مجله علمی ـ پژوهشی زیست‌فناوری گیاهان زراعی
سال یازدهم، شماره اول، پیاپی سی‌وپنجم، پائیز ۱۴۰۰ (۶۱-۴۷)

Crop Biotech.
Autumn (2021) 10(4): 47-61. DOI: 10.30473/cb.2022.60460.1853

«مقاله پژوهشی»

بررسی برخی ویژگی‌های مورفولوژیکی و غذایی ژنوتیپ امیدبخش سیب‌زمینی حاصل از تنوع سوماکلونال در مقایسه با رقم والدی آن

اسحاقعلی بیاتی[۱]، مسعود گماریان[۲*]، حسین میرزایی ندوشن[۳]، مهدی چنگیزی[٤]، شهاب خاقانی[٥]

۱. دکتری اصلاح نباتات، واحد اراک، دانشگاه آزاد اسلامی اراک، اراک، ایران.
۲. استادیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، واحد اراک، دانشگاه آزاد اسلامی اراک، اراک، ایران.
۳. استاد، مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، بخش بیوتکنولوژی گیاهی، تهران.
٤. استادیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، واحد اراک، دانشگاه آزاد اسلامی اراک، اراک، ایران.
٥. دانشیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، واحد اراک، دانشگاه آزاد اسلامی اراک، اراک، ایران.

(تاریخ دریافت: ۱٤۰۰/۰٥/۲۷ – تاریخ پذیرش: ۱٤۰۰/۰۸/۰۱)

Assessment some morphological and nutritional characteristics of a promising potato genotype, produced from somaclonal variation, compared with its parental cultivar

Eshaghali Bayati[1], Masoud Gomarian[2*], Hossein Mirzaei Nodoushan[3], Mehdi Changizi[4], Shahab Khaghani[5]
1. Ph.D. Plant Breeding, Department of Agronomy and Plant Breeding, Arak Branch, Islamic Azad University, Arak, Iran.
2. Assistant Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, Arak Branch, Islamic Azad University, Arak, Iran.
3. Professor, Research Institute of Forests and Rangelands, Tehran, I.R. Iran.
4. Assistant Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, Arak Branch, Islamic Azad University, Arak, Iran.
5. Associate. Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, Arak Branch, Islamic Azad University, Arak, Iran.
(Received: Aug. 18, 2021 - Accepted: Oct. 23, 2021)

چکیده

از طریق کشت ریزنمونه مریستم انتهایی و ایجاد تنوع سوماکلونال ژنوتیپ امیدبخش از رقم سیب‌زمینی آگریا بر اساس رشد بیشتر کالوس در محیط کشت و همچنین ریشه‌زایی و ساقه‌زایی بیشتر که با تولید برگ و سرعت رشد بیشتری نیز همراه بود انتخاب شد. ژنوتیپ جدید همراه با رقم والدی در یک آزمایش مزرعه‌ای در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار برای تعدادی از صفات مورفولوژیک مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد که صفات میزان ماده خشک (۱۳/۵٪)، تعداد (۱۲/۳٪) و وزن (۸/٦٪) غده در هر بوته و طول استولون (٤٪) در ژنوتیپ امیدبخش نسبت به رقم آگریا به‌طور معنی‌داری بیشتر و همچنین صفت روز تا ۵۰ درصد گلدهی (۱۱/٤٪) و زمان رسیدن (۷/٦٪) در این ژنوتیپ به‌طور معنی داری کمتر از رقم والدی بود. برخی از خصوصیات تغذیه‌ای نیز در دو ژنوتیپ در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۳ تکرار ارزیابی شد. نتایج نشان‌دهنده آن بود که فعالیت آنتی‌اکسیدانی قابل توجهی در ژنوتیپ جدید (٪ ۳۵/٦) در مقایسه با رقم والدی (٪ ۲۵/۳) وجود داشت. به علاوه، ژنوتیپ تولید شده به‌طور معنی‌داری حاوی مقدار نیتریت کمتر (۸۱/۲٪) و مقدار آهن (۲۰/۷٪) و نشاسته (۲۱/۲٪) بیشتری بود. بنابراین، به نظر می‌رسد رقم حاصل واجد پتانسیل‌های قابل قبول جهت کشت و جایگزینی با رقم‌های موجود است.

واژه‌های کلیدی: آنتی‌اکسیدان، تنوع سوماکلونال، زمان رسیدن، ژنوتیپ امیدبخش، نیتریت.

Abstract

In a laboratory experiment conducted in Kabudarahang, Hamadan, a promising potato genotype was selected through somaclonal variation from Agria commercial cultivar, based on the callus size on growth media, shoot and root regeneration. A field experimental design with three replications was carried out to assess the new genotype along with its parental commercial cultivar for several morphological traits. Results revealed that total dry matter per plant (13.5%), total number of tubers (12.3%), tuber weight per plant (8.6%), and stolon length (4%) were significantly higher than in the new genotype. Also, days to 50% flowering (11.4%) and maturity date (7.6%) were significantly less in comparison with the parental cultivar. Several nutritional traits were also studied by which more antioxidant activity was observed on the new genotype (35.6%) than Agria cultivar (25.3%). Furthermore, the new genotype had a lower nitrite (81.2%) and higher iron (20.7%) and starch content (21.2%) comparing with Agria cultivar. Therefore, it seems that the new genotype has an acceptable potential for cultivation and replacement with existing cultivars.

Keywords: Antioxidant, Somaclonal variation, Maturity date, Promising genotype, Nitrite.

* نویسنده مسئول: مسعود گماریان
E-mail: msgomarian@yahoo.com

مقدمه

سیب‌زمینی (*Solanum tuberosum* L.) یکی از مهم‌ترین گیاهان زراعی دنیا است و از نظر اهمیت غذایی پس از گندم، برنج و ذرت در رتبه چهارم از نظر تولید قرار گرفته است (Hassanpanah *et al*., 2018). سطح زیر کشت این گیاه در ایران ۱۶۰ هزار هکتار می‌باشد (Mamnoei *et al*., 2018). ارقام مختلف سیب‌زمینی از جمله محصولاتی هستند که در سراسر کره زمین، سطح بالایی را به زیر کشت برده‌اند و علاوه بر استفاده به‌عنوان سبزی تازه، به شیوه‌های مختلفی از جمله چیپس، پوره سیب‌زمینی، و خلال سرخ کرده فرانسوی و نظائر این‌ها مصرف می‌شوند.

روش اصلاح کلاسیک مبتنی بر کشت و تلاقی ارقام و ژنوتیپ‌های سازگار دارای عملکرد بالا با ژنوتیپ‌های دارای خصوصیات مطلوب استوار است. مشکلاتی مانند عقیمی، تتراپلوئیدی به همراه سطوح بالای هتروزیگوسیتی کارایی روش‌های کلاسیک اصلاح نباتات برای اصلاح این گیاه را بشدت تحت‌تاثیر قرار می‌دهد. بدیهی است اصلاح گیاهان به روش سنتی، علاوه بر وقت‌گیر بودن در بسیاری از موارد امکان‌پذیر نیست. کشت بافت گیاهی یک راهکار مکمل برای فائق آمدن بر این مشکلات می‌باشد (Rahnama *et al*., 2010). کشت بافت گیاهی می‌تواند بستر مناسبی برای حفظ و نگهداری گونه‌ها و ژنوتیپ‌های مادری و یا در حال انقراض طبیعت به‌عنوان منابع با ارزش ژرم پلاسم محسوب شود. زمانی که تنوع داخل گونه‌ای کم باشد، برای افزایش میزان تنوع می‌توان از اقوام وحشی، گونه‌های غیرخویشاوند و تکنیک‌های موتاسیونی استفاده نمود. اما در دهه‌های اخیر منبع جدیدی از تنوع قابل استفاده، یعنی تنوع حاصل از کشت سلول و بافت‌های گیاهی یا تنوع سوماکلونال (Rabiee *et al*., 2011) مورد توجه بسیاری از محققین قرار گرفته است. یکی از منابع با ارزش برای گرفتن ریزنمونه از گیاهان، سلول‌های مریستمی می‌باشند. سلول بافت‌های مریستمی دارای دیواره نازک، هسته بزرگ و در اکثر موارد واکوئل‌های کوچک هستند. به‌دلیل رشد سریع این سلول‌ها آوندها در این قسمت هنوز نفوذ نکرده‌اند و فاقد هرگونه آلودگی به بیماری می‌باشند (Shahpiri *et al*., 2004).

ارقام مختلف سیب‌زمینی از نظر رسیدگی فیزیولوژیکی به ارقام زودرس، میان رس و دیررس تقسیم می‌شوند. ارقام زودرس از زمان کاشت تا برداشت به ۹۰ تا ۱۰۰ روز در نواحی معتدل، ارقام میان رس یا متوسط رس به ۹۵ تا ۱۱۰ روز و ارقام دیررس به ۱۲۵ تا ۱۳۵ روز زمان نیاز دارند (Kawar *et al*., 2018). با توجه به طول دوره رسیدن این گیاه، تعداد مراحل آبیاری در رقمی که دیررس است از دو برابر مراحل تعداد آبیاری یک رقم زودرس که طول دوره رشد آن ۹۰ روزه است بیشتر است. در نتیجه با زودرسی ارقام سیب‌زمینی میزان استفاده از آب به‌طور قابل توجهی کاهش می‌یابد و این در حالی است که بسیاری از ارقام زودرس دارای عملکرد محصول بیشتری نسبت به ارقام دیررس می‌باشند، به همین جهت در اصلاح سیب‌زمینی تلاش برای دسترسی به ارقام بسیار زودرس که طول دوره رشد آن‌ها کمتر از ۹۰ روز باشد از اهمیت قابل توجهی برخوردار است (Salaria *et al*., 2020; Kawar *et al*., 2018). بر این اساس زودرسی و دیررس ارقام سیب‌زمینی مورد توجه محققین متعددی بوده است (Sohail Khan *et al*., 2013; Hannapel *et al*., 2017). در مطالعه‌ای با به‌کارگیری روش ریزآرایه، بیان ژن‌ها در ژنوتیپ‌هایی از سیب‌زمینی که زمان غده‌زایی متفاوتی داشتند موردمطالعه قرار گرفتند و مشخص شد که ژن (*StCDF1*) یکی از ژن‌های مهم دخیل در زمان رسیدگی سیب‌زمینی می‌باشد (Singh *et al*., 2015). در مطالعه دیگری با بررسی ژن *StCDF1.2* که ژن نامزد زودرسی در سیب‌زمینی می‌باشد گزارش شد که برای این ژن در سیب‌زمینی تنوع آللی مناسبی وجود دارد (Salaria *et al*., 2020).

در ارقام مختلف سیب‌زمینی خواص آنتی اکسیدانی شناسایی شده است که می‌تواند در کاهش نارسایی‌ها و بیماری‌های انسانی مؤثر باشد (Diaz *et al*., 2012). سیب‌زمینی حاوی آنتی‌اکسیدان‌های مهمی مانند ترکیبات فنولی، کاروتنوئیدها و فلاونوئیدها می‌باشد (Hessam *et al*., 2010; Patil *et al*., 2020; Naeem *et al*., 2021). فعالیت‌های آنتی‌اکسیدانی در عصاره سیب‌زمینی، قابلیت معنی‌داری در ردیابی و پاک‌سازی گونه‌های آزاد اکسیژن دارد که به‌واسطه آن باعث ممانعت از واکنش‌های اکسیداسیونی در غذاهای چرب می‌شود. همچنین آنتی‌اکسیدان‌های طبیعی علاوه بر خنثی کردن فعالیت‌های زنجیره‌ی گونه‌های آزاد اکسیژن در سیستم‌های بیولوژیک، قابلیت‌هایی چون بهبود کیفیت و پایداری غذایی را هم دارند (Hassan, 2011). ارقام سیب‌زمینی از نظر مقدار آنتی‌اکسیدانت‌ها با یکدیگر تفاوت دارند، بنابراین اثر آن‌ها در پاک‌سازی گونه‌های آزاد اکسیژن نیز متفاوت است. از یک طرف، ارقام سیب‌زمینی قرمز و بنفش به‌دلیل مقادیر بالای ترکیبات پلی‌فنولی و امکان فعالیت‌های آنتی‌اکسیدانی، مورد توجه بیشتر افراد دیابتی قرار گرفته‌اند (Kalita *et al*., 2018) و از سوی دیگر، ارقام زرد و سفید سیب‌زمینی هم ممکن است، مقادیر قابل توجهی از ترکیبات فنولی با اثرات احتمالی بازدارندگی بر روی نارسائی‌های دیابتی داشته باشند. در میان داروهای ضد دیابت ترکیبات فنولی گروه اصلی متابولیت‌های ثانویه گیاهی را تشکیل می‌دهند. این ترکیبات فلاونوئیدها، فلاونول‌ها، اسید فنولیک و آنتوسیانین‌ها را شامل می‌شوند (Kinoshita and Nishimura, 1988). اخیراً به‌نژادگران سیب‌زمینی بر روی اصلاح ارقامی از سیب‌زمینی با کیفیت غذایی بالا متمرکز شده‌اند تا دریافت آنتی‌اکسیدان‌ها را توسط انسان افزایش دهند (Kalita *et al*., 2018). محققین با مطالعه روی فعالیت آنتی‌اکسیدانی عصاره پوست سیب‌زمینی رقم راجا گزارش کردند که این عصاره دارای فعالیت آنتی‌اکسیدانی بسیار قوی و قابل مقایسه با آنتی‌اکسیدان‌های تجاری مانند (Butylated hydroxyanisole) و (Butylated hydroxytoluene) است (Mohagheghi Samarin *et al*., 2008). در مطالعه‌ای میزان فعالیت آنتی‌اکسیدانی عصاره پوست سیب‌زمینی استخراج شده با دو محلول آب و اتانول مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج در کل نشان‌دهنده آن بود که عصاره پوست سیب‌زمینی منبع بالقوه‌ای از آنتی‌اکسیدان‌های طبیعی است (Hassan and Hassan, 2015). همچنین گزارش شده است که ۵۰ درصد پوست سیب‌زمینی حاوی مواد فنولی می‌باشد و مقدار این ماده در گوشت سیب‌زمینی متغیر است اما مقدار آن به طرف مرکز غده کاهش می‌یابد (Naeem *et al*., 2021).

محتوی نیترات و نیتریت در سبزیجات و ارقام مختلف گیاهی از جمله سیب‌زمینی، دغدغه دیگری برای به‌نژادگران گیاهی و نیز مصرف‌کننده‌های سبزیجات بوده است (Susin *et al*., 2006). در مقایسه با سایر خانواده‌ها و گونه‌های گیاهی در گیاهان خانواده سولاناسه مقدار نیتریت نسبتاً کم است، که احتمالاً حاصل فعالیت‌های آنتی‌اکسیدانی موادی چون پلی‌فنل‌ها و فلاونوئیدها می‌باشد (Cui *et al*., 2017). محتوای متغیر نیترات و نیتریت، نه تنها به عوامل محیطی، از قبیل ترکیبات خاک، شدت نور، تراکم گیاه، دوره رویش، برداشت و دوره انبارمانی بستگی دارد بلکه گونه‌ها و ارقام مختلف گیاهی ممکن است سطوح مختلفی از نیترات و نیتریت و سایر ترکیبات نیتروژنی داشته باشند. نیتریت می‌تواند به‌وسیله نیتریت‌ریداکتاز از اکسیدهای نیتروژن و نیترات تولید شود. اگرچه نیتریت به‌خودی‌خود غیر سمی است ولی می‌تواند از طریق پیش‌نیاز شدن برای نیتروزآمین‌ها که دارای اثرات سرطان‌زایی هستند سبب بروز انواع مختلف سرطان در انسان شود و بدین ترتیب سلامتی انسان را به خطر بیاندازد (Bideshki *et al*., 2020). در تحقیقی ۸۹

رقم سیب‌زمینی از لحاظ کارایی مصرف نیتروژن (NUE) مورد بررسی قرار گرفتند. نتایج نشان داد که تنوع ژنتیکی وسیعی برای این صفت در ارقام مختلف سیب‌زمینی وجود دارد. بنابراین در اصلاح ارقام سیب‌زمینی برای تولید سیب‌زمینی‌هایی که مقادیر کمتری از ماده نیترات و نیتریت را داشته باشند، می‌توان از ارقام با کارایی بالای مصرف نیتروژن معرفی شده در این پژوهش به‌عنوان والدین تلاقی در برنامه‌های اصلاحی استفاده کرد (Getahun *et al*., 2020).

بنابراین با توجه به موارد ذکر شده هدف از این تحقیق ارزیابی و مقایسه برخی خصوصیات مورفولوژیکی و تغذیه‌ای رقم تجاری سیب‌زمینی رایج در منطقه (آگریا) با ژنوتیپ امیدبخش حاصل از آن بود. این ژنوتیپ امیدبخش در تحقیقی دیگر با کشت ریزنمونه‌های مریستم انتهایی رقم سیب‌زمینی آگریا و از طریق ایجاد تنوع سوماکلونال در محیط کشت و انتخاب کالوس‌هایی که دارای رشد و ریشه‌زایی و ساقه‌زایی بیشتری بودند به‌دست آمده بود که جزئیات تولید آن قبلاً گزارش شده است (Bayati *et al*., 2021).

مواد و روش‌ها

القای تنوع سوماکلونال و تولید ژنوتیپ امیدبخش

به‌منظور القاء تنوع ژنتیکی از طریق کشت بافت سیب‌زمینی از بافت‌های برگ و میانگره ساقه با ابعاد مشخص از رقم آگریا استفاده شد. به این منظور از برگ رسیده و بالغ سیب‌زمینی (رقم آگریا) و ساقه‌هایی با ضخامت ۲ تا ۴ میلی‌متر به‌عنوان نمونه گیاهی استفاده شد. ابتدا نمونه‌ها به‌مدت ۱۵ دقیقه با آب جاری و صابون مایع شستشو و به‌مدت ۱۰ ثانیه در اتانول ۷۰٪ قرار داده شدند و سه بار بخوبی با آب مقطر استریل شستشو شدند. پس از این مرحله به‌منظور کشت نمونه‌ها در محیط کشت، نوارهایی از برگ با رگبرگ اصلی، به‌اندازه ۰/۵ تا ۰/۸ سانتی‌متر به‌وسیله اسکالپل برش داده شد تا در شرایط استریل بر روی محیط کشت قرار گیرد. ساقه‌ها نیز به قطعاتی به طول تقریبی نیم سانتی‌متر برش داده شده و هر یک از این نمونه‌ها در سه تکرار بر روی محیط کشت MS قرار گرفتند. در محیط کشت MS مورد استفاده علاوه بر ۰/۲۵ میلی‌گرم در لیتر از تنظیم‌کننده رشد kin از 2,4-D در سطوح مختلف استفاده شد. با داشتن دو نمونه گیاهی و ۴ غلظت 2,4-D، آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۸ تیمار موردمطالعه قرار گرفت. تیمارها در ۴ تکرار (مجموعاً ۳۲ ظرف حاوی محیط کشت که در هرکدام ۴ نمونه گیاهی کشت شدند) مطالعه شدند. ظروف حاوی محیط کشت در اتاق رشد با شرایط ۱۶ ساعت روشنایی و ۸ ساعت تاریکی و دمای روزانه ۲۵ و شبانه ۱۷ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند و حدود یک ماه بعد صفاتی چون قطر متوسط کالوس تشکیل شده اندازه‌گیری شد. در ادامه نقش نوع بافت (برگ و ساقه) و غلظت هورمون مورد استفاده (۴، ۳، ۲ و ۰ میلی‌گرم در لیتر 2,4-D) در سطح تولید کالوس ارزیابی شد. کالوس‌های نشان دهنده تنوع ساختاری، باززایی شدند و ژنوتیپ‌های جدید سیب‌زمینی تولید گردیدند (شکل ۱) و ژنوتیپ‌هایی که تنوع مورفولوژیک اولیه خوبی از خود نشان دادند با استقرار و رشد مناسب در شرایط گلخانه‌ای موردمطالعه قرار گرفتند.

شکل ۱. رقم آگریا (سمت راست) و ژنوتیپ امیدبخش (سمت چپ) در مرحله باززایی در محیط کشت MS.

ارزیابی مزرعه‌ای صفات مورفولوژیک

در طی فصل زراعی ۱۳۹۶-۱۳۹۷ یک آزمایش مزرعه‌ای واقع در کبودرآهنگ همدان اجرا شد تا یکی از ارقام تجاری سیب‌زمینی (آگریا) و یکی از نتاج نسل اول پر محصولش که از طریق تنوع سوماکلونال به‌دست آمده بود (Bayati *et al.*, 2021) مورد ارزیابی قرار گیرند. ژنوتیپ امیدبخش تولید شده از لحاظ ظاهری دارای برگ‌های بیشتر و بزرگ‌تر، ساقه‌های بیشتر و ریشه‌های بزرگ‌تر بود. برای این منظور از طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار استفاده گردید و با توجه به اینکه تنها دو تیمار در آزمایش حضور داشتند جهت مقایسه میانگین‌ها از روش آزمون t–جفت شده استفاده گردید. از آنجا که گیاهچه‌های مورد استفاده بنیه زیادی نداشتند، فاصله بین بوته‌ها و ردیف‌ها با کشت معمول سیب‌زمینی متفاوت بود. به‌عبارت دیگر گیاهچه‌های دو ژنوتیپ موردمطالعه روی ردیف‌هایی با فواصل ۲۰ سانتی‌متر و فاصله بین بوته‌ها نیز ۲۰ سانتی‌متر کاشته شده و پس از استقرار، صفات مورد نظر در زمان مناسب اندازه‌گیری شدند. لازم به ذکر است که هر پلات یا واحد آزمایشی مشتمل بر ۳ ردیف بود که با توجه به محدودیت در تعداد گیاهچه‌های موجود، روی هر ردیف حداقل ۵ بوته کشت شد و اندازه‌گیری‌ها روی سه بوته وسطی از ردیف وسط از هر واحد انجام شد. ویژگی‌های مورفولوژیک موردمطالعه شامل روز تا ۵۰ درصد گلدهی، زمان رسیدن، طول استولون، تعداد غده در هر بوته، وزن غده در هر بوته، درصد ماده خشک و درصد نشاسته بود. درباره طول استولون قابل ذکر است که در هر بوته به تعداد غده‌هایی که تشکیل می‌شوند استولون وجود دارد اما طول آن‌ها با هم برابر نمی‌باشند، بنابراین بعد از اندازه‌گیری طول آن‌ها با خط‌کش از آن‌ها یک میانگین گرفته شد و همین کار در سه بوته دیگر هم تکرار شد و در نهایت میانگین این سه میانگین گرفته شد و مورد آنالیز آماری قرار گرفت.

ارزیابی غذایی غده‌ها

برای بررسی میانگین ویژگی‌های تغذیه‌ای ژنوتیپ مذکور با رقم والدی از روش آزمون t-جفت نشده با سه تکرار استفاده شد. صفات اندازه‌گیری شده در این قسمت شامل میزان نشاسته، نیترات، نیتریت، پروتئین، نشاسته، فسفر پتاسیم، آهن، منگنز، مس، روی و آنتی‌اکسیدانت کل بود. برای این منظور از غده‌های ژنوتیپ‌های مورد بررسی به شرح زیر عصاره تهیه شد: ابتدا نمونه‌های تازه غده سیب‌زمینی با اون در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد و به‌مدت ۵ ساعت خشک شدند. نمونه‌های خشک شده سائیده شده و با الک ۰/۵ میلی‌متری الک شدند. نیم گرم از پودر نرم حاصل در ۱۰ میلی‌لیتر آب مقطر حل شده و به‌مدت ۵ دقیقه هموژن شدند. در ادامه مخلوط حاصل به‌مدت ۱۰ دقیقه با دور ۵۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ شدند. سپس محلول بالایی لوله سانتریفیوژ با کاغذ صافی واتمن شماره ۱ فیلتر شدند. عصاره حاصل در دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد خشک شد تا زمانی که توده ثابتی حاصل شد. مقدار کل ماده جامد حاصل از عصاره، تعیین وزن شد (Singh and Rajini, 2004). فسفر عصاره به روش مولیبدووانادوفسفوریک اسید با استفاده از دستگاه

اسپکتروفتومتر اندازه‌گیری شد (Kitson and Mellon, 1944) و پتاسیم عصاره با استفاده از دستگاه فلیم‌فتومتر تعیین گردید. برای اندازه‌گیری مقادیر سایر عناصر از دستگاه جذب اتمی استفاده شد. همچنین مقدار پروتئین عصاره به روش کجلدال تعیین شد (Kirk, 1950). از روش ظرفیت آنتی‌اکسیدانی کل (Total Antioxidant Capacity) از طریق روش موسوم به فسفومولیبدنوم (phosphomolybdenum) تعیین گردید که به اختصار توضیح داده می‌شود (Kumaran and Karunakaran, 2007). حجم مشخصی از هر یک از عصاره‌ها (10 mg/ml) با استفاده از آب مقطر در لوله‌های اپندورف به حجم ثابتی (۰/۳ میلی‌لیتر) رسید. سه میلی‌لیتر از محلول واکنش شامل ۰/۶ مولار اسیدسولفوریک، ۴ میلی‌مولار آمونیوم مولیبدات و ۲۸ میلی‌مولار فسفات سدیم به لوله‌های اپندورف اضافه و مخلوط شدند. لوله‌ها به‌مدت ۹۰ دقیقه در دمای ۹۵ درجه سانتی‌گراد انکوبه شدند و سپس در دمای اتاق خنک گردیدند. یک شاهد مثبت هم با استفاده از ۰/۰۳٪ (w/v) محلول اسکوربیک اسید تهیه شد. محلول مشابهی هم با همان روش مورد اشاره، به‌عنوان محلول بلانک (یا سفید) بدون پودر حاصل از عصاره سیب‌زمینی تهیه شد. جذب نوری محلول‌های حاصل، با استفاده از اسپکتروفتومتر شیماتزو در مقابل محلول بلانک در ۶۹۵ nm اندازه‌گیری شد. درصد فعالیت بازدارندگی عصاره‌ها با استفاده از رابطه (۱) تعیین شد.

$$I\% = \frac{(A_C - A_E)}{A_C} \times ۱۰۰ \qquad (۱)$$

در این رابطه Ac جذب نوری شاهد، و A_E جذب نوری عصاره نمونه‌هاست. در حقیقت، A_C و A_E جذب نوری در حضور و غیاب عصاره نمونه‌هاست. مقادیر عددی جذب نوری مخلوط‌های واکنش ظرفیت کل آنتی‌اکسیدانی نمونه‌ها را تعیین می‌کند. برای تعیین میزان نیترات از روش Singh (۱۹۸۸) استفاده گردید. استخراج و اندازه‌گیری نیتریت با استفاده از روش پیشنهادی Cui و همکاران (۲۰۱۷) انجام شد. درصد نشاسته به روش Sheligl (۱۹۸۶) و با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر اندازه‌گیری شد.

تجزیه آماری داده‌ها

داده‌های حاصل از سه آزمایش با به‌کارگیری نرم‌افزار SAS (2001) نسخه ۹/۱ مورد تجزیه آماری قرار گرفتند. تجزیه واریانس آزمایش اول به‌صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملا تصادفی انجام شد و میانگین‌های حاصل به روش آزمون چند دامنه‌ای دانکن مورد مقایسه قرار گرفتند. آزمایش مربوط به مقایسه صفات مورفولوژیک و تغذیه‌ای به‌ترتیب به‌صورت طرح بلوک‌های کامل تصادفی و طرح کاملا تصادفی با سه تکرار پیاده گردیدند اما از آنجا که تنها دو تیمار در آزمایش حضور داشتند میانگین‌های حاصل به‌ترتیب به روش آزمون t–جفت شده و t–جفت نشده مقایسه گردیدند.

نتایج و بحث

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌های حاصل از مطالعه انواع ریزنمونه‌ها و غلظت‌های مختلف 2,4-D و اثر متقابل آن‌ها بر روی قطر کالوس و وزن کالوس در جدول ۱ ارائه شده است. این صفات یک ماه پس از کشت اندازه‌گیری شدند. همانگونه که مشاهده می‌شود بین دو ریز نمونه برگ و مریستم انتهایی از نظر قطر کالوس و وزن کالوس در سطح احتمال ۱ درصد تفاوت معنی‌دار وجود دارد. همچنین غلظت‌های مختلف 2,4-D نیز بر روی صفت‌های قطر کالوس و وزن کالوس در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار می‌باشند. با توجه به معنی‌دار شدن اثر متقابل ریزنمونه با مقادیر مختلف هورمون از مقایسه میانگین سطوح ساده ریزنمونه و هورمون خودداری شد (جدول ۱). همانطور که در جدول ۲ مشاهده می‌شود، ریزنمونه مریستمی به همراه تیمار ۳ میلی‌گرم در لیتر 2,4-D بر روی هر دو صفت اندازه‌گیری شده دارای بیشترین تأثیر بوده است.

جدول ۱. تجزیه واریانس صفات اندازه‌گیری شده در دو نوع ریزنمونه برگ و مریستم انتهایی در غلظت‌های مختلف هورمون 2,4-D

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات	
		قطر کالوس	وزن کالوس
ریزنمونه	1	56.498**	0.551**
هورمون 2,4-D	3	108.04**	1.03**
اثر متقابل ریز نمونه و هورمون	3	6.406**	0.068**
اشتباه	24	0.003	0.0001
ضریب تغییرات (٪)		1.14	2.08

ns، * و ** به‌ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد.

جدول ۲. مقایسه میانگین اثرات متقابل تیمارهای مورد بررسی بر روی صفات اندازه‌گیری شده

تیمار اثر متقابل ریز نمونه با غلظت‌های مختلف 2,4-D	میانگین صفات	
	قطر کالوس (میلی‌متر)	وزن کالوس (گرم)
برگی غلظت صفر	0.00005g	0.00005g
برگی غلظت ۲ میلی‌گرم در لیتر	5.645e	0.545e
برگی غلظت ۳ میلی‌گرم در لیتر	5.775d	0.585d
برگی غلظت ۴ میلی‌گرم در لیتر	5.287f	0.485f
مریستمی غلظت صفر	0.00005g	0.00005g
مریستمی غلظت ۲ میلی‌گرم بر لیتر	8.837c	0.815c
مریستمی غلظت ۳ میلی‌گرم بر لیتر	9.425a	0.955a
مریستمی غلظت ۴ میلی‌گرم بر لیتر	9.075b	0.895b

میانگین‌هایی که در هر ستون دارای حروف مشترک می‌باشند تفاوت آماری معنی داری از لحاظ آزمون چند دامنه‌ای دانکن ندارند.

در پژوهشی اثر ریزنمونه و غلظت تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی بر کالزایی در گیاه *Stipagrostis pennata* موردبررسی قرار گرفت (Asadi Aghbolaghi *et al*., 2021). نتایج آن‌ها نشان داد که ریزنمونه بذر در تیمار ۳ میلی‌گرم در لیتر 2,4-D به همراه ۰/۴ میلی‌گرم در لیتر بنزیل‌آمینوپورین (BAP)، به‌عنوان بهترین تیمار برای کالزایی در این گیاه شناخته شد که نتایج این تحقیق از نظر غلظت بهینه 2,4-D با نتیجه پژوهش حاضر همخوانی دارد.

پس از تولید کالوس‌های متفاوت، ازآنجایی‌که کالوس‌های مطلوب مربوط به کالوس‌های مریستمی کشت‌شده در محیط حاوی ۳ میلی‌گرم 2,4-D بودند (جدول ۲) دوباره در محیط کشت حاوی هورمون‌های باززایی از جمله هورمون BAP و IBA با غلظت یک میلی‌گرم در لیتر قرار گرفتند و گیاه با ساقه و ریشه اصلی تولید کردند. گزارش شده است که سلول‌های مریستمی قدرت تولید کالوس بیشتری دارند و در عین حال قدرت کالوس هم بیشتر است (Rostami *et al*., 2012) که نتایج گرفته شده در این پژوهش نیز این موضوع را تایید می‌کند. تولید گیاهان باززا شده به این روش موجب تغییرات مورفولوژیکی در گیاه می‌گردد و احتمال تغییر در ژنوتیپ هم وجود دارد که در مطالعات دیگری هم به آن اشاره شده است (NoorMohammadi *et al*., 2017). در نهایت ژنوتیپ‌های جدید انتخاب شده با ژنوتیپ والدی از نظر خصوصیات مورفولوژیکی و تغذیه‌ای در مزرعه موردمطالعه بیشتر قرار گرفتند.

نتایج حاصل از مقایسه میانگین صفات مورفولوژیک در جدول ۳ آمده است. همانطور که در جدول دیده می‌شود به غیر از صفت وزن غده در هر بوته که در دو ژنوتیپ موردمطالعه تفاوت معنی‌داری را نشان ندادند بقیه صفات مورفولوژیک موردمطالعه در دو ژنوتیپ دارای تفاوت معنی‌دار بودند.

یکی از صفات مهم در تعیین کیفیت غده‌ها به‌ویژه در صنایع فرآوری و تهیه چیپس، خلال و پوره میزان ماده خشک غده‌ها در ارقام مختلف سیب‌زمینی می‌باشد.

ارقام دارای ماده خشک بالا به‌علت درصد کمتر رطوبت به‌مدت زمان کمتری برای سرخ شدن نیاز دارند در نتیجه فرصت کم‌تری برای جذب روغن و تغییر رنگ خواهند داشت (Naeem *et al*., 2021). بنابراین از نظر بهداشت تغذیه نیز بهتر هستند. با در نظر گرفتن این موضوع و با توجه به اینکه درصد ماده خشک ژنوتیپ جدید نسبت به رقم والدی ۱۳/۵ درصد افزایش داشت، می‌توان آن را برای مصارف فرآوری (چیپس) نیز پیشنهاد نمود. راندمان تولید چیپس در سیب‌زمینی‌های با ماده خشک بالا، روغن کم و طعم زیاد بیشتر می‌باشد (Bolandi *et al*., 2011).

گزارشاتی وجود دارد که نشان می‌دهند میزان ماده خشک در ارقام سیب‌زمینی می‌تواند تحت‌تاثیر محیط تغییر کند و این ویژگی صرفاً تحت‌تاثیر ژنتیک نیست.

جدول ۳. مقایسه میانگین تعدادی از صفات مورفولوژیک در ژنوتیپ‌های سیب‌زمینی با استفاده از آزمون t

تیمار	روز تا ۵۰ درصد گلدهی	طول استولون (سانتی‌متر)	تعداد غده در هر بوته	زمان رسیدن (روز)	درصد ماده خشک	وزن غده در هر بوته (گرم)
ژنوتیپ امیدبخش	62b	89a	8.767 a	120b	22.65a	246.593a
آگریا	70a	85.5b	7.802 b	130a	19.95b	226.995b

در هر ستون علامت a و b نشان دهنده تفاوت معنی دار در آزمون t است.

بنابراین بایستی به شرایط محیطی که در آن نتیجه تحقیقاتی در این زمینه به‌دست می‌آید نیز توجه کرد (Dahal *et al*., 2019; Wrighte *et al*., 2017).

به‌طور کلی ژنوتیپ حاصل از رقم آگریا از نظر تعداد غده در بوته ۱۲ درصد نسبت با رقم والدی برتری نشان داد. در تایید این نتیجه مشاهده شد که طول استولون ۴ درصد نسبت به رقم مادری افزایش داشت. گزارش شده است که استولون‌های با طول بلندتر تعداد غده بیشتری در اطراف بوته سیب‌زمینی تشکیل می‌دهند (Bolandi and Hamidi, 2015). همچنین وزن غده در هر بوته در این ژنوتیپ ۸/۷ درصد نسبت به رقم والدی افزایش داشت. افزایش وزن مینی‌تیوبر باعث افزایش میانگین قطر غده، وزن غده و عملکرد در واحد سطح می‌شود (Bolandi and Hamidi, 2015; Mahmoudpour, 2014). بنابراین به احتمال قوی عملکرد ژنوتیپ تولید شده بیشتر از رقم والدی خواهد بود. در تحقیقی اندازه‌های مختلف غده‌های بذری بر عملکرد سیب‌زمینی رقم مورن موردمطالعه قرار گرفت و نشان داده شد که عملکرد غده با افزایش غده بذری افزایش یافت (Imani and Rasouli, 2006). در مطالعه‌ای گزارش شده است که کشت غده‌های سبک‌تر سیب‌زمینی باعث می‌شود جوانه‌زنی در زمان طولانی‌تری انجام شود و جوانه‌های گیاهان حاصل تولید ساقه‌های ضعیف‌تر، ریشه‌های کوچک‌تر و نسبت ساقه به ریشه بالاتری کنند. در نتیجه تعداد و وزن غده‌های تولیدی در هر گیاه کاهش می‌یابد (Bolandi and Hamidi, 2015). همچنین نشان داده شد که برای رسیدن به عملکرد بالا تلفیق رقم، تراکم بوته و اندازه غده بذری باید مورد توجه قرار گیرد. از سوی دیگر با توجه به اینکه غده‌های بزرگ‌تر تعداد ساقه بیشتری تولید می‌کنند، در نتیجه عملکرد بوته‌های حاصل از کشت مینی‌تیوبرهای بزرگ‌تر بیشتر از بوته‌های حاصل از کشت مینی‌تیوبرهای کوچک‌تر می‌باشد (Zarghami and Bolandi, 2007; Siadat *et al*., 2000).

رقم آگریا یکی از ارقام پرمحصول سیب‌زمینی در ایران می‌باشد. این رقم از لحاظ ماده خشک و نشاسته، بالاتر از دیگر ارقام پرمحصول در کشور است. بنابراین، برای تولید انواع فراورده‌های سیب‌زمینی مانند چیپس، نشاسته و محصولات صنعتی از این رقم بیشتر از دیگر ارقام استفاده می‌شود. دیررس یکی از مهم‌ترین مشکلات رقم

آگریا می‌باشد که باعث می‌گردد نیاز آبی آن بالا باشد (Muktar *et al*., 2015). در این مطالعه صفت روز تا ۵۰ درصد گلدهی در ژنوتیپ تولید شده نسبت به رقم والدی ۱۱ درصد کاهش نشان داد. زمان رسیدن نیز به همین ترتیب به مقدار ۷/۵ درصد کاهش داشت. از آنجایی‌که بین غده‌بندی و گلدهی رابطه مستقیمی وجود دارد با جلو افتادن گلدهی غده‌بندی نیز زودتر انجام می‌شود، هرچند نتایج برخی از تحقیقات نشان داده است که دمای محیط و سایر تنش‌های محیطی از جمله کمبود رطوبت اثر زیادی بر ویژگی‌های مورفولوژیک سیب‌زمینی از جمله رشد رویشی گیاه به‌ویژه در دوره گلدهی آن می‌گذارد (Escuredo *et al*., 2020; Rykaczewska, 2017; Hatfield and Prueger, 2015). بدین‌سان با جلو افتادن زمان رسیدن ژنوتیپ امیدبخش حاصل نسبت به رقم آگریا آبیاری کمتری نیز نیاز می‌باشد.

نتایج حاصل از مقایسه میانگین، تفاوت آماری معنی‌داری را به غیر از صفت مقدار نیترات برای بقیه صفات تغذیه‌ای موردمطالعه بین دو ژنوتیپ نشان داد (جدول ۴).

فعالیت آنتی‌اکسیدانی ژنوتیپ جدید منتخب (۳۵/۶٪) در مقایسه با والد تجاریش ۲۳/۳٪ برتری داشت. گفته می‌شود که فعالیت آنتی‌اکسیدانی کل در عصاره‌های گیاهی موردمطالعه به چند مکانیسم از قبیل تجزیه پراکسیداز و تخریب رادیکال‌های آزاد مربوط می‌شود (Kumaran and Karunakaran, 2006). مکانیسم مورد نظر در فعالیت آنتی‌اکسیدانی کل در ژنوتیپ جدید هرچه که باشد، این ژنوتیپ برای مطالعات مزرعه‌ای آتی بسیار امید بخش است. در تحقیقی فعالیت آنتی‌اکسیدانی و میزان ترکیبات فنولی در سه رقم سیب‌زمینی ساوالان، آگریا و سانته بررسی شد. نتایج نشان دهنده آن بود که بیشترین ترکیبات فنولی مربوط به رقم ساوالان است (Hessam *et al*., 2010). بنابراین می‌توان در مطالعات آتی میزان فعالیت آنتی‌اکسیدانی و ترکیبات فنولی در رقم امید بخش حاصل از این پژوهش را با رقم ساوالان نیز مورد مقایسه قرار داد.

به‌تازگی در مصرف‌کنندگان و صنایع غذایی برای استفاده از آنتی‌اکسیدان‌های طبیعی به‌عنوان غذا یا دارو علاقه فزاینده‌ای نشان داده شده است تا این مواد جایگزین آنتی‌اکسیدان‌های مصنوعی شوند که به‌دلیل اثرات جانبی مضر از جمله ایجاد نارسایی در قلب و عروق، در حال محدود شدن هستند (Kumaran and Karunakaran, 2007). در چندین تحقیق وجود سطح بالایی از فعالیت آنتی‌اکسیدانی در غدد سیب‌زمینی گزارش شده است که قابل مقایسه با بلوبری و انار می‌باشد (Kalita and Jayanty, 2014). به‌هر حال از آنجا که ارقام سیب‌زمینی بعد از برنج، گندم و ذرت، به‌عنوان یکی از اجزای اصلی غذایی محسوب می‌شوند، باید در راستای اصلاح ارزش کیفی مورد توجه بیشتری قرار گیرند. به‌نژادگران سیب‌زمینی برای یک دوره طولانی به‌طور عمده بر روی ویژگی‌های کمی و نه کیفی این محصول متمرکز شده بودند. در حالی‌که اصلاح ارقام جدید با سطح بالاتری از ترکیبات بیواکتیو که از طریق افزایش محتوای ارزش غذایی ارقام سیب‌زمینی قابل حصول است از ضروریات است. تولیدمثل جنسی در ارقام موجود سیب‌زمینی یکی از راه‌های قابل حصول و تکنیک مؤثر برای به‌نژادگران گیاهی است که به اهداف مذکور نائل آیند. گزارش‌هایی وجود دارد که ارزش غذایی غده‌ها را در سیب‌زمینی‌های قرمز و بنفش فهرست کرده‌اند (Navarre *et al*., 2011; Perla *et al*., 2012). بیش از پنجاه ژنوتیپ سیب‌زمینی از نظر محتوای فنلی و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی آب‌دوستی تجزیه و تحلیل شدند، که نتایج نشان داد فنل کل بین ۱/۸ تا ۱۱ میلی‌گرم در هر گرم از ماده خشک می‌باشد. همچنین ظرفیت آنتی‌اکسیدانی بین ۲۷ تا ۲۱۹ µmol trolox equivalents در هر گرم ماده

خشک (TE^{-g}) محاسبه شد. از این رو این احتمال وجود دارد که بتوان با القای تنوع ژنتیکی در درون ارقام تجاری که در هر منطقه سازگار شده‌اند، ژنوتیپ‌هایی با محتوای ارزش غذایی بالاتر انتخاب کرد (Navarre *et al.*, 2011).

جدول ۴. مقایسه میانگین صفات تغذیه‌ای اندازه‌گیری شده بر روی ژنوتیپ‌های سیب‌زمینی با استفاده از آزمون t

تیمار	نیترات ($mg\ kg^{-1}$)	پروتئین (g^{-100g})	نشاسته (g^{-100g})	فسفر (mg^{-100g})	پتاسیم (mg^{-100g})	آهن (mg^{-100g})	نیتریت (g^{-100g})	منگنز (mg^{-100g})	مس (mg^{-100g})	روی (mg^{-100g})	آنتی‌اکسیدان کل
آگریا	1.16 a	27.7 a	14.9 b	250.7 a	1450 a	15.9 b	2.67 a	1.80 a	2.82 a	25 a	22.3 b
ژنوتیپ امیدبخش	1.05 a	6.54 a	18.1 a	460 b	1114 b	19.2 a	0.50 b	1.37 b	2.31 b	19.2 b	35.6 a

در هر ستون علامت a و b نشان دهنده تفاوت معنی دار در آزمون t است.

هر چند ژنوتیپ جدید نسبت به رقم والدی خود از نظر مقدار نیترات تفاوت آماری معنی‌داری نداشت (جدول ۳) اما مقدار نیتریت ژنوتیپ جدید کمتر از والد تجاری بود (جدول ۴). درباره تفاوت‌های معنی‌دار بین دو ژنوتیپ موردمطالعه از نظر ویژگی‌های غذایی مانند تفاوت در مقدار نیتریت، یک چنین تفاوتی بین ژنوتیپ‌های مختلف از یک رقم مشخص هم گزارش شده است که این تفاوت به حساب تنوع ژنتیکی حاصل از کشت و کار طولانی مدت و نیز فرایند اصلاحی گذاشته شد (Hmelak Gorenjak *et al.*, 2012). اگرچه مقدار قابل قبول جذب روزانه نیترات و نیتریت به‌ترتیب بین ۹ تا ۰/۳۷ و ۰ تا ۰/۰۷ میلی‌گرم در هر کیلوگرم قرار داده شده است، ولی در تغذیه روزانه انسان به دفعات، مقادیر جذب از این مرزها فراتر می‌رود (Hmelak Gorenjak *et al.*, 2012; Ebrahimi *et al.*, 2020)، که می‌تواند عامل چندین اثر نامطلوب به‌ویژه با تبدیل نیترات به‌نیتریت و سایر ترکیبات سمی N-nitroso در اندام‌های انسانی شود (Hmelak Gorenjak *et al.*, 2014). بنابراین، ارقام با محتوای کمتر نیترات و نیتریت می‌توانند به‌عنوان گزینه‌های غذایی سالم‌تر برای انسان تلقی شوند. شایان ذکر است که نیترات به تنهایی جزو ترکیبات سمی برای انسان نیست اما ترکیبات به‌دست آمده از متابولیسم آن مانند نیتریت پایه تولید برخی از مواد سمی در بدن انسان هستند (Ebrahimi *et al.*, 2020).

میزان نشاسته در سیب‌زمینی با توجه به نوع رقم بین ۹ الی ۲۵ درصد می‌باشد و نزدیک به ۷۵ درصد ماده خشک سیب‌زمینی را نشاسته تشکیل می‌دهد (Bhat, 2015). درصد نشاسته در ژنوتیپ امیدبخش تولید شده ۲۱ درصد نسبت به رقم والدی افزایش نشان داد (جدول ۲). هزینه تولید نشاسته در سیب‌زمینی هرچند از سایر منابع مانند ذرت بیشتر می‌باشد اما خواص عملکردی آن ممکن است مصرف آن را در محصولات خاصی توجیه سازد (Yaghbani and Mohamadzadeh, 2005). در عملیات استخراج نفت و حفاری‌های آن، از نشاسته سیب‌زمینی به‌دلیل بزرگتر بودن اندازه گرانول، به‌عنوان گل حفاری استفاده می‌شود. بنابراین امکان استفاده از این ژنوتیپ امیدبخش در صنایع جانبی بیشتری وجود دارد. اخیراً در سیب‌زمینی‌های زراعی و وحشی شش نوع سیتوپلاسم شامل سیتوپلاسم‌های M، P، A، W، T و D گزارش شده است که مستقیماً تعداد زیادی از صفات زراعی مهم مانند میزان نشاسته و زمان رسیدگی را تحت‌تاثیر قرار می‌دهند. از آنجایی که بیوسنتز و تجزیه نشاسته در کلروپلاست‌ها و آمیلوپلاست‌ها اتفاق می‌افتد، بنابراین منطقی به نظر می‌رسد که علاوه بر ژن‌های هسته‌ای ژن‌های سیتوپلاسمی هم نقش عملکردی مهمی در تجمع و تجزیه نشاسته بازی کنند (Vanishree *et*

al., 2021). بنابراین با استفاده از نشانگرهای سیتوپلاسمی احتمالاً بتوان تفاوت ژنوتیپ امیدبخش تولید شده با رقم والدی را بهتر موردمطالعه قرار داد.

کمبود آهن بیش از ۱/۷ میلیارد از مردم جهان را تحت‌تاثیر قرار داده است (Navarre *et al*., 2016). تلاش‌های موفق گسترده‌ای برای افزایش میزان آهن سیب‌زمینی از طریق عملیات زراعی بهتر، استفاده از ژرم‌پلاسم‌های متنوع سیب‌زمینی، اصلاح کلاسیک و مهندسی ژنتیک انجام شده است (Singh *et al*., 2021). در مطالعه‌ای ۴۹ واریته سیب‌زمینی را از لحاظ مقدار آهن و روی مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که بین واریته‌ها تنوع قابل توجهی از این نظر وجود دارد. نتایج آن‌ها همچنان نشان داد که بین مقدار آهن سیب‌زمینی‌ها در حالت خام و پخته شده تفاوت معنی‌داری وجود ندارد (Burgos *et al*., 2007). هچنین گزارش شده است که میزان آهن برخلاف سایر عناصر معدنی مانند منیزیوم، فسفر و پتاسیم در لایه‌های بیرونی سیب‌زمینی بیشتر از لایه‌های درونی می‌باشد (Singh *et al*., 2021). نتایج پژوهش حاضر نیز نشان داد که میزان آهن در ژنوتیپ امیدبخش تولید شده ۵۴ درصد بیشتر از رقم والدی آگریا بود (جدول ۲). گزارش شده است که کمبود آهن در بچه‌های کوچک موجب اختلال در رشد فیزیکی، در زنان حامله موجب تعویق رشد جنین و در افراد بالغ سبب کاهش توانایی کار کردن می‌شود (Ruel and Levin, 2000). آهن موجود در سیب‌زمینی به‌دلیل پایین بودن میزان اسید فیتیک نسبت به غلات از نظر زیستی قابل دسترس‌تر می‌باشد. برای این صفت هم تنوع ژنتیکی بالایی در ارقام سیب‌زمینی گزارش شده است (Paget *et al*., 2014).

به‌طور کلی نتایج حاصل از مقایسه مورفولوژیکی و تغذیه‌ای رقم آگریا با ژنوتیپ حاصل از آن که از طریق تنوع سوماکلونال به‌دست آمده بود نشان‌دهنده وجود تنوع و تفاوت قابل توجهی بین دو ژنوتیپ بود. زمان رسیدن کوتاه‌تر در ژنوتیپ امیدبخش تولید شده به احتمال زیاد سبب می‌شود این ژنوتیپ به آب کمتری در مقایسه با رقم والدی نیاز داشته باشد. با توجه به اینکه تفاوت بین ژنوتیپ حاصل و رقم والدی آن احتمالاً مربوط به جهش‌هایی می‌شود که در سطح ژنی و کروموزومی در ژنوتیپ امیدبخش ایجاد شده‌اند، بنابراین با استفاده از نشانگرهای جدید DNA سیتوپلاسمی به همراه نشانگرهای هسته‌ای شاید بتوان نشانگرهای پیوسته با صفات زراعی مهم در سیب‌زمینی پیدا نمود. در مجموع این نتایج نشان دهنده این واقعیت است که تکنیک کشت بافت از طریق ایجاد تنوع سوماکلونال پتانسل قابل توجهی هم از نظر میزان تنوع و هم از نظر زمانی در تولید ژنوتیپ‌های برتر از رقم والدی دارد. یافته‌های این مطالعه می‌تواند به‌عنوان یک پروتکل بهینه‌سازی شده در ایجاد تنوع سوماکلونال در گیاه سیب‌زمینی استفاده شود.

REFERENCES

Asadi Aghbolaghi, M., Sharifzadeh, F., & Omidi, M. (2020). Effect of explants and concentrations of plant growth regulators on callus induction in Stipagrostis pennata. *Iranian Journal of Field Crop Science*, *51*(4), 111-120.

Bayati, E., Gomarian, M., Mirzaie-Nodousha, H., Changizi, M., & Khaghani, S. (2021). Producing a superior genotype from agria potato cultivar using somaclonal variation. *Nexo Revista Científica*, *34*(02), 671-681.

Bhat, R. (2015). Varying amylose and total starch content in potato tubers derived from Finland and Sweden.

Bideshki, A., Arvin, M. J., Aien, A., Hasandokht, M., & Khalighi, A. (2020). Effect selenium selenite on some quantitative and qualitative

characteristics and accumulation of selenium and reduction nitrate accumulation in potato tubers.

Bolandi AR, Hamidi H (2015) Effects of row and plant spacing, and minituber weight on potato yield. *J. Plant Prod. Res*., 22, 137-155.

Bolandi, A. R., Hamidi, H., & Ghavidel, R. A. (2011). The effects of size and microtuber dormancy on production of potato minitubers. *Am-Eur J. Agric and Env. Sci*, *10*(2), 69-173.

Burgos, G., Amoros, W., Morote, M., Stangoulis, J., & Bonierbale, M. (2007). Iron and zinc concentration of native Andean potato cultivars from a human nutrition perspective. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, *87*(4), 668-675.

Cui, Y., Li, X., Xu, L., Pang, M., Qi, J., & Wang, F. (2017, December). Nitrite contents in fresh vegetables of different families and genus. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (275(1), 012015). IOP Publishing.

Dahal, K., Li, X. Q., Tai, H., Creelman, A., & Bizimungu, B. (2019). Improving potato stress tolerance and tuber yield under a climate change scenario–a current overview. *Frontiers in Plant Science*, *10*, 563.

Diaz, P., Jeong, S. C., Lee, S., Khoo, C., & Koyyalamudi, S.R. (2012). Antioxidant and anti-inflammatory activities of selected medicinal plants and fungi containing phenolic and flavonoid compounds. *Chinese Medicine*,*7*(1),1-9.

Ebrahimi, R., Ahmadian, A., Ferdousi, A., Zandi, S., Shahmoradi, B., Ghanbari, R., ... & Yetilmezsoy, K. (2020). Effect of washing and cooking on nitrate content of potatoes (cv. Diamant) and implications for mitigating human health risk in Iran. *Potato Research*, *63*(3), 449-462.

Evans, D. A., Sharp, W. R., & Medina-Filho, H. P. (1984). Somaclonal and gametoclonal variation. *American Journal of Botany*, *71*(6), 759-774.

Getahun, B. B., Kassie, M. M., Visser, R. G., & van der Linden, C. G. (2020). Genetic diversity of potato cultivars for nitrogen use efficiency under contrasting nitrogen regimes. *Potato Research*, *63*(2), 267-290.

Hannapel, D. J., Sharma, P., Lin, T., & Banerjee, A. K. (2017). The multiple signals that control tuber formation. *Plant physiology*, *174*(2), 845-856.

Hassan, H. M. M., & Hassan, N. M. (2015). Assessment of the antioxidant and free radical scavenging activities of two different solvent extracts of potato peels. *Glob J Biotechnol Biochem*, *10*(3), 113-20.

Hassan, H. M. (2011). Antioxidant and immunostimulating activities of yeast (*Saccharomyces cerevisiae*) autolysates. *World Appl Sci J*, *15*(8), 1110-9.

Hassanpanah, D., Akhavan, K., Mosapoor-gorji, A. (2018). Suitable arrangement of cultivation in irrigation drip (tape) for increasing yield and water use efficiency in production field of potato seed. *Applied Sci. Potato*, 2, 17-22. (In Persian).

Hatfield, J. L., & Prueger, J. H. (2015). Temperature extremes: Effect on plant growth and development. *Weather and Climate Extremes*, *10*, 4-10.

Hessam, F., Balali, GhR., Taheri-Tehrani, R. (2010). Assessment of antioxidant activity of phenolic mixture content in three cultivars of potatoes (*Solanum tubersum* L.). The First National Congress in Medicinal Plant, Sari, Iran.

Gorenjak, A. H., Urih, D., Langerholc, T., & Kristl, J. (2014). Nitrate content in potatoes cultivated in contaminated groundwater areas. *Journal of Food Research*, *3*(1), 18.

Gorenjak, A. H., Koležnik, U. R., & Cencič, A. (2012). Nitrate content in dandelion (*Taraxacum officinale*) and lettuce (*Lactuca sativa*) from organic and conventional origin: intake assessment. *Food Additives and Contaminants: Part B*, *5*(2), 93-99.

Imani, A., & Rasouli, M. (2006). Effects of seed tuber size on growth and yield of potato cultivar Moron.

Kalita, D., & Jayanty, S.S. (2014). Comparison of polyphenol content and antioxidant capacity of colored potato tubers, pomegranate and blueberries. *J. Food Process. Technol*, *5*(8), 1-7.

Kalita, D., Holm, D. G., LaBarbera, D. V., Petrash, J. M., & Jayanty, S. S. (2018). Inhibition of α-glucosidase, α-amylase, and aldose reductase by potato polyphenolic compounds. *PloS one*, *13*(1), e0191025.

Kawar, P. G., Kardile, H. B., Raja, S., Dutt, S., Kumar, R., Manivel, P., ... & Chakrabarti, S. K. (2018). Developing early-maturing and stress-resistant potato varieties. *Achieving sustainable cultivation of potatoes. Burleigh Dodds, Cambridge*, 143-167.

Kinoshita, J. H., & Nishimura, C. (1988). The involvement of aldose reductase in diabetic complications. *Diabetes/ Metabolism Reviews*, *4*(4), 323-337.

Kirk, P. L. (1950). Kjeldahl method for total nitrogen. *Analytical chemistry*, *22*(2), 354-358.

Kitson, R. E., & Mellon, M. G. (1944). Colorimetric determination of phosphorus as molybdivanadophosphoric acid. *Industrial & Engineering Chemistry Analytical Edition*, *16*(6), 379-383.

Kumaran, A. (2006). Antioxidant and free radical scavenging activity of an aqueous extract of Coleus aromaticus. *Food chemistry*, *97*(1), 109-114.

Kumaran, A., & Karunakaran, R. J. (2007). In vitro antioxidant activities of methanol extracts of five Phyllanthus species from India. *LWT-Food Science and Technology*, *40*(2), 344-352.

Mahmoudpour, A. R., (2014). Effects of different sizes of mini-tuber on yield and yield components of potato variety Agria. Inter. *J. Advances in Biology Biomed*. Res. 2: 1099-1104.

Mamnoei, A., Karami-nejad, M.R., Alavi-sini, S.M., Amiri, R. (2018). Chemical control of weed in potato fields in the south of Kerman province. *Applied Sci. Potato*, 1, 1-7. (In Persian).

Mohagheghi, S. A., POURAZARANG, H., AKHLAGHI, H., ELHAMI, R. A., & Hematyar, N. (2008). Antioxidant activity of potato (*Solanum tuberosum*, raja) peel extract.

Muktar, M. S., Lübeck, J., Strahwald, J., & Gebhardt, C. (2015). Selection and validation of potato candidate genes for maturity corrected resistance to Phytophthora infestans based on differential expression combined with SNP association and linkage mapping. *Frontiers in genetics*, *6*, 294.

Naeem, M., Demirel, U., Yousaf, M. F., Caliskan, S., & Caliskan, M. E. (2021). Overview on domestication, breeding, genetic gain and improvement of tuber quality traits of potato using fast forwarding technique (GWAS): A review. *Plant Breeding*,*140*(4),519-542.

Navarre, D. A., Pillai, S. S., Shakya, R., & Holden, M.J. (2011). HPLC profiling of phenolics in diverse potato genotypes. *Food chemistry*, *127*(1), 34-41.

Navarre, D. A., Shakya, R., & Hellmann, H. (2016). Vitamins, phytonutrients, and minerals in potato. In *Advances in Potato Chemistry and Technology* (pp. 117-166). Academic Press.

NoorMohammadi, Z., Ghasempour, B., Farahani, F. (2017). Investigation of somaclonal variation of plants regenerated from *Aloe vera* tissue culture. *Nova Bio. Reperta*. 5: 72-81.

Oates, P. J. (2008). Aldose reductase, still a compelling target for diabetic neuropathy. *Current Drug Targets*, *9*(1), 14-36.

Paget, M., Amoros, W., Salas, E., Eyzaguirre, R., Alspach, P., Apiolaza, L., ... & Bonierbale, M. (2014). Genetic evaluation of micronutrient traits in diploid potato from a base population of Andean Landrace Cultivars. *Crop*

Science, *54*(5), 1949-1959.

Patil, V. U., Singh, B., Vanishree, G., & Chakrabarti, S.K. (2020). Confirmation of transformability of markers for high carotenoid content in tetraploid potato from diploids. *Plant Physiology Reports*, *25*(1), 65-73.

Perla, V., Holm, D. G., & Jayanty, S. S. (2012). Effects of cooking methods on polyphenols, pigments and antioxidant activity in potato tubers. *LWT-Food Science and Technology*, *45*(2), 161-171.

Pezeshk, S., Ojagh, S. M., & Alishahi, A. (2015). Effect of plant antioxidant and antimicrobial compounds on the shelf-life of seafood-a review. *Czech Journal of Food Sciences*, *33*(3), 195-203.

Rabiee, Z., Rashedi, H., Tahmasebi-Enferadi, S., Akbari, A. A. (2011) Using Real time-PCR method to identify genetically engineered potato resistant to PVY virus compared to non-transgenic potato. *J. of Food Sci. and Technol.*, 8, 29-35.

Rahnama, H., Koohsari, S. H. M., Naderi-Meshkin, H., Fahimi, H. (2010) Reconstruction with high frequency of separate components of intercropping, leaves and small tubers of potato (*Solanum tuberosum* L.). *Iran. J. Biol.*, 25, 1.

Rostami, R., Abarshamchi, P., Lahouti, M. (2012). Callus induction and plant regeneration from potato meristem cultivation. *J. of Sci. Kharazmi Uni.*, 10, 1011-1032.

Ruel, M. T., & Levin, C. E. (2000). Assessing the potential for food-based strategies to reduce Vitamin A and iron deficiencies. *FCND Briefs*, (92).

Rykaczewska, K. (2017). Impact of heat and drought stresses on size and quality of the potato yield. *Plant, Soil and Environment*, *63*(1), 40-46.

Salaria, N., Siddappa, S., Thakur, K., Tomar, M., Goutam, U., Sharma, N., ... & Singh, B. (2020). *Solanum tuberosum* (CYCLING DOF FACTOR) CDF1. 2 allele: A candidate gene for developing earliness in potato. *South African Journal of Botany*, *132*, 242-248.

SAS Institute (2001) SAS/STAT User's Guide version 9.1. SAS Institute, Cary, NC.

Shahpiri, A., Omidi, M., Ahmadian Tehrani, P., Davoodi, D. (2004). Study of tissue culture and variety of somaclonl in potatoes. *J. of Agric. Sci.* 2, 323-335.

Siadat, A. A., Hashemi, D. S., Sadeghzadeh, H. S., Valizadeh, M., Nourmohammadi, G., & Fathi, A. (2000). The effect planting pattern and planting density on tuber yield and some characters of three potato varieties in Ardabil region. *J. Agric. Sci*., 6, 91-111.

Sheligl, H. Q. (1986). Die verwertung orgngischer souren durch chlorella lincht. *Planta Journal*, *47*, 51.

Singh, J. P. (1988). A rapid method for determination of nitrate in soil and plant extracts. *Plant and soil*, *110*(1), 137-139.

Singh, B., Goutam, U., Kukreja, S., Siddappa, S., Sood, S., Sharma, J., & Bhardwaj, V. (2022). Biofortification strategies to improve iron concentrations in potato tubers: lessons and future opportunities. *Potato Research*, *65*(1), 51-64.

Singh, N., & Rajini, P. S. (2004). Free radical scavenging activity of an aqueous extract of potato peel. *Food chemistry*, *85*(4), 611-616.

Khan, M. S., van Eck, H. J., & Struik, P. C. (2013). Model-based evaluation of maturity type of potato using a diverse set of standard cultivars and a segregating diploid population. *Potato Research*, *56*(2), 127-146.

Sušin, J., Kmecl, V., & Gregorčič, A. (2006). A survey of nitrate and nitrite content of fruit and vegetables grown in Slovenia during 1996-2002. *Food Additives and Contaminants*, *23*(4),

385-390.

Vanishree, G., Patil, V. U., Kaur, R. P., Bhardwaj, V., Chakrabarti, S. K., & Kumar, M. (2021). Cytoplasmic types of Indian Potato cultivars and their effect on important agronomic traits. *Agricultural Research*, 1-8.

Wright, I. J., Dong, N., Maire, V., Prentice, I. C., Westoby, M., Díaz, S., ... & Wilf, P. (2017). Global climatic drivers of leaf size. *Science*, *357*(6354), 917-921.

Yaghbani, M., & Mohammadzadeh, J. (2005). Study on physico-chemical properties of starch from potato cultivars in Golestan province. *Int. J. Food Sci. Technol*., 4, 71-79.

Zarghami, R., Bolandi, A.R. (2007) Production of minituber in green house. Final Report of Research Sciences, Agricultural Biotechnology Research Institute of Iran. (In Persian).