Journal of Genetics and Plant Breeding
Online ISSN : 3060-7271
Iranian Genetics Society
Shahid Bahonar University of Kerman

Assessment of *lc* gene impact on marketability traits in BC_1 generation of cherry tomato

Zahra Khajeh Hassani Nejad

MSc Student, Department of Genetics and Plant Production, Faculty of Agriculture, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran. Email address: z.khajehasani79@gmail.com

Mehdi Mohayeji

*Corresponding Author: Assistant Professor, Department of Genetics and Plant Production, Faculty of Agriculture, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran. Email address: mohayeji@uk.ac.ir

Ali Akbar Maghsoudi Mood

Associate Professor, Department of Genetics and Plant Production, Faculty of Agriculture, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran. Email address: maghsoudi.aa@uk.ac.ir

Abstract

Objective

Cherry tomato varieties are becoming more popular, mainly as fresh produce. Several major genes, such as the *lc* gene, influence the characteristics of tomato fruit. T. This study aimed to assess the effect of the *lc* gene on various marketability traits in cherry tomatoes.

Materials and Methods

This study transferred the lc gene into the elite K33 cherry tomato line via backcross breeding. The Pardis cultivar and K33 line were used as donor and recurrent parents, respectively. In the BC1 generation, several marketability traits were measured, including fruit weight, diameter, length, pH, shelf life, pulp weight, pulp volume, and pericarp thickness. Genomic DNA was extracted from leaf samples of all BC_1 genotypes. The genotypes were divided into two groups based on PCR results. Subsequently, MANOVA and t-tests were performed to assess the differences between the two genotype groups for the measured traits.

Results

The results of the MANOVA test revealed significant genotypic differences between the two groups for all measured traits. The t-test results showed significant differences between the two groups for fruit weight, diameter, pulp weight, and pulp volume at the 5% significant level. The

lc gene-carrying group's mean values were higher than those lacking the *lc* gene.. However, no significant differences were observed between the groups for fruit length, pH, Shelf life, and pericarp thickness. The mean values of the *lc* gene-carrying group for fruit weight and diameter were 12.20 g and 2.80 cm, respectively, While the mean values for the group lacking the *lc* gene were 7.97 g and 2.39 cm, respectively. The mean values for pulp weight and volume in the *lc* gene-carrying group were 3.64 g and 3.44 cm^3, respectively, whereas the corresponding values for the *lc* gene-lacking group were 1.80 g and 2.08 cm^3, respectively.

Conclusion

The *lc* gene increased fruit pulp weight and size without affecting pH. The consistent pH, combined with increases in fruit weight, diameter, and pulp (53.7%, 17.15%, and 65.38%, respectively), suggests a positive effect on fruit quality.

Keywords: Marker assisted selection, Major gene, Quantitative and qualitative characteristics.

Paper Type: Research Paper.

Citation: Khajeh Hassani Nejad Z, Mohayeji M, Maghsoudi Mood AA (2024) Assessment of *lc* gene impact on marketability traits in BC_1 generation of cherry tomato. *Journal of Genetics and Plant Breeding* 1 (2), 31-46.

Journal of Genetics and Plant Breeding 1 (1), 31-46. DOI: 10.22103/gpb.2025.24343.1018

Received: April 07, 2024. Received in revised form: May 18, 2024.

Accepted: May 19, 2024. Published online: June 29, 2024.

Publisher: Research and Technology Institute of Plant Production, Afzalipour Research Institute, Shahid Bahonar University of Kerman and Iranian Genetics Society.

© the authors

مجله ژنتیک و به نژادی گیاهی
شاپا الکترونیکی: ۷۲۷۱-۳۰۶۰
انجمن ژنتیک ایران
دانشگاه شهید باهنر کرمان

بررسی تاثیر ژن *lc* بر صفات بازارپسندی گوجه‌فرنگی گیلاسی در نسل BC_1

زهرا خواجه‌حسنی‌نژاد

دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران. رایانامه: z.khajehasani79@gmail.com

مهدی مهیجی

*نویسنده مسئول: استادیار، گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران. رایانامه: mohayeji@uk.ac.ir

علی‌اکبر مقصودی‌مود

دانشیار، گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران. رایانامه: maghsoudi.aa@uk.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۱/۱۹ تاریخ دریافت فایل اصلاح شده نهایی: ۱۴۰۳/۰۲/۲۹ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۲/۳۰

چکیده

هدف: گوجه‌فرنگی گیلاسی واریته‌ای از گوجه‌فرنگی است که مصرف آن رو به افزایش و به‌طور عمده برای مصرف تازه‌خوری استفاده می‌شود. ویژگی‌های میوه گوجه فرنگی تحت تاثیر ژن‌های بزرگ‌اثر متعدد از جمله ژن بزرگ‌اثر lc است. این پژوهش به‌منظور بررسی اثر ژن *lc* بر برخی صفات موثر در بازارپسندی میوه گوجه‌فرنگی گیلاسی انجام شد.

مواد و روش‌ها: در این مطالعه ژن *lc* توسط تلاقی برگشتی به پس‌زمینه لاین امید بخش K33 گوجه گیلاسی انتقال داده شد. رقم زراعی پردیس به‌عنوان والد دهنده ژن *lc* و لاین K33 به‌عنوان والد تکراری استفاده گردید. صفات بازارپسندی شامل وزن میوه، قطر میوه، طول میوه، pH، ماندگاری، وزن پالپ، حجم پالپ و قطر پریکارپ در نسل BC_1 این تلاقی اندازه‌گیری شد. همچنین نمونه‌برداری DNA از برگ تمام ژنوتیپ‌های نسل BC_1 جهت گزینش ژنوتیپ‌های حاوی ژن *lc* انجام شد. پس از انجام PCR، ژنوتیپ‌های مورد مطالعه به دو گروه ژنوتیپ‌های حاوی ژن *lc* و ژنوتیپ‌های فاقد ژن *lc* تقسیم شدند. بر این اساس آزمون‌های MANOVA و t برای بررسی تفاوت دو گروه انجام شد.

نتایج: نتایج آزمون MANOVA نشان داد که دو گروه ژنوتیپی از نظر تمام صفات اندازه‌گیری شده تفاوت داشتند. در ادامه نتایج آزمون t برای هر یک از صفات نشان داد که دو گروه در صفات وزن میوه، قطر میوه، وزن پالپ و حجم پالپ اختلاف معنی‌دار در

سطح احتمال ۵ داشتند. میانگین ژنوتیپ‌های حاوی ژن *lc* برای صفات یاد شده در قیاس با ژنوتیپ‌های فاقد ژن *lc* بیشتر بود. در حالی‌که برای صفات طول میوه، pH، ماندگاری و قطر پریکارپ اختلاف معنی‌دار دیده نشد. برای صفات وزن و قطر میوه میانگین ژنوتیپ‌های دارای ژن *lc* به‌ترتیب ۱۲/۲ و ۲/۸ بود. درحالی که میانگین ژنوتیپ‌های فاقد ژن *lc* برای این صفات به‌ترتیب ۷/۹۷ و ۲/۳۹ بود. برای صفات وزن و حجم پالپ نیز میانگین ژنوتیپ‌های دارای ژن *lc* به‌ترتیب ۳/۶۴ و ۳/۴۴ و میانگین ژنوتیپ‌های فاقد ژن *lc* ۱/۸ و ۲/۰۸ بود.

نتیجه‌گیری: ژن *lc* در افزایش مقدار اندازه و پالپ میوه اثرگذار بود و تاثیری بر pH آن نداشت. به‌نظر می‌رسد که عدم تغییر pH در کنار افزایش وزن و قطر میوه و میزان پالپ آن اثر مثبتی بر کیفیت میوه دارد.

کلیدواژه‌ها: گزینش به کمک نشانگر، ژن بزرگ‌اثر، صفات کمی و کیفی.

نوع مقاله: پژوهشی.

استناد: خواجه حسنی‌نژاد زهرا، مهیجی مهدی، مقصودی‌مود علی اکبر (۱۴۰۳) بررسی تاثیر ژن *lc* بر صفات بازارپسندی گوجه‌فرنگی گیلاسی در نسل BC_1. *مجله ژنتیک و به‌نژادی گیاهی*، ۱(۲)، ۴۶-۳۱.

Publisher: Research and Technology Institute of Plant Production, Afzalipour Research Institute, Shahid Bahonar University of Kerman and Iranian Genetics Society

© the authors

مقدمه

گوجه‌فرنگی با نام علمی *Solanum lycopersicum* L. (2n=2x=24) یکی از مهم‌ترین محصولات گیاهی خودگرده افشان روز خنثی است که به‌طور گسترده کشت می‌شود (Sikder et al. 2013) و تولید جهانی آن به بیش از ۱۸۶ میلیون تن در سال می‌رسد (FAO 2022). گوجه‌فرنگی از جمله محبوب‌ترین سبزی‌ها است و تولید آن غالباً به‌دلیل تامین سود اقتصادی بالا مورد توجه کشاورزان قرار دارد و به‌عنوان منبع درآمدی برای اکثر کشاورزان روستایی و اطراف شهر در اکثر کشورهای در حال توسعه جهان است (Arah et al. 2015). کشت وکار آن در مزرعه، گلخانه و محیط‌های حفاظت شده در سیستم‌های مختلف کشت خاکی و هیدروپونیک در سطح تجاری توسعه یافته است (Rahmatian et al. 2014). گوجه‌فرنگی احتمالاً بومی آمریکای جنوبی است. این گیاه در قرن شانزدهم وارد اروپا شد و در اوایل قرن نوزدهم از آنجا به آسیا راه یافت. در اواخر قرن نوزدهم ارقام متفاوتی از گوجه‌فرنگی پدید آمده بود که حاصل فرآیند اهلی‌سازی و برخی کارهای به‌نژادی اولیه بود (Bai & Lindhout 2007).

گوجه‌فرنگی گیلاسی از واریته‌های گوجه‌فرنگی است که مصرف آن رو به افزایش است و به‌طور عمده برای مصرف تازه‌خوری استفاده می‌شود (Zapata et al. 2008). همچنین دارای میوه‌های کوچک به اندازه یک بند انگشت تا یک توپ گلف (۱/۵ تا ۳/۵

سانتی متر قطر) به شکل گرد تا کمی کشیده با رنگ‌های مختلف است (Koleva Gudeva et al. 2012; Prema Get al. 2011). این گیاه سرشار از انواع ویتامین‌ها، فنل‌ها و کاروتنوئیدها می‌باشد و عطر و طعم ملایم و شیرینی دارد و به‌سادگی چه تنها و چه همراه با انواع سالاد و غذا قابل مصرف است و به‌همین دلایل از محبوبیت خاصی برخوردار است (Zhang et al. 2017).

یکی از مهم‌ترین مراحل به‌نژادی گیاهان آگاهی از تنوع جمعیت است و به‌گزینی ژنوتیپ‌هایی که دارای صفات اقتصادی مهم هستند از ارکان به‌نژادی گیاهان به شمار می‌رود. به‌همین دلیل در فرآیند اصلاح ارقام جدید لازم است ژنوتیپ‌های موجود از نظر پتانسیل‌های ژنتیکی و صفات مطلوب آن‌ها شناسایی و گزینش شوند (Kia et al. 2013) و سپس بر اساس مناسب‌ترین صفات، عملیات انتخاب انجام شود. صفات با بالاترین وراثت‌پذیری معیارهای مناسب گزینش هستند. بازارپسندی میوه گوجه‌فرنگی شامل صفات متعدد است. اندازه و شکل میوه دو صفت مهم بازارپسندی در میوه گوجه‌فرنگی است. تنها در گونه اهلی شده می‌توان تنوع فنوتیپی قابل‌توجهی در این دو صفت دید و سایرگونه‌های وحشی همگی میوه‌هایی تولید می‌کنند که تقریبا همیشه گرد و کوچک هستند. با این حال، برآوردهای نشانگرهای DNA گونه‌های وحشی نشان داده است که این گونه‌ها در سطح ژنوم بسیار متفاوت‌تر از گونه زراعی گوجه‌فرنگی هستند (Miller & Tanksley 1990). به‌عبارت دیگر، توجه و تمرکز روی صفات بازارپسندی در مراحل اهلی‌سازی این گیاه منجر به ایجاد ارقام گوجه‌فرنگی بسیار متفاوت از نظر اندازه و شکل میوه شده است. یکی از فاکتورهای مهم تأثیرگذار در تولید فرآورده‌های گوجه‌فرنگی با کیفیت میزان اسیدیته محصول است. اسیدیته‌ی بالا مانع از فعالیت‌های میکروبی در محصول فرآوری شده، می‌شود (Parmar et al. 2018). اسیدیته (pH) میوه از خواص کیفی مهم در کنترل میکروارگانیسم‌های ترموفیل (در pH کمتر از ۴/۴)، مؤثر بر درصد و خواص پکتین (استری شدن پکتین) و در نتیجه مؤثر در قوام فرآورده‌ها (با کاهش pH) و همچنین مؤثر در زمان فرآوری (pH بالاتر باعث افزایش زمان تغلیظ وکاهش کیفیت می‌شود) است. همچنین pH پایین و مزه ترش گوجه‌فرنگی گیلاسی یکی از موارد مهم در ذائقه مصرف کننده است.

گوجه‌فرنگی میوه‌ای فراز گرا[1]و دارای طول عمر پس از برداشت نسبتاً کوتاهی است. زیرا بسیاری از فرآیندهای موثر بر کاهش کیفیت، پس از برداشت از جمله تعرق، بیماری‌ها، افزایش رسیدگی و پیری باعث کاهش عمر نگه‌داری آن می‌شوند (Zapata et al. 2008). استفاده از اتمسفر، دما و رطوبت کنترل‌شده یا تغییریافته به‌ویژه دماهای پایین نگه‌داری، از روش‌های معمول کاهش شدت تنفس و تغییرات شیمیایی گوجه فرنگی به‌منظور حفظ تازگی و افزایش مدت زمان ماندگاری آن می‌باشد که نیازمند سرمایه گذاری زیاد بوده و از طرفی در برخی موارد سرمازدگی میوه را نیز به دنبال دارد (Ali et al. 2010). از این رو تولید ارقامی با عمر ماندگاری بیشتر کمک موثری در افزایش بازارپسندی و کیفیت گوجه‌فرنگی می‌کند.

مورفولوژی میوه گوجه فرنگی تحت تاثیر ژن‌های بزرگ‌اثر متعددی است. ژن بزرگ اثر *lc* یکی از ژن‌های موثر در افزایش تعداد برچه‌ها است. Gonzalo et al. (2009) در پژوهش خود به بررسی توزیع اللی ژن‌های جهش‌یافته *lc*، *fas*، sun و *ovate*

[1] Climacteric

در کنترل شکل میوه پرداختند. آن‌ها ۳۶۸ ژنوتیپ گوجه مختلف را از نظر شکل و اندازه میوه به انواع مسطح[1] گرد[2] بیضی[3] مستطیلی[4] قلبی شکل [5] کشیده[6] و قلبی بزرگ[7]تقسیم‌بندی کردند. در این بررسی اثرات پس‌زمینه ژنتیکی، خصوصیات جغرافیایی و مبدأ تاریخی در کلکسیون مورد مطالعه نیز بررسی شد. این پژوهش نشان داد که تنوع در مورفولوژی (شکل) میوه گوجه فرنگی تا حدود زیادی به ژن‌های بزرگ‌اثر جهش یافته (*lc*، *fas*، *sun* و*ovate*) وابسته است. بررسی ارقام مختلف نشان داد که یکی از پرتکرارترین جهش‌ها در میوه‌های با شکل پهن مربوط به ژن *lc* (۸۰ درصد) است. بسیاری از گوجه فرنگی‌های دارای میوه کشیده نیز (حدود ۶۳ درصد) ژن جهش‌یافته *lc* را حمل می‌کنند. نتیجه یک مطالعه مکان یابی QTL مرتبط با ژن *lc* در یک جمعیت تفرق‌یافته از والدین داری میوه کشیده موید مطلب فوق است (Gonzalo et al. 2009). ژن *lc* الل‌های متعددی دارد ولی تنها دو جایگاه SNP در این ژن با تغییر در تعداد برچه‌ها در ارتباط است. همه گوجه‌های با شکل قلبی بزرگ علاوه بر ژن جهش‌یافته *lc*، ژن‌های *sun* یا*fas* را هم حمل می‌کنند. بیشتر میوه‌های گرد (بیش از ۳۳ درصد) ژن جهش‌یافته *lc* را حمل می‌کنند و در ۴ مکان ژنی باقی مانده دارای الل وحشی هستند. ژن‌های *lc* و *fas* دو ژن مهم هستند که در بزرگ‌شدن اندازه میوه‌ها به‌وسیله افزایش تعداد برچه‌های میوه نقش بازی می‌کنند. فرآیند اهلی شدن گوجه‌فرنگی زیر گروه‌های ژنتیکی متفاوتی روی داده است و طی این فرایند، این دو جهش‌یافته به‌دلیل تاثیر مثبتشان بر افزایش وزن میوه در اکثر این زیر گروه‌های ژنتیکی مورد گزینش قرار گرفته‌اند (Rodríguez et al. 2011; Blanca et al. 2015). جهش‌یافته *lc* موجب فعال شدن و جهش‌یافته *fas* باعث غیر فعال شدن ژن‌های مربوطه می‌شود (Chu 2019). این دو جهش در اندازه مریستم‌های گل اثر مثبت دارند. ژن‌های *lc* و *fas* در برخی فرآیندهای زیستی مانند تکوین مریستم گل، فعالیت‌های میکروتوبول‌ها و بیوسنتز استرول‌ها اثرگذار هستند. ژن *lc* اورتولوگ ژن *Slwus* در گیاه آرابیدوپسیس و ژن *fas* نیاز با ژن *Slclv3* در این گیاه اورتولوگ است. در پژوهشی روی تنوع ژن‌های ایجاد کننده شکل در گوجه فرنگی مشخص شد که تنوع شکل و اندازه میوه در ژرم پلاسم زراعی گوجه فرنگی توسط جهش یافته‌های *lc*، *fas* ، sun و *ovate* توجیه می‌شود (Rodríguez et al. 2013). الل‌های این سه ژن بیش از ۷۱ درصد تنوع مشاهده شده برای شکل میوه‌ها را توجیه نمودند. ژنوتیپ‌های دارای ژن جهش‌یافته *lc* اشکال کشیده، قلبی بزرگ، گرد و پهن را در میوه ها ایجاد می‌کنند (Gonzalo et al. 2009). تاثیر ژن *sun* در کنترل شکل میوه بر *lc* غالب است.

به تازگی افزایش اندازه میوه و افزایش گوشت میوه گوجه‌فرنگی گیلاسی به‌عنوان صفات مطرح بازارپسندی مورد توجه به‌نژادگران قرار گرفته است. با توجه به تاثیر ژن *lc* بر اکثر این ویژگی‌ها و در نظر گرفتن این واقعیت که طی فرآیند اهلی‌سازی ارقام

[1] Flat
[2] Round
[3] Ellipsoid
[4] Rectangular
[5] Heart
[6] Long
[7] Oxheart

گیلاسی الل مغلوب ژن *lc* را دریافت نکرده‌اند، هدف از این پژوهش بررسی تاثیر ژن *lc* بر ویژگی‌های بازارپسندی گوجه‌فرنگی گیلاسی بود.

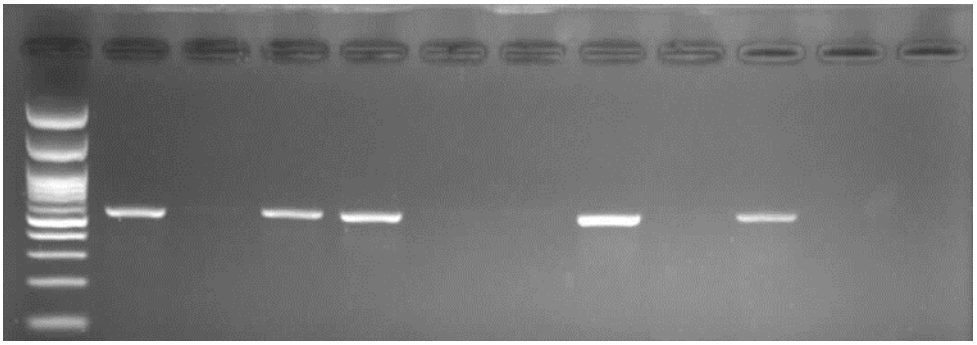
مواد و روش‌ها

در این پژوهش از رقم زراعی پردیس به‌عنوان والد دهنده ژن *lc* و لاین k33 به‌عنوان والد تکراری استفاده شد. پس از ایجاد نسل F_1 حاصل تلاقی دو والد، نسل BC_1 از تلاقی F_1 با والد تکراری ایجاد شد. تعداد ۶۰ بذر از نسل BC_1 برای ارزیابی صفات مرتبط با بازارپسندی میوه کاشته شد. صفات اندازه‌گیری شده در این نسل شامل وزن میوه، قطر میوه، طول میوه، وزن پالپ، حجم پالپ، قطر پریکارپ، ماندگاری و pH بود که در نسل BC_1 اندازه‌گیری شد. وزن میوه با استفاده از ترازوی دیجیتال با دقت یک صدم گرم اندازه گرفته‌شد. برای اندازه‌گیری قطر و طول میوه از کولیس استفاده شد. برای اندازه‌گیری وزن و حجم پالپ، میوه گوجه‌فرنگی برش عرضی داده شد. سپس قسمت مایع میوه به فالکن انتقال داده شد و میزان حجم پالپ از روی فالکن قرائت گردید. بعد از آن فالکن حاوی محتوای پالپ میوه با ترازوی با دقت یک صدم گرم وزن شد و وزن فالکن خالی از مایع از آن کسر گردید تا وزن پالپ نیز بدست آید. اندازه‌گیری قطر پریکارپ نیز پس از خالی کردن محتوای پالپ میوه با استفاده از کولیس انجام شد. اندازه‌گیری pH با استفاده از دستگاه pH متر انجام شد. برای اندازه‌گیری ماندگاری، میوه‌های گوجه‌فرنگی بلافاصله پس از برداشت وزن شد و در ظروف یکبار مصرف درب‌دار در دمای محیط قرار داده شد. سپس به‌مدت یک ماه هر دو روز یکبار وزن شد و در پایان با استفاده از فرمول زیر محاسبه شد:

$$SL = \frac{w_1 - w_2}{w_1} \times 100$$

در این رابطه SL درصد ماندگاری میوه، W1 وزن اولیه میوه، W2 وزن نهایی میوه بود.

در بخش ملکولی استخراج DNA از نمونه‌های برگی بر اساس روش Saghai-Maroof et al. (1984) با اندکی تغییرات انجام شد. برنامه PCR برای نشانگر *lc* طبق جدول ۱ انجام شد. برای تکثیر قطعه مورد نظر آغازگرهای رفت و برگشت به‌ترتیب با توالی‌های 5’-GTCTCTTGGATGATGCTATTGCACTTT و 5’-AAAGTAGTACGAATTGTCCAATCAGTCAG مورد استفاده قرار گرفتند (Rodríguez et al. 2011). پس از الکتروفورز نمونه‌های PCR گزینش به کمک نشانگر اختصاصی انجام شد (شکل ۱). ژنوتیپ‌ها با استفاده از نتایج PCR به دو گروه دارای ژن *lc* و فاقد آن تقسیم شدند. سپس آزمون MANOVA با استفاده از نرم افزار SPSS ویرایش ۲۷ (IBM corp, 2020) انجام شد. همچنین تک تک صفات با استفاده از آزمون t برای گروه‌های ذکر شده در بالا مورد بررسی قرار گرفتند.



شکل ۱. نتایج آغازگر اختصاصی برای آلل اهلی *lc* در تعدادی از نتاج BC_1 گوجه‌فرنگی

Figure 1. Results of the specific mutated allele *lc* in some BC_1 offspring.

جدول ۱. برنامه PCR برای پرایمر تخصصی برای ژن *lc*

Table 1. PCR program for specific primer of *lc* gene

نشانگر marker		واسرشته سازی اولیه Initial denaturation	واسرشت سازی ثانویه Denaturation	اتصال Annealing	ساخت اولیه Extension	ساخت نهایی final Extension	تعداد چرخه Cycles number
دما(°C) Temperature (°C)	*lc*	94	94	60	72	72	40
زمان(ثانیه) Time(seconds)		180	30	30	30	300	

نتایج و بحث

بر اساس نتایج PCR ژنوتیپ‌های نسل BC_1 در دو گروه دارای ژن *lc* و فاقد آن گروه‌بندی شدند. پس از آن آزمون MANOVA برای دو گروه نشان داد که هر ۴ آزمون در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌داری بین دو گروه تیماری برای تمام صفات اندازه‌گیری شده نشان دادند (جدول ۲). از این رو می‌توان گفت که انتقال ژن *lc* به پس‌زمینه ژنتیکی گوجه گیلاسی در نسل BC_1 موجب تفاوت معنی‌داری در ویژگی‌های مرتبط با بازار پسندی میوه شده است. پژوهش‌های پیشین بر تاثیر ژن *lc* بر روی موفولوژی میوه و اندازه آن توافق دارند (Li et al. 2017; Slugina et al. 2020). هر چند تاکنون گزارشی راجع به تاثیر این ژن بر سایر صفات مرتبط با کیفیت و بازارپسندی میوه مشاهده نشده است. شکل ۲ برش مقطع عرضی میوه‌های دو گروه حاوی ژن *lc* و فاقد آن و تفاوت‌های این دو گروه را به خوبی نشان می‌دهد.

جدول ۲. نتایج آزمون MANOVA برای دو گروه ژنوتیپی مورد مطالعه

Table 2. Results of MANOVA test for two studied genotypic groups

	درجه آزادی آماره Hypothesis df	درجه آزادی خطا Error df	مقدار آماره Value
تریس پیلاریس Pillai's Trace	8	24	0.439*
لامبدای ویلک Wilks' Lambda	8	24	0.561*
تریس هتلینگ Hotelling's Trace	8	24	0.782*
بزرگترین ریشه روی Roy's Largest Root	8	24	0.782*

* نشان‌دهنده معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد است

* Shows significant level at five percent.

شکل ۲. برش عرضی میوه دو گروه ژنوتیپی حاوی ژن *lc* (a) و فاقد *lc* (b)

Figure 2. Transect of fruits of two genotypic *lc* gene carrying (a) and *lc* gene lacking (b) groups

نتایج آزمون t برای صفات وزن میوه، قطر میوه، وزن پالپ و حجم پالپ اختلاف معنی‌دار نشان داد (شکل ۳). اما برای صفات طول میوه، pH، ماندگاری و قطر پریکارپ اختلاف معنی‌دار دیده نشد. بنابراین اختلافات معنی‌دار بالا را می‌توان به وجود ژن *lc* نسبت داد. در حالی که این ژن تاثیر چندانی بر طول میوه، pH، ماندگاری و قطر پریکارپ نداشت. برای صفت وزن میوه میانگین ژنوتیپ‌های دارای ژن *lc* ۱۲/۲ و میانگین ژنوتیپ‌های فاقد ژن *lc* ۷/۹۷ بود که ۵۳/۰۷ درصد افزایش نشان داد. برای صفت قطر

میوه میانگین ژنوتیپ‌های دارای ژن *lc* ۲/۸ و میانگین ژنوتیپ‌های فاقد ژن lc ۲/۳۹ بود که ۱۷/۱۵ درصد افزایش نشان داد.

جدول ۳. ضریب همبستگی پیرسون برای صفات مورد بررسی در نسل BC_1 گوجه‌فرنگی

Table 3. Pearson correlation coefficient of studied traits in BC_1 generation of tomato

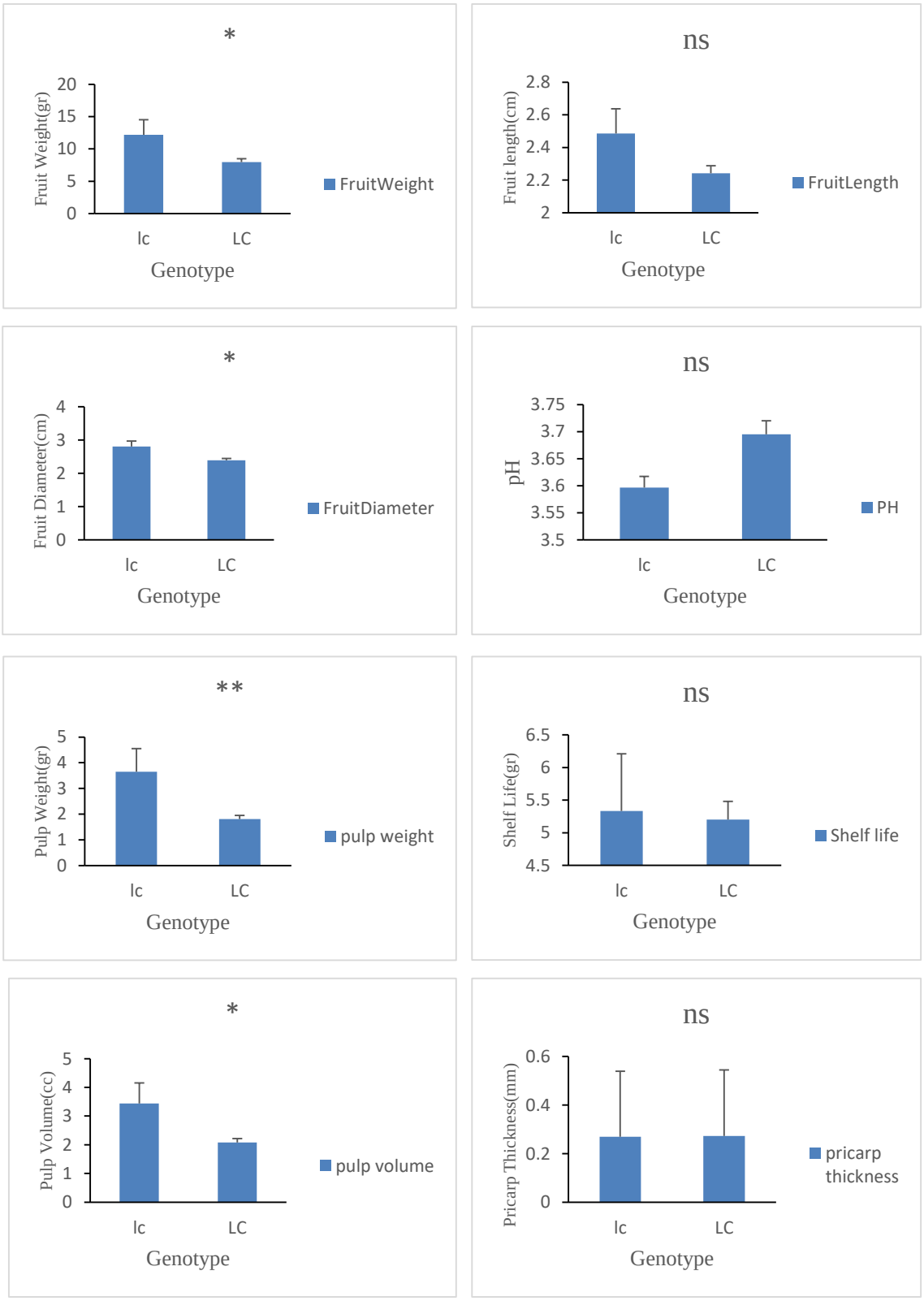
	وزن میوه Fruit Weight	قطر میوه Fruit Diameter	طول میوه Fruit Length	وزن پالپ Pulp Weight	حجم پالپ locule volume	پی اچ pH	ضخامت پریکارپ Pericarp Thickness	ماندگاری Shelf Life
وزن میوه Fruit Weight	1	0.96**	0.96**	0.89**	0.95**	0.07 ns	0.64**	-0.01ns
قطر میوه Fruit Diameter		1	0.93**	0.84**	0.90**	0.07 ns	0.62**	0.03ns
طول میوه Fruit Length			1	0.84**	0.89**	0.08 ns	0.68**	0.01ns
وزن پالپ Pulp Weight				1	0.95**	-0.16 ns	0.36*	0.12ns
حجم پالپ Locule volume					1	0.04ns	0.44**	0.15ns
پی اچ pH						1	0.21ns	0.01ns
ضخامت پریکارپ Pericarp Thickness							1	-0.16ns
ماندگاری Shelf Life								1

*، ** و ns به ترتیب نشان‌دهنده معنی‌داری در سطوح پنج و یک درصد و عدم معنی‌داری است.

*, ** and ns showing significant levels in five and one percent and not significant differences.

همچنین برای صفت وزن پالپ ۱۰۲ درصد افزایش و برای صفت حجم پالپ ۶۵/۳۸ درصد افزایش مشاهده شد.

تجزیه همبستگی صفات نشان داد که به جز صفات pH و ماندگاری میوه بقیه صفات مورد بررسی با یکدیگر همبستگی معنی‌دار داشتند (جدول ۳). صفت وزن میوه همبستگی مثبت بسیار قوی با صفات طول و قطر میوه، وزن و حجم پالپ داشت و همبستگی قوی نیز با ضخامت پریکارپ نشان داد. ضخامت پریکارپ با حجم و وزن پالپ همبستگی معنی‌دار مثبت و متوسطی داشت.



*، ** و ns به ترتیب نشان‌دهنده معنی‌داری در سطوح پنج و یک درصد و عدم معنی‌داری است.

*, ** and ns showing significant levels in five and one percent and not significant

شکل ۱. نتایج آزمون t برای صفات موردمطالعه

Table 1. The results of t test for studied traits

گزارش‌های مختلف روی تنوع ژنتیکی ارقام گوجه‌فرنگی نشان داده است که تنوع ژنتیکی زیادی برای صفت pH آب میوه وجود دارد (Daftarian & Golabadi 2018; Nezami et al. 2022). به‌رغم وجود تنوع بالا در تحقیقی روی ۴۹ تلاقی گوجه‌فرنگی گلخانه‌ای به‌همراه ۱۳ والد آنها گزارش شد که pH میوه تنها با صفت عملکرد کل میوه همبستگی مثبت و معنی‌داری داشت (Daftarian & Golabadi 2018). اگرچه بر اساس گزارش Kumar et al. (2013) pH میوه با صفات دیگر مانند عملکرد میوه، طول میوه ارتباط داشت. تحقیق حاضر نشان داد که هیچ ارتباط معنی‌داری میان pH میوه و سایر صفات وجود نداشت. عدم تغییر pH بین دو گروه ژنوتیپی در تحقیق حاضر نیز نشان داد که انتقال ژن *lc* اثری روی میزان pH میوه ندارد و مزه میوه را تحت تاثیر قرار نمی‌دهد.

صفات طول میوه و ضخامت پریکارپ نیز در این پژوهش معنی‌دار نبود. گزارش‌هایی وجود دارد که نشان می‌دهد انتقال ژن *lc* به ارقام گوجه‌فرنگی گیلاسی موجب تغییر در اندازه میوه نگردید (Khajehasani Nejad et al. 2024). افزایش وزن میوه تحت تاثیر وجود ژن *lc* در گوجه‌فرنگی در بسیاری از پژوهش‌های انجام شده مورد تاکید است (Kakoeei Nejad et al. 2024). تنوع ژنتیکی وزن میوه در گیاه گوجه‌فرنگی بسیار زیاد است (Vakili Bastam et al. 2023). همچنین با طول و قطر میوه همبستگی مثبت دارد (Islam et al. 2010). یکی از مهم‌ترین ژن‌ها در افزایش وزن میوه ژن *lc* می‌باشد (Rodriguz et al. 2011). تحقیق حاضر نیز نشان داد که انتقال ژن *lc* به افزایش وزن میوه می‌انجامد. ولی با وجود این افزایش (۵۳/۰۷ درصد)، میوه همچنان در طبقه میوه‌های گیلاسی قرار گرفت. امروزه ارقام گوجه‌فرنگی گیلاسی با میوه‌های کمی درشت‌تر به در بازار گوجه‌فرنگی گیلاسی به‌عنوان ارقام جدید و پرفروش مطرح هستند. از سوی دیگر عملکرد میوه در بوته همبستگی مثبت و بسیار معنی‌داری با میانگین وزن میوه و قطر میوه دارد (Kumar et al. 2013). لذا به‌نظر می‌رسد که می‌توان با انتقال ژن *lc* به پس‌زمینه گوجه‌فرنگی گیلاسی به افزایش عملکرد میوه نیز امید داشت.

وزن و حجم پالپ نیز تحت تاثیر ژن *lc* افزایش معنی‌داری (به ترتیب ۱۰۲ درصد و ۶۵/۳۸ درصد) نشان داد. بیشترین تاثیر روی طعم میوه گوجه‌فرنگی را پالپ میوه دارد (Oruna-Concha et al. 2007). از این رو می‌توان اذعان داشت که افزایش میزان پالپ در این تحقیق باعث افزایش مطلوبیت و بازارپسندی میوه‌های گوجه گیلاسی گردید. در پژوهش حاضر ارتباط مثبتی میان صفات وزن، حجم پالپ و قطر پریکارپ مشاهده شد. قطر پریکارپ نیز یکی از صفات مهم در بازارپسندی میوه است. در دو پژوهش مختلف همبستگی مثبت و معنی‌داری بین ضخامت پریکارپ با عملکرد میوه گوجه‌فرنگی و همچنین ماندگاری آن گزارش شد (Arun Joshi et al. 2004; Kumari et al. 2013) که با نتایج پژوهش حاضر مطابقت داشت. هر چند در این تحقیق تفاوت معنی‌داری بین دو گروه ژنوتیپی حاوی ژن *lc* و فاقد آن از نظر دو صفت قطر پریکارپ و ماندگاری دیده نشد که نشان داد که به رغم وجود تنوع قابل قبول در این صفت و همبستگی آن با سایر صفات، آلل مغلوب *lc* تاثیری در کنترل این صفت نداشت. البته

ماهیت کمی وراثت این دو صفت و تاثیر محیط بر بروز آن‌ها را احتمالاً می‌توان دلیلی بر عدم معنی‌داری تفاوت آن‌ها در دو گروه ژنوتیپی دانست.

نتیجه‌گیری: در این پژوهش تاثیر ژن *lc* بر برخی از صفات موثر در بازار پسندی میوه گوجه‌فرنگی گیلاسی در نسل BC_1 تلاقی گوجه‌فرنگی گیلاسی و معمولی بررسی شد. نتایج آزمون MANOVA حاکی از اختلاف معنی‌دار میان دو گروه ژنوتیپ حاوی ژن *lc* و فاقد این ژن در صفات مورد بررسی بود. پس اطمینان از تفاوت میان ژنوتیپ‌های مورد بررسی برای بررسی بیشتر، هر یک از صفات به‌تنهایی توسط آزمون t بررسی و صفات وزن میوه، قطر میوه، وزن پالپ و حجم پالپ اختلاف معنی‌دار نشان دادند. اختلافات معنی‌دار را می‌توان به وجود ژن *lc* نسبت داد. در حالی که این ژن تاثیر چندانی بر طول میوه، pH، ماندگاری و قطر پریکارپ نداشت. در کل می‌توان گفت که انتقال ژن *lc* به پس‌زمینه ژنتیکی گوجه گیلاسی در نسل BC_1 موجب تفاوت معنی‌داری در ویژگی‌های مرتبط با بازار پسندی میوه شده است و بر بازارپسندی آن افزوده است.

References

Ali, A., Maqbool, M., Ramachandran, S., & Alderson, P. G. (2010). Gum a novel edible coating for enhancing shelf-life and improving postharvest quality of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) fruit. *Postharvest Biology and Technology*, *58*(1), 42-47. https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2010.05.005

Arah, I. K., Amaglo, H., Kumah, E. K., & Ofori, H. (2015). Preharvest and postharvest factors affecting the quality and shelf life of harvested tomatoes: a mini review. *International Journal of Agronomy*, *2015*(1), 478041. https://doi.org/10.1155/2015/478041

Arun Joshi, A. J., Amit Vikram, A. V., & Thakur, M. C. (2004). Studies on genetic variability, correlation and path analysis for yield and physico-chemical traits in tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *Progressive Horticulture*, *36*(1), 51-58.

Bai, Y., & Lindhout, P. (2007). Domestication and breeding of tomatoes: what have we gained and what can we gain in the future?. *Annals of Botany*, *100*(5), 1085-1094. https://doi.org/10.1093/aob/mcm150

Blanca, J., Montero-Pau, J., Sauvage, C., Bauchet, G., Illa, E., Díez, M. J., & Cañizares, J. (2015). Genomic variation in tomato, from wild ancestors to contemporary breeding accessions. *BMC Genomics*, *16*, 1-19. https://doi.org/10.1186/s12864-015-1444-1

Chu, Y. H., Jang, J. C., Huang, Z., & Van der Knaap, E. (2019). Tomato locule number and fruit size controlled by natural alleles of *lc* and *fas*. *Plant Direct*, *3*(7), e00142. https://doi.org/10.1002/pld3.142

Daftarian, F., & Golabadi, M. (2018). Evaluation of Fruit Yield and Quality in some GreenhouseTomato Genotypes. Isfahan University of Technology-*Journal of Crop Production and Processing*, 8(1), 113-126. https://doi.org/10.29252/jcpp.8.1.113 [In Persian]

Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2022). FAOSTAT statistical database. [Rome]: FAO,

Gonzalo M. J., Brewer M.T., Anderson C., Sullivan D., Gray S., & Van der Knaap E. (2009). Tomato fruit shape analysis using morphometric and morphology attributes implemented in Tomato Analyzer software program. *Journal of American Society of Horticulture Science*, *134*, 77–87. https://doi.org/10.21273/JASHS.134.1.77

IBM Corp. (2020). IBM SPSS Statistics for Windows (Version 27.0) [Computer software]. IBM Corp.

Islam, B. M. R., Ivy, N. A., Rasul, M. G., & Zakaria, M. (2010). Character association and path analysis of exotic tomato (*Solanum lycopersicum* L.) genotypes. *Bangladesh Journal of Plant Breeding and Genetics*, *23*(1), 13-18. https://doi.org/10.3329/bjpbg.v23i1.9313

Kakoeei Nejad, F., & Mohayeji, M., & Maghsoudi Moud, A. A. (2024). Assessment of *lc* and *fas* genes on flower organs in cherry tomato genetic background via introgression. *Agricultural Biotechnology Journal, 16* (3), 23-42.

Khajehasani Nejad, Z., Mohayeji, M., & Maghsoudi Moud, A. A. (2024). Assessment the effect of *lc* gene on the quantitative and qualitative traits in BC_1 generation of cherry tomato. Proc. 18 th Iranian National & 4 the International crop sciences congress. Sept. 10-12 ,2024.

KIA, M. F., Abdosi, V., Moradi, P., Shafihi, M., & Arab, S. (2013). Evaluation of genetic diversity among some of Iranian chrysanthemum cultivar using morphological characteristics. *Iranian Journal of Agronomy and Plant Breeding, 8* (4) 43-54.

Koleva Gudeva, L., & Dedejski, G. (2012). In vivo and in vitro production of some genotypes of cherry tomato *Solanum lycopersicum* var. *Cerasiforme* (DUNAL*). International Journal of Farming and Allied Science*, *1*(4), 91-96.

Kumar, D., Kumar, R., Kumar, S., Bhardwaj, M. L., Thakur, M. C., Kumar, R., … & Kumar, P. (2013). Genetic variability, correlation and path coefficient analysis in tomato. *International Journal of Vegetable Science*, *19*(4), 313-323. https://doi.org/10.1080/19315260.2012.726701

Kumari, S., & Sharma, M. K. (2013). Genetic variability studies in tomato (*Solanum lycopersicum* L.). *Vegetable Science*, 40(01), 83-86.

Li, H., Qi, M., Sun, M., Liu, Y., Liu, Y., Xu, T., ... & Li, T. (2017). Tomato transcription factor SlWUS plays an important role in tomato flower and locule development. *Frontiers in Plant Science*, *8*, 457. https://doi.org/10.3389/fpls.2017.00457

Miller, J. C., & Tanksley, S. D. (1990). RFLP analysis of phylogenetic relationships and genetic variation in the genus Lycopersicon. *Theoretical and Applied Genetics, 80,* 437-448. https://doi.org/10.1007/BF00226743

Nezami, S., Nemati, S. H., Aroiee, H., & Kafi, M. (2022). Half diallel analysis of related traits to yield and fruit quality in tomato lines. Proc. *Iranian Journal of Horticultural Science*, *52*, (4), 1011-1025.

Oruna-Concha, M. J., Methven, L., Blumenthal, H., Young, C., & Mottram, D. S. (2007). Differences in glutamic acid and 5 ‘-ribonucleotide contents between flesh and pulp of tomatoes and the relationship with umami taste. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *55*(14), 5776-5780. https://doi.org/10.1021/jf070791p

Parmar, D. K., Thakur, D. R., Jamwal, R. S., & Gurudev, S. (2018). Evaluation of tomato cultivars for yield, profit and quality performance in an organic management system in north western Himalayas, India. *International Journal of Current Microbiology and Applied Science*, *7*(10), 498-506. https://doi.org/10.20546/ijcmas.2018.710.054

Prema, G., Indiresh, K. M., & Santhosha, H. M. (2011). Evaluation of cherry tomato (*Solanum lycopersicum* var. *Cerasiforme*) genotypes for growth, yield and quality traits. *Asian Journal of Horticulture*, *6*(1), 181-184.

Rahmatian, A., Delshad, M., & Salehi, R. (2014). Effect of grafting on growth, yield and fruit quality of single and double stemmed tomato plants grown hydroponically. *Horticulture, Environment, and Biotechnology*, *55*, 115-119. https://doi.org/10.1007/s13580-014-0167-6

Rodríguez, G. R., Kim, H. J., & Van Der Knaap, E. (2013). Mapping of two suppressors of *OVATE* (sov) loci in tomato. *Heredity*, *111*(3), 256-264. https://doi.org/10.1038/hdy.2013.45

Rodríguez, G. R., Muños, S., Anderson, C., Sim, S. C., Michel, A., Causse M., … & Van der Knaap, E. (2011). Distribution of *SUN*, *OVATE*, *LC*, and *FAS* in the tomato germplasm and the relationship to fruit shape diversity. *Plant Physiology*, *156*, 275–285. https://doi.org/10.1104/pp.110.167577

Saghai-Maroof, M. A., Soliman, K. M., Jorgensen, R. A., & Allard, R. (1984). Ribosomal DNA spacer-length polymorphisms in barley: mendelian inheritance, chromosomal location, and population dynamics. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *81*(24), 8014-8018. https://doi.org/10.1073/pnas.81.24.8014

Sikder, S., Biswas, P., Hazra, P., Akhtar, S., Chattopadhyay, A., Badigannavar, A. M., & D’Souza, S. F. (2013). Induction of mutation in tomato (*Solanum lycopersicum* L.) by gamma irradiation and EMS. *Indian Journal of Genetics and Plant Breeding*, *73*(4), 392-399. https://doi.org/10.5958/j.0975-6906.73.4.059

Slugina, M. A., Filyushin, M. A., Shchennikova, A. V., Kochieva, E. Z., & Skryabin, K. G. (2020). FAS, YABBY2, and YABBY5 gene expression profile correlates with different fruit locule number in tomato. *Russian Journal of Genetics*, *56*, 410-416. https://doi.org/10.1134/S1022795420030151

Vakili Bastam, S. H., & Zamani, S. (2023). Quantitative and Qualitative Evaluation and Comparison of Indeterminate Tomato Hybrid Genotypes in Golestan Province of Iran. *Journal of Crop Production and Processing*, *13*, (1), 67-81. https://doi.org/10.47176/jcpp.13.1.37611 [In Persian]

Zapata, P. J., Guillén, F., Martínez-Romero, D., Castillo, S., Valero, D., & Serrano, M. (2008). Use of alginate or zein as edible coatings to delay postharvest ripening process and to maintain tomato (*Solanum lycopersicum* Mill) quality. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, *88*(7), 1287-1293. https://doi.org/10.1002/jsfa.3220

Zhang, L., Chen, F., Zhang, P., Lai, S., & Yang, H. (2017). Influence of rice bran wax coating on the physicochemical properties and pectin nanostructure of cherry tomatoes. *Food and Bioprocess Technology*, *10*, 349-357. https://doi.org/10.1007/s11947-016-1820-0