

Genetic analysis of salt tolerance in some tomato genotypes

Mohadeseh Bahaadini¹, Mehdi Mohayjeji^{2*}, Seyed Mehdi Naser Alavi²

1- MS.C. student, Department of Crop Production and Genetics, Faculty of Agriculture, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran

2- Assistant Professor, Department of Crop Production and Genetics, Faculty of Agriculture, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran

*Corresponding author: mohayjeji@uk.ac.ir

(Received: 29 August 2023

Revised: 01 October 2023

Accepted: 2 June 2024)

Extended Abstract

- 1. Introduction:** Tomato (*Solanum lycopersicum* L.) has great nutritional value and is one of the most important vegetables in the world. The tomato fruits have a large amount of antioxidants, Such as lycopene pigment, vitamins C, and several minerals, which are essential for human health. Salinity stress is one of the plant growths limiting factors globally that causes yield loss in tomato. In addition, in arid and semi-arid regions of the world, such as Iran, soil salinity is one of the major abiotic stresses. Two theories have explained plant growth inhibition under salt stress. First, return to the ion toxicity, and the second is related to the disruption of osmotic functions. Several reports stated that salinity reduces many physiological processes in plants, such as water absorption, nutrient uptake, photosynthetic rate, and yield. tomato is moderately tolerant to salinity, and some tomato cultivars and landraces show greater salt tolerance by demonstrating greater stability in growth with increasing salinity. Moreover, high salt tolerance has been reported for various wild tomatoes. But most of the tomato varieties are salinity susceptible. The genetic variation of tomato landraces could be used to consider salt tolerance improvement in tomato breeding programs. The present study aims to assess the genetic structure of salinity tolerance in tomato during the vegetative growth phase to develop a new breeding population of tomato for salt tolerance.
- 2. Materials and Methods:** An experiment was conducted for the assessment of salt stress response of seven tomato inbred lines originated from Iran, Europe, the US, and Mexico, and their 27 F1 hybrids in a partial diallel design 7×7. A completely randomized factorial design was used with water salinity and tomato genotypes as two factors. Tomato genotypes were subjected to salinity stress at 0 and 10 ds/m. after 20 days, shoot and root dry weights, shoot and root length, root volume, root density, and root/shoot dry weight were measured. To determine leaf sodium and potassium content and sodium/potassium ratio flame Photometer device was used. Also, chlorophyll A, B, and Total chlorophyll content were measured by a spectrophotometer.
- 3. Results and Discussion:** The results revealed significant effects of stress, genotype, and stress×genotype interaction for almost all traits, which indicating that there was a large genetic variation among tested genotypes in response to the salinity stress. The results of Hyman and Jinks' diallel analysis showed a highly significant epistasis effect governing some traits in both control and salinity conditions. In the control condition, root and shoot length, root density, root dry weight/shoot dry weight, leaf sodium and potassium content, and sodium/potassium ratio were governed by non-epistatic gene action. While in stress conditions, root and shoot length, root density, root dry weight/shoot dry weight, and leaf potassium content showed non-epistatic inheritance. The degree of dominance was higher than one for root and shoot length, root density, root dry weight/shoot dry weight, and leaf potassium, which showed overdominance and dominance effects attributed to the genetic basis of these traits. The proper amount (more than 0.6) of Broadsense heritability for the mentioned traits represented an adequate level of genetic variance in control of the mentioned traits. However, the amount of narrow-sense heritability was low for the traits. Therefore, selection for such traits is likely to be more effective in advanced selfing generations. Regarding the results of the ($\bar{p}\bar{q}$) parameter, the proportion of positive and negative genes for all traits was equal except Root dry weight/shoot dry weight, Root Density, and Shoot length. Hyman's graphical analysis indicated that some overdominance effects were involved in the control of the traits. According to the results, parent 5 carried superior alleles for the mentioned traits. According to GCA value results, genotype 7 was the best for all shoot traits and also had the highest GCA for root dry weight. Genotype 5 had the highest GCA amount for root length and leaf potassium content. The highest GCA value for chlorophyll A, B, and T was achieved from genotype 3.

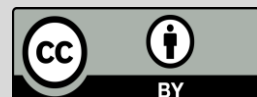
4. **Conclusion:** Heyman and Jinks' Diallel analysis results showed Epistasis gene action governing traits except root and shoot length, root density, root dry weight/shoot dry weight, and leaf potassium content. For these mentioned traits, High "a" (more than 1) and h^2_B (More than 0.6) showed the nonadditive gene effects governing the traits under the salinity condition. Regarding the GCA results, genotypes 7, 5, and 2 were selected for further salt stress tolerance studies.

Keywords: Diallel Analysis, Heritability, Combining ability, Hybrid tomato

Citation: Bahaadini, M., Mohayeji, M. & Naser Alavi, S. M. (2025). Genetic analysis of salt tolerance in some tomato genotypes. *Journal of Vegetables Sciences*, 17(1), 43-56. doi:10.22034/iuvs.2024.2010421.1315

Copyrights:

Copyright for this article is retained by the author(s), with publication rights granted to Journal of Vegetables Sciences. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>).





تجزیه ژنتیکی تحمل شوری برخی ژنوتیپ‌های گوجه فرنگی

محدثه بهال‌دینی^۱، مهدی مهیجی^{۲*}، سید مهدی ناصر علوی^۲^۱ - دانشجوی کارشناسی ارشد، بخش تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران^۲ - استادیار، بخش تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران*نویسنده مسئول: mohaveji@uk.ac.ir

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۳/۱۳

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۰۷/۰۹

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۶/۰۷

چکیده

تنش شوری یکی از مهم‌ترین عوامل کاهش تولید و رشد گوجه‌فرنگی (*Solanum lycopersicum L.*) در جهان است. از این رو برای بررسی پاسخ گوجه فرنگی به تنش شوری آزمایشی روی هفت رقم گوجه فرنگی از منشاء ایران، اروپا، آمریکای شمالی و مکزیک در قالب طرح دی‌آلل ناقص ۷×۷ انجام شد. آزمایش در دو سطح شوری صفر و ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر به صورت آزمایش فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی در مرحله استقرار نشاء انجام شد. پس از ۲۰ روز وزن خشک ساقه و ریشه، طول ساقه و ریشه، تراکم ریشه، حجم ریشه، وزن خشک ریشه/ساقه، میزان یون‌های سدیم و پتاسیم برگ، کلروفیل A، B و کل اندازه‌گیری شد. پس از بررسی معنی‌داری اثر شوری، ژنوتیپ و اثر متقابل ژنوتیپ×شوری برای اکثر صفات، تجزیه دی‌آلل هیمن انجام شد و نشان داد که اثرات اپیستازی به جز پنج صفت طول ساقه و ریشه، تراکم ریشه، وزن خشک ریشه/ساقه و میزان پتاسیم برگ برای بقیه صفات معنی‌دار بود. با ادامه محاسبات دی‌آلل برای پنج صفت یاد شده درجه غالبیت (بیش از یک) و وراثت پذیری عمومی بالا برای این صفات به دست آمد که نشانگر اثرات فوق‌غالبیت و غالبیت در وراثت این صفات بود. با توجه به این نتایج، گزینش برای تحمل به شوری باید در نسل‌های آخر خودگشنی انجام شود تا منجر به تولید لاین‌های متحمل گردد. همچنین با توجه به مقادیر GCA ژنوتیپ‌های ۷، ۲ و ۵ را می‌توان برای مطالعات تحمل به شوری برگزید.

واژه‌های کلیدی: تجزیه دی‌آلل، وراثت‌پذیری، ترکیب‌پذیری، هیبرید گوجه فرنگی

استناد: بهال‌دینی، م.، مهیجی، م. و ناصر علوی، س. م. (۱۴۰۴). تجزیه ژنتیکی تحمل شوری برخی ژنوتیپ‌های گوجه فرنگی. علوم سبزی‌ها، ۱۷(۱)، ۴۳-۵۶.

حق چاپ:



حق چاپ برای نویسنده (گان) این مقاله محفوظ است. بر اساس قوانین انتشارات با دسترسی آزاد، تمام مطالعات چاپ شده در این مجله به صورت آزاد در وب سایت مجله برای عموم بدون پرداخت هزینه قابل دسترسی است.

مواد و روش‌ها

در این آزمایش پاسخ هفت رقم بومی گوجه فرنگی از منشاء ایران، اروپا، امریکای شمالی و مکزیک و هیبریدهای آنها به تنش شوری مورد بررسی قرار گرفت. جهت برآوردهای دی‌آلل ژنوتیپ‌های وارد شده به آزمایش به صورت تصادفی از مجموعه ژنوتیپ‌های در دسترس انتخاب شدند. تلاقی این ژنوتیپ‌ها در سال ۱۴۰۰-۱۴۰۱ انجام گرفت و ۲۷ هیبرید F_1 از تلاقی دی‌آلل لاین‌های مذکور ایجاد گردید. برای نشان دادن لاین‌های خالص از اعداد و برای نشان دادن هیبریدهای حاصل از تلاقی دو لاین از ترکیب ضرب دو عدد استفاده شد (جدول ۱). هیبریدهای F_1 تولید شده به همراه والد‌های تلاقی در تابستان ۱۴۰۱ در یک آزمایش دی‌آلل در در گلخانه دانشکده کشاورزی دانشگاه شهید باهنر کرمان بررسی شدند.

برای ارزیابی تحمل به شوری ژنوتیپ‌ها، دو سطح شاهد و شوری ۱۰ دسی زیمنس بر متر در نظر گرفته شد. نسل F_1 حاصل از تلاقی به همراه والدین آنها در قالب آزمایش فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار ارزیابی شدند. هر تکرار شامل سه گلدان بود و در هر گلدان یک نشا مستقر شد. گلدان‌های استفاده شده در این آزمایش ارتفاع ۲۷ cm، قطر دهانه ۲۶ cm و قطر قاعده ۱۹ cm داشتند. برای پر کردن گلدان‌ها ابتدا ۱/۵ kg شن دانه‌بندی شده برای زهکش مناسب کف هر گلدان ریخته شد. سپس ۱۰ kg خاک الک شده با بافت لومی با زهکش مطلوب روی آن ریخته شد. برای کاشت بوته‌های گوجه فرنگی از روش نشاکاری استفاده شد. بذر هر ژنوتیپ در سینی کشت پر شده به وسیله پیت ماس و پرلیت کشت شد. پس از رسیدن نشاها به مرحله سه تا چهار برگگی انتقال به گلدان انجام شد. مراقبت‌های زراعی برای رشد مناسب برای تمام گلدان‌ها انجام گرفت. در تیمار شاهد آبیاری با آب شهری ($EC=1/2$) و در تیمار تنش آبیاری با آب شور انجام گرفت. برای جلوگیری از ایجاد شوک اسمزی بر بوته‌های گوجه فرنگی، تیمار شوری به صورت تدریجی به آب

آبیاری تا رسیدن به غلظت مورد نظر افزوده شد. پس از ۲۰ روز و در انتهای دوره رویشی برخی ویژگی‌های زراعی مانند ارتفاع، وزن تر شاخساره، وزن تر ریشه، طول ریشه، حجم ریشه و تراکم ریشه اندازه‌گیری شد. سپس نمونه‌های ریشه و ساقه به طور جداگانه در دمای ۶۵ درجه سلسیوس خشک گردید. پس از اندازه‌گیری وزن خشک نمونه‌ها، اندازه‌گیری سدیم و پتاسیم برگ‌ها با عصاره‌گیری از نمونه‌های برگ خشک شده و به روش هامادا و ال انانی (Hamada & El-Enany, 1994) انجام شد. بر این اساس نمونه‌ها به مدت ۷۲ ساعت در آون در دمای ۷۲ درجه سانتیگراد قرار گرفت. پس از ۷۲ ساعت نمونه‌ها در هاون چینی پودر شده و یک گرم از نمونه پودر شده در ۱۰ میلی لیتر محلول استیک اسید یک نرمال حل شد. محلول به مدت ۲۴ ساعت در محیط آزمایشگاه آنکوبه شد. پس از ۲۴ ساعت نمونه‌ها به مدت ۲ ساعت برای عمل هضم در بن‌ماری و در دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفت. سپس عصاره‌ی نمونه‌ها با استفاده از کاغذ صافی گرفته شد. در نهایت میزان غلظت سدیم و پتاسیم با استفاده از دستگاه فلیم فتومتر قرائت شد. برای اندازه‌گیری کلروفیل a، b و کلروفیل کل از روش Lichtenthaler and Babani (۲۰۰۰) استفاده شد. بر اساس این روش ۰/۲ گرم از بافت برگ با ۱۵ میلی لیتر استون ۱۰٪ ساییده شد. پس از صاف کردن محلول میزان جذب آنها با اسپکتروفوتومتر در طول موج‌های ۶۴۶/۸، ۶۶۳/۲۰ و ۴۷۰ نانومتر خوانده شد و غلظت رنگیزه کلروفیل a، b و کل به ترتیب از روابط ۱، ۲ و ۳ بر حسب میکروگرم بر گرم وزن تر محاسبه گردید.

رابطه (۱)

$$Chla = 12.25A - 279A646.8$$

رابطه (۲)

$$Chlb = 21.21A - 5.1A663.2$$

رابطه (۳)

$$ChIT = Chla + Chlb$$

در این رابطه‌ها Chla، Chlb و ChIT به ترتیب کلروفیل a و کلروفیل b، و کلروفیل کل می‌باشد. غلظت بر حسب میلی‌گرم بر میلی‌لیتر عصاره‌ی گیاهی تعیین

و سپس نتایج بر حسب میلی‌گرم بر گرم وزن تر بافت محاسبه شد.

جدول ۱. نمایش منشاء والد‌ها و نام ترکیبات تلاقی ایجاد شده در طرح دی آلل ناقص.

Table 1. Description of the tomato inbred lines and cross combination used in this study.

خاستگاه	1	2	3	4	5	6	7
Origin							
1	آمریکا US	1×2	1×3	1×4	1×5	1×6	1×7
2	ایتالیا Italy		2×3	2×4	2×5	2×6	2×7
3	آمریکا US			3×4	3×5	3×6	3×7
4	ایران Iran				4×5	4×6	4×7
5	مکزیک Mexico					5×6	5×7
6	فرانسه France						6×7
7	ایران Iran						

صفات دارای اپیستازی معنی‌دار نسبت به شاهد افزایش یافت. وجود اثرات اپیستاتیک و پیچیدگی وراثت تحمل به شوری باعث کاهش موفقیت‌گزینش مستقیم برای این صفات می‌شود و در نتیجه بازده برنامه‌های به‌نژادی برای تنش شوری را کاهش می‌دهد (Singh *et al.*, 2012).

برآورد اجزای واریانس ژنتیکی به روش هیمن در جدول ۲ آمده است. درجه غالبیت برای صفت طول ساقه، طول ریشه، تراکم ریشه، صفت نسبت وزن خشک ریشه به ساقه و میزان پتاسیم برگ در هر دو شرایط بیش از یک بود که نشان دهنده تاثیر فوق غالبیت در کنترل این صفات است. میزان وراثت‌پذیری عمومی برآورد شده به روش هیمن سهم قابل قبول عوامل ژنتیکی را در کنترل این صفات نشان می‌دهد. البته وراثت‌پذیری خصوصی صفات یاد شده اندک بود که گزینش در نسل‌های تفرق تحت تنش شوری را برای این صفات دشوار می‌سازد. وراثت‌پذیری عمومی بالاتر برای تراکم ریشه، نسبت ریشه به ساقه و میزان پتاسیم برگ نشان دهنده اثرات قوی غالبیت و فوق غالبیت در

پس از بررسی معنی‌داری اثرات متقابل ژنوتیپ×تنش شوری تجزیه دی‌آلل صفات بر اساس روش هیمن و جینکز انجام شد. برآورد اجزای ژنتیکی و همین‌طور رسم اشکال نمودار گرافیکی هیمن بر اساس نرم‌افزار Excel ۲۰۱۹ صورت گرفت.

نتایج و بحث

بررسی وضعیت اپیستازی با استفاده از تجزیه واریانس $Wt-Vr$ برای هر یک از سطوح شاهد و تنش (جدول S1) نشان داد که اثر اپیستازی در شرایط نرمال برای صفات طول ساقه، طول ریشه، چگالی ریشه، نسبت وزن خشک ریشه به ساقه، میزان سدیم، پتاسیم و نسبت سدیم به پتاسیم معنی‌دار نبود. در شرایط تنش عدم معنی‌داری به پنج صفت طول ساقه، طول ریشه، تراکم ریشه، نسبت وزن خشک ریشه به ساقه و میزان پتاسیم برگ محدود شد. نتایج آزمون تفاوت شیب خط رگرسیون Wt/Vr نیز این نتایج را تایید کرد. نتایج نشان دهنده تاثیر شدید اثرات اپیستاتیک در وراثت اکثر صفات مورد اندازه‌گیری بود. البته به نظر می‌رسد که این اثرات در شرایط تنش تقویت شد. به صورتی که تعداد

کنترل این صفات است و می‌تواند در تولید هیبریدهای متحمل مورد توجه قرار گیرد.

جدول ۲. برآورد پارامترهای ژنتیکی صفات مورد بررسی گوجه فرنگی در شرایط شاهد و تنش.

Table 2. Estimation of genetic parameters for traits of tomato genotypes under control and salinity stress.

	شاهد Control					تنش Stress				
	طول ساقه Shoot length	طول ریشه Root length	ریشه/ طول ساقه Root weight/shoot dry weight	طول تراکم dry Root Density	محتوای پتاسیم Potassium content	طول ساقه Shoot length	طول ریشه Root length	طول ریشه/ طول ساقه Root dry weight/shoot dry weight	تراکم ریشه Root Density	محتوای پتاسیم Potassium content
D	45.86	41.40	0.001	0.0001	6.67	36.16	54.10	0.006	0.001	1.12
H1	153.72	86.43	0.006	0.001	13.91	102.94	104.34	0.034	0.003	4.94
H2	136.07	76.14	0.012	0.001	7.10	65.15	91.2	0.036	0.003	5.11
F	46.00	1.77	-0.007	-0.0002	11.60	60.84	55.08	-0.001	0.001	0.28
\bar{a}	1.83	1.44	2.724	2.215	1.44	1.69	1.39	2.319	1.838	2.10
$\bar{p}\bar{q}$	0.22	0.22	0.463	0.347	0.13	0.16	0.22	0.261	0.250	0.26
Dominant/ recessive	1.75	1.03	-0.175	0.346	4.02	2.99	2.16	0.961	1.396	1.13
h_b^2	0.71	0.63	0.587	0.802	0.79	0.64	0.48	0.914	0.808	0.88
h_n^2	0.14	0.36	0.154	0.216	0.27	0.18	0.10	0.212	0.154	0.18

D: واریانس افزایشی، H1: واریانس غالبیت، H2: واریانس غیر افزایشی، F: میانگین کوواریانس افزایشی و غالبیت، \bar{a} : درجه غالبیت، $\bar{p}\bar{q}$: نسبت ژن‌های دارای اثر مثبت و منفی، Dominant/ recessive: نسبت آل‌های غالب، h_b^2 : وراثت‌پذیری عمومی، h_n^2 : وراثت‌پذیری خصوصی. D: additive variance, H1: dominance variance, H2: nonadditive variance, F: product of additive by dominants, \bar{a} : average degree of dominance, $\bar{p}\bar{q}$: proportion of positive and negative genes, Dominant/ recessive: proportion of dominant genes, h_b^2 : heritability in broad sense, h_n^2 : heritability in narrow sense

این صفات بود که با نتایج جدول ۳ کاملاً مطابق است. همان‌طور که شکل ۱ نشان داد در مورد سه صفت طول ساقه، نسبت وزن خشک ریشه به ساقه و میزان پتاسیم برگ اکثر والد‌ها در قسمت پایین خط رگرسیون قرار گرفتند که بیان‌کننده حضور آل‌های غالب در این والد‌ها است. برای صفات طول و تراکم ریشه در شرایط تنش، والد‌های بیشتری در قسمت بالای خط رگرسیون قرار گرفتند که نشان می‌دهد این والد‌ها آل‌های مغلوب را برای این صفات حمل می‌کنند. شکل ۲ مجموع W_r+V_r در محور عمودی و میانگین ارزش صفات والد‌ها در محور افقی را نشان می‌دهد. مقادیر برای هر دو محور به صورت استاندارد شده بودند. والد‌های چارک اول و دوم حامل آل‌های مغلوب و والد‌های چارک سوم و چهارم حامل آل‌های غالب بودند.

همان‌طور که مشاهده شد در کنار نقش فوق‌غالبیت در وراثت پنج صفت یاد شده، سایر صفات تحت کنترل اثرات اپیستازی بودند. این وضعیت بیان‌کننده کنترل ریخته‌ارثی گیاه توسط اثرات غیرافزایشی است. از این رو گزینش برای این تحمل به شوری باید در نسل‌های آخر خودگشنی انجام شود تا منجر به تولید لاین‌های متحمل گردد. همچنین برای استفاده از پتانسیل ژنتیکی غیرافزایشی در به‌نژادی گوجه فرنگی برای تنش شوری می‌توان از ارقام هیبرید استفاده کرد.

تجزیه گرافیکی هیمن در شکل ۱ برای پنج صفت طول ساقه، طول ریشه، تراکم ریشه، نسبت وزن خشک ریشه به ساقه و میزان پتاسیم برگ در شرایط تنش شوری انجام گرفت. عرض از مبدا منفی در شرایط تنش برای تمام صفات نشان‌دهنده اثر فوق‌غالبیت در کنترل

نسبت سدیم به پتاسیم اندام هوایی در شرایط تنش به ژنوتیپ ۲ اختصاص یافت و ژنوتیپ ۳ در مکان دوم قرار گرفت. بیشترین میزان GCA برای پتاسیم برگ به ژنوتیپ ۵ تعلق داشت. نتایج به خوبی پراکندگی ژنوتیپ‌ها را از نظر مقدار GCA برای صفات مختلف نشان داد. به نحوی که بیشترین ترکیب پذیری برای صفات مختلف به ژنوتیپ‌های متفاوتی تعلق گرفت. از این رو یافتن ژنوتیپی که از نظر تمام ویژگی‌های تحمل به تنش شوری دارای ترکیب پذیری مناسب باشد دشوار به نظر می‌رسد.

نتیجه گیری کلی

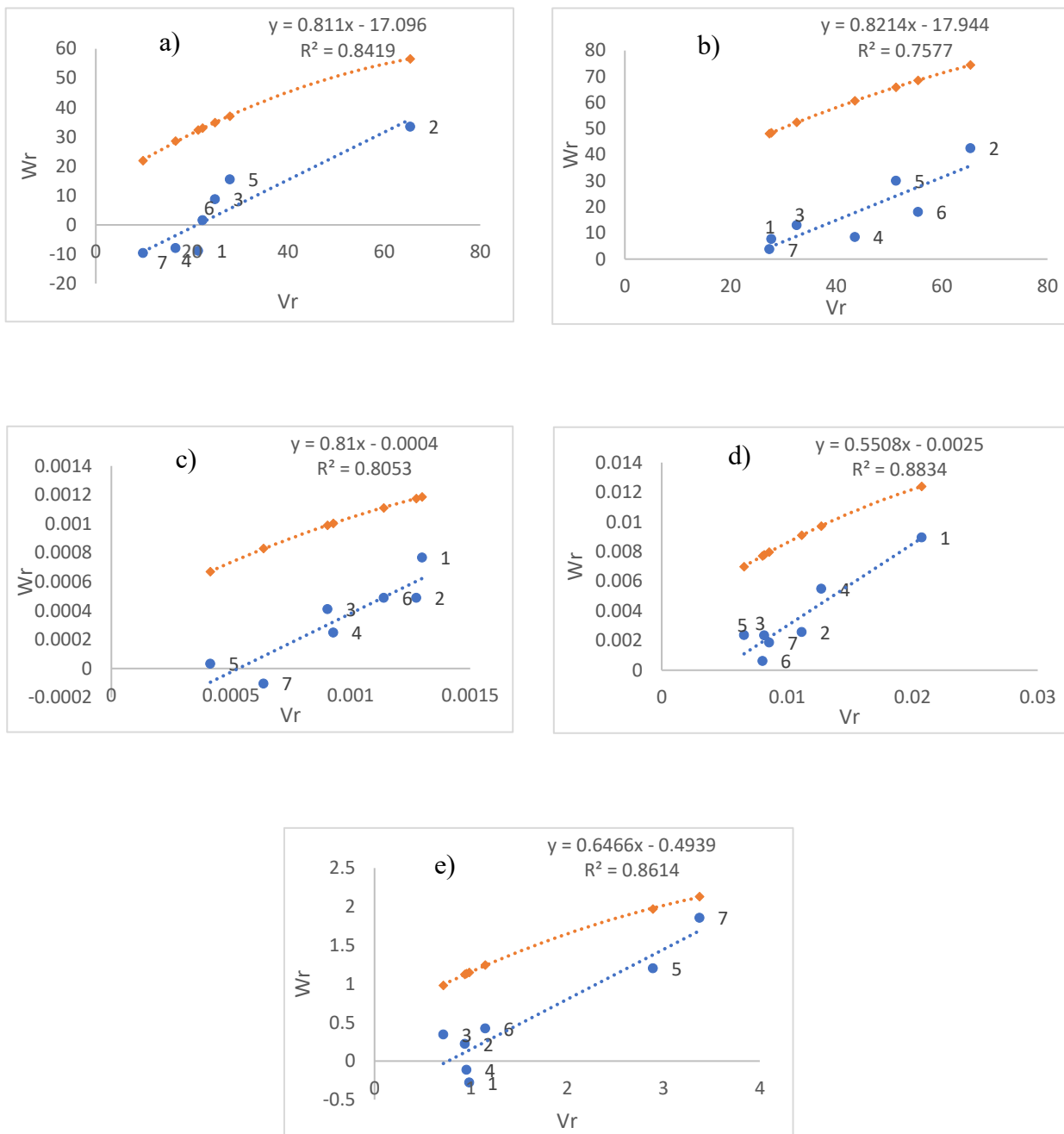
اثر تنش شوری، اثر ژنوتیپ و ژنوتیپ^x شوری روی اکثر صفات مورفولوژیک و بیوشیمیایی ژنوتیپ‌های مورد بررسی معنی‌دار بود که نشان دهنده وجود تنوع ژنتیکی میان لاین‌های مورد مطالعه بود. تجزیه دی‌آلل هیمن نشان داد که اثرات اپیستازی برای تمام صفات به جز پنج صفت طول ساقه، طول ریشه، تراکم ریشه، صفت نسبت وزن خشک ریشه به ساقه و میزان پتاسیم معنی‌دار بود. برای پنج صفت یاده شده درجه غالبیت بالای یک نشان دهنده اثرات غیرافزایشی در وراثت این صفات بود. با توجه به وراثت پذیری عمومی بالا و وجود اثرات غیرافزایشی به نظر می‌رسد که گزینش لاین‌های متحمل باید در انتهای نسل‌های تفرق و عمدتاً روی لاین‌های خالص صورت پذیرد تا بیشترین بازدهی را داشته باشد. همچنین بررسی نتایج روش گرافیکی هیمن و ترکیب پذیری عمومی لاین‌های والدی نشان داد که می‌توان از لاین‌های ۲، ۵ و ۷ به عنوان لاین‌های امید بخش برای تحمل به شوری در مطالعات تکمیلی استفاده نمود.

سپاسگزاری

نویسندگان از کارشناسان محترم آزمایشگاه به‌نژادی مولکولی دانشکده کشاورزی دانشگاه شهید باهنر کرمان به خاطر مساعدت و همکاری در اجرای این پژوهش صمیمانه سپاسگزاری می‌نمایند.

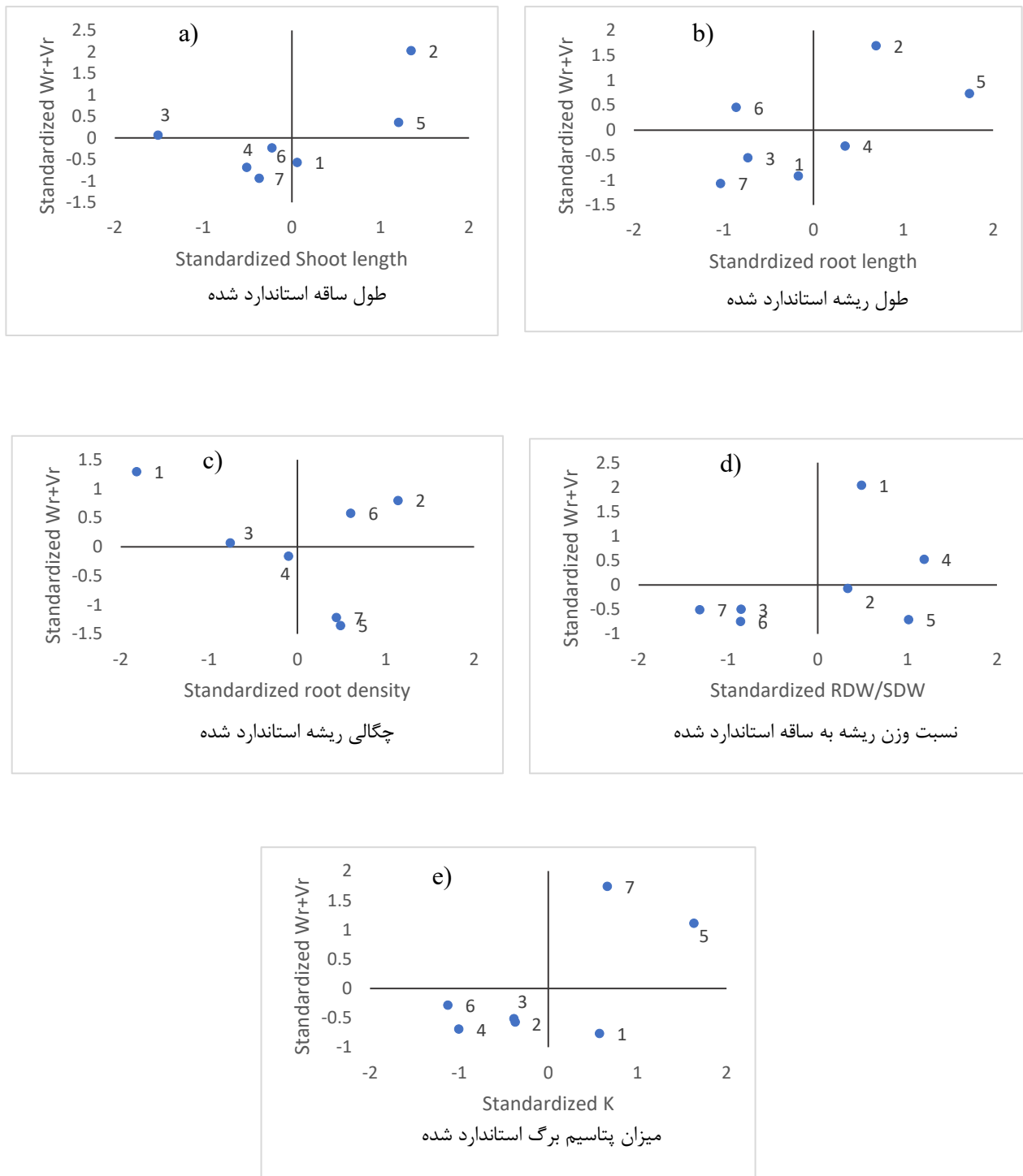
همچنین ژنوتیپ‌هایی که از نظر صفت مورد بررسی مقادیر بیشتر از میانگین را به خود اختصاص دادند در چارک اول و سوم قرار گرفتند. در شرایط تنش شوری والد ۵ برای هر پنج صفت مورد بررسی در نیمه مثبت محور افقی قرار گرفت که نشان دهنده وجود آلل‌های افزایشنده در این ژنوتیپ است. والد ۲ نیز در تمام صفات به جز میزان پتاسیم برگ در نیمه مثبت محور افقی قرار گرفت. ژنوتیپ ۵ جزو ژنوتیپ‌های برتر برای طول ساقه و نسبت وزن خشک ریشه به ساقه بود. همچنین ژنوتیپ ۵ بیشترین ترکیب پذیری عمومی را برای این صفات نشان داد. وزن خشک ریشه و پتاسیم برگ از مهم‌ترین صفات برای شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل است (Maggio *et al.*, 2007). پتاسیم برگ یکی از عوامل اصلی در تنظیم حرکات روزنه‌ها، جذب و تبخیر آب در شرایط تنش شوری است (Loudari *et al.*, 2020) و به عنوان یک ماکرو المنت نقش مهمی در فعال سازی آنزیم‌ها، تنظیم اسمزی و فشار تورژنسانس دارد (Barragán *et al.*, 2012). بالاترین میزان پتاسیم و بیشترین GCA برای این صفت به ژنوتیپ ۵ تعلق داشت. بیشترین GCA میزان سدیم برگ نیز به ژنوتیپ ۵ تعلق داشت. یک از مهم‌ترین راه‌کارهای اجتناب از سمیت Na^+ در گیاهان انتقال سدیم به فضای آپوپلاستی است. این عمل علاوه بر تسهیل جذب آب از طریق منفی کردن پتانسیل اسمزی برگ‌ها باعث حفاظت اندام فتوسنتز کننده از سمیت Na^+ می‌شود (Almeida *et al.*, 2017).

محاسبات مرتبط با ترکیب پذیری عمومی در شرایط شاهد و تنش برای صفات شاخساره، ریشه و بیوشیمیایی (جدول ۳) نشان داد که ژنوتیپ ۷ برای تمام صفات شاخساره و وزن خشک ریشه بالاترین میزان GCA را به خود اختصاص داد. ژنوتیپ ۵ نیز در صفت طول ریشه در هر دو تیمار شاهد و تنش بیشترین میزان GCA را نشان داد. محاسبه GCA برای صفات بیوشیمیایی نشان داد که ژنوتیپ ۳ بیشترین مقادیر ترکیب پذیری کلروفیل کل، a و b را در شرایط تنش به خود اختصاص داد. کمترین مقدار ترکیب پذیری برای میزان سدیم و



شکل ۱. رگرسیون Wr/Vr برای صفات مورد مطالعه و موقعیت ژنوتیپ‌های والدینی از لحاظ توزیع درجه غالبیت ژن‌ها در شرایط تنش شوری. . a) طول ساقه b) طول ریشه c) چگالی ریشه d) نسبت وزن ریشه به ساقه و e) میزان پتاسیم برگ

Fig 1. Regression of Wr/Vr for different traits and performance of parental lines for gene distribution and degree of dominance under salinity condition. . a) Shoot length b) Root length c) Root density d) RDW/SDW and e) Leaf potassium content



شکل ۲. موقعیت ژنوتیپ‌های والدینی از لحاظ توزیع ژن‌ها و میانگین صفات مورد مطالعه در شرایط تنش شوری. (a) طول ساقه استاندارد شده (b) طول ریشه استاندارد شده (c) چگالی ریشه استاندارد شده (d) نسبت وزن ریشه به ساقه استاندارد شده (e) میزان پتاسیم برگ استاندارد شده

Fig 2. Performance of parental lines for gene distribution and traits means under salinity condition. a) Standardized shoot length b) Standardized root length c) Standardized root density d) Standardized RDW/SDW and e) Standardized leaf potassium content

جدول ۳. مقدار ترکیب پذیری عمومی صفات شاخساره، ریشه و بیوشیمیایی گوجه فرنگی در دو سطح شاهد و تنش شوری.

Table 3. GCA effects of inbred parents of tomato for shoot, root and biochemical traits in control and stress conditions.

والد Parent	وزن خشک شاخساره Shoot dry weight (g)		طول ساقه shoot length (cm)		وزن خشک ریشه Root dry weight (g)		طول ریشه Root length (cm)		چگالی ریشه Root density (g/cm ³)		وزن خشک شاخساره / وزن خشک ریشه Root dry weight/ Shoot dry weight	
	شاهد	تنش	شاهد	تنش	شاهد	تنش	شاهد	تنش	شاهد	تنش	شاهد	تنش
	Control	Stress	Control	Stress	Control	Stress	Control	Stress	Control	Stress	Control	Stress
1	-0.44	-0.08	-4.77	-2.78	-0.07	-0.02	-5.33	0.19	0.002	-0.017	-0.01	-0.01
2	-0.42	-0.09	0.64	1.22	-0.01	-0.04	1.33	-0.97	0.000	0.008	0.02	-0.01
3	-0.14	-0.03	-0.17	-0.25	-0.08	-0.05	-0.20	-0.34	-0.007	-0.009	-0.02	-0.06
4	0.07	-0.23	0.42	-1.63	0.06	0.01	1.67	-0.63	-0.005	0.005	0.03	0.08
5	0.18	0.15	1.54	1.63	0.04	0.03	4.42	5.22	-0.007	-0.008	0.03	0.03
6	-0.02	0.02	-1.96	-0.06	-0.04	0.00	-1.89	-2.22	0.007	0.012	-0.03	0.00
7	0.76	0.26	4.29	1.88	0.11	0.07	-0.01	-1.25	0.010	0.008	-0.03	-0.03

ادامه جدول ۳.

Continued Table 3

والد Parent	کلروفیل A Chlorophyl A ($\mu\text{g/g}$)		کلروفیل B Chlorophyl B ($\mu\text{g/g}$)		کلروفیل کل Total Chlorophyl ($\mu\text{g/g}$)		محتوای سدیم Sodium content (meq/kg)		محتوای پتاسیم Potassium content (meq/kg)		سدیم/پتاسیم Sodium/ Potassium	
	شاهد	تنش	شاهد	تنش	شاهد	تنش	شاهد	تنش	شاهد	تنش	شاهد	تنش
	Control	Stress	Control	Stress	Control	Stress	Control	Stress	Control	Stress	Control	Stress
1	0.58	1.12	-0.63	0.26	-0.06	1.38	-0.27	0.37	-0.28	0.43	-0.05	-0.01
2	-0.18	-0.51	1.29	-0.35	1.10	-0.86	0.24	-1.32	-0.27	-0.27	0.08	-0.26
3	0.15	2.73	-0.15	1.73	-0.01	4.46	0.18	-0.30	0.67	-0.07	0.02	-0.09
4	-1.68	-0.86	-1.55	-0.72	-3.23	-1.58	0.25	0.10	-0.23	-0.41	0.09	0.15
5	-0.82	-1.53	-0.77	-0.82	-1.59	-2.35	-0.24	0.47	0.18	0.82	-0.05	0.04
6	0.97	1.29	1.88	1.03	2.85	2.32	0.28	0.44	-0.26	-0.61	0.05	0.18
7	0.99	-2.24	-0.07	-1.13	0.92	-3.38	-0.45	0.25	0.19	0.11	-0.13	0.00

References

- Aazami, M. A., Rasouli, F., & Panahi Tajaragh, R. (2021). Influence of salinity stress on morphological, nutritional and physiological attributes in different cultivars of *Prunus amygdalus* L. *Journal of Plant Nutrition*, 44(12), 1758-1769. <https://doi.org/10.1080/01904167.2021.1881549>
- Ali, A. A. M., Romdhane, W. B., Tarroum, M., Al-Dakhil, M., Al-Doss, A., Alsadon, A. A., & Hassairi, A. (2021). Analysis of salinity tolerance in tomato introgression lines based on morpho-physiological and molecular traits. *Plants*, 10(12), 2594-2614. <https://doi.org/10.3390/plants10122594>
- Almeida, D. M., Oliveira, M. M., & Saibo, N. J. (2017). Regulation of Na⁺ and K⁺ homeostasis in plants: towards improved salt stress tolerance in crop plants. *Genetics and molecular biology*, 40, 326-345. <https://doi.org/10.1590/1678-4685-gmb-2016-0106>
- Barragán, V., Leidi, E. O., Andrés, Z., Rubio, L., De Luca, A., Fernández, J. A., Cubero, B., & Pardo, J. M. (2012). Ion exchangers NHX1 and NHX2 mediate active potassium uptake into vacuoles to regulate cell turgor and stomatal function in Arabidopsis. *The Plant Cell*, 24(3), 1127-1142. <https://doi.org/10.3410/f.14263011.789952911>
- Farid, M., Anshori, M. F., Ridwan, J., Dungga, N. E., & Ermiyanti, I. (2022). Half diallel of F1 tomato hybrid and its double cross-compatibility. *Biodiversitas Journal of Biological Diversity*, 23(4), 1813-1821. <https://doi.org/10.13057/biodiv/d230413>
- Foolad, M. R. (1997). Genetic basis of physiological traits related to salt tolerance in tomato, *Lycopersicon esculentum* Mill. *Plant Breeding*, 116(1), 53-58. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0523.1997.tb00974.x>
- Foolad, M. R. (2007). Genome mapping and molecular breeding of tomato. *International journal of plant genomics*, 2007, 1-52. <https://doi.org/10.1155/2007/64358>
- Hamada, A., & El-Enany, A. (1994). Effect of NaCl salinity on growth, pigment and mineral element contents, and gas exchange of broad bean and pea plants. *Biologia Plantarum*, 36(1), 75-81. <https://doi.org/10.1007/bf02921273>
- Hasanuzzaman, M., Nahar, K., Alam, M., Bhowmik, P. C., Hossain, M., Rahman, M. M., Prasad, M. N. V., Ozturk, M & Fujita, M. (2014). Potential use of halophytes to remediate saline soils. *BioMed research international*, 2014, 1-12. <https://doi.org/10.1155/2014/589341>
- Hurtado, A. C., Chiconato, D. A., de Mello Prado, R., Junior, G. d. S. S., Gratao, P. L., Felisberto, G., Viciado, D. O., & Dos Santos, D. M. M. (2020). Different methods of silicon application attenuate salt stress in sorghum and sunflower by modifying the antioxidative defense mechanism. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 203, 110964-110984. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2020.110964>
- Kaushik, P., & Dhaliwal, M. S. (2018). Diallel analysis for morphological and biochemical traits in tomato cultivated under the influence of tomato leaf curl virus. *Agronomy*, 8(8), 153-168. <https://doi.org/10.1101/371013>
- Lichtenthaler, H. K., & Babani, F. (2000). Detection of photosynthetic activity and water stress by imaging the red chlorophyll fluorescence. *Plant Physiology and Biochemistry*, 38(11), 889-895. [https://doi.org/10.1016/s0981-9428\(00\)01199-2](https://doi.org/10.1016/s0981-9428(00)01199-2)
- Loudari, A., Benadis, C., Naciri, R., Soulaïmani, A., Zeroual, Y., Gharous, M. E., Kalaji, H. M., & Oukarroum, A. (2020). Salt stress affects mineral

- nutrition in shoots and roots and chlorophyll a fluorescence of tomato plants grown in hydroponic culture. *Journal of Plant Interactions*, 15(1), 398-405. <https://doi.org/10.1080/17429145.2020.1841842>
- Maggio, A., Raimondi, G., Martino, A., & De Pascale, S. (2007). Salt stress response in tomato beyond the salinity tolerance threshold. *Environmental and Experimental Botany*, 59(3), 276-282. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2006.02.002>
- Raziq, A., Wang, Y., Mohi Ud Din, A., Sun, J., Shu, S., & Guo, S. (2022). A Comprehensive Evaluation of Salt Tolerance in Tomato (Var. Ailsa Craig): Responses of Physiological and Transcriptional Changes in RBOH's and ABA Biosynthesis and Signalling Genes. *International Journal of Molecular Sciences*, 23(3), 1603-1627. <https://doi.org/10.3390/ijms23031603>
- Rivero, R. M., Mestre, T. C., Mittler, R., Rubio, F., Garcia-Sanchez, F., & Martinez, V. (2014). The combined effect of salinity and heat reveals a specific physiological, biochemical and molecular response in tomato plants. *Plant, cell & environment*, 37(5), 1059-1073. <https://doi.org/10.1111/pce.12199>
- Shattuck, V., Christie, B., & Corso, C. (1993). Principles for Griffing's combining ability analysis. *Genetica*, 90(1), 73-77. <https://doi.org/10.1007/bf01435180>
- Singh, J., Sastry, E., & Singh, V. (2012). Effect of salinity on tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) during seed germination stage. *Physiology and Molecular Biology of Plants*, 18(1), 45-50. <https://doi.org/10.1007/s12298-011-0097-z>
- Tahjib-Ul-Arif, M., Siddiqui, M., Sohag, A. A. M., Sakil, M., Rahman, M., Polash, M. A. S., Mostofa, M. G., & Tran, L.-S. P. (2018). Salicylic acid-mediated enhancement of photosynthesis attributes and antioxidant capacity contributes to yield improvement of maize plants under salt stress. *Journal of plant growth regulation*, 37(4), 1318-1330. <https://doi.org/10.1007/s00344-018-9867-y>
- Zahedi, S. M., Abdelrahman, M., Hosseini, M. S., Hoveizeh, N. F., & Tran, L.-S. P. (2019). Alleviation of the effect of salinity on growth and yield of strawberry by foliar spray of selenium-nanoparticles. *Environmental Pollution*, 253, 246-258. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.04.078>
- Zhai, Y., Yang, Q., & Hou, M. (2015). The Effects of saline water drip irrigation on tomato yield, quality, and blossom-end rot incidence-A 3a Case Study in the South of China. *PloS one*, 10(11), e0142204. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0142204>
- Zhang, P., Senge, M., & Dai, Y. (2017). Effects of salinity stress at different growth stages on tomato growth, yield, and water-use efficiency. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 48(6), 624-634. <https://doi.org/10.1080/00103624.2016.1269803>