علوم باغبانی ایران
دورهٔ ۴۷، شمارهٔ ۲، تابستان ۱۳۹۵ (ص ۲۴۳-۲۳۳) DOI: 10.22059/ijhs.2016.58523

بررسی روابط بین صفات ریخت‌شناختی میوه و کیفیت آن در رگه‌های گوجه‌فرنگی از طریق ضریب‌های همبستگی و تجزیهٔ علیت

جمیله رهایی[۱]، معظم حسن‌پور اصیل[۲*]، حبیب الله سمیع‌زاده لاهیجی[۳] و رسول انسی‌نژاد[٤]
۱، ۲ و ۳. دانشجوی سابق دکتری، استاد و دانشیار، دانشکدهٔ کشاورزی، دانشگاه گیلان، رشت، ایران
٤. استادیار، دانشکدهٔ کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد رشت، رشت، ایران
(تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/٤/۱۷ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۳/۱۰/٦)

چکیده

به‌منظور بررسی روابط بین صفات مؤثر بر وزن میوه در گوجه‌فرنگی، همبستگی‌های فنوتیپی و ژنوتیپی صفات کمیتی و ریخت‌شناختی (مورفولوژیکی) و کیفیت میوه با استفاده از یازده رگه (لاین)، آزمایشی در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. نتایج تجزیهٔ واریانس نشان داد اختلاف بین رگه‌ها برای همهٔ صفات معنی‌دار بود. نتایج تجزیهٔ همبستگی فنوتیپی و ژنوتیپی نشان داد صفت وزن میوه همبستگی معنی‌داری با اغلب صفات داشت. بیشترین مقادیر همبستگی مثبت فنوتیپی و ژنوتیپی بین صفت وزن و قطر میوه به دست آمد. نتایج تجزیهٔ رگرسیون نشان داد صفات قطر میوه و نسبت طول به قطر میوه بیشترین تأثیر را بر وزن میوه در رگه‌های مختلف گوجه‌فرنگی داشتند. تجزیهٔ علیت ژنوتیپی نشان داد که طول میوه، شمار برچه و فنول کل به ترتیب بیشترین تأثیر مستقیم و مثبت را روی وزن میوه داشتند و طول میوه به‌طور غیرمستقیم با درصد مواد جامد کل، قطر میوه، شمار برچه و ضخامت فرابر (پریکارپ) بر وزن میوه تأثیر داشت. تجزیهٔ علیت فنوتیپی نشان داد که به ترتیب صفات ضخامت فرابر میوه، فنول کل و قطر میوه بیشترین تأثیر مستقیم را روی وزن میوه داشتند و ضخامت فرابر میوه به‌طور غیرمستقیم با طول میوه، قطر میوه و شمار برچه بر وزن میوه تأثیر داشت.

واژه‌های کلیدی: بتاکاروتن، رگرسیون، ظرفیت پاداکسندگی، لیکوپن.

مقدمه

گوجه‌فرنگی یکی از مهم‌ترین سبزی‌های زیر کشت و کار در جهان است که ارزش غذایی بالایی داشته و یک منبع مهم از نظر مواد کانی، کاروتنوئیدها و ویتامین‌ها به شمار می‌رود (Stommel & Haynes, 1994; Rodriguez *et al*., 2006). همچنین به دلیل داشتن مقادیر بالای مواد پاداکسندگی (آنتی‌اکسیدانی) مانند لیکوپن، کاروتن و ویتامین ث نقش مؤثری در پیشگیری از ابتلا به بیماری‌های قلبی و عروقی و انواع سرطان‌ها دارد (Giovannucci, 1999). به همین دلیل افزایش عملکرد، بهبود شکل، اندازه، کیفیت میوه مانند رنگ، بافت و سفتی میوه، میزان قند، اسیدیته، مواد جامد محلول، لیکوپن، بتاکاروتن و مواد پاداکسنده از جمله هدف‌های مهم اصلاحی در گوجه‌فرنگی به شمار می‌آید (Kallo & Bepgh, 1985). بنابراین انجام هر برنامهٔ اصلاحی برای افزایش صفات کیفی و کمی در آن ضروری است.

با توجه به مصرف زیاد انواع سبزی‌ها و ضرورت استفاده از بذر دورگ (هیبرید)، خرید این بذرها از خارج رقمی حدود ۱۵۰ میلیون یورو (بیش از ۲۲۰۰

* تلفن: ۰۹۱۱۱۳۹۴۳۳۱
E-mail: hassanpurm@yahoo.com; hassanpurm@guilan.ac.ir

میلیارد ریال) در سال را شامل می‌شود، درحالی‌که تولید همهٔ این بذرها و بومی‌سازی آن‌ها در ایران مقدور است (Anonymous, 2008). بااین‌حال، به دلیل بی‌توجهی به مسائل بهنژادی و به‌ویژه تولید بذر دورگ گوجه‌فرنگی در داخل کشور، به‌رغم وجود شرایط مناسب برای تولید بذر داخلی، هم‌اکنون عمده بذر مصرفی کشاورزان از خارج وارد می‌شود. لذا با توجه به اهمیت این محصول و لزوم افزایش عملکرد در واحد سطح، تولید رقم‌های اصلاح‌شده با خواص کیفی بالا و نیز فراهم آوردن مواد اصلاحی برای پروژه‌های دورگ‌گیری (هیبریداسیون) و اصلاحی ضروری به نظر می‌رسد (Rahaii, 2009).

در اصلاح گیاهان، درک و شناخت روابط میان صفات در گزینش غیرمستقیم برای صفاتی که به آسانی قابل اندازه‌گیری نیستند یا صفاتی که وراثت‌پذیری کمی دارند بسیار مهم است. هنگامی‌که شمار متغیرهای مستقل مؤثر بر صفت وابسته زیاد می‌شود، میزان وابستگی صفات به یکدیگر محدود شده، در چنین شرایطی همبستگی‌ها به تنهایی نمی‌توانند روابط بین متغیرها را توجیه کنند (Ariyo *et al*., 1986). از سوی دیگر ضریب همبستگی رابطهٔ خطی بین دو متغیر را نشان می‌دهد و دلالتی بر روابط علت و معلولی صفات ندارد، به همین دلیل روابط اساسی میان صفات طی تجزیه‌ای به نام تجزیهٔ علیت (Path analysis) بیان می‌شود. هدف از این تجزیه این است که توضیح‌های شایان پذیرش از همبستگی میان صفات بر پایهٔ یک مدل علت و معلولی ارائه شود و اهمیت صفات مؤثر بر یک صفت خاص برآورد شود. در این روش ضریب‌های همبستگی به اثرگذاری‌های مستقیم و غیرمستقیم[1] مجموعه‌ای از متغیرهای مستقل یک متغیر وابسته تقسیم شده و اهمیت آن‌ها اندازه‌گیری می‌شود (Farshadfar, 1996). این روش نخستین بار توسط Wright (1921) مطرح شد اما توسط Dewy & Lu (1959) برای انتخاب مناسب صفات در گیاهان استفاده و به‌عنوان معیاری برای گزینش (سلکسیون) مستقیم گیاهان به شمار رفت (McGiffens *et al*., 1994).

در تحقیقات انجام‌شده مشخص شد که وزن میوه و ارتفاع بوته سهم عمده‌ای را در عملکرد گوجه‌فرنگی دارند و در بین صفات، وزن میوه تأثیر مستقیم زیادی در عملکرد بوته دارد (Monamodi *et al*., 2013; Rani *et al*., 2008). میزان وراثت‌پذیری بالایی برای صفات شاخص شکل میوه (Pujari *et al*., 1995)، شمار برچه در میوه (Reddy & Gulshanlal,1987; Upadhyay *et al*., 2005)، ضخامت فرابر (پریکارپ) (Mittal *et al*., 1996; Prashanth, 2003) گزارش شده است. میزان بالای وراثت‌پذیری بیانگر بهبود این صفات در گوجه‌فرنگی با گزینش ساده در برنامه‌های اصلاحی است. محققان نشان دادند که عملکرد صفتی پیچیده است و بررسی ارتباط آن از راه همبستگی با دیگر صفات دشوار است (Singh *et al*., 2002). بنابراین انجام تجزیهٔ مسیر برای تعیین شاخصی مناسب برای انتخاب این صفت اهمیت دارد (Mc Giffens *et al*., 1994).

به‌منظور بررسی ارتباط بین صفات کمیتی و ریخت‌شناختی (مورفولوژیکی) و کیفیت میوه بر وزن میوهٔ گوجه‌فرنگی و همچنین نبود اطلاعات کافی در این مورد، آزمایشی برای تعیین ضریب‌های همبستگی ژنوتیپی و فنوتیپی بین صفات ریخت‌شناختی (طول و قطر میوه، نسبت طول به قطر میوه، ضخامت فرابر میوه، شمار برچه، وزن میوه) و کیفیت میوهٔ گوجه‌فرنگی (سفتی میوه، درصد مواد جامد محلول، درصد اسیدیتهٔ کل، نسبت مواد جامد محلول به اسیدیتهٔ کل، pH میوه، میزان ویتامین ث، لیکوپن و بتاکاروتن، فنول کل، فلاونوئید و ظرفیت پاداکسندگی) انجام شد و برای تعیین اثرگذاری‌های مستقیم و غیرمستقیم صفات مؤثر بر وزن میوهٔ گوجه‌فرنگی از تجزیهٔ علیت استفاده شد. همچنین برای شناسایی صفات مؤثر بر وزن میوه در رگه (لاین)های مختلف گوجه‌فرنگی و تعیین بهترین مدل رگرسیونی، تجزیهٔ رگرسیون گام‌به‌گام استفاده شد. به‌این‌ترتیب صفت وزن میوه به‌عنوان متغیر وابسته و دیگر صفات به‌عنوان متغیرهای مستقل و اثرگذار بر وزن میوه در نظر گرفته شدند.

1. Direct & indirect effects

مواد و روش‌ها

مواد گیاهی آزمایش شامل یازده رگهٔ گوجه‌فرنگی بود که از مرکز بین‌المللی تحقیقات سبزی (AVRDC) واقع در تایوان تهیه شدند. نام رگه‌های کشت‌شده عبارت بودند از: CLN2463E، CLN2071D، CLN1462A، CLN1621F، CLN3126A-7، CLN2366B، CLN3125E، CLN3125L، CLN3125O، CLN3078A و CLN3078C. این رگه‌ها در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار و سه بوته در هر تکرار و با فاصله‌های کشت ۱۲۰×۴۰×۴۰ سانتی‌متر در گلخانهٔ تحقیقاتی دانشکدهٔ علوم کشاورزی دانشگاه گیلان در فصل بهار و در شرایط مناسب دمایی (۲۵ درجهٔ سلسیوس در روز و ۱۸ درجهٔ سلسیوس در شب) و نوری (شدت نور ۱۰۰۰۰ لوکس و طول روز شانزده ساعت) کشت شدند. گوجه‌فرنگی به نسبت مناسبی از عناصر کم‌مصرف و پرمصرف در طی رشد و نمو نیاز دارد، بنابراین کوددهی برای تأمین عناصر غذایی موردنیاز انجام شد. در ابتدا از کودهای کامل ۱۷-۵۲-۱۰ به غلظت ۵ گرم در لیتر استفاده شد و پس از استقرار گیاهچه‌ها از برنامهٔ کودی توصیه‌شده توسط Peyvast & Barzagar (2005) استفاده شد. همچنین دیگر مراقبت‌های زراعی لازم مانند آبیاری و وجین علف‌های هرز و غیره در طول دورهٔ پرورش بوته‌ها انجام شد.

میوه‌ها در مرحلهٔ رسیده برداشت شدند و به‌منظور بررسی صفات ریخت‌شناختی و کیفیت میوه مانند طول و قطر میوه بر حسب میلی‌متر، نسبت طول به قطر میوه، ضخامت فرابر میوه بر حسب میلی‌متر، شمار برچه، وزن میوه بر حسب گرم، سفتی میوه بر حسب نیوتن بر سانتی‌متر مربع (با استفاده از دستگاه سفتی‌سنج مدل FTO11)، درصد مواد جامد محلول (با استفاده از دستگاه شکست‌سنج (رفراکتومتر) دیجیتالی مدل Ceti-Belgium ساخت ژاپن)، درصد اسیدیتهٔ کل (با روش عیارسنجی یا تیتراسیون)، نسبت مواد جامد محلول به اسیدیتهٔ کل، pH میوه (با روش عیارسنجی)، میزان ویتامین ث بر حسب میلی‌گرم اسید آسکوربیک در ۱۰۰ گرم وزن تر میوه (Boor *et al*., 2006)، لیکوپن و بتاکاروتن بر حسب میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم وزن تر میوه (Nagata and Yamashita, 1992)، فنول کل برحسب میلی‌گرم گالیک اسید در ۱۰۰ گرم وزن تر میوه (Boor *et al*., 2006)، فلاونوئید کل بر حسب میلی‌گرم کاتچین در ۱۰۰ گرم وزن تر میوه (Boor *et al*., 2006) و ظرفیت پاداکسندگی بر حسب درصد بازدارندگی DPPH (Ghasemnezhad *et al*., 2012) به آزمایشگاه منتقل شدند.

تجزیهٔ واریانس با استفاده از نرم‌افزار SAS 9.1 و برای تعیین ضریب‌های همبستگی بین صفات و تجزیهٔ علیت از نرم‌افزار Pathxx استفاده شد. همچنین برای شناسایی صفات مؤثر بر وزن میوه در رگه‌های گوجه‌فرنگی، از تجزیهٔ رگرسیون گام‌به‌گام استفاده شد. به‌این‌ترتیب صفت وزن میوه به‌عنوان متغیر وابسته و دیگر صفات به‌عنوان متغیرهای مستقل و اثرگذار بر وزن میوه در نظر گرفته شدند و از روش رگرسیون گام‌به‌گام به‌منظور به‌دست آوردن بهترین مدل رگرسیونی استفاده شد. برای تجزیهٔ رگرسیون گام‌به‌گام از نرم‌افزار SPSS 8.0 استفاده شد.

نتایج و بحث

نتایج به‌دست‌آمده از تجزیهٔ واریانس نشان داد که رگه‌های مختلف از نظر همهٔ صفات موردبررسی اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد با یکدیگر داشتند، بنابراین ژنوتیپ‌های مورد بررسی تنوع ژنتیکی کافی برای صفات ارزیابی‌شده دارند (جدول ۱). ضریب تغییرات اشتباه آزمایشی نیز به‌استثنای چند صفت که به دلیل ماهیت آن‌ها به‌طورمعمول ضریب تغییرات بالایی دارند، در مورد بیشتر صفات موردبررسی در حد شایان پذیرشی بود که این امر گویای نمونه‌گیری درست و دقت در انجام آزمایش بوده است. نتایج به‌دست‌آمده از مقایسهٔ میانگین صفات در رگه‌های مختلف به روش توکی در سطح احتمال ۵ درصد نشان داد که رگه‌های مورداستفاده در این تحقیق از نظر همهٔ صفات موردبررسی، اختلاف معنی‌داری داشتند و این موضوع اهمیت انتخاب بهینهٔ رگه‌ها را نشان می‌دهد.

جدول۱. تجزیهٔ واریانس صفات موردبررسی در رگه‌های گوجه‌فرنگی
Table 1. Analysis of variance for studied characteristics in tomato lines

SOV	df	Mean of Squares								
		Antioxidant capacity	Flavonoid	Total phenol	Vit. C	Lycopene	β-carotene	%TA	pH	%TSS
Replication	2	0.04	0.17	2.12*	1.29*	0.04	0.01	0.06	00.0	0.08
Genotype	10	283.31**	5240.42**	229.51**	49.02**	4.44**	4.20**	4.07**	0.12**	2.08**
Error	22	0.15	0.68	0.59	0.23	0.06	0.02	0.12	0.00	0.34
CV (%)	-	0.56	1.56	3.58	7.01	7.01	9.21	6.44	0.72	10.78

*, **: significant at p<0.05 and p<0.01 respectively. * و ** به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد.

ادامهٔ جدول۱. تجزیهٔ واریانس صفات موردبررسی در رگه‌های گوجه‌فرنگی
Continued Table 1. Analysis of variance for studied characteristics in tomato lines

SOV	df	Mean of Squares							
		TSS/TA	Fruit length	Fruit diameter	L/D fruit	Number of Carpel	Thickness of pericarp	Fruit firmness	Fruit weight
Replication	2	0.02	2.61	3.52	0.00	0.39	0.41	0.31	61.67
Genotype	10	0.06	362.63**	245.60**	0.08**	1.07**	4.84**	54.96**	1506.85**
Error	22	0.01	6.49	9.09	0.00	0.13	0.33	0.34	26.32
CV (%)	-	11.14	5.60	7.18	5.78	14.72	10.15	4.98	10.73

*, **: significant at p<0.05 and p<0.01 respectively. * و ** به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد.

ضریب‌های همبستگی‌های ژنوتیپی و فنوتیپی به ترتیب در جدول ۲ آورده شده است. به‌طورکلی بیشتر صفات با یکدیگر همبستگی فنوتیپی و ژنوتیپی معنی‌داری داشتند. وزن میوه با اغلب صفات همبستگی معنی‌داری در سطح احتمال ۱درصد داشت که بیانگر تأثیر تعیین‌کنندهٔ هر یک از این صفات در تغییرات وزن میوه است. بیشترین مقادیر همبستگی مثبت فنوتیپی و ژنوتیپی بین وزن و قطر میوه (rp=۰/۹۹ و rg=۱/۰۰) به‌دست آمد و بیشترین مقادیر همبستگی فنوتیپی و ژنوتیپی منفی بین صفات وزن میوه و فنول کل (rp=-۰/۷۵ و rg=-۰/۷۵) و همچنین بین صفات قطر میوه و فنول کل (rp=-۰/۷۳ و rg=-۰/۷۴) به‌دست آمد. بررسی همبستگی صفات در رگه‌های نوترکیب ناشی از تلاقی *Lycopersicon esculentum* و*L. pimpinellifolium* نشان داد که وزن میوه با قطر آن همبستگی مثبت دارد (Rodriguez *et al*., 2006). همچنین نتایج پیشین نشان داد که همبستگی مثبتی بین صفت وزن میوه و شمار برچه وجود دارد (Mehta & Asati, 2008) که با نتایج این تحقیق همخوانی دارد، بنابراین، این صفات باید به‌عنوان عمده‌ترین معیار انتخاب در نظر گرفته شوند. از یکسو مشخص شد که وزن میوه با درصد مواد جامد محلول همبستگی ژنوتیپی منفی (rg=-۰/۶۴) دارد که با نتایج Monamodi (2013) همخوانی دارد. از سوی دیگر طول میوه با قطر میوه (rg=۰/۷۴ و rp=۰/۷۴)، قطر میوه با شمار برچه (rg=۰/۸۰ و rp=۰/۷۵) و ضخامت فرابر (rg= /۸۶ و rp=۰/۸۵)، طول میوه با ضخامت فرابر (rg=۰/۹۷ و rp=۰/۹۵)، وزن میوه با شمار برچه (rg=۰/۷۴ و rp=۰/۶۹)، طول میوه (rg=۰/۸۰ و rp=۰/۸۰) و ضخامت فرابر (rg=۰/۹۱ و rp=۰/۸۸) همبستگی بالایی را نشان دادند. این نتایج با تحقیقات پیشین (Singh, 2007; Singh 2005; Prashanth *et al*., 2008; Mahapatra *et al*., 2013) همخوانی دارد. با توجه به نزدیکی و هم نشانه بودن بیشتر همبستگی‌های فنوتیپی و ژنوتیپی می‌توان دریافت که واریانس و کوواریانس آثار محیطی بسیار کم یا در حد صفر است. چنین نتیجه‌ای توسط برخی از محققان نیز گزارش شده است (Mahapatra *et al*., 2013).

بررسی همبستگی بین دیگر صفات نشان داد که میزان ظرفیت پاداکسندگی میوه با میزان ویتامین ث (rg =۰/۷۹ و rp=۰/۷۹)، درصد اسید کل (rg=۰/۶۲ و rp=۰/۶۱) و میزان مواد جامد محلول (rg=۰/۶۸ و rp=۰/۶۱) همبستگی مثبت دارد. همچنین میزان فلاونوئید کل با میزان فنول همبستگی مثبت (rg=۰/۸۹ و rp=۰/۸۹) و با نسبت $\frac{TSS}{TA}$ همبستگی منفی (rg=-۰/۷۱ و rp=-۰/۶۳) دارد. میزان فنول کل با میزان ویتامین ث (rg =۰/۶۱ و rp=۰/۶۰) همبستگی مثبت و با نسبت $\frac{TSS}{TA}$ (rg=-۰/۶۲)، طول میوه (rg=-۰/۶۲ و rp=-۰/۶۱) و قطر میوه (rg=-۰/۷۴ و rp=-۰/۷۳)، شمار برچه (rg= -۰/۶۳ و rp=-۰/۶۰) و

ضخامت دیوارهٔ فرابر (rg=-۰/۶۳ و rp=-۰/۶۲) همبستگی منفی دارد. از سوی دیگر بین میزان لیکوپن و بتاکاروتن میوه همبستگی منفی (rg=-۰/۷۰ و rp=-۰/۷۰) در سطح احتمال ۱ درصد وجود داشت. یکی از دلایل وجود همبستگی بین دو صفت می‌تواند ناشی از قرار گرفتن ژن‌ها یا بلوک‌های ژنی کنترل‌کنندهٔ آن دو صفت روی یک کروموزوم باشد، به‌طورکلی همبستگی به‌وسیلهٔ پیوستگی (لینکاژ) بین ژن‌ها، اثرهای متقابل غیرآللی و پلیوتروپی (اثر یک ژن روی چند صفت) به دست می‌آید (Valizadeh & Moghadam, 2010). لذا داشتن همبستگی بین زوج صفات در کارهای اصلاحی به‌ویژه در امر گزینش بر پایهٔ شماری از صفات ضروری است.

برای شناسایی صفات مؤثر بر وزن میوه در رگه‌های گوجه‌فرنگی، از تجزیهٔ رگرسیون گام‌به‌گام استفاده شد. به‌این‌ترتیب وزن میوه به‌عنوان متغیر وابسته و دیگر صفات به‌عنوان متغیرهای مستقل و اثرگذار بر وزن میوه در نظر گرفته شدند و از روش رگرسیون گام‌به‌گام به‌منظور به دست آوردن بهترین مدل رگرسیونی استفاده شد. نتایج به‌دست‌آمده نشان داد که در مرحلهٔ ۱ از تجزیهٔ رگرسیون، صفت قطر میوه که بیشترین ضریب همبستگی با صفت وزن میوه را دشت، به مدل اضافه شد (جدول ۳).

نتایج جدول نشان داد که در مرحلهٔ اول صفت قطر میوه بیشترین تأثیر را در وزن میوه داشت، به‌طوری‌که این صفت در مجموع با ضریب تشخیص تجمعی ۰/۹۱ توانست ۹۱ درصد تنوع موجود در صفت وزن میوه در گوجه‌فرنگی را توجیه کند. در مرحلهٔ ۲ صفت نسبت طول به قطر میوه به مدل اضافه شد. در این مرحله نسبت طول به قطر میوه بیشترین تأثیر را در وزن میوه داشت و این صفت در مجموع با ضریب تشخیص تجمعی ۰/۹۲ توانستند ۹۲ درصد از تنوع موجود در صفت وزن میوه در گوجه‌فرنگی را توجیه کنند.

جدول ۲. همبستگی صفات موردبررسی در رگه‌های گوجه‌فرنگی (G: همبستگی ژنوتیپی و P: همبستگی فنوتیپی)

Table 2. Correlation of studied characteristics in tomato lines (G: genotype correlation & P: phenotype correlation)

		Antioxidant capacity	Flavonoid	Total phenol	Vit. C	Lycopene	β- carotene	%TA	pH	%TSS	TSS/TA	Fruit length	Fruit diameter	L/D fruit	Number of Carpel	Thickness of pericarp	Fruit firmness
Flavonoid	G	0.23															
	P	0.23															
Total phenol	G	0.44	0.89**														
	P	0.44	0.89**														
Vit. C	G	0.79**	0.48	0.61*													
	P	0.79**	0.48	0.60*													
Lycopene	G	0.46	0.03	0.02	0.34												
	P	0.46	0.03	0.02	0.33												
β- carotene	G	0.20	0.14	0.05	0.08	0.70**											
	P	0.20	0.14	0.05	0.08	0.70**											
%TA	G	0.62*	0.39	0.59	0.32	0.31	0.40										
	P	0.61*	0.38	0.59	0.32	0.30	0.40										
pH	G	0.27	0.36	0.33	0.31	0.58	0.52	0.06									
	P	0.27	0.36	0.33	0.30	0.57	0.52	0.07									
%TSS	G	0.68**	0.14	0.28	0.33	0.25	0.36	0.79**	0.04								
	P	0.61*	0.13	0.26	0.29	0.22	0.33	0.72**	0.05								
TSS/TA	G	0.21	0.71**	0.62*	0.09	0.22	0.30	0.77**	0.12	0.22							
	P	0.19	0.63*	0.56	0.09	0.18	0.26	0.71**	0.13	0.04							
Fruit length	G	0.18	0.39	0.62*	0.55	0.17	0.44	0.27	0.10	0.24	0.19						
	P	0.18	0.39	0.61*	0.55	0.17	0.43	0.27	0.10	0.24	0.16						
Fruit diameter	G	0.40	0.42	0.74**	0.42	0.27	0.53	0.70**	0.08	0.73**	0.35	0.74**					
	P	0.40	0.41	0.73**	0.41	0.25	0.53	0.70**	0.08	0.66*	0.31	0.74**					
L/D fruit	G	0.19	0.08	0.05	0.33	0.09	0.01	0.41	0.22	0.51	0.10	0.59	0.09				
	P	0.19	0.08	0.04	0.32	0.08	0.01	0.39	0.22	0.43	0.11	0.58	0.12				
Number of Carpel	G	0.33	0.36	0.63*	0.14	0.08	0.27	0.53	0.47	0.58	0.22	0.32	0.80**	0.48			
	P	0.31	0.34	0.59	0.12	0.07	0.26	0.47	0.44	0.51	0.14	0.29	0.75	0.46			
Thickness of pericarp	G	0.18	0.34	0.63*	0.43	0.22	0.52	0.39	0.07	0.43	0.17	0.97**	0.86**	0.42	0.57		
	P	0.18	0.33	0.62*	0.41	0.18	0.51	0.39	0.07	0.39	0.17	0.95**	0.85**	0.38	0.52		
Fruit firmness	G	0.12	0.42	0.33	0.49	0.48	0.57	0.31	0.00	0.34	0.18	0.14	0.16	0.39	0.18	0.08	
	P	0.12	0.42	0.33	0.49	0.48	0.56	0.31	0.00	0.32	0.16	0.14	0.15	0.37	0.17	0.08	
Fruit weight	G	0.32	0.47	0.75**	0.42	0.21	0.51	0.65*	0.09	0.46	0.37	0.80**	1.00**	0.00	0.74**	0.91**	0.10
	P	0.32	0.47	0.75**	0.42	0.21	0.51	0.63*	0.08	0.58	0.33	0.80**	0.99**	0.02	0.69**	0.88**	0.10

*, **: significant at p<0.05 and p<0.01 respectively.

* و ** به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد.

جدول ۳. تجزیهٔ رگرسیون گام‌به‌گام برای وزن میوه به‌عنوان متغیر وابسته و دیگر صفات به‌عنوان متغیرهای مستقل در رگه‌های گوجه‌فرنگی

Table 3. Stepwise regression analysis for fruit weight as the dependent variable and other characteristics as independent variables in tomato lines

Phase	Regression parameters	Partial regression coefficient	Standard error	t	Standardized partial regression coefficient	coefficient of stepwise determination	coefficient of cumulative determination for model
1	intercept	- 49.87	5.61	- 8.89**	-	-	-
	Fruit diameter	2.33	0.13	17.81**	0.95	0.91	0.91
2	intercept	- 68.99	9.92	- 6.96**	-	-	-
	Fruit diameter	2.38	0.13	19.04**	0.98	0.91	0.91
	L/D fruit	15.33	6.74	2.28**	0.12	0.01	0.92

در نهایت نتایج به‌دست‌آمده از تجزیهٔ رگرسیون در مرحلهٔ ۲ نشان داد که به ترتیب صفات قطر میوه و نسبت طول به قطر میوه بیشترین تأثیر را بر وزن میوه در رگه‌های مختلف گوجه‌فرنگی داشتند، به‌طوری‌که این صفات در مجموع با ضریب تشخیص تجمعی ۰/۹۲ توانستند ۹۲ درصد از تنوع موجود در صفت وزن میوه در گوجه‌فرنگی را توجیه کنند. بنابراین با توجه به رابطهٔ زیر برای افزایش وزن میوهٔ گوجه‌فرنگی می‌توان گزینش غیرمستقیمی را برای صفات قطر میوه و نسبت طول به قطر میوه انجام داد. به‌این‌ترتیب مدل نهایی تجزیهٔ رگرسیون به‌صورت زیر آمده است:

$$Y = ۲/۳۸X_۱ + ۱۵/۳۳X_۲ - ۶۸/۹۹ \quad ; \quad R^۲=۰/۹۲ \qquad (۱)$$

در رابطهٔ ۱، Y وزن میوه برحسب گرم، X_1 قطر میوه بر حسب میلی‌متر و X_2 نسبت طول به قطر میوه هستند و R^2 نیز ضریب تشخیص تجمعی مدل است.

به‌طورکلی می‌توان نتیجه گرفت که وزن میوه در گوجه‌فرنگی صفت پیچیده‌ای است و برای رسیدن به تولید بیشتر و بهبود ژنتیکی افزون بر شناخت روابط هندسی این صفت که تا حدود زیادی این روابط با استفاده از تجزیهٔ علیت قابل ترسیم است، نبایستی عامل مهم میزان وراثت‌پذیری صفات را از نظر دور داشت و موفقیت اصلاح این صفت از طریق دیگر صفات موفقیت‌آمیزتر خواهد بود.

برای دستیابی به برآورد دقیق‌تری از اهمیت نسبی و تأثیر مستقیم و غیرمستقیم هر یک از صفات بر وزن میوه، تجزیهٔ علیت با استفاده از ترکیبات مختلفی از همبستگی‌های ژنوتیپی و فنوتیپی انجام شد. به‌رغم آنکه ترکیب منابع مختلف با استفاده از گروهی از صفات است که بیشترین توجیه واریانس در تغییرات داده‌ها پس از انجام یک رگرسیون گام‌به‌گام به دست می‌دهند، توجه به مقدار باقیمانده‌ای از آثار نامشخص که تجزیهٔ علیت قادر به تشخیص آن‌ها نبوده است نیز می‌تواند به‌عنوان معیاری برای شناسایی بهترین گروه همبستگی‌ها به کار گرفته شود. بر این پایه با ترکیبات مختلفی از همبستگی‌های منطقی صفات، تجزیهٔ علیت انجام گرفت و بهترین نتیجه در جدول ۴ و ۵ ارائه شده است که مقدار باقی‌ماندهٔ آثار عامل‌های ناشناخته بر پایهٔ همبستگی ژنوتیپی و فنوتیپی در کمترین مقدار به ترتیب ۰/۱۵۲ و ۰/۲۶۷ به دست آمد و میزان ضریب تشخیص مدل رگرسیونی بر پایهٔ همبستگی ژنوتیپی و فنوتیپی به ترتیب ۹۷/۶۹درصد و ۹۲/۸۷درصد محاسبه شد.

جدول ۴. میزان اثرات مستقیم و غیرمستقیم صفات بر وزن میوه بر پایهٔ همبستگی ژنوتیپی در رگه‌های گوجه‌فرنگی

Table 4. The direct and indirect effects of some characteristics on fruit weight based on genotypic correlation in tomato lines

Traits	Total phenol	%TA	%TSS	Fruit length	Fruit diameter	Number of Carpel	Thickness of pericarp	r
Total phenol	0.858	0.181	0.696	-3.552	0.872	-0.800	2.453	0.599
%TA	0.679	0.229	0.622	-3.701	0.955	-0.888	2.408	0.281
%TSS	-0.232	-0.055	-2.579	3.794	-0.526	2.008	-3.038	-0.622
Fruit length	-0.598	-0.166	-1.917	5.105	-1.317	1.780	-3.785	-0.740
Fruit diameter	-0.454	-0.132	-0.821	4.073	-1.651	1.174	-2.771	-0.629
Number of Carpel	-0.332	-0.098	-2.506	4.398	-0.938	2.066	-3.441	-0.634
Thickness of pericarp	-0.559	-0.146	-2.080	5.129	-1.214	1.888	-3.767	-0.754

r: total correlation coefficients. r: مجموع ضریب‌های همبستگی.

جدول ۵. میزان اثرگذاری‌های مستقیم و غیرمستقیم صفات بر وزن میوه بر پایهٔ همبستگی فنوتیپی در رگه‌های گوجه‌فرنگی

Table 5. The direct and indirect effects of characteristics on fruit weight based on phenotypic correlation in tomato lines

Traits	Total phenol	%TA	Fruit length	Fruit diameter	Number of Carpel	Thickness of pericarp	r
Total phenol	0.756	-0.228	0.621	-0.410	0.591	-0.697	0.599
%TA	0.598	-0.288	-0.555	-0.427	0.647	-0.774	0.281
Fruit length	-0.204	0.069	-2.302	0.438	-0.356	1.749	-0.622
Fruit diameter	-0.526	0.208	-1.711	0.589	-0.892	1.551	-0.740
Number of Carpel	-0.399	0.166	0.733	0.470	-1.118	1.022	-0.629
Thickness of pericarp	-0.293	0.124	-2.237	0.508	-0.635	1.800	-0.634

r: total correlation coefficients. r: مجموع ضریب‌های همبستگی.

نتایج به‌دست‌آمده از تجزیهٔ علیت بر پایهٔ همبستگی ژنوتیپی نشان داد که صفات فنول کل، TA٪، TSS٪، طول و قطر میوه، شمار برچه و ضخامت فرابر میوه تأثیر مستقیمی روی وزن میوه دارند (جدول ۴). بزرگ‌ترین اثرگذاری‌های مستقیم مثبت و معنی‌دار را به ترتیب طول میوه (۵/۱۰۵) و شمار برچه (۲/۰۶۶) و بزرگ‌ترین آثار مستقیم منفی را ضخامت فرابر میوه (۳/۷۶۷-) و TSS٪ (۲/۵۷۹-) بر وزن میوه داشتند. بزرگ‌ترین تأثیر غیرمستقیم مثبت را صفت ضخامت فرابر میوه (۵/۱۲۹) داشت. همچنین طول میوه به‌طور غیرمستقیم از طریق درصد مواد جامد کل، قطر میوه، شمار برچه و ضخامت فرابر بر وزن میوه تأثیر داشت.

اگرچه میزان فنول تأثیر مستقیم و مثبت (۰/۸۵۸) بر وزن میوه داشت، اما به واسطهٔ اثرگذاری‌های غیرمستقیم به‌ویژه از طریق طول میوه (۳/۵۵۲-) و شمار برچه (۰/۸۰۰-) همبستگی منفی معنی‌داری داشت و از طریق قطر میوه (۰/۸۷۲)، TA٪ (۰/۱۸۱)، TSS٪ (۰/۶۹۶) و ضخامت فرابر میوه (۲/۴۵۳) همبستگی مثبت معنی‌داری را با وزن میوه و با ضریب همبستگی ۰/۵۹۹ نشان داد. از سوی دیگر درصد اسیدیتهٔ کل میوه تأثیر مستقیم مثبت (۰/۲۲۹) بر وزن میوه داشت و از طریق فنول کل (۰/۶۷۹)، TSS٪ (۰/۶۲۲)، طول و قطر میوه (به ترتیب ۳/۷۰۱- و ۰/۹۵۵)، شمار برچه (۰/۸۸۸-) و ضخامت فرابر میوه (۲/۴۰۸) با ضریب همبستگی ۰/۲۸۱، تأثیر غیرمستقیمی روی وزن میوه داشت. همچنین درصد مواد جامد محلول میوه با وزن میوه تأثیر مستقیم منفی(۲/۵۴۹-) داشت، اما از طریق فنول کل (۰/۲۳۲-)، TA٪ (۰/۰۵۵-)، طول و قطر میوه (به ترتیب ۰/۷۹۴ و ۰/۵۲۶-)، شمار برچه (۲/۰۰۸) و ضخامت فرابر میوه (۳/۰۳۸-) و با ضریب همبستگی ۰/۶۲۲- تأثیر غیرمستقیمی روی وزن میوه نشان داد. همچنین نتایج نشان داد که طول میوه تأثیر مستقیم مثبت (۵/۱۰۵) روی وزن میوه دارد و از طریق میزان فنول (۰/۵۹۸-)، TA٪ (۰/۱۶۶-)، TSS٪ (۱/۹۱۷-)، قطر میوه (۱/۳۱۷-)، شمار برچه (۱/۷۸۰) و ضخامت فرابر میوه (۳/۷۸۵-) با ضریب همبستگی ۰/۷۴۰- تأثیر غیرمستقیمی روی وزن میوه نشان می‌دهد. از سوی دیگر قطر میوه نیز با وزن میوه تأثیر مستقیم منفی (۱/۶۵۱-) داشت و از طریق فنول کل (۰/۴۵۴-)، TA٪ (۰/۱۳۲-)، TSS٪ (۰/۸۲۱-)، طول میوه (۴/۰۷۳)، شمار برچه (۱/۱۷۴) و ضخامت فرابر میوه (۲/۷۷۱) با ضریب همبستگی ۰/۶۲۹- تأثیر غیرمستقیمی روی وزن میوه نشان داد. اگرچه شمار برچه تأثیر مستقیم و مثبتی (۲/۰۶۶) بر وزن میوه داشت، اما به واسطهٔ آثار غیرمستقیم به‌ویژه از طریق فنول کل (۰/۳۳۲-)، TA٪ (۰/۰۹۸-)، TSS٪ (۲/۵۰۶-)، طول و قطر میوه (به ترتیب ۴/۳۹۸ و ۰/۹۳۸-) و ضخامت فرابر میوه (۳/۴۴۱-) با ضریب همبستگی ۰/۶۳۴- تأثیر غیرمستقیمی روی وزن میوه داشت. همچنین ضخامت فرابر میوه تأثیر مستقیم منفی (۳/۷۶۷-) بر وزن میوه داشت، اما از طریق فنول کل (۰/۵۵۹-)، TA٪ (۰/۱۴۶-)، TSS٪ (۲/۰۸۰-)، طول و قطر میوه (به ترتیب ۵/۱۲۹ و ۱/۲۱۴-) و شمار برچه (۱/۸۸۸) با ضریب همبستگی ۰/۷۵۴- تأثیر غیرمستقیمی را روی وزن میوه نشان داد.

نتایج به‌دست‌آمده از تجزیهٔ علیت بر پایهٔ

همبستگی فنوتیپی در جدول ۵ بیانگر وجود تأثیر مستقیم صفات فنول کل، TA٪، طول و قطر میوه، شمار برچه و ضخامت فرابر میوه روی وزن میوه است. بزرگ‌ترین تأثیر مستقیم مثبت و معنی‌دار را ضخامت فرابر میوه (۱/۸۰۰) و بزرگ‌ترین تأثیر مستقیم منفی را طول میوه (۲/۳۰۲-) بر وزن میوه داشتند. همچنین بزرگ‌ترین تأثیر غیرمستقیم مثبت و منفی را به ترتیب صفت طول میوه و ضخامت فرابر میوه روی وزن میوه نشان دادند. همچنین نتایج گویای تأثیر غیرمستقیم صفات طول میوه، قطر میوه و شمار برچه از طریق ضخامت فرابر میوه روی وزن میوه بود.

اگرچه میزان فنول تأثیر مستقیم و مثبت (۰/۷۵۶) بر وزن میوه داشت، اما به واسطهٔ تأثیر غیرمستقیم به‌ویژه از طریق درصد TA (۰/۲۲۸-)، قطر میوه (۰/۴۱۰-) و ضخامت فرابر (۰/۶۹۷-)، همبستگی منفی معنی‌دار و از طریق طول میوه (۰/۶۲۱) و شمار برچه (۰/۵۹۱)، همبستگی مثبت معنی‌داری را با وزن میوه و با ضریب همبستگی ۰/۵۹۹ نشان داد. از سوی دیگر درصد اسیدیتهٔ کل میوه تأثیر مستقیم منفی (۰/۲۸۸-) بر وزن میوه داشت، اما از طریق صفات فنول کل (۰/۵۹۸) و شمار برچه (۰/۶۴۷) دارای تأثیر غیرمستقیم مثبت و از طریق صفات طول میوه (۰/۵۵۵-)، قطر میوه (۰/۴۲۷-) و ضخامت فرابر میوه (۰/۷۷۴-) تأثیر غیرمستقیم منفی روی وزن میوه و با ضریب همبستگی ۰/۲۸۱ داشت. همچنین طول میوه تأثیر مستقیم منفی (۲/۳۰۲-) بر وزن میوه داشت، اما از طریق TA٪ (۰/۰۶۹)، قطر میوه (۰/۴۳۸) و ضخامت فرابر میوه (۱/۷۴۹) تأثیر غیرمستقیم مثبت و از طریق میزان فنول کل (۰/۲۰۴-) و شمار برچه (۰/۳۵۶-) در مجموع با ضریب همبستگی ۰/۶۲۲- تأثیر غیرمستقیمی روی وزن میوه داشت. از سوی دیگر قطر میوه نیز با وزن میوه تأثیر مستقیم مثبتی (۰/۵۸۹) داشت و از طریق فنول کل (۰/۵۲۶-)، TA٪ (۰/۲۰۸)، طول میوه (۱/۷۱۱-)، شمار برچه (۰/۸۹۲-) و ضخامت فرابر میوه (۱/۵۵۱)، در مجموع با ضریب همبستگی ۰/۷۴۰- تأثیر غیرمستقیمی را روی وزن میوه نشان داد. اگرچه شمار برچه تأثیر مستقیم و منفی (۱/۱۱۸-) بر وزن میوه داشت، اما به واسطهٔ تأثیر غیرمستقیم به‌ویژه از طریق فنول کل (۰/۳۹۹-)، TA٪ (۰/۱۶۶)، طول (۰/۷۳۳) و قطر میوه (۰/۴۷۰) و ضخامت فرابر میوه (۱/۰۲۲) و با ضریب همبستگی ۰/۶۲۹- تأثیر غیرمستقیمی روی وزن میوه داشت. همچنین ضخامت فرابر میوه تأثیر مستقیم مثبتی (۱/۸۰۰) بر وزن میوه داشت، اما از طریق فنول کل (۰/۲۹۳-)، TA٪ (۰/۱۲۴)، طول (۲/۲۳۷-) و قطر میوه (۰/۵۰۸) و شمار برچه (۰/۶۳۵-) در مجموع با ضریب همبستگی ۰/۶۳۴- تأثیر غیرمستقیمی را روی وزن میوه نشان داد.

مقایسهٔ نتایج به‌دست‌آمده از تجزیهٔ علیت بر پایهٔ همبستگی ژنوتیپی و فنوتیپی نشان می‌دهد که مقدار باقی‌ماندهٔ آثار عامل‌های ناشناخته بر پایهٔ همبستگی ژنوتیپی کمتر از فنوتیپی به دست آمد. درحالی‌که میزان ضریب تشخیص مدل رگرسیونی بر پایهٔ همبستگی ژنوتیپی بیشتر از فنوتیپی برآورد شد که بیانگر دقت بیشتر برآورد ناشی از تجزیهٔ علیت بر پایهٔ همبستگی ژنوتیپی است. از سوی دیگر تجزیهٔ علیت بر پایهٔ همبستگی ژنوتیپی نشان داد که صفات فنول کل، TA٪، TSS٪، طول و قطر میوه، شمار برچه و ضخامت فرابر میوه تأثیر مستقیمی روی وزن میوه دارند و بزرگ‌ترین تأثیر مستقیم مثبت را طول میوه و شمار برچه و بزرگ‌ترین تأثیر مستقیم منفی را ضخامت فرابر میوه و TSS٪ بر وزن میوه دارند. همچنین بزرگ‌ترین تأثیر غیرمستقیم مثبت و منفی را به ترتیب صفت ضخامت فرابر میوه از طریق طول میوه و طول میوه از طریق ضخامت فرابر میوه روی وزن میوه نشان دادند. این در حالی است که نتایج ناشی از تجزیهٔ علیت بر پایهٔ همبستگی فنوتیپی بیانگر وجود تأثیر مستقیم صفات فنول کل، TA٪، طول و قطر میوه، شمار برچه و ضخامت فرابر میوه روی وزن میوه است. بزرگ‌ترین تأثیر مستقیم مثبت و معنی‌دار را ضخامت فرابر میوه و بزرگ‌ترین تأثیر مستقیم منفی را طول میوه بر وزن میوه داشتند. همچنین بزرگ‌ترین تأثیر غیرمستقیم مثبت و منفی را به ترتیب صفت طول میوه از طریق ضخامت فرابر میوه و ضخامت فرابر میوه از طریق طول میوه، روی وزن میوه نشان دادند.

ازآنجایی‌که وزن میوه تحت کنترل چندین ژن قرار

دارد و به‌شدت تحت تأثیر محیط نیز قرار دارد، بنابراین گزینش مستقیم برای افزایش آن به‌طور معمول موفقیت‌آمیز نیست (Chaudhary & Khanna, 1972; Rahaii, 2009). به‌این‌ترتیب بهنژادگر باید به دنبال صفاتی باشد که گزینش آن‌ها آسان‌تر بوده تا نتیجهٔ به‌دست‌آمده قطعی باشد، یعنی صفاتی که تحت تأثیر محیط قرار نمی‌گیرند و وراثت‌پذیری بالایی دارند. بنابراین با توجه به نتایج ناشی از برآورد ضریب‌های علیت می‌توان گفت که برای افزایش وزن میوه می‌توان گزینش‌های غیرمستقیمی را برای افزایش قطر و سفتی میوه انجام داد. چنین نتایجی توسط Hidayatullah *et al.* (2008)، Prashanth *et al.* (2008)، Singh *et al.* (2007) و Singh *et al.* (2008) گزارش شده است. Mahapatra (2013) پیشنهاد کرد که انتخاب مستقیم روی طول و قطر میوه، ضخامت فرابر و میانگین وزن میوه در افزایش اجزای عملکرد مؤثر است. Ara *et al.* (2009) و Rani *et al.* (2008) گزارش کردند که در تجزیهٔ علیت صفات مختلف، وزن میوه بیشترین تأثیر مستقیم را روی عملکرد در بوتهٔ گوجه‌فرنگی دارد. Rani *et al.* (2008) و Vikram *et al.* (1998) گزارش کردند که متوسط وزن میوه مهم‌ترین نقش را پس از شمار میوه در بوته روی عملکرد دارد. Anikumar *et al.* (2003) گزارش کردند که در تجزیهٔ علیت انتخاب باید بر پایهٔ شمار و وزن بیشتر میوه باشد.

نتیجه‌گیری کلی

با توجه به اینکه رابطهٔ علت و معلولی بر این اصل استوار است که ارتباط بین آن‌ها وجود داشته باشد و ارتباط مبتنی بر تنوع هماهنگ بین دو صفت است، بنابراین داشتن همبستگی بین زوج صفات در کارهای اصلاحی به‌ویژه در امر گزینش بر پایهٔ شماری از صفات ضروری است یعنی به حتم باید صفتی با صفت دیگر همبستگی داشته باشد تا بتوان گزینش انجام داد. نتایج به‌دست‌آمده از تجزیهٔ همبستگی فنوتیپی و ژنوتیپی نشان داد که بیشتر صفات با یکدیگر همبستگی معنی‌داری دارند. صفت وزن میوه همبستگی معنی‌داری با اغلب صفات داشت که بیانگر تأثیر تعیین‌کنندهٔ هر یک از این صفات در تغییرات وزن میوه است. در این تحقیق بیشترین مقادیر همبستگی مثبت فنوتیپی و ژنوتیپی بین صفت وزن و قطر میوه به دست آمد. ازآنجایی‌که اصلاح صفاتی که ساده‌تر هستند و یا با تغییر صفات دیگر می‌توان صفت موردنظر را تغییر داد، آسان‌تر است، بنابراین اصلاح صفت وزن میوه گوجه‌فرنگی از طریق دیگر صفات موفقیت‌آمیزتر خواهد بود. با توجه به ضریب همبستگی و اثرهای مستقیم بالای ضخامت میوه بر وزن میوه می‌توان ارتباط کامل بین ضخامت میوه و وزن میوه را نشان داد که انتظار می‌رود با توجه به این نتایج وزن میوه به‌طور مستقیم تحت تأثیر ضخامت فرابر قرار دارد، درحالی‌که تأثیر صفات دیگر موردبررسی در این تحقیق بر وزن میوه اندک بود. همچنین با توجه به همبستگی مثبت و تأثیر مستقیم بالای طول میوه، قطر میوه و شمار برچه بر ضخامت فرابر و وزن میوه در مرحلهٔ دوم تجزیهٔ مسیر می‌توان این صفات را به‌عنوان معیار انتخاب غیرمستقیم برای بهبود وزن میوه استفاده کرد. بنابراین با توجه به ارتباط قوی بین وزن میوه و صفات قطر میوه، طول میوه، شمار برچه و ضخامت فرابر، برای دستیابی به وزن میوهٔ بالا در گوجه‌فرنگی لازم است که گزینش مثبت برای صفاتی مانند قطر میوه، طول میوه، شمار برچه و ضخامت فرابر و گزینش منفی برای فنل کل و درصد TA به‌طور هم‌زمان انجام گیرد تا به نتایج مطلوب دست یافت و در تولید رقم‌های پر عملکرد گوجه‌فرنگی گام مؤثری برداشت. پیشنهاد می‌شود پژوهشی برای تعیین روابط بین صفات ریخت‌شناختی و فیزیولوژیکی گیاه با ویژگی‌های میوه و عملکرد انجام شود. همچنین ضرورت دارد این آزمایش به‌صورت مزرعه‌ای نیز انجام شود.

سپاسگزاری

از معاونت محترم پژوهشی دانشگاه گیلان برای در اختیار قرار دادن امکانات و هزینه‌های لازم برای انجام این پژوهش قدردانی می‌شود. همچنین از مرکز بین‌المللی تحقیقات سبزی (AVRDC) تایوان به خاطر در اختیار قرار دادن رگه‌های گوجه‌فرنگی برای انجام این تحقیق سپاسگزاری می‌شود.

REFERENCES

1. Anikumar, V.R., Thakur, M.C. & Hedau, N.K. (2003). Correlation and path coefficient analysis in tomato. *Annals of Agricultural Research New Series*, 24, 175-177.
2. Annonyms. (2008). Monthly Livestock, Agro-industry. 115. (in Farsi)
3. Ara, A.R., Narayan, N. & Khan, S.H. (2009). Genetic variability and selection parameters for yield and quality attributes in tomato. *Indian Journal of Horticulture*, 66, 73-78.
4. Boor, J.Y., Chen, H.Y. & Yen, G.C. (2006). Evaluation of antioxidant activity and inhibitory effect on nitric oxide production of some common vegetables. *Agricultural Food Chemistery*, 54, 1680-1686.
5. Chaudhary, R.C. & Khanna, K.R. (1972). Inheritance of locule number in a cross in tomato (*Lycopersicon esculentum Mill.*). *Indian Journal of Agricultural Science*, 42, 781-789.
6. Dewy, D.R. & Lu, K.H. (1959). A correlation and path coefficient analysis of components of crested wheatgrass seed production. *Agronomy Journal*, 51, 515-518.
7. Farshadfar, A. (1996). *Application of biometrical genetics*. Vol 1. Taghe Bostan. (in Farsi)
8. Ghasemnezhad, M., Sherafati, M. & Peyvast, G.A. (2012). Variation in phenolic compounds, ascorbic acid and antioxidant activity of five coloured bell pepper (*Capsicum annum*) fruits at two different harvest times. *Journal of Functional Foods*, 3, 44-49.
9. Giovannucci, E. (1999). Tomatoes, tomato-based products, lycopene, and cancer: review of epidemiologic literature. *Natural Cancer Institute*, 91, 317-331.
10. Hydayatullah, A., Jatoi, S.A., Ghafoor, A. & Tariqh, M. (2008). Path coefficient analysis of yield component in tomato (*Lycopersicon esculentum*). *Pakistan Journal of Botany*, 40(2), 627-635.
11. Kallo, G. & Bepgh, B.O. (1985). *Genetic Improvement of Vegetable Crops*. Avi publishing Company, p. 135-169.
12. Mahapatra, A.S., Singh, K.A., Manju Vani, V., Mishra, R., Kumar & Rajkumar, B.V. (2013). Inter-relationship for various components and path coefficient analysis in tomato (*Lycopersicon esculentum Mill*). *International Journal of Current Microbiology Applied Science*, 2(9), 147-152.
13. McGiffen, M.E., Pantone, D.J. & Masiunas, J.B. (1994). Path analysis of tomato yield components in relation to competition with black and eastern black nightshade. *Journal of American Society of Horticultural Science*, 119, 6-11.
14. Mehta, N. & Asati, B.S. (2008). Genetic relationship of growth and development traits with yield in to tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *Journal of Agricultural Science*, 21(1), 92-96.
15. Mittal, P., Sant Prakash & Singh, A.K. (1996). Variability studies in tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill) under sub humid conditions of Himachal Pradesh. *South Indian Journal*, 44,132-134.
16. Monamodi, E.L., Lungu, D.M. & Fite, G.L. (2013). Analysis of fruit yield and its components in determinate tomato (*Lycopersicon esculentum*) using correlation and path coefficient. *Journal of Agricultural Applied Sciences*, 9 (1), 29-40.
17. Nagata, M. & Yamashita, I. (1992). Simple method for simultaneous determination of chlorophyll and carotenoids in tomato fruit. *Journal of Japanese Society of Food Science and Technology*, 39, 925-928.
18. Peyvast, Gh. & Barzagar, R. (2005). *Growing greenhouse seedless cucumber and greenhouse tomatoes in soil and in soiless media*, Danesh Pazir Press. (in Farsi)
19. Prashanth, S.J., R.P. Jaiprakashnarayan, Ravindra, M. & Madalageri, M.B. (2008). Correlation and path analysis in tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *Asian Journal of Horticultural*, 3(2), 403-408.
20. Pujari, C.V., Wagh, R.S. & Kale, P.N. (1995). Genetic variability and heritability in tomato. *Journal of Maharashtra Agricultural University*, 20, 15-17.
21. Rahaii, J. (2009). *Evaluation of genetic parameters of morphologic characteristics for Lycopersicon esculentum using generation mean analysis*. M.Sc. Thesis. Faculty of agricultural, University of Guilan. (in Farsi)
22. Rani, I., Veeraragavathatham D. & Sanjutha, D. (2008). Studies on correlation and path coefficient analysis on yield attributes in root knot nematodes resistant F1 hybrids of tomato. *Journal of Applied Sciences Research*, 4, 287-295.
23. Reddy, M.L.N. & Gulshanlal, G. (1987) Genetic variability and path coefficient analysis in tomato (*Lycopersicon esculentum Mill.*) under summer season. *Progressive Horticulture*, 19, 284-288.
24. Rodriguez, G.R., Pratta M. & Zorzoli, R. (2006). Evaluation of plant and fruit traits in recombinant inbred lines of tomato obtained from a cross between *Lycopersicon esculentum* and *L. pimpinellifolium*. *Ciencia e Investigation Agraria*, 33(2), 111-118.
25. Singh, A.K., Sharma, J.P., Kumar, S. & Chopra, S. (2008). Genetic divergence in tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.*). Journal of SKUASTJ*, Sher-e-Kashmir University of Agricultural Sciences & Technology, 7(1), 105-110.

26. Singh, A.K. (2005). Genetic variability, correlation and path coefficient studies in tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) under cold arid region of Ladakh. *Progrressive Horticulture*, 37(2), 437- 443.
27. Singh, A.K. (2007). Correlation and path coefficient studies in tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) under cold arid region of Ladakh. *Journal of Horticulture*, 36(3and4), 346-447.
28. Singh, A.K., Sharma, J.P. & Kumar, S. (2007). Variability, correlation and path studies on harvest index and yield components in tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *The Horticultural Journal*, 20(1), 25-29.
29. Singh, J.P., Singh, D.K. & Gulshanlal, G. (2002). Variability pattern in agro-morphological characters in tomato (*Lycopersicon esculentum* L.). *Progressive Horticulture*, 32, 79-81.
30. Stommel, J.R. & Haynes, K.G. (1994). Inheritance of beta-carotene content in the wild tomato species *Lycopersicon cheesmani*. *Journal of Heredity*, 85(5), 401-404.
31. Upadhyay, M., Singh, J.P., Singh, A. & Joshi, A. (2005). Studies on genetic variability in tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill). *Progressive Horticulture*, 37, 463-465.
32. Valizadeh, M. & Moghadam M. (2010). Introduction to quantitative genetics. *Iran University Press.*
33. Vikram A. & Kohli, U.K. (1998). Genectic variability, correlation and path analysis in tomato. *Journal of Hill Research*, 11, 107-111.
34. Wright, S. (1921). Correlation and causation. *Journal of Agricultural Science*, 20, 557-587.

Iranian Journal of Horticultural Science, Vol. 47, No. 2, Summer 2016

Investigation the relationship between fruit morphologic characteristics and quality in tomato lines via correlation coefficients and path analysis

Jamileh Rahaii Chokami[1], Moazam Hassanpour Asil[2*], Habibollah Samizade Lahiji[3] and Rasoul Onsineghad[4]

1, 2, 3. Former Ph. D. Student, Professor and Associated Professor, Faculty of Agriculture, University of Guilan, Rasht, Iran

4. Assistant Professor, Faculty of Agriculture, Islamic Azad University, Rasht Branch, Rasht, Iran

(Received: Jul. 8, 2014 - Accepted: Dec. 27, 2014)

ABSTRACT

To investigate the genotypic and phenotypic relationship between characteristics affecting tomato fruit weights, eleven tomato lines were compared in a RCB design with three replications. The ANOVA showed that the difference among lines was significant for all characteristics. There was a significant phenotypic and genotypic correlations between fruit weight and most of the characteristics. The highest amount of phenotypic and genotypic correlations were obtained between fruit diameter and weight. The regression analysis showed the highest effect on the fruit weight was due to the fruit diameter and the fruit length/diameter ratio which controls 92% of its variation. The path analysis on genotypic correlation revealed the fruit length which, number of locules and total phenol had the greatest direct effects on the fruit weight and fruit length which had indirect effect on fruit weight via percentage of total soluble solids, fruit diameter, number of locules, total acidity, fruit length and diameter, number of locules and fruit pericarp thickness. The path analysis of phenotypic correlation showed that the fruit pericarp thickness, total phenol, fruit diameter had the greatest direct effects and fruit pericarp thickness had indirect effect on fruit weight via fruit length and diameter and number of locules, respectively.

Keywords: Antioxidant capacity, beta-carotene, lycopene, regression.

* Corresponding author E-mail: hassanpurm@yahoo.com; hassanpurm@guilan.ac.ir Tel: +98 9111394331