متقابل مکان × آبیاری معنی‌دار بود (جدول ۱). جدول ۵ نشان داد در قم بین سطوح آبیاری اختلافی وجود نداشت، اما در مکان اسلامشهر در شرایط تنش آبیاری درصدقند بالاتری نسبت به شرایط آبیاری نرمال داشت.

در زراعت چغندر قند محصول نهایی تابع دو عامل مهم است، عامل کمی آن را وزن ریشه و عامل کیفی آن درصدقند ریشه است که کیفیت تکنولوژیکی ریشه از نظر استحصال قند می‌باشد. کیفیت چغندر قند ترکیبی از کلیه جنبه‌های فیزیکی و شیمیایی است که بر فرآوری عملکرد قند یا فرآورده‌های جانبی آن اثر دارند. درصدقند بالا در چغندر قند مفید است ولی به‌عنوان یک معیار کامل نیست. استخراج‌پذیری قند و وابستگی آن به اجزای غیرقند لزوم توجه به این ناخالصی‌ها را مطرح نموده است (Cooke and Scott 1993). اکثر مطالعات انجام شده در خصوص تأثیر افزایش عملکرد ریشه بر کمیت و کیفیت ریشه چغندر قند حاکی از کاهش درصدقند و افزایش ناخالصی‌های موجود در ریشه می‌باشد (Jahadkbar et al. 2003). یکی از سازوکارهای گیاهان در شرایط تنش کم‌آبی شکستن پلی‌ساکاریدها به مونوساکاریدها و در نتیجه افزایش موادقندی در سلول گیاهان می‌باشد (Cooke and Scott 1993).

درصدقند چغندر قند ممکن است در اثر کوچک بودن ریشه‌ها، کاهش آب ریشه و افزایش مواد محلول باشد. به هر حال چون وزن ریشه‌ها کم می‌شود و از آنجایی که همبستگی منفی بین افزایش وزن ریشه و درصدقند وجود دارد. بنابراین افزایش درصدقند در تیمارهای تحت تنش قابل توجیه می‌باشد. گزارشات زیادی در ارتباط با افزایش درصدقند در شرایط کم‌آبی وجود دارد (Taleghani 1998; Kashani 1987; Kochaki and Soltani 1996). کاهش درصدقند در دزهای پایین پرتوگاما نیز ممکن است به دلیل رابطه عکس عملکرد ریشه و درصدقند باشد البته برخی گزارشات حاکی از افزایش میزان قند در اثر استفاده از پرتوگاما در دزهای مختلف بسته به گونه گیاهی است (Moursy and Ismail 2021).

(Vazan et al. 2002). عامل اصلی تعیین کننده‌ی رشد ریشه، عرضه کربوهیدرات‌ها از برگ‌ها به ریشه است. وقتی تنش این عرضه را کاهش دهد، رشد ریشه به‌طور اجتناب‌ناپذیری نقصان می‌یابد (Cooke and Scott 1993).

پرتودهی پیش از کاشت بذر با دزهای مناسب موجب بهبود عملکرد، اجزای عملکرد و ترکیبات شیمیایی برخی در گیاهان می‌گردد (Singh and Datt 2009). مطالعات متعددی وجود دارد که نشان می‌دهد دزهای مناسب پرتوگاما باعث افزایش رشد و عملکرد بهتر گیاهان می‌شود (Yu et al. 2007; Ariraman et al. 2016; Gaffar et al. 2016). اثر پرتوتابی پرتوگاما بر روی چغندر قند نشان داد سطح ۱۰۰ گری بیشترین عملکرد ریشه را داشت و پرتوگاما باعث افزایش عملکرد ریشه شد که با نتایج این آزمایش مطابقت داشت (Moursy and Ismail 2021).

درصدقند ریشه

اثر عوامل مکان، آبیاری، ژنوتیپ و پرتوگاما از نظر درصدقند ریشه معنی‌دار بود (جدول ۱). مکان قم با درصدقند ۱۶/۴۰ درصدقند بیشتری نسبت به مکان اسلامشهر با درصدقند ریشه ۱۵/۱۹ درصد داشت. هم‌چنین در بین سطوح مختلف، سطح آبیاری تنش با درصدقند ریشه ۱۶/۴۶ بیش‌ترین و سطح آبیاری نرمال با ۱۵/۱۴ درصدقند کمترین را نشان دادند (جدول ۲).

پایه‌مادری پایا با درصدقند ۱۶/۷۰ درصد بیش‌ترین و سه رقم اکباتان، مطهر و پایا به‌ترتیب با ۱۵/۳۴، ۱۵/۴۰ و ۱۵/۷۵ درصد کم‌ترین درصدقند را داشتند به‌طوری که این سه در یک گروه آماری قرار گرفتند (جدول ۲). بررسی جدول مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد بیش‌ترین درصدقند ریشه را بین سطوح مختلف پرتوتابی با پرتوگاما، سطح ۴۰۰ گری با ۱۶/۳۱ درصد و کم‌ترین آن را سطح ۲۰۰ گری با ۱۵/۲۹ درصد داشت.

عملکرد قندناخالص

اثر ساده مکان، آبیاری، ژنوتیپ و پرتوگاما و همچنین اثر متقابل مکان × ژنوتیپ، آبیاری × ژنوتیپ و اثر سه گانه مکان × آبیاری × ژنوتیپ برای عملکرد قندناخالص معنی دار گردید (جدول ۱).

مقایسه میانگین سطوح مختلف پرتوتابی پرتوگاما نیز نشان داد کاربرد سطوح ۱۰۰ و ۲۰۰ گری پرتوگاما به ترتیب با ۹/۴۹ و ۹/۴۲ تن در هکتار بیشترین عملکرد قندناخالص را داشتند به طوری که از نظر آماری در یک گروه قرار گرفتند و سه سطح شاهد، ۵۰ و ۴۰۰ گری نیز به ترتیب با ۸/۸۰ و ۸/۳۱ تن در هکتار کمترین مقدار این صفت را داشتند و از نظر آماری در یک گروه آماری قرار گرفتند (جدول ۲). همان طور که در جدول ۳ مشهود است در هر مکان مورد ارزیابی ژنوتیپها واکنشهای متفاوتی را از نظر عملکرد قندناخالص داشتند به طوری که در قم، سه ژنوتیپ اکباتان، مطهر و پایا (به ترتیب با ۸/۴۹، ۸/۱۱ و ۸/۶۲ تن در هکتار) از نظر آماری در یک گروه قرار گرفتند و عملکرد قندناخالص بیشتری نسبت به ژنوتیپ مادری پایا داشتند اما در اسلامشهر بیشترین عملکرد قندناخالص را رقم پایا و کمترین را ژنوتیپ مادری پایا داشت. در سطح آبیاری نرمال، رقم پایا بالاترین عملکرد قندناخالص ژنوتیپهای اکباتان و مادری پایا کمترین عملکرد قندناخالص را داشتند اما در سطح آبیاری رقم اکباتان با عملکرد قندناخالص ۸/۱۴ تن در هکتار بیشترین و ژنوتیپ مادری پایا با ۶/۶۵ تن در هکتار کمترین عملکرد قندناخالص را حاصل نمودند (جدول ۴). طبق جدول ۷، در مکان قم در آبیاری نرمال عملکرد قندناخالص بیشترین رقم پایا و کمترین را مادری پایا داشت، ولی در اسلامشهر در آبیاری نرمال بیشترین عملکرد قندناخالص را رقمهای مطهر و پایا از نظر آماری در یک گروه قرار گرفتند و اکباتان و مادری پایا کمترین بودند. اما در مکان قم در تنش کم آبیاری، رقم اکباتان بیشترین و ژنوتیپ مادری پایا کمترین عملکرد قندناخالص را داشت ولی در مکان

اسلامشهر در آبیاری ارقام اکباتان و پایا بیشترین و رقم مطهر کمترین عملکرد قندناخالص را داشت.

با توجه به اینکه عملکرد شکر وابسته به عملکرد ریشه و درصد قند است لذا افزایش هر کدام از این صفات منجر به افزایش عملکرد قند خواهد شد (Firoozabadi et al. 2003) که نتایج حاصله با نتایج گزارش شده طالقانی (Taleghani 1998) و پرویزی (Parvizi 1992) همخوانی دارد. هر چند در شرایط تنش خشکی درصد قند بالا می رود اما عملکرد ریشه کاهش چشمگیری دارد که این کاهش عملکرد ریشه باعث کاهش عملکرد شکر می گردد.

عملکرد شکر سفید

نتایج مبین این مطلب بود که بین سطوح مختلف پرتوتابی با پرتوگاما اختلاف معنی داری از لحاظ عملکرد شکر سفید وجود داشت به طوری که سطح ۱۰۰ گری با عملکرد ۷/۳۱ تن در هکتار بیشترین و سطح ۴۰۰ گری با ۶/۴۳ تن در هکتار کمترین عملکرد شکر سفید را داشتند (جدول ۱ و ۲).

با توجه به نتایج جدول تجزیه واریانس اثرات متقابل مکان در ژنوتیپ بر روی عملکرد شکر سفید معنی دار شد. در مکان قم بیشترین عملکرد شکر سفید را ارقام اکباتان، مطهر و پایا به ترتیب با ۶/۵۸، ۶/۲۵ و ۶/۷۹ تن در هکتار داشتند که از نظر آماری در یک گروه قرار گرفتند و کمترین عملکرد شکر سفید را ژنوتیپ مادری پایا با ۵/۵۴ تن در هکتار داشت اما در مکان اسلامشهر بیشترین عملکرد شکر سفید را رقم پایا با ۷/۸۵ تن در هکتار داشت و سه ژنوتیپ دیگر کمترین عملکرد شکر سفید را داشتند و از نظر آماری در یک گروه قرار گرفتند (جدول ۳). همچنین اثر متقابل آبیاری در ژنوتیپ نیز برای عملکرد شکر سفید معنی دار شد که طبق جدول ۴، در سطح آبیاری نرمال بیشترین عملکرد را رقم پایا و کمترین آن را اکباتان و مادری پایا داشتند که این دو از نظر آماری در یک گروه قرار گرفتند اما در سطح تنش کم آبیاری، رقم اکباتان

میزان پتاسیم ریشه

با توجه به جدول ۱ اثر مکان برای صفت پتاسیم ریشه معنی‌دار بود به طوری که میزان پتاسیم در مکان اسلامشهر با ۵/۷۰ میلی‌اکی‌والان گرم در ۱۰۰ گرم خمیر ریشه بیشتر از قم با میزان ۴/۵۲ واحد بود (جدول ۲). اثر دیگر فاکتورهای مورد بررسی در این آزمایش از نظر پتاسیم ریشه معنی‌دار نبود (جدول ۱). طبق جدول ۱ و جدول ۵، اثر متقابل مکان × آبیاری معنی‌دار شد به صورتی که در مکان قم اختلافی بین سطوح آبیاری از نظر پتاسیم ریشه نبود، اما در مکان اسلامشهر سطح نرمال دارای پتاسیم بالاتری نسبت به سطح تنش آبیاری نشان داد.

غلظت زیاد یون پتاسیم در سلول‌های مزوفیل، پتانسیل اسمزی آنها را کاهش داده که این امر اثر مفیدی بر مصرف آب دارد. زیرا پتانسیل اسمزی کمتر نگهداری آب را بهبود می‌بخشد (Kochaki and Soltani 1996). ناخالصی‌های ریشه اعم از نیتروژن مضره، پتاسیم و سدیم که در فرآیند قندگیری بر میزان استخراج قند تأثیر می‌گذارند، تحت تأثیر روش، زمان و میزان کاربرد کود نیتروژنه و تنش خشکی قرار می‌گیرند (Lamb and Morghan 1992).

میزان نیتروژن مضره ریشه

اثر پرتوتابی با پرتوگاما بر نیتروژن مضره ریشه معنی‌دار بود (جدول ۱). سطح ۱۰۰ و ۲۰۰ گرمی گاما به ترتیب با ۲/۰۶ و ۲ میلی‌اکی‌والان گرم در ۱۰۰ گرم خمیر ریشه نیتروژن مضره بالاتری داشت و سطح شاهد گاما کم‌ترین میزان را داشت (جدول ۲).

اثر متقابل مکان × آبیاری بر روی نیتروژن مضره ریشه معنی‌دار به دست آمد. به طوری که در مکان قم اختلافی بین سطوح نبود، در حالی که در مکان اسلامشهر سطح آبیاری نرمال دارای نیتروژن مضره بالاتری بود (جدول ۵). نتایج جدول تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد اثر متقابل مکان × ژنوتیپ معنی‌دار شد، به طوری که در مکان قم بیش‌ترین میزان این

بالاترین شکر سفید و رقم مطهر و مادری پایا به ترتیب با ۵/۶۴ و ۵/۵۳ تن در هکتار کم‌ترین مقدار این صفت را داشتند و در یک گروه آماری قرار گرفتند.

طبق گزارشات سرمدنیا و کوچکی (Sarmadnia and Kochaki 1992) تنش باعث تغییرات مورفولوژیکی در گیاهان مانند کاهش تعداد و اندازه برگ و نهایتاً توقف رشد برگ‌ها می‌گردد. در مطالعه تأثیر تنش خشکی بر چغندر قند توسط وزان و همکاران (Vazan et al. 2002) روشن شد که تحت تأثیر تنش، محتوای پرولین سریعاً افزایش یافته و میزان رشد گیاه و وزن خالص برگ‌ها کاهش یافته است. با توجه به این مطلب که عملکرد شکر سفید بستگی به عملکرد ریشه و درصد شکر قابل استحصال می‌باشد این نتایج قابل پیش‌بینی بود.

میزان سدیم ریشه

جدول تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد اثر هیچ‌یک از فاکتورهای مورد ارزیابی از نظر آماری برای صفت مقدار سدیم ریشه معنی‌دار نبود (جدول ۱).

میزان قند ریشه به مواد غیرقندی به ویژه ترکیبات نیتروژنه، سدیم و پتاسیم بستگی دارد (Kochaki et al. 1997). تنظیم شرایط رشد برای دستیابی به حداکثر ساکارز از دو طریق امکان‌پذیر است، افزایش مقدار محصول خام بر اساس عملکرد ساقه در نیشکر و عملکرد ریشه در چغندر قند و طریق دوم، افزایش کیفیت محصول از طریق بالا بردن درصد ساکارز و کاهش مواد مضره از قبیل نیتروژن، سدیم و پتاسیم در شربت که با جلوگیری از کریستالیزه شدن ساکارز قابلیت استحصال آن را کاهش می‌دهند (Eck et al. 1990; Naderi et al. 1998). تجمع ناخالصی‌های سدیم، پتاسیم و نیتروژن مضره در ریشه علاوه بر کاهش خلوص شربت در کارخانه بستری مناسب را برای رشد بهتر میکروارگانیسم‌ها به خصوص قارچ‌ها که یکی از عوامل فساد ریشه در طول دوره سیلو می‌باشد، فراهم می‌کند (Loilier 1981).

درصد شکر قابل استحصال

بر اساس نتایج تجزیه واریانس داده‌ها، بین مکان‌های مورد ارزیابی اختلاف معنی‌داری برای درصد شکر قابل استحصال وجود داشت (جدول ۱) بدین صورت که در مکان قم این میزان ۱۲/۹۵ درصد بود که بیشتر از مکان اسلامشهر با ۱۱/۵۴ درصد بود (جدول ۲). اعمال آبیاری باعث افزایش درصد شکر قابل استحصال شد و اختلاف بین سطوح این عامل معنی‌دار شد بدین ترتیب که در سطح آبیاری، درصد قند قابل استحصال با ۱۳/۲۰ درصد بیشتر از سطح آبیاری نرمال با ۱۱/۲۹ درصد بود (جدول ۲). بین ژنوتیپ‌های مورد بررسی اختلاف درصد شکر قابل استحصال معنی‌دار شد که ژنوتیپ مادری پایا با ۱۳/۳۷ درصد بیش‌ترین مقدار این صفت را به خود اختصاص داد و دیگر ژنوتیپ‌ها در گروه پایین‌تر و در یک گروه آماری قرار گرفتند. طبق جدول تجزیه واریانس اثر فاکتور پرتوتابی با پرتوگاما برای صفت درصد شکر قابل استحصال معنی‌دار نشد.

جدول تجزیه واریانس نشان داد اثر متقابل مکان × آبیاری معنی‌دار شد، به صورتی که بر اساس جدول ۵، در مکان قم اختلاف بین سطوح آبیاری معنی‌دار نشد اما در مکان اسلامشهر سطح تنش آبیاری دارای درصد شکر قابل استحصال بالاتری نسبت به نرمال شد.

ضریب استحصال شکر

نتایج نشان دادند اثرات مکان و پرتوتابی گاما از نظر ضریب استحصال شکر معنی‌دار نبود، اما اثر آبیاری و ژنوتیپ معنی‌دار شد (جدول ۱). بررسی فاکتور آبیاری نشان‌دهنده وجود اختلاف معنی‌دار بین سطوح مختلف آن از نظر ضریب استحصال شکر بود. بدین صورت که در سطح تنش کم آبیاری، ضریب استحصال شکر با ۷۹/۶۷ درصد بیشتر از سطح آبیاری نرمال با ۷۴/۲۴ درصد بود. بین ژنوتیپ‌های مختلف چغندر قند در این آزمایش اختلاف معنی‌داری از نظر صفت ضریب استحصال شکر وجود داشت که در جدول ۲ میانگین آنها و گروه‌بندی مربوطه مشهود می‌باشد. به نحوی که بیش‌ترین آن

صفت را رقم اکباتان و کم‌ترین آن را ژنوتیپ‌های پایا و مادری پایا داشتند و از نظر آماری در یک گروه قرار گرفتند، اما در مکان اسلامشهر بیش‌ترین میزان را رقم اکباتان به خود اختصاص داد و کم‌ترین میزان نیتروژن مضره را ژنوتیپ مادری پایا داشت (جدول ۳).

هم‌چنین، اثر متقابل سه گانه مکان × آبیاری × ژنوتیپ بر روی میزان نیتروژن مضره ریشه معنی‌دار شد (جدول ۱). در مکان قم در آبیاری نرمال بیش‌ترین میزان این صفت را رقم اکباتان (۱/۹۰ میلی‌اکی‌والان گرم در ۱۰۰ گرم خمیر ریشه) و کم‌ترین میزان آن را ژنوتیپ‌های پایا و مادری پایا (به ترتیب با ۱/۶ و ۱/۴۱ میلی‌اکی‌والان گرم در ۱۰۰ گرم خمیر ریشه) داشتند و در یک گروه آماری قرار گرفتند، در حالی که در مکان اسلامشهر در آبیاری نرمال بیش‌ترین میزان نیتروژن مضره را رقم اکباتان با ۳/۹۸ میلی‌اکی‌والان گرم در ۱۰۰ گرم خمیر ریشه و کم‌ترین میزان آن را ژنوتیپ مادری پایا با ۲/۲۹ میلی‌اکی‌والان گرم در ۱۰۰ گرم خمیر ریشه به خود اختصاص داد. در مکان قم در آبیاری اختلاف معنی‌داری بین ژنوتیپ‌های مورد بررسی مشهود نبود، ولی در مکان اسلامشهر در آبیاری بیش‌ترین نیتروژن مضره را رقم اکباتان و کم‌ترین این صفت را ارقام مطهر و پایا داشتند که از نظر آماری در یک گروه قرار گرفتند (جدول ۷).

بر اساس برخی گزارشات در شرایط تنش کم‌آبی، میزان نیتروژن مضره ریشه افزایش یابد که علت این افزایش احتمالاً ساخت ترکیب‌های نیتروژن‌دار تنظیم‌کننده اسمزی مانند بتاین در برگ و سپس انتقال آن به ریشه می‌باشد (Sohrabi et al. 2006). طبق گزارشات کلاور و همکاران (Clover et al. 1998) تنش خشکی باعث افزایش آمینونیتروژن در ریشه می‌شود، اما بر اساس نتایج حاصله در شرایط نرمال میزان نیتروژن مضره بیشتر بود که شاید به‌توان دلیل آن را رشد بیشتر در شرایط نرمال و به تبع آن جذب بیشتر مواد غذایی اشاره نمود.

اختلاف معنی‌دار نشد اما در مکان اسلامشهر سطح تنش دارای میزان بالاتری از نظر این صفت بود.

را ژنوتیپ مادری پایا و کم‌ترین را دو رقم اکباتان و مطهر داشتند که این دو از نظر آماری در یک گروه قرار گرفتند. طبق جدول ۱ و جدول ۵، اثر متقابل مکان در آبیاری بر ضریب استحصال شکر معنی‌دار شد، به طوری که در مکان قم

جدول ۱ تجزیه واریانس صفات مورد ارزیابی

صفات	درجه آزادی	میانگین مربعات							ضریب استحصال شکر	
		عملکرد ریشه	درصد قند	عملکرد قندناخالص	عملکرد شکر سفید	سدیم	پتاسیم	نیترژن مضره		شکر قابل استحصال (درصد)
منابع تغییرات										
(مکان)	۱	۱۴۵۹۴/۴۲**	۸۷/۷۹**	۱۸۵/۲۵**	۶۷/۱**	۴۵/۳۶*	۸۳/۶۲**	۵۰/۷۶**	۱۱۷/۹۹**	۵۸۱/۵*
block (مکان)	۴	۳۱/۳۵	۱/۱۶	-/۲۴	۰/۰۱	۱/۶۲	۲/۹۷	۰/۱۳	۱/۴۲	۱۰/۵۴
a (رژیم آبیاری)	۱	۳۶۲۷۱/۷۲**	۱۰۴/۵۷**	۵۶۲/۸۵**	۲۰۲/۷۸**	۲۸/۲۸*	۳۵/۵۸*	۴۷/۵۷**	۲۱۷/۴۷**	۱۷۶۶/۰۵**
a * مکان	۱	۱۴۰/۰۸ns	۳/۷۸*	۰/۸۸ns	۸/۵۲ns	۰/۷۵ns	۱۲/۹۵*	۱۲/۱۵**	۱۴/۱۹*	۳۰۵/۹۵*
a * block	۱	۳۷/۰۱	-/۰۵	-/۷۹	-/۰۶	-/۰۷	-/۳۹	-/۰۱	-/۳۳	۱۳/۷۲
b (ژنوتیپ)	۳	۱۹۵۲/۸۳**	۲۳/۵۷**	۲۳/۵۵**	۸/۸۸**	۰/۴۹ns	۷/۸۳ns	۵/۱۲**	۳۷/۳۹**	۲۰۹/۶۶**
c (پرتو گاما)	۴	۱۱۵۸/۲۲**	۸/۵۲**	۱۳/۱۸**	۶/۸۶**	۲/۱۸ns	۱/۵۹ns	۱/۰۱**	۸/۵۵ns	۴۵/۱۶ns
b * مکان	۳	۵۱/۰۹*	-/۸۶ns	۳/۶۴*	۳/۶۳*	-/۴۲ns	۱/۴۸ ns	۲/۰۸**	۱/۵۱ns	۲۷/۹۴ns
b * block	۳	۲۶/۲۸ns	۳/۹ns	-/۴۴ ns	-/۱۹ ns	۱/۷۹ ns	۲/۴۳ ns	-/۴۱ ns	۴/۳ ns	۳۶/۶۸ ns
a * b	۳	۷۶۱/۰۱**	۱/۲۷ ns	۱۴/۵۲**	۸/۴۷**	۱/۴۹ ns	۲/۳۵ ns	۱/۸۸ ns	۱/۹۵ ns	۱۵/۷۸ ns
a * c	۴	۱۹۱/۴**	۱/۸۶ ns	۱/۴۳ ns	-/۶۴ ns	-/۴۱ ns	۲/۳۹ ns	-/۲۳ ns	۱/۸۲ ns	۹/۱۲ ns
b * c	۱۲	۱۵/۳۴ns	۲/۷۶ ns	-/۹۵ ns	۲۸/۱ ns	۲/۵ ns	۱/۵۹ ns	-/۱۶ ns	۵/۰۹ ns	۵۱/۱۷ ns
a * b * مکان	۳	۱۴۰/۳۳**	۳/۳۴ ns	۳/۲۹*	۲/۴۵ ns	۰/۳ ns	۲/۲۸ ns	-/۶۵**	۳/۸۶ ns	۱۸/۶۲ ns
a * c * مکان	۴	۹/۰۳ns	۱/۴۳ ns	-/۳۷ ns	-/۴۳ ns	-/۲۳ ns	۳/۵۲ ns	-/۰۲ ns	۱/۸ ns	۲۲/۱ ns
b * c * مکان	۱۲	۱۲/۷۱ns	-/۷۸ ns	-/۷۷ ns	۱/۰۵ ns	-/۸۵ ns	۲/۴۳ ns	-/۱۱ ns	۱/۶ ns	۲۴/۸۷ ns
a * b * c	۱۲	۸/۶۱ns	۱/۲۸ ns	-/۴۱ ns	-/۶۵ ns	-/۶۱ ns	۲۹/۳ ns	-/۱۶ ns	۱/۹۹ ns	۲۰/۳۶ ns
a * b * c * مکان	۱۲	۱۳/۹ns	۱/۱۴ ns	-/۷ ns	-/۵۸ ns	-/۶۸ ns	۳/۰۵ ns	-/۱۵*	۱/۳۹ ns	۲۵/۴۱ ns
خطا	۱۵۴	۱۵/۸۱	۲/۴۱	۱/۰۸	۱/۳۴	۱/۴۲	۳/۳۲	-/۲۸	۳/۷۶	۴۳/۹۵
C.V.(%)	-	۶/۹۰	۹/۸۳	۱۱/۶۹	۱۶/۹۶	۳۰/۸۰	۲۵/۶۷	۱۵/۶۰	۱۵/۸۴	۸/۶۱

ns, **, * به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطوح احتمال پنج و یک درصد.

جدول ۲ مقایسه میانگین صفات مورد ارزیابی

صفات	عملکرد ریشه (تن در هکتار)	درصد قند (درصد)	عملکرد قندناخالص (تن در هکتار)	عملکرد شکر سفید (تن در هکتار)	سدیم (میلی‌اکی والان گرم در ۱۰۰ گرم خمیر ریشه)	پتاسیم (میلی‌اکی والان گرم در ۱۰۰ گرم خمیر ریشه)	نیترژن مضره (میلی‌اکی والان گرم در ۱۰۰ گرم خمیر ریشه)	شکر قابل استحصال (درصد)	ضریب استحصال شکر
مکان									
قم	۴۹/۷۸b	۱۶/۴۰a	۸/۴۰b	۶/۹b	۴/۳۰a	۴/۵۲b	۱/۴۴b	۱۲/۹۵a	۷۸/۵۱a
اسلامشهر	۶۵/۳۷a	۱۵/۱۹b	۹/۷۹a	۷/۳۵a	۳/۴۳a	۵/۷۰a	۳/۳۶a	۱۱/۵۴b	۷۵/۴۰a
آبیاری									
نرمال	۶۹/۶۸a	۱۵/۱۴b	۱۰/۴۵a	۷/۷۴a	۴/۲۱a	۵/۴۹a	۲/۲۴a	۱۱/۲۹b	۷۴/۲۴b
تنش	۴۵/۲۸b	۱۶/۴۶a	۷/۳۸b	۵/۹۰b	۳/۵۲a	۷/۴۲a	۱/۴۵b	۱۲/۲۰a	۷۹/۶۷a
ژنوتیپ									
اکباتان	۵۹/۷۸b	۱۴/۳۴b	۹/۰۵b	۶/۳۸ab	۳/۹۰a	۵/۲۳a	۲/۲۲a	۱۱/۷۰b	۷۵/۷۹b
مطهر	۵۹/۰۷b	۱۵/۴۰b	۸/۷۹b	۶/۷۵ab	۳/۹۸a	۵/۴۳a	۱/۸۲b	۱۱/۷۱b	۷۵/۴۶b
پایا	۶۲/۱۹a	۱۵/۷۵b	۹/۵۸a	۷/۳۲a	۳/۸۱a	۵/۱۹a	۱/۸۰b	۱۲/۲۰b	۷۶/۹۹ab
مادری پایا گاما	۴۹/۲۶c	۱۶/۷۰a	۸/۰۷c	۶/۳۰b	۳/۷۹a	۴/۵۹a	۱/۶۵c	۱۲/۲۷a	۷۹/۵۸a
0	۵۳/۸۲c	۱۶/۷۰ab	۸/۵۵b	۶/۶۰bc	۴/۰۴a	۴/۹۵a	۱/۷۲c	۱۲/۴۵a	۷۷/۶۷a
۵۰	۵۶/۶۳b	۱۵/۸۵ab	۸/۰b	۶/۶۴bc	۴/۰۲a	۵/۴۰a	۱/۹۲ab	۱۲/۱۴a	۷۶/۰۱a
۱۰۰	۶۲/۶۸a	۱۵/۴۶ab	۹/۴۹a	۷/۳۱a	۳/۵۳a	۴/۹۷a	۲/۰۶a	۱۲/۰۶a	۷۷/۵۱a
۲۰۰	۶۲/۵۳a	۱۱/۲۹b	۹/۴۲a	۷/۱۳ab	۳/۹۶a	۵/۰۹a	۲/۰۰a	۱۱/۷۰a	۸۰۷۵a
۴۰۰	۵۲/۱۱c	۱۶/۳۱a	۸/۳۱b	۶/۴۳c	۳/۸۰a	۵/۱۴a	۱/۷۸bc	۱۲/۷۸a	۷۷/۱۱a

میانگین‌ها در هر ستون که دارای حروف مشابه می‌باشند، بر اساس آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌دار ندارند.

جدول ۳ مقایسه میانگین اثرات متقابل مکان × ژنوتیپ صفات مورد ارزیابی

صفات تیمار	ژنوتیپ	عملکرد ریشه	عملکرد قندناخالص	عملکرد شکر سفید	نیترژن مضره (میلی اکی والان گرم در ۱۰۰ گرم خمیر ریشه)
		(تن در هکتار)			
مکان	اکباتان	۵۳/۲۲a	۸/۴۹b	۶/۵۸a	۱/۵۸a
	مطهر	۵۱/۴۰b	۸/۱۲b	۶/۲۵a	۱/۴۸ab
	پایا	۵۳/۹۰a	۸/۶۳ab	۶/۷۹a	۱/۳۹b
	مادری پایا	۴۰/۵۸c	۶/۹۲a	۵/۵۴b	۱/۲۹b
اسلامشهر	اکباتان	۶۶/۳۴b	۹/۶۱b	۷/۰۷b	۳/۰۶a
	مطهر	۶۶/۷۴b	۹/۸۳a	۷/۲۵b	۲/۱۶b
	پایا	۷۰/۴۸a	۱۰/۵۴a	۷/۸۵a	۲/۲۰b
	مادری پایا	۵۷/۹۳c	۹/۲۲a	۷/۲۳b	۲/۰۱c

میانگین‌ها در هر ستون که دارای حروف مشابه می‌باشند، براساس آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌دار ندارند.

جدول ۴ مقایسه میانگین اثرات متقابل آبیاری × ژنوتیپ صفات مورد ارزیابی

صفات تیمار	ژنوتیپ	عملکرد ریشه	عملکرد قند ناخالص	عملکرد شکر سفید
		(تن در هکتار)		
آبیاری	اکباتان	۶۸/۱۳c	۹/۹۵c	۷/۲۵c
	مطهر	۷۲/۶۸b	۱۰/۷۲b	۷/۸۶b
	پایا	۷۸/۷۴a	۱۱/۶۳a	۸/۶۱a
	مادری پایا	۵۹/۹۳d	۹/۴۸c	۷/۲۵c
تنش	اکباتان	۵۱/۴۴a	۸/۱۴a	۶/۴۱a
	مطهر	۴۵/۴۶b	۷/۲۲b	۵/۶۴b
	پایا	۴۵/۶۴b	۷/۵۲b	۶/۰۴ab
	مادری پایا	۳۸/۵۸c	۶/۶۵c	۵/۵۳b

میانگین‌ها در هر ستون که دارای حروف مشابه می‌باشند، براساس آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌دار ندارند.

جدول ۵ مقایسه میانگین اثرات متقابل مکان × آبیاری صفات مورد ارزیابی

صفات تیمار	آبیاری	درصد قند	پتاسیم	نیترژن مضره	شکر قابل استحصال	ضریب استحصال
			(میلی اکی والان گرم در ۱۰۰ گرم خمیر ریشه)			(درصد)
مکان	نرمال	۱۵/۸۷a	۴/۶۷a	۱/۶۶a	۱۲/۲۴a	۷۶/۹۳a
		۱۶/۹۴a	۴/۳۴a	۱/۲۲a	۱۳/۶۵a	۸۰/۱۰a
اسلامشهر	تنش	۱۴/۴۱b	۶/۳۲a	۳/۰۲a	۱۰/۳۵b	۷۱/۵۶b
		۱۵/۹۸a	۵/۰۸b	۱/۶۹b	۱۲/۷۴a	۷۹/۲۴a

میانگین‌ها در هر ستون که دارای حروف مشابه می‌باشند، براساس آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌دار ندارند.

جدول ۶ مقایسه میانگین اثرات متقابل آبیاری × گاما صفات مورد ارزیابی

تیما	صفات		عملکرد ریشه (تن در هکتار)
	گاما	آبیاری	
نرمال	۰	آبیاری	۶۴/۸۹c
	۵۰		۶۸/۶۰b
	۱۰۰		۷۶/۸۸a
	۲۰۰		۷۷/۰۶a
	۴۰۰		۶۱/۹۶d
تنش	۰		۴۲/۷۶b
	۵۰		۴۴/۶۷b
	۱۰۰		۴۸/۴۸a
	۲۰۰		۴۸/۲۱a
	۴۰۰		۴۲/۳۰b

میانگین‌ها در هر ستون که دارای حروف مشابه می‌باشند، براساس آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌دار ندارند.

جدول ۷ مقایسه میانگین اثرات متقابل مکان × آبیاری × ژنوتیپ صفات مورد ارزیابی

تیما	صفات		عملکرد ریشه (تن در هکتار)	عملکرد قندناخالص (تن در هکتار)	نیترژن مضره (میلی اکی والان گرم در ۱۰۰ گرم خمیر ریشه)
	آبیاری	ژنوتیپ			
قم	نرمال	مکان	۶۱/۵۴b	۹/۴۴b	۱/۹۰a
		اکباتان	۶۱/۹۵b	۹/۶۱b	۱/۷۳ab
		مطهر	۷۰/۵۳a	۱۰/۸۱a	۱/۶۰b
		پایا	۵۱/۲۰c	۸/۶۵c	۱/۴۱b
قم	تنش	مکان	۴۴/۹۰a	۷/۵۳a	۱/۲۷a
		اکباتان	۴۰/۸۵b	۶/۶۲b	۱/۲۴a
		مطهر	۳۷/۲۷c	۶/۴۴b	۱/۱۹a
		پایا	۲۹/۹۷d	۵/۱۹c	۱/۱۷a
اسلامشهر	نرمال	مکان	۷۴/۷۱c	۱۰/۴۶b	۳/۹۸a
		اکباتان	۸۳/۴۰b	۱۱/۸۲a	۲/۸۴b
		مطهر	۸۶/۹۵a	۱۲/۴۶a	۳/۰۰b
		پایا	۶۸/۶۶d	۱۰/۳۲b	۲/۲۹c
اسلامشهر	تنش	مکان	۵۷/۹۷a	۸/۵۷a	۲/۱۳a
		اکباتان	۵۰/۰۸c	۷/۵۳b	۱/۴۹c
		مطهر	۵۴/۰۲b	۸/۶۱a	۱/۴۱c
		پایا	۴۷/۱۹d	۸/۱۱ab	۱/۷۳b

میانگین‌ها در هر ستون که دارای حروف مشابه می‌باشند، براساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌دار ندارند.

نتیجه گیری

می‌تواند تأثیرگذار باشد و انتخاب رقم مناسب به‌عنوان راهکاری مؤثر بایستی موردتوجه قرار گیرد. به‌طور کلی در این آزمایش تحت شرایط آبیاری نرمال رقم پایا بیشترین عملکرد ریشه و شکر سفید را داشت، اما در شرایط تنش رقم اکباتان بالاترین

به‌طور کلی از این پژوهش استنباط گردید که ارقام در مکان‌های مختلف مورد بررسی واکنش‌های متفاوتی را نشان می‌دهند. همچنین در شرایط مختلف رژیم آبیاری، ژنوتیپ

عملکرد ریشه را دزهای ۱۰۰ و ۲۰۰ گری داشته و بیشترین عملکرد شکر سفید را دز ۱۰۰ گری حاصل نمود.

عملکرد ریشه و شکر سفید را نشان داد. از طرفی استفاده از پرتوتابی توسط اشعه گاما نیز با دز مناسب توانست سبب بهبود عملکرد ریشه و عملکرد شکر سفید گردد، به صورتی که بالاترین

References:

منابع مورد استفاده:

- Abdollahian-noghabi M, Froud-Williams RJ. Effect of moisture stress and rewatering on growth and dry matter partitioning in three cultivars old sugar beet. *Aspects of Applied Biology*. 1998; 52: 71-78.
- Alam MM, Nahar K, Hassanuzzaman M, Fujita M. Exogenous jasmonic acid modulates the physiology, antioxidant defense and glyoxalase systems in imparting drought stress tolerance in different Brassica species. *Plant Biotechnology Reports*. 2014; 8, 279-293. doi:10.1007/s11816-014-0321-8.
- Alikamanoglu S, Yaycili O, Sen A. Effect of gamma radiation on growth factors, biochemical parameters, and accumulation of trace elements in soybean plants (*Glycine max* L. Merrill). *Biological Trace Element Research*. 2011; 141(1-3): 283-293. doi:10.1007/s12011-010-8709-y.
- Ariraman M, Bharathi T, Dhanavel D. Studies on the effects of mutagens on cytotoxicity behavior in pigeon pea (*Cajanus cajan* L. Millsp) Var. CO-7. *Journal of Applied and Advanced Research*. 2016; 1(1): 25-28.
- Borzouei A, Kafi M, Khazaei H, Naseriyan B, Majdabadi A. Effects of gamma radiation on germination and physiological aspects of wheat (*Triticum aestivum* L.) seedlings. *Pakistan Journal of Botany*. 2010; 42(4): 2281-2290.
- Brahmi I, Mabrouk Y, Charaabi K, Delavault P, Simier P, Belhadj O. Induced mutagenesis through gamma radiation in chickpea (*Cicer arietinum* L.): developmental changes and improved resistance to the parasitic weed *Orobanche foetida* Poir. *International Journal of Biological Research*. 2014; 2(11): 670-684. doi:10.1002/ps.4278.
- Choluj D, Wisniewska A, Szafranski KM, Cebulac J, Gozdowski D, Podlaskia S. Assessment of the physiological responses to drought in different sugar beet genotypes in connection with their genetic distance. *Journal of Plant Physiology*. 2014; 171: 1221-1230. doi:10.1016/j.jplph.2014.04.016.
- Ciftci CY, Divanli Turkan A, Khawar, KM, Atak M, Ozcan S. Use of gamma rays to induce mutations in four peas (*Pisum sativum* L.) cultivars. *Turkish Journal of Biology*. 2006; 30: 29-37.
- Clover G, Smith H, Jaggard K. The crop under stress. *British Sugar Beet Review*. 1998; 66(3): 17-19.
- Cooke D, Scott R. The sugar beet crop: Science Into Practice Chapman and Hill, New York. 1993; 195pp.
- Eck HV, Winter SR, Smith SJ. Sugar beet yield and quality in relation to residual beet feed lot waster. *Agronomy Journal*. 1990; 82: 250-254. doi:10.2134/agronj1990.00021962008200020015x.
- Elshiemy SM, Soliman IA, Abdelaleem MA, Elbassiony KRA. Antioxidant and Antibacterial Activity of Gamma Irradiated Red Beet (*Beta Vulgaris* L.) Leaves and Roots. *Journal of Nuclear Technical Application Sciences*. 2019; 7: 4. doi:10.21608/jntas.2019.54552.

- Fayez AK, Bazaid AS. Improving drought and salinity tolerance in barley by application of salicylic acid and potassium nitrate, *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*. 2014; 13: 45–55. **doi:10.1016/j.jssas.2013.01.001.**
- Firoozabadi M, Abdollahian-Noghabi M, Rahimzadeh F, Moghadam M, Parsaeyan M. Effects of different levels of continuous water stress on the yield quality of three sugar beet lines. *Journal of Sugar beet*. 2003; 19(2): 133-142. [In Persian]
- Gaafar RM, Hamouda M, Badr A. Seed coat color, weight and eye pattern inheritance in gamma-rays induced cowpea M2-mutant line. *Journal of Genetic Engineering and Biotechnology*. 2016; 14: 61-68. **doi:10.1016/j.jgeb.2015.12.005.**
- Ghohari J, Tohidloo Gh. Investigation of sugar beet growth trend in Karaj region. Published by Sugar Beet Seed Institute. 1998. [In Persian]
- Hassanuzzaman M, Fujita M. Selenium pretreatment up-regulates the antioxidant defense and methylglyoxal detoxification system and confers enhanced tolerance the drought stress in rapeseed seedlings. *Biological Trace Elements Researches*. 2011; 143: 1758-1776. **doi:10.1007/s12011-011-8998-9.**
- Hwang KT, Kim JY, Park JN, Yang JS. Effects of roasting, powdering and storing irradiated soybeans on hydrocarbon detection for identifying postirradiation of soybeans. *Food Chemistry*. 2007; 102: 263-269. **doi:10.1016/j.foodchem.2006.05.015.**
- Jahadkbar MR, Ebrahimian HR, Torabi M, Gohari J. Effect of water deficit on sugar beet quality and quantity in Kabotarabad- Esfahan. *Journal of sugar beet*. 2003; 19(1): 81-94. **doi:10.22092/jsb.2003.7168.** [In Persian]
- Kafi M. Biochemical response of two wheat cultivars (*Triticum aestivum* L.) to gamma radiation. *Pakistan Journal of Botany*. 2013; 45: 473-477. **doi: 20.1001.1.16807073.2012.14.7.13.5.**
- Kashani A. Sugar beet cultivation in temperate regions. Ahwaz Faculty of Agriculture. 1987. [in Persian]
- Kheirabi J. Analysis of low irrigation. Define and explained. *Journal of Water, Soil and Machine*. 1995; 13: 16-24.
- Kim JH, Chung BY, Kim JS, Wi SG. Effects of in Planta gamma irradiation on growth, photosynthesis, and antioxidative capacity of red pepper (*Capsicum annuum* L.) plants. *Journal of Plant Biology*. 2005; 48(1): 47-56. **doi:10.1007/BF03030564.**
- Kochaki A, Hosseini M, Nasiri Mahallati M. Relationship between water and soil in crops (translation). Publications University of Mashhad. 1997. [In Persian]
- Kochaki A, Soltani A. Sugar beet cultivation. Translation. Publications University of Mashhad. 1996; 328 pp. [in Persian]
- Kochaki A, Soltani A, Azizi M. Plant ecophysiology. Publications University of Mashhad; 2003; 272 pp. [In Persian]
- Lamb TA, Moraghan JT. Comparison of foliar and pre-plant applied nitrogen fertilizer for sugar root. *Agronomy Journal*. 1992; 85: 290-295. **doi:10.2134/agronj1993.00021962008500020024x.**
- Loilier M. Improvement of the quality of sugar root. *Sucreier Francaise*. 1981; 122 (49): 131-140.

- Maity JP, Mishra D, Chakraborty A. Modulation of some quantitative and qualitative characteristics in rice (*Oryza sativa* L.) and mung (*Phaseolus mungo* L.) by ionizing radiation. *Radiation Physiology Journal*. 2005; 74: 391–394. doi:10.1016/j.radphyschem.2004.08.005.
- Marcu D, Cristea V, Daraban L. Dose-dependent effects of gamma radiation on lettuce (*Lactuca sativa* var. capitata) seedlings. *International Journal of Radiation Biology*. 2013a; 89: 219–223. doi:10.3109/09553002.2013.734946.
- Marcu D, Damian G, Cosma C, Cristea V. Gamma radiation effects on seed germination, growth and pigment content, and ESR study of induced free radicals in maize (*Zea mays* L.). *Journal of Biological Physiology*. 2013b; 39: 625–634. doi:10.1007/s10867-013-9322-z.
- Melki M, Sallami D. Studies the effects of low dose of gamma rays on the behaviour of chickpea under various conditions. *Pakistan Journal of Biological Sciences*. 2008; 11: 2326–2330. doi:10.3923/pjbs.2008.2326.2330.
- Melki M, Marouani A. Effects of gamma ray irradiation on seed germination and growth of hard wheat. *Environmental Chemistry Letters*. 2010; 8: 307. doi:10.1007/s10311-009-0222-1.
- Melki M, Dahmani Th. Gamma Irradiation Effects on Durum Wheat (*Triticum durum* Desf.). *Pakistan Journal of Biological Sciences*. 2009; 12(23): 1531-1534. doi:10.1088/1742-6596/1253/1/012031.
- Moursy AA, Ismail MM. Effects of boron application and gamma ray irradiation on yield of sugar beet grown in sandy soil. *Bangladesh Journal of Botany*. 2021; 50(4): 1041-1049. doi:10.3329/bjb.v50i4.57071.
- Moussa HR. Low dose of gamma irradiation enhanced drought tolerance in soybean. *Bulgarian Journal of Agricultural Sciences*. 2011; 17: 63–72. doi:10.1556/AAgr.59.2011.1.1.
- Naderi A, Hashemi Dezfuli M, Shokrani R, Rezaei A. Effects of Irrigation Stopping Time and Harvest Date on Quantitative and Qualitative Yield of CP-57 Sugarcane in Khuzestan. *Iranian Journal of Crop Sciences*. 1998; 1 (1): 19-13. [In Persian]
- Nepal S, Ojha BR, Meador AS, Gaire SP, Shilpakar C. Effect of gamma rays on germination and photosynthetic pigments of maize (*Zea mays* L.) inbreds. *International Journal of Research*. 2014; 1(5): 511-525.
- Ober E. The search for drought tolerance in sugar beet. *British Sugar Beet Review*. 2001; 69(1): 40-43.
- Parvizi M. Investigation of different lines of sugar beet in terms of drought tolerance. Master Thesis, Faculty of Agriculture, University of Tehran. 1992. [In Persian]
- Ranji Z, Chegini M, Tohidloo Gh, Abdollahian-Noghabi M. Investigation of drought tolerance on physiological traits in sugar beet related to nitrogen and potassium. Reports in part of breeding research. Sugar Beet Seed Institute. 2000. [in Persian]
- Reinfeld E, Emmerich A, Winner C. Zur vuraussage des melassezuckers aus rubenanalysen. *Zucker*. 1974; 27: 2-15.
- Sadeghi Shoaie M, Paknejad F, Habibi D, Nooralvandi T, Behdad M. Investigation of the effect of humic acid and the amount of available water on the quantitative and qualitative characteristics of sugar beet (*Beta vulgaris* L.). *Iranian Journal of Agriculture and Plant Breeding*. 2011; 3. [in Persian]
- Sadeghi Shoaie M, Taleghani D. Climate modeling and zoning for autumn sugar beet cultivation. *International Journal of Advanced and Applied Sciences*. 2017; 4: 67-73. doi:10.21833/ijaas.2017.01.010.

- Saha A, Santra SC, Chanda S. Modulation of some quantitative characteristics in rice (*Oryza sativa*L.) by ionizing radiation. *Radiation Physics and Chemistry*. 2005; 74: 391-394.
- Sarmadnia GH, Kochaki A. Physiological aspects of rainfed agriculture. Mashhad University Jihad. 1992. [In Persian]
- Shojaei B, Ehsanpour AA, Abdi MR. Effects of gamma radiation on growth, protein content, bioavailability and DNA damage in potato callus cells. *Iranian Journal of Biology*. 2010; 23 (1): 125-131. [In Persian]
- Singh B, Datta PS. Gamma irradiation to improve plant vigoure, grain development, and yield attributes of wheat. *Radiation Physics and Chemistry*. 2009;79(2): 139-143. **doi:10.1016/j.radphyschem.2009.05.025.**
- Sohrabi Y, Shakiba M, Abdollahian-Noghabi M, Rahimzadeh F, Tourchi M, Fotohi K. Investigation of limited irrigation and root harvesting dates on yield and some of quality charactrestics of sugar beet. *Pajouhesh Sazandegi Journal*. 2006; 70: 8-15. [In Persian]
- Taleghani D. Study of water and nitrogen consumption efficiency in optimal conditions and stress in two sugar beet planting arrangements, PhD thesis, Research Sciences Branch of Islamic Azad University.1998. [In Persian]
- Vazan S, Ranji Z, Tehrani M, Ghalavand A, Saaneyi M. Drought stress effects on ABA accumulation and stomatal conductivity of sugar beet. *Iranian Journal of Agricultural Sciences*. 2002; 3: 176-180. [In Persian]
- Wang X, Ma R, Cui D, Cao Q, Shan Z, Jiao Z. Physio-biochemical and molecular mechanism underlying the enhanced heavy metal tolerance in highland barley seedlings pretreated with low-dose gamma irradiation. *Scientific Reports*. 2017; 7: 133-142. **doi:10.1038/s41598-017-14601-8.**
- Yu X, Wu H, Wei LJ, Cheng ZL, Xin P, Huang CL, Zhang K, Sun YQ. Characteristics of phenotype and genetic mutations in rice after spaceflight. *Advanced Space Research*. 2007; 40(4): 528-534. **doi:10.1016/j.asr.2007.06.022.**