



به زراعی کشاورزی

دوره ۲۰ ■ شماره ۲ ■ تابستان ۱۳۹۷

صفحه‌های ۳۷۱-۳۸۸

اثر تنش شوری بر رقم‌های بادام 'شاهرود ۱۲'، 'تونو' و ژنوتیپ '۱-۱۶' پیوندشده روی پایه

GF₆₇₇: II صفات بیوشیمیایی

علی مومن‌پور^{۱*}، داود بخشی^۲، علی ایمانی^۳

۱. استادیار مرکز ملی تحقیقات شوری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، یزد، ایران.

۲. دانشیار گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه گیلان، رشت، ایران.

۳. دانشیار پژوهشکده میوه‌های معتدله و سردسیری، مؤسسه تحقیقات علوم باغبانی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.

تاریخ وصول مقاله: ۱۳۹۶/۰۳/۲۶

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۶/۰۶/۰۴

چکیده

به منظور ارزیابی اثر تنش شوری بر تغییرات بیوشیمیایی تعدادی از ژنوتیپ‌های بادام، آزمایشی به صورت فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی با دو عامل ژنوتیپ در ۴ سطح ('شاهرود ۱۲'، 'تونو' و ژنوتیپ '۱-۱۶' پیوندشده روی پایه GF₆₇₇ و پایه GF₆₇₇ (بدون پیوند)) و شوری آب آبیاری در پنج سطح (غلظت‌های صفر، ۱/۲، ۲/۴، ۳/۶ و ۴/۸ گرم در لیتر نمک طبیعی به ترتیب با هدایت الکتریکی ۰/۵، ۲/۵، ۴/۹، ۷/۳ و ۹/۸ دسی‌زیمنس بر متر)، انجام شد. پس از پایان اعمال تیمارها، صفات بیوشیمیایی از قبیل فنل کل، ظرفیت آنتی‌اکسیدانی، قندهای محلول و نامحلول، پرولین، پروتئین‌های محلول کل، فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، گایاکول پراکسیداز و آسکوربات پراکسیداز، پراکسید هیدروژن، مالون‌دی‌آلدهید و سایر آلدهیدها اندازه‌گیری شدند. نتایج حاصل از این آزمایش نشان داد، محتوای پراکسید هیدروژن، مالون‌دی‌آلدهید و سایر آلدهیدها، با افزایش غلظت نمک تا سطح شوری ۴/۸ گرم در لیتر در ژنوتیپ‌های مطالعه‌شده، افزایش یافتند. همچنین، محتوای فنل کل، ظرفیت آنتی‌اکسیدانی، قندهای محلول، پرولین، پروتئین محلول کل، فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، گایاکول پراکسیداز و آسکوربات پراکسیداز در ژنوتیپ‌های مطالعه‌شده، ابتدا با افزایش غلظت نمک، افزایش و سپس با افزایش بیشتر سطح شوری، مقدار آن‌ها کاهش یافت. در مجموع، بیشترین محتوای پروتئین محلول کل، فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، گایاکول پراکسیداز و آسکوربات پراکسیداز در سطح شوری ۳/۶ گرم در لیتر و بیشترین محتوای فنل کل، ظرفیت آنتی‌اکسیدانی، قندهای محلول و پرولین در سطح شوری ۴/۸ گرم در لیتر و کمترین محتوای پراکسید هیدروژن، مالون‌دی‌آلدهید، سایر آلدهیدها و قندهای نامحلول در دو سطوح شوری ۳/۶ و ۴/۸ گرم در لیتر در رقم 'شاهرود ۱۲'، مشاهده شد. در مجموع، از میان ارقام و ژنوتیپ‌های مورد مطالعه، رقم 'شاهرود ۱۲'، پیوندشده روی پایه GF₆₇₇ به عنوان متحمل‌ترین رقم به شوری تشخیص داده شد.

کلیدواژه‌ها: پراکسید هیدروژن، پرولین، فعالیت آنزیمی، فنل کل، قندهای محلول.

۱. مقدمه

شوری یکی از تنش‌های غیرزنده است که رشد و تولید محصولات کشاورزی را به شدت محدود می‌کند [۵]. بیابان‌های شور حدود هفت میلیون کیلومترمربع وسعت دارند [۲]. آسیا دارای بیشترین مساحت اراضی شور می‌باشد. در برخی از کشورها نظیر ایران، پاکستان و هندوستان نسبت بیشتری از اراضی تحت شوری قرار دارند. حدود ۱۲ درصد از کل مساحت کشور ایران (۱۹ میلیون هکتار) به صورت کشت و آیش و به منظور تولیدات کشاورزی استفاده می‌شود و گفته می‌شود که نزدیک به ۵۰ درصد این سطح زیرکشت به درجه‌های مختلف با مشکل شوری، قلیایی بودن و غرقابی بودن روبرو می‌باشد [۱۰]. افزایش شوری آب آبیاری تأثیر منفی بر ویژگی‌های رشدی گیاهان مختلف دارد و منجر به شور شدن زمین‌های قابل کشت در آینده خواهد شد که این موضوع تهدید بزرگی برای تولید محصولات کشاورزی محسوب می‌شود [۲۷ و ۳۰]. تلاش‌های زیادی در جهت مقابله با شوری انجام گرفته است که از جمله مهم‌ترین آن‌ها می‌توان به توسعه پایه‌ها و ارقام مقاوم به شوری، اشاره کرد. تحقیقات متعددی نشان داده‌اند که آستانه تحمل اکثر درختان میوه هسته‌دار از جمله بادام نسبت به تنش شوری پایین است، به طوری که تا هدایت الکتریکی ۱/۵ دسی‌زیمنس بر متر کاهشی در عملکرد آن‌ها مشاهده نمی‌شود، در حالی که در شوری ۲/۸ دسی‌زیمنس بر متر، به میزان ۲۵ درصد و ۴/۱ دسی‌زیمنس بر متر به میزان ۵۰ درصد و سرانجام در ۷ دسی‌زیمنس بر متر تا میزان ۱۰۰ درصد از عملکرد آن کاسته می‌شود [۲۱ و ۲۶]. بنابراین، در بادام نیز همانند سایر درختان میوه، انتخاب پایه و پیوندک‌های متحمل، راهبرد بسیار مناسبی به منظور کاهش عوارض ناشی از شوری به‌ویژه در نواحی خشک کشور می‌باشد. مشخص شده است که پایه GF₆₇₇ متحمل به شوری می‌باشد درحالی که پایه نماگارد [P. persica X P. davidiana]، حساسیت بالایی به شوری

دارد [۲۸]. تحمل پایه GF₆₇₇ نیز نسبت به سطوح مختلف شوری حاصل از نمک طبیعی مورد بررسی قرار گرفته و نشان داده شده است که این پایه نسبت به شوری، تا ۲/۴ گرم بر لیتر (۴/۹ دسی‌زیمنس بر متر) متحمل است [۷، ۸ و ۹]. همچنین، گزارش شده است که پایه GF₆₇₇ از طریق مکانیسم تدافعی ایجاد محدودیت در جذب و یا انتقال سدیم، به قسمت‌های هوایی و نیز حفظ سطح مناسبی از پتاسیم، می‌تواند شوری تا ۵۰ میلی‌مولار (۵/۲ دسی‌زیمنس بر متر) را تحمل کند [۱]. بنابراین، با توجه به گزارش‌های موجود، از این پایه می‌توان به عنوان یک پایه متحمل به شوری برای مناطقی با شوری متوسط (در حدود ۵ دسی‌زیمنی بر متر) استفاده نمود. پژوهش‌های انجام‌یافته، نشان می‌دهد شاخص‌های بیوشیمیایی بادام از جمله محتوای پروتئین، محتوای قندهای محلول و نامحلول، محتوای فنل و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی و میزان فعالیت آنزیم‌هایی مانند کاتالاز، گایاکول پراکسیداز، آسکوربات پراکسیداز و سوپراکسید دیسموتاز، تحت شرایط تنش شوری تغییر می‌کنند. تنش شوری، هومئوستازی پتانسیل آب و توزیع یون را هم در سطح سلول و هم در سطح کل گیاه برهم می‌زند و موجب تنش اسمزی می‌شود. این کمبود آب موجب ایجاد گونه‌های اکسیژن واکنش‌پذیر^۱ مانند سوپراکسید هیدروژن، رادیکال هیدروکسید و اکسیژن می‌شود. این اکسیژن‌های فعال‌شده سیتوزولی، موجب اختلال در متابولیسم از طریق خسارت اکسیداتیو بر لیپیدها، پروتئین‌ها و اسیدهای نوکلئیک می‌شود و فعالیت آنزیم‌های اکسیدانت مانند کاتالاز، پراکسیداز، آسکوربات و گلوتامین ردوکتاز را تحت تنش افزایش می‌دهد [۳۳]. تحمل به شوری، به یک سیستم آنتی‌اکسیدانی کارآمد بستگی دارد و در ارقام متحمل‌تر و در سطوح بالای شوری، میزان فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان بیشتر است

1. Reactive oxygen species

[۲۰]. گزارشی از بررسی تأثیر سطوح مختلف شوری بر تغییرات آنزیمی در ۴۷ ژنوتیپ بادام نشان داده است که به موازات انباشت یون‌های سدیم و کلر در برگ، فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان کاتالاز و آسکوربات پراکسیداز با افزایش سطوح نمک تا ۷۵ میلی‌مول روند افزایشی معنی‌داری داشت. فعالیت آنزیم پراکسیداز تا سطح شوری ۵۰ میلی‌مول افزایشی و در سطوح بالاتر، کاهش بود [۳ و ۴]. علاوه بر مکانیسم‌های دفاعی آنزیمی، گیاهان از طریق مکانیسم‌های دفاعی غیرآنزیمی مانند تنظیم اسمزی و تولید فنل‌ها نیز با اثرات مخرب تنش شوری مقابله می‌کنند. تنظیم اسمزی به‌عنوان یک سازگاری مهم اجتناب از تنش‌های اسمزی می‌باشد که به‌واسطه تجمع متابولیت‌هایی مانند مانیتول، فروکتان‌ها، تrehالوز، اونونیتول، پرولین، گلیسین بتائین و اکتوئین به حفظ فشار تورمی و حجم سلول کمک می‌کند [۲]. بیش از ۷۰ درصد ترکیبات آمینی تولیدشده در زمان تنش شوری را پرولین تشکیل می‌دهد. در واقع پرولین مهم‌ترین ترکیب آمینی تجمع یافته در گیاهان در زمان وقوع تنش شوری می‌باشد و به نظر می‌رسد تجمع سایر ترکیبات آمینی در زمان تنش شوری، اهمیت کمتری داشته باشد [۲۳].

اثر تیمار شوری بر برخی از ویژگی‌های بیوشیمیایی پایه GF677 بررسی و گزارش شده است، میزان پرولین با افزایش غلظت شوری تا ۶۰ میلی‌مولار به‌طور معنی‌داری نسبت به گیاهان شاهد افزایش یافت. افزایش بیشتر غلظت شوری تا ۷۵ میلی‌مولار، تأثیر معنی‌داری بر افزایش غلظت پرولین نداشت. همچنین، در این تحقیق گزارش شده است، میزان قندهای محلول در شرایط تنش شوری با غلظت‌های کمتر (۱۵، ۳۰ و ۴۵ میلی‌مول در لیتر) کمی کاهش یافت، ولی در تیمار شوری با غلظت‌های بالاتر (۶۰ و ۷۵ میلی‌مول در لیتر) نسبت به گیاهان شاهد مقداری افزایش نشان داد [۶].

ترکیبات فنلی جزء ترکیباتی هستند که در تمامی گیاهان وجود دارند. این ترکیبات جزء متابولیت‌های ثانویه گیاهان

هستند و در ساخت دیواره سلولی و مکانیسم‌های دفاعی غیرآنزیمی در گیاهان نقش دارند. ترکیبات فنلی در شرایط مطلوب محیطی نیز در سلول‌های گیاهی سنتز می‌شوند اما تنش‌های محیطی مختلف، مقدار آن‌ها را در سلول تغییر می‌دهند [۳۶]. به‌طوری‌که اثر تنش شوری در چهار سطح صفر، ۴۰، ۸۰ و ۱۲۰ میلی‌مولار بر تغییرات محتوای فنل در ۸ جنس مختلف بادام شامل *P. lycioides*, *Prunus reuteri*, *P. glauca*, *P. orientalis*, *P. arabica*, *P. elaeagnifolia*, *P. communis* و *P. scoparia* بررسی و گزارش شد، محتوای فنل کل در تمامی جنس‌های مطالعه‌شده با افزایش غلظت شوری تا ۱۲۰ میلی‌مولار، به‌طور معنی‌داری افزایش یافت. بیشترین محتوای فنل کل در سطح تنش شوری ۱۲۰ میلی‌مولار و در جنس‌های *Prunus reuteri*, *P. glauca* و *P. elaeagnifolia* مشاهده شد. در مجموع صفات بررسی‌شده در این تحقیق، جنس‌های *Prunus reuteri*, *P. glauca* به‌عنوان متحمل‌ترین جنس‌های بادام به شوری تشخیص داده شده بودند [۳۳].

در تحقیق اولی که روی رقم‌های بادام 'شاهرود ۱۲'، 'تونو' و ژنوتیپ '۱-۱۶' پیوندشده روی پایه GF677 تحت تنش شوری، انجام شده بود، خصوصیات رشدی و غلظت عناصر غذایی آن‌ها مورد ارزیابی قرار گرفته بود [۹]، اما با توجه به نتایج سایر محققین، یکی دیگر از راه‌های پی بردن به میزان تحمل ژنوتیپ‌های بادام نسبت به تنش شوری، بررسی ویژگی‌های بیوشیمیایی آن‌ها می‌باشد. بنابراین، این تحقیق در ادامه تحقیق اول و با هدف بررسی اثر تنش شوری بر ویژگی‌های بیوشیمیایی رقم‌های بادام 'شاهرود ۱۲'، 'تونو' و ژنوتیپ '۱-۱۶' پیوند شده روی پایه GF677 و انتخاب متحمل‌ترین ترکیب پایه و پیوندک به شوری انجام شد.

۲. مواد و روش‌ها

۱.۲. تهیه مواد گیاهی و شرایط آزمایش

در این تحقیق، اثر تنش شوری بر ویژگی‌های بیوشیمیایی

۷/۳ و ۹/۸ دسی‌زیمنس بر متر داشتند)، بودند. به‌منظور آماده‌سازی گیاهان، پایه‌های رویشی GF₆₇₇ در اواخر اسفندماه در داخل گلدان‌های ۲۵ کیلویی حاوی خاکی با بافت لومی بازکشت شدند (جدول ۲). سپس ژنوتیپ‌های مورد با استفاده از پیوند شکمی^۱ در ابتدای خردادماه روی آن‌ها پیوند شدند و پس از رشد کافی پیوندک‌ها (دو ماه پس از عمل پیوند)، اعمال تیمارهای شوری آغاز شد و به‌مدت سه ماه (۱۳ هفته)، ادامه یافت (مشخصات ژنوتیپ‌های مطالعه‌شده در آغاز تیمار شوری در جدول ۳ آمده است).

تعدادی از ژنوتیپ‌های بادام در قالب یک آزمایش فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی با دو فاکتور ژنوتیپ در ۴ سطح و شوری آب آبیاری در پنج سطح و با سه تکرار در سال ۱۳۹۲ در گلخانه تحقیقاتی مؤسسه نهال و بذر کرج انجام شد. ژنوتیپ‌های مورد مطالعه شامل 'شاه‌رود ۱۲'، 'تونو' و ژنوتیپ '۱-۱۶' پیوندشده روی پایه GF₆₇₇ و پایه GF₆₇₇ (بدون پیوند)، (جدول ۱)، و شوری آب آبیاری شامل غلظت‌های صفر، ۱/۲، ۲/۴، ۳/۶ و ۴/۸ گرم در لیتر نمک طبیعی (که به‌ترتیب هدایت الکتریکی برابر ۰/۵، ۲/۵، ۴/۹،

جدول ۱. ویژگی‌های رشدی و وضعیت کمی و کیفی میوه در ژنوتیپ‌های مطالعه شده

ژنوتیپ	منشاء	زمان گلدهی	تیپ باردهی	ارقام مناسب گرده‌دهنده	نوع سازگاری	زمان رسیدن میوه
شاه‌رود ۱۲	ناشناخته	دیرگل تا خیلی دیرگل	مخلوط (شاخه یک‌ساله + اسپور)	سهند، شکوفه	خودناسازگار	میان‌رس
تونو	ایتالیا	میان‌گل تا دیرگل	اسپور	تونو	خودسازگار	میان‌رس
۱-۱۶	ایران	دیرگل تا خیلی دیرگل	اسپور	سهند، شاه‌رود ۲۱	خودناسازگار	میان‌رس
GF ₆₇₇	فرانسه	دیرگل تا خیلی دیرگل	مخلوط (شاخه یک‌ساله + اسپور)	-	خودناسازگار	دیررس

ادامه جدول ۱. ویژگی‌های رشدی و وضعیت کمی و کیفی میوه در ژنوتیپ‌های مطالعه شده

ژنوتیپ	سختی درون‌بر	طعم دانه	رنگ دانه	وزن درون‌بر (گرم)	وزن دانه (گرم)	درصد مغز (%)	عملکرد دانه کیلوگرم بر هکتار	عملکرد مغز کیلوگرم بر هکتار
شاه‌رود ۱۲	نیمه‌سنگی	شیرین	روشن	۳/۹	۱/۲۸	۳۷-۳۳%	۲۹۱۰/۱۳	۹۸۹/۴۴
تونو	نیمه‌سنگی	شیرین	روشن	۳/۹۵	۱/۳	۳۵-۳۲%	۲۷۶۰	۹۳۸/۴
۱-۱۶	نیمه‌کاغذی	شیرین	روشن	۳/۲	۱/۳۵	۴۴-۴۰%	۲۲۸۸	۹۶۰/۹۶
GF ₆₇₇	خیلی سنگی	تلخ	بینابین	۳/۳	۰/۶	۱۹-۱۷%	-	-

جدول ۲. ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی مخلوط خاکی مورد استفاده

ویژگی	نماد	مقدار	ویژگی	نماد	مقدار
رطوبت اشباع (درصد)	S.P	۳۹	بافت	Texture	لوم
رطوبت ظرفیت زراعی (درصد)	FC	۲۷/۳۳	کلسیم محلول (قسمت در میلیون)	Ca	۱۲۳۰
رطوبت نقطه پژمردگی (درصد)	PWP	۱۴/۸	منیزیم (قسمت در میلیون)	Mg	۳۱۶/۲
شوری (دسی‌زیمنس بر متر)	EC	۱/۲۸	کربنات کلسیم معادل (درصد)	T.N.V	۱۳/۸
واکنش خاک	pH	۷/۵	مس (قسمت در میلیون)	Cu	۲/۱۲
نیترژن (درصد)	N	۰/۱۵	روی (قسمت در میلیون)	Zn	۴/۸۶
کربن آلی (درصد)	O.C	۱/۴۹	آهن (قسمت در میلیون)	Fe	۲۷/۳۴
فسفر قابل جذب (قسمت در میلیون)	P _{avr.}	۱۰۴/۹	پتاسیم قابل جذب (قسمت در میلیون)	K _{avr.}	۶۹۰
شن (درصد)	Sand	۴۶	منگنز قابل جذب (قسمت در میلیون)	Mn	۱۶/۲۶
سیلت (درصد)	Silt	۳۴	سدیم محلول (قسمت در میلیون)	Na	۹۳/۱۵
رس (درصد)	Clay	۲۰			

1. T or Shield budding

اثر تنش شوری بر رقم‌های بادام 'شاهرود ۱۲'، 'تونو' و ژنوتیپ '۱۶-۱' پیوند شده روی پایه GF677: II صفات بیوشیمیایی

جدول ۳. وضعیت رشدی ژنوتیپ‌های مورد مطالعه در شروع اعمال تیمار شوری

ژنوتیپ	قطر پیوندک (میلی‌متر)	قطر پایه‌های شاهد در سطح خاک (میلی‌متر)	ارتفاع پایه‌های شاهد (سانتی‌متر)	ارتفاع پیوندک	تعداد برگ	تعداد انشعابات
شاهرود ۱۲	۵/۵۰	-	-	۴۳/۱۰	۷۸/۶۹	۱/۱۵
تونو	۵/۷۸	-	-	۵۲/۳۶	۷۵/۳۳	۱
۱-۱۶	۵/۴۸	-	-	۴۰/۶۹	۹۰/۳۱	۱
GF677	-	۱۰/۲۶	۸۷/۴۱	-	۵۹/۹۳	۴/۱۳

تفاوت‌هایی که در بین ژنوتیپ‌های مورد مطالعه در هنگام آغاز تیمار شوری مشاهده می‌شود، به دلیل تفاوت در سرعت رشدی آن‌ها است و رشد آن‌ها در داخل گلخانه با شرایط کنترل‌شده، انجام شده است.

۲.۲. اعمال تیمار تنش شوری

به‌منظور اعمال تیمارهای شوری با غلظت‌های صفر، ۱/۲، ۲/۴، ۳/۶ و ۴/۸ گرم در لیتر نمک طبیعی (به‌ترتیب دارای هدایت الکتریکی برابر ۰/۵، ۲/۵، ۴/۹، ۷/۳ و ۹/۸ دسی‌زیمنس بر متر)، از نمک‌های طبیعی جمع‌آوری شده از دریاچه نمک استان قم، استفاده شد که ترکیب آن در جدول ۴ ارائه شده است. همچنین، برای اجتناب از ایجاد شوک ناگهانی و پلاسمولیز، افزودن نمک‌ها به‌صورت تدریجی انجام و در مدت یک هفته به غلظت نهایی رسانده شد. میزان رطوبت خاک گلدان‌ها در سطح ظرفیت گلدان^۱، قبل از انتقال گیاهان به گلدان، به‌کمک دستگاه صفحه فشار مدل (F1, USA) تعیین شد. آبیاری گلدان‌ها با توجه به تغییرات وزن آن‌ها و نیاز آبتی، انجام شد. به‌طوری‌که طی دوره آزمایش (۹۱ روز)، تیمارهای شاهد و ۱/۲ گرم در لیتر نمک طبیعی، ۲۰ مرتبه، تیمار ۲/۴ گرم در لیتر نمک طبیعی، ۱۹ مرتبه و تیمار ۳/۶ و ۴/۸ گرم در لیتر نمک طبیعی، ۱۷ مرتبه، اعمال شدند. تعداد دفعات کمتر آبیاری در سطوح ۳/۶ و ۴/۸ گرم در لیتر به‌دلیل کاهش سرعت رشد گیاهان و کاهش تبخیر و تعرق توسط آن‌ها از یک طرف و وجود نمک بیشتر در خاک این گلدان‌ها بود. این شرایط باعث حفظ رطوبت به‌مدت بیشتری شده و فاصله زمان بین دو آبیاری در این

تیمارها را افزایش می‌داد و در نتیجه تعداد دفعات آبیاری در تیمارهای شوری با غلظت‌های بالاتر در طول دوره آزمایش نسبت به گیاهان شاهد، کاهش یافتند. همچنین، به‌منظور اطمینان از انجام نیاز آبتی، خاک گلدان‌ها، پس از هر مرتبه آبیاری، زه‌آب تعدادی از گلدان‌ها به‌طور تصادفی جمع‌آوری و هدایت الکتریکی و pH آن‌ها اندازه‌گیری شد. در نهایت در پایان آزمایش نیز، نمونه خاک، از هر یک از سطوح اعمال تیمار شوری، تهیه و آنالیز شد (جدول ۵).

۳.۲. اندازه‌گیری صفات بیوشیمیایی

پس از اعمال کامل تیمارها و در پایان آزمایش، نمونه‌برداری از برگ‌های شاخه اصلی (برگ‌های توسعه‌یافته از گره‌های ۴ و ۵)، انجام و طبق روش‌های زیر، اندازه‌گیری صفات بیوشیمیایی انجام شد.

۴.۲. تعیین محتوای پرولین آزاد برگ

محتوای پرولین به روش بیتس و همکاران [۱۴]، اندازه‌گیری شد. میزان جذب نمونه‌ها در طول موج ۵۲۸ نانومتر توسط دستگاه اسپکتروفتومتر (Canada BT600 Plus)، اندازه‌گیری و در نهایت محتوای پرولین، از روی میزان جذب نمونه‌ها و مقایسه آن با استاندارد برحسب میکرومول در گرم نمونه تر گیاهی بیان شد.

1. Pot Capacity

جدول ۴. ویژگی‌های کیفی آب مورد استفاده

نمونه آب مورد استفاده با سطوح نمک طبیعی	شوری (دسی‌زیمنس بر متر)	واکنش آب (pH)	سدیم (میلی‌گرم در لیتر)	کلر (میلی‌گرم در لیتر)	کلسیم (میلی‌گرم در لیتر)	منیزیم (میلی‌گرم در لیتر)	بی‌کربنات (میلی‌گرم در لیتر)
شاهد	۰/۵	۷/۳	۲۲/۱	۳۵/۵	۶۲	۱۷/۱	۹۸
۱/۲ گرم در لیتر	۲/۵	۷/۴	۳۸۹	۶۶۴	۷۰	۲۰/۵۰	۱۲۶
۲/۴ گرم در لیتر	۴/۹	۷/۶	۸۰۹	۱۳۸۶	۷۹	۲۲/۰۱	۱۳۷
۳/۶ گرم در لیتر	۷/۳	۷/۷	۱۲۳۱	۲۱۱۳	۸۸	۲۳/۶	۱۴۹
۴/۸ گرم در لیتر	۹/۸	۷/۸	۱۶۵۳	۲۸۳۶	۹۹	۲۵/۷	۱۵۹

جدول ۵. مقادیر شوری و واکنش خاک مورد استفاده در گلدان‌ها پس از اعمال تنش شوری با سطوح مختلف

نمونه خاک تیمار شده با سطوح نمک طبیعی	شوری (دسی‌زیمنس بر متر)	واکنش خاک (pH)
شاهد	۱/۲	۷/۴
۱/۲ گرم در لیتر	۳/۲	۷/۵۵
۲/۴ گرم در لیتر	۵/۷	۷/۶۵
۳/۶ گرم در لیتر	۸/۳	۷/۸
۴/۸ گرم در لیتر	۱۰/۹	۷/۹

۵.۲. تعیین میزان پراکسیداسیون لیپیدها

برای سنجش مقدار پراکسیداسیون لیپیدهای غشا، غلظت مالون‌دی‌آلدهید و مجموع سایر آلدئیدها که محصولات اکسیداسیون اسیدهای چرب غیراشباع هستند، طبق روش هد و پارکر [۲۲]، اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری غلظت مالون‌دی‌آلدهید و مجموع سایر آلدئیدها جذب نمونه‌ها به‌ترتیب در طول موج‌های ۵۳۲ و ۴۵۵ نانومتر توسط دستگاه اسپکتروفتومتر (Canada BT600 Plus)، اندازه‌گیری شدند. جذب سایر رنگیزه‌های غیراختصاصی در ۶۰۰ نانومتر تعیین و از این مقادیر کسر شد. برای محاسبه غلظت مالون‌دی‌آلدهید و سایر آلدئیدها به‌ترتیب از ضریب خاموشی معادل $155 \text{ mM}^{-1}\text{cm}^{-1}$ و $10^5 \times 0.457$ استفاده شد و نتایج حاصل از اندازه‌گیری‌ها بر حسب نانومول بر گرم وزن‌تر محاسبه شد.

۶.۲. تعیین محتوای پراکسید هیدروژن

محتوای پراکسید هیدروژن طبق روش ویلوکاوا و همکاران [۳۵]، اندازه‌گیری شد. میزان جذب نمونه‌ها در طول موج ۳۹۰ نانومتر توسط دستگاه اسپکتروفتومتر (Canada BT600 Plus)، اندازه‌گیری شدند. غلظت پراکسید هیدروژن با استفاده از ضریب خاموشی معادل $1 \text{ M}^{-1}\text{cm}^{-1}$ 0.28 محاسبه و برحسب میکروگرم در گرم وزن‌تر گیاهی محاسبه شد.

۷.۲. تعیین محتوای پروتئین محلول کل

به‌منظور استخراج و اندازه‌گیری پروتئین محلول کل و آنزیم‌ها، ابتدا عصاره‌گیری از برگ‌ها طبق روش بیچامپ و فریدوویچ [۱۵]، انجام شد. ۵۰ میکرولیتر از محلول عصاره رویی حاصل برداشته شد و ۲۹۵۰ میکرولیتر از

معرف بردفورد به آن اضافه شد. سپس میزان جذب نمونه‌های عصاره و استاندارد پس از ۱۵ دقیقه در طول موج ۵۹۵ نانومتر توسط دستگاه اسپکتروفتومتر (Canada BT600 Plus)، اندازه‌گیری شدند [۱۶].

۸.۲. تعیین فعالیت آنزیم گایاکول پراکسیداز

به‌منظور تعیین میزان فعالیت آنزیم گایاکول پراکسیداز، بافر H_2O_2 به مقدار ۴۹۵ میکرولیتر و بافر گایاکول به همان مقدار در دمای پایین (ظرف حاوی یخ) با هم مخلوط شدند و به آن‌ها ۱۰ میکرولیتر عصاره آنزیمی اضافه و سپس میزان جذب در طول موج ۴۷۰ نانومتر توسط دستگاه اسپکتروفتومتر (Canada BT600 Plus)، اندازه‌گیری شد. فعالیت آنزیمی با استفاده از فرمول قانون بیر لامبرت و ضریب خاموشی گایاکول پراکسیداز $(26/6 \mu M^{-1} cm^{-1})$ ، محاسبه شد [۱۷].

۹.۲. تعیین فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز

سنجش فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز از طریق اندازه‌گیری اکسید شدن آسکوربات توسط دستگاه اسپکتروفتومتر (Canada BT600 Plus)، انجام شد. برای این منظور ۴۹۰ میکرولیتر از بافر اندازه‌گیری و ۱۰ میکرولیتر از عصاره آنزیمی تهیه شده با یکدیگر مخلوط شدند و میزان جذب آن‌ها در طول موج ۲۹۰ نانومتر برای یک دقیقه ثبت شد. در نهایت میزان فعالیت آنزیمی با ضریب خاموشی $2/8 mM^{-1} cm^{-1}$ محاسبه شد [۳۱].

۱۰.۲. تعیین فعالیت آنزیم کاتالاز

سنجش فعالیت آنزیم کاتالاز از طریق اندازه‌گیری تجزیه آب اکسیژنه توسط دستگاه اسپکتروفتومتر (Canada BT600 Plus)، انجام شد. برای این منظور ۴۹۵ میکرولیتر از بافر اندازه‌گیری و پنج میکرولیتر از عصاره آنزیمی تهیه

شده با یکدیگر مخلوط شدند و میزان جذب آن‌ها در طول موج ۲۴۰ نانومتر برای یک دقیقه ثبت شد. در نهایت فعالیت آنزیمی با ضریب خاموشی $40 \mu M^{-1} cm^{-1}$ محاسبه شد [۱۸].

۱۱.۲. تعیین محتوای فنل کل

استخراج عصاره برگ جهت اندازه‌گیری فنل کل و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی با استفاده از روش بخشی و آراکاو [۱۲] انجام شد. مقدار فنل کل در عصاره‌های برگ با روش فولین سیکالچو^۱ با کمی تغییرات که به‌وسیله سینگلتن و همکاران [۳۲]، شرح داده شده و با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر (Canada BT600 Plus) و در طول موج ۷۶۰ نانومتر اندازه‌گیری شد. میزان فنل کل از روی مقدار جذب نمونه و مقایسه آن با منحنی استاندارد، برحسب میلی‌گرم گالیک اسید در یک گرم بافت تر میوه بیان گردید.

۱۲.۲. تعیین ظرفیت آنتی‌اکسیدانی

اندازه‌گیری ظرفیت آنتی‌اکسیدانی عصاره‌ها، مطابق روش دو و همکاران [۱۹]، از طریق خاصیت خنثی‌کنندگی رادیکال آزاد DPPH (۱۰۱ دی‌فنیل-۲-پیکریل هیدرازیل) تعیین شد. سپس مقدار جذب استاندارد و نمونه با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۵۱۷ نانومتر تعیین گردید. ظرفیت آنتی‌اکسیدانی عصاره‌ها به‌صورت درصد بازدارندگی DPPH با استفاده از رابطه ۱ محاسبه شد.

$$(DPPH_{Sce}\%) = (A_{cont} - A_{samp}) / A_{cont} \times 100 \quad (1)$$

$DPPH_{Sce}\%$: درصد بازدارندگی رادیکال، A_{cont} : مقدار جذب DPPH، A_{samp} : مقدار جذب (نمونه + DPPH)

۱۳.۲. تعیین محتوای کربوهیدرات‌های محلول

سه صدم گرم از نمونه‌های خشک شده، درون تیوب‌های ۱۵ میلی‌لیتری ریخته شدند و استخراج قندهای محلول به

1. Folin-ciocalteu

(نسخه ۹/۱)، انجام و مقایسه میانگین‌ها با آزمون چنددامنه‌ای دانکن و نرم افزار MSTATC (ورژن ۱۰.۱)، صورت گرفت.

۳. نتایج و بحث

بر اساس نتایج، برهمکنش تیمار شوری و ژنوتیپ بر محتوای فنل کل، ظرفیت آنتی اکسیدانی، محتوای قندهای محلول و نامحلول در سطح یک درصد، معنی دار شد (جدول ۶). محتوای فنل کل و ظرفیت آنتی اکسیدانی در تمامی ژنوتیپ‌های مطالعه شده، با افزایش غلظت نمک، افزایش یافت. میزان افزایش در محتوای فنل کل و ظرفیت آنتی اکسیدانی در بین ژنوتیپ‌های بررسی شده با یکدیگر اختلاف معنی داری را نشان داد. محتوای فنل کل و ظرفیت آنتی اکسیدانی در ژنوتیپ '۱۶-۱'، رقم 'تونو' و پایه GF₆₇₇ تا تیمار شوری ۳/۶ گرم در لیتر به طور معنی داری نسبت به گیاهان شاهد، افزایش یافت و سپس با افزایش بیشتر غلظت شوری، محتوای فنل و ظرفیت آنتی اکسیدانی برگ آن‌ها، کاهش نشان داد. اما محتوای فنل کل و ظرفیت آنتی اکسیدانی برگ‌های رقم 'شاهرود ۱۲'، تا تیمار شوری ۴/۸ گرم در لیتر به طور معنی داری نسبت به گیاهان شاهد، افزایش یافت. با این نتیجه به نظر می‌رسد، رقم 'شاهرود ۱۲'، از طریق افزایش محتوای فنل و ظرفیت آنتی اکسیدانی در برگ‌هایش در سطوح بالای شوری به طور مؤثرتری با اثرات مخرب شوری، مقابله می‌کند (جدول ۶). نتایج این تحقیق با نتایج سرخه و همکاران [۳۳]، مطابقت داشت. این محققین نیز در آزمایشی، اثر تنش شوری در چهار سطح ۰، ۴۰، ۸۰ و ۱۲۰ میلی مولار را بر تغییرات محتوای فنل در هشت جنس مختلف بادام بررسی و گزارش کردند که محتوای فنل کل در تمامی جنس‌های مطالعه شده با افزایش غلظت شوری تا ۱۲۰ میلی مولار، به طور معنی داری افزایش یافت.

روش کوچرت [۲۴]، انجام شد. به منظور حذف رسوبات اضافی و دیگر ترکیبات زائد، مقدار پنج میلی لیتر سولفات روی پنج درصد و ۴/۷ میلی لیتر هیدروکسید باریوم ۰/۳ نرمال به تیوب‌ها اضافه و مجدداً ورتکس شدند. سپس تیوب‌ها با سرعت ۳۰۰۰ دور در دقیقه در دمای اتاق به مدت ۱۰ دقیقه سانتریفیوژ شدند. همزمان یک میلی لیتر از روشناورها و یک میلی لیتر از محلول‌های استاندارد به تیوب‌های ۱۵ میلی لیتری جدید انتقال داده شدند و به هریک از آن‌ها نیم میلی لیتر محلول فنل پنج درصد اضافه و به شدت تکان داده شدند. مقدار دو و نیم میلی لیتر اسید سولفوریک ۹۸ درصد به وسیله سرنگ (دیسپنسر)^۱ به داخل تیوب‌ها با فشار اضافه شد. پس از گذشت ۴۵ دقیقه، میزان جذب نمونه‌ها در طول موج ۴۸۵ نانومتر توسط دستگاه اسپکتروفتومتر (Canada BT600 Plus)، اندازه‌گیری شد. در نهایت محتوای قندهای محلول، از روی میزان جذب نمونه‌ها و مقایسه آن با استاندارد و بر اساس اندازه‌گیری شدند.

۱۴.۲. تعیین محتوای کربوهیدرات‌های نامحلول

به منظور اندازه‌گیری کربوهیدرات‌های نامحلول، پس از استخراج قندهای محلول، تفاله‌های حاصل جمع‌آوری و به مدت دو ساعت درون دستگاه آون در دمای ۵۰ درجه سانتی‌گراد خشک شدند. چهار و نیم میلی لیتر آب مقطر و شش میلی لیتر پرکلریک اسید ۵۲ درصد به نمونه‌ها اضافه شدند و به مدت ۲۴ ساعت درون یخچال در دمای چهار درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند و ادامه روش اندازه‌گیری همانند اندازه‌گیری قندهای محلول انجام شد [۲۴].

۱۵.۲. تجزیه آماری

تجزیه و تحلیل داده‌های آماری، با استفاده از نرم افزار SAS

1. Dispenser

گزارش شده است، ترکیبات فنلی به‌عنوان یکی از مکانیسم‌های دفاعی غیرآنزیمی در گیاهان نقش اساسی داشته و به‌عنوان یکی از شاخص‌های حساس به تغییرات محیطی و همچنین یکی از نشانگرهای بیوشیمیایی دفاعی گیاه در برابر تنش‌های محیطی مطرح می‌باشد و به جمع‌آوری پراکسید هیدروژن در سلول‌های گیاهی کمک می‌کنند [۳۶].

از نظر تغییرات در محتوای قندهای محلول و نامحلول، ژنوتیپ‌های مطالعه‌شده روندهای متفاوتی را نشان دادند. محتوای قندهای محلول در برگ‌های پایه GF677 از ابتدا کاهش یافت. به‌طوری‌که میزان کاهش در محتوای قندهای محلول در تیمار شوری ۲/۴ گرم در لیتر نسبت به گیاهان شاهد، معنی‌دار بود. سپس محتوای قندهای محلول در برگ‌های این پایه، با افزایش بیشتر غلظت شوری و در سطوح ۳/۶ و ۴/۸ گرم در لیتر، به‌طور معنی‌داری نسبت به گیاهان شاهد، افزایش یافت. محتوای قندهای محلول در ژنوتیپ '۱۶-۱'، ابتدا با افزایش سطح شوری تا تیمار ۱/۲ گرم در لیتر نسبت به گیاهان شاهد، افزایش یافت ولی میزان افزایش، معنی‌دار نبود. سپس محتوای قندهای محلول در این ژنوتیپ با افزایش غلظت نمک و تا سطح شوری ۲/۴ گرم در لیتر، به‌طور معنی‌داری نسبت به گیاهان شاهد، کاهش یافت. در انتها محتوای قندهای محلول در این ژنوتیپ با افزایش بیشتر غلظت شوری و در سطوح شوری ۳/۶ و ۴/۸ گرم در لیتر به‌طور معنی‌داری نسبت به گیاهان شاهد، افزایش یافت (جدول ۶). افزایش اولیه در محتوای قندهای محلول در ژنوتیپ‌های بررسی‌شده در نتیجه تخریب و هیدرولیز مولکول‌های درشت‌تر نظیر نشاسته و تبدیل آن‌ها به ترکیبات قندی نظیر ساکاروز و بعد به مولکول‌های کوچک‌تری مانند گلوکز و فروکتوز می‌باشد که باعث منفی‌تر شدن پتانسیل آب در سلول‌ها، تنظیم اسمزی و افزایش مقاومت به تنش شوری در این گیاهان، می‌شود

[۱۳ و ۲۹]. اما کاهش میزان قندهای محلول در ژنوتیپ‌های مطالعه‌شده، می‌تواند به‌دلیل کاهش میزان آسیمیلاسیون CO₂ و کاهش میزان فتوسنتز و اختلال در مسیر متابولیسم در شرایط تنش شوری باشد. همچنین، افزایش میزان قندهای محلول در شرایط تنش شوری در غلظت‌های ۳/۶ و ۴/۸ گرم در لیتر به دلیل کاهش و توقف رشد رویشی در اثر کاهش رطوبت و کاهش جذب آب می‌باشد [۲۵].

محتوای قندهای محلول در رقم 'تونو'، ابتدا با افزایش سطح شوری و تا تیمار ۲/۴ گرم در لیتر به‌طور معنی‌داری نسبت به گیاهان شاهد، افزایش یافت. سپس محتوای قندهای محلول در این رقم، با افزایش بیشتر غلظت نمک و در سطوح شوری ۳/۶ و ۴/۸ گرم در لیتر، کاهش یافت. میزان کاهش در محتوای قندهای محلول تنها در سطح شوری ۴/۸ گرم در لیتر نسبت به گیاهان شاهد، معنی‌دار بود. اما محتوای قندهای محلول در رقم 'شاهرود ۱۲'، با افزایش سطح شوری تا تیمار ۴/۸ گرم در لیتر به‌طور معنی‌داری نسبت به گیاهان شاهد، افزایش یافت. میزان افزایش در محتوای قندهای محلول در برگ‌های رقم 'شاهرود ۱۲'، در سطح شوری ۴/۸ گرم در لیتر نسبت به سطح شوری ۳/۶ گرم در لیتر معنی‌دار نبود که نشان‌دهنده کاهش سرعت تولید قندهای محلول در این رقم در سطح شوری ۴/۸ گرم در لیتر می‌باشد (جدول ۶).

در مجموع، نتایج به‌دست‌آمده از بررسی میزان قندهای محلول و نامحلول در ژنوتیپ‌های مطالعه‌شده نشان داد که رقم 'شاهرود ۱۲'، در سطوح بالای شوری (۳/۶ گرم در لیتر)، از طریق مکانیسم تخریب و هیدرولیز مولکول‌های درشت‌تر نظیر نشاسته و تبدیل آنها به ترکیبات قندی نظیر ساکاروز و بعد به مولکول‌های کوچک‌تری مانند گلوکز و فروکتوز، باعث منفی‌تر شدن پتانسیل آب و تنظیم اسمزی در سلول‌های خود شده و در نتیجه این رقم تحمل بیشتری به

تنش شوری دارد. نتایج به دست آمده با نتایج حاصل از بررسی صفات مورفولوژیک در این ارقام که توسط مومن پور و همکاران [۹] گزارش شده بود، مطابقت داشت. آنان با بررسی صفات مورفولوژیک و میزان آسیب های ظاهری گیاهان گزارش کرده بودند که رقم 'شاهرود ۱۲' دارای وضعیت مطلوب تری نسبت به سایر ارقام و ژنوتیپ های بررسی شده بود. کمترین میزان رشد در شرایط اعمال تنش شوری و بیشترین میزان آسیب های ظاهری نیز، به ترتیب در پایه GF₆₇₇ و بعد از آن در ژنوتیپ '۱-۱۶'، مشاهده شده بود [۹].

نتایج تجزیه واریانس داده ها نشان داد، برهمکنش تیمار شوری و ژنوتیپ بر محتوای پرولین، مالون دی آلدید، سایر آلدئیدها و پروتئین های محلول کل در سطح یک درصد، معنی دار شد (جدول ۷). بر اساس نتایج به دست آمده، محتوای پرولین برگ تمامی ژنوتیپ های مطالعه شده با افزایش غلظت نمک، افزایش یافت. میزان افزایش در محتوای پرولین در بین ژنوتیپ های بررسی شده با یکدیگر اختلاف معنی داری را نشان داد. محتوای پرولین در برگ های پایه GF₆₇₇ با افزایش سطح شوری تا تیمار ۳/۶ گرم در لیتر به طور معنی داری در مقایسه با گیاهان شاهد، افزایش یافت ولی با افزایش بیشتر غلظت شوری و در تیمار ۴/۸ گرم در لیتر، محتوای پرولین در برگ های این پایه، کاهش یافت (جدول ۷). محتوای پرولین در برگ های ژنوتیپ '۱-۱۶'، با افزایش سطح شوری تا تیمار ۴/۸ گرم در لیتر به طور معنی داری نسبت به گیاهان شاهد، افزایش یافت. میزان افزایش در محتوای پرولین در برگ های ژنوتیپ '۱-۱۶'، در سطح شوری ۴/۸ گرم در لیتر نسبت به سطح شوری ۳/۶ گرم در لیتر معنی دار نبود. محتوای پرولین در برگ های ارقام 'تونو' و 'شاهرود ۱۲'، با افزایش سطح شوری تا ۴/۸ گرم در لیتر به طور معنی داری نسبت به گیاهان شاهد، افزایش یافت. در مجموع، بیشترین و کمترین میزان پرولین در سطح شوری

۴/۸ گرم در لیتر به ترتیب در رقم 'شاهرود ۱۲'، (۷۸/۴۵ میکروگرم بر گرم وزن تازه) و پایه GF₆₇₇ (۵۲/۱۶ میکروگرم بر گرم وزن تازه)، مشاهده شد. میزان پرولین در برگ های پایه GF₆₇₇ در سطح شوری ۴/۸ گرم در لیتر به طور معنی داری نسبت به تمامی ژنوتیپ های مطالعه شده، کمتر بود. این نتایج حاکی از نقش مؤثر نوع ژنوتیپ پیوندی در افزایش محتوای پرولین برگ ها و در نتیجه افزایش تحمل گیاه به تنش شوری می باشد (جدول ۵). نتایج به دست آمده از این تحقیق با نتایج رهنمون و همکاران [۴] و غلامی و همکاران [۶]، مطابقت داشت. این محققین نیز به افزایش در محتوای پرولین آزاد در ژنوتیپ های مختلف بادام تحت شرایط تنش شوری اشاره کرده اند. تنظیم اسمزی به عنوان یک سازگاری مهم اجتناب از تنش های اسمزی می باشد، زیرا به حفظ فشار تورمی و حجم سلول کمک می کند [۲].

بر اساس نتایج به دست آمده، محتوای مالون دی آلدید و مجموع سایر آلدئیدها شامل (پروپانال، بوتانال، هگزانال، هپتانال و پروپانال دی متیل استال) در تمامی ژنوتیپ های مطالعه شده، با افزایش غلظت نمک، افزایش یافت. میزان افزایش در محتوای مالون دی آلدید و سایر آلدئیدها در بین ژنوتیپ های بررسی شده با یکدیگر اختلاف معنی داری را نشان داد. محتوای مالون دی آلدید و سایر آلدئیدها در برگ های پایه GF₆₇₇ و ژنوتیپ '۱-۱۶'، با افزایش سطح شوری و از تیمار ۲/۴ گرم در لیتر به طور معنی داری در مقایسه با گیاهان شاهد، افزایش یافت. در حالی که محتوای مالون دی آلدید و سایر آلدئیدها در رقم 'تونو' از سطح شوری ۳/۶ گرم در لیتر به طور معنی داری در مقایسه با گیاهان شاهد، افزایش یافت. محتوای مالون دی آلدید و سایر آلدئیدها در برگ های رقم 'شاهرود ۱۲'، تنها در سطح شوری ۴/۸ گرم در لیتر به طور معنی داری در مقایسه با گیاهان شاهد، افزایش یافته بود (جدول ۷).

اثر تنش شوری بر رقم‌های بادام 'شاهرود ۱۲'، 'تونو' و ژنوتیپ '۱۶-۱' پیوند شده روی پایه GF677: II صفات بیوشیمیایی

جدول ۶. اثر متقابل شوری و ژنوتیپ‌های بادام بر محتوای فنل کل، ظرفیت آنتی‌اکسیدانی، فندهای محلول و نامحلول

ژنوتیپ	سطوح شوری (گرم در لیتر)	فنل (میکرو گرم بر گرم وزن تازه)	ظرفیت آنتی‌اکسیدانی (درصد)	فندهای محلول (میکرو گرم بر گرم وزن خشک)	فندهای نامحلول (میکرو گرم بر گرم وزن خشک)
Pr > F*	-	<۰.۰۰۱	<۰.۰۰۱	<۰.۰۰۱	<۰.۰۰۱
شاهرود ۱۲	۰	۷۱۱/۲۲ g	۱۴/۶۰ m	۷۹/۸۸ p	۱۶۴/۰۷ h
شاهرود ۱۲	۱/۲	۸۷۳/۵۷ fg	۱۷/۳۱ k	۱۰۱/۴۷ n	۱۴۹/۲۳ k
شاهرود ۱۲	۲/۴	۹۳۶/۴۵ e-g	۱۹/۸۷ h	۱۲۵/۸۹ g	۱۳۷/۴۲ l
شاهرود ۱۲	۳/۶	۱۱۴۸/۳۷ d-f	۲۵/۸۵ b	۱۴۴/۳۷ e	۱۱۶/۱۰ m
شاهرود ۱۲	۴/۸	۱۴۴۲/۳۳ bc	۲۹/۷۳ a	۱۴۷/۹۵ d	۱۰۶/۶۲ n
تونو	۰	۷۲۴/۷۵ g	۱۷/۳۰ k	۸۰/۷۶ p	۱۸۳/۰۹ g
تونو	۱/۲	۸۴۹/۳۱ fg	۱۸/۳۹ j	۱۱۱/۸۵ r	۱۶۰/۱۲ i
تونو	۲/۴	۱۰۰۵/۲۳ e-g	۲۱/۹۷ f	۱۲۰/۱۶ jk	۱۵۱/۲۲ jk
تونو	۳/۶	۱۳۹۰/۲۹ b-d	۲۴/۸۱ d	۱۱۱/۹۹ l	۱۵۴/۲۹ j
تونو	۴/۸	۹۶۷/۸۷ e-g	۲۲/۵۶ e	۷۴/۵۸ q	۲۱۷/۴۰ d
۱-۱۶	۰	۹۵۶/۵۷ e-g	۱۲/۲۴ o	۱۱۸/۴۰ k	۱۴۹/۷۰ k
۱-۱۶	۱/۲	۱۲۱۰/۲۱ c-e	۱۳/۶۸ n	۱۲۵/۳۱ gh	۱۴۷/۹۱ k
۱-۱۶	۲/۴	۱۴۶۶/۱۱ bc	۱۴/۶۷ m	۱۰۹/۲۹ m	۱۵۸/۶۰ i
۱-۱۶	۳/۶	۱۵۲۶/۷۴ ab	۱۹/۶۸ hi	۱۳۴/۹۶ f	۲۰۵/۵۶ e
۱-۱۶	۴/۸	۹۷۳/۸۷ e-g	۱۶/۱۰ l	۱۶۰/۹۳ b	۲۳۰/۳۸ c
پایه GF ₆₇₇	۰	۱۰۱۱/۳۷ e-g	۱۸/۴۴ j	۱۲۳/۵۹ hi	۱۹۷/۴۳ f
پایه GF ₆₇₇	۱/۲	۱۰۹۳/۲۱ ef	۲۰/۴۵ g	۱۲۱/۸۴ ij	۲۰۰/۱۳ f
پایه GF ₆₇₇	۲/۴	۱۲۲۸/۶۷ c-e	۲۲/۱۲ f	۹۷/۷۲ o	۲۲۰/۰۳ d
پایه GF ₆₇₇	۳/۶	۱۷۷۵/۹۶ a	۲۵/۴۰ c	۱۵۱/۸۶ d c	۲۵۷/۱۷ b
پایه GF ₆₇₇	۴/۸	۱۱۸۲/۳۰ c-e	۱۹/۴۸ i	۲۰۰/۱۷ a	۲۸۹/۴۵ a

* مقدار Pr > F برای هر صفت، مربوط به اثر متقابل شوری و ژنوتیپ است.

میانگین‌هایی که در هر ستون و برای هر صفت دارای حروف متفاوت هستند، بر اساس آزمون دانکن، در سطح احتمال یک درصد اختلاف معنی‌داری با یکدیگر دارند.

اسیدهای چرب غیراشباع از مهم‌ترین ترکیبات لیپیدهای غشا هستند که در برابر پراکسیداسیون بسیار آسیب‌پذیر هستند. یکی از اصلی‌ترین اثرات تخریبی و مضر گونه‌های اکسیژن و اکشن‌پذیر، توانایی آن‌ها برای شروع واکنش‌های زنجیره‌ای اکسیداتیو اسیدهای چرب غیراشباع است که منجر به پراکسیداسیون لیپیدها و تخریب غشا می‌شود. تجمع مالون‌دی‌آلدهید در شرایط تنش سبب افزایش نفوذپذیری غشا پلاسمایی شده و نشت یونی افزایش می‌یابد [۳۷]. لذا هرچه میزان تولید مالون‌دی‌آلدهید و سایر آلدیدها تحت شرایط تنش شوری کمتر باشد، تحمل آن رقم به شرایط تنش شوری بیشتر بوده است.

بر اساس نتایج به‌دست‌آمده، محتوای پروتئین‌های محلول

کل در تمامی ژنوتیپ‌های مطالعه‌شده، ابتدا با افزایش غلظت نمک، افزایش و سپس با افزایش بیشتر سطح شوری، مقدار آن کاهش یافت. روند تغییرات در محتوای پروتئین‌های محلول کل در بین ژنوتیپ‌های بررسی‌شده با یکدیگر اختلاف معنی‌داری را نشان داد. محتوای پروتئین‌های محلول کل در برگ‌های پایه GF₆₇₇ و ژنوتیپ '۱۶-۱'، ابتدا با افزایش سطح شوری و تا تیمار ۱/۲ گرم در لیتر افزایش و سپس با افزایش بیشتر غلظت نمک و در سطح شوری ۲/۴ گرم در لیتر و بالاتر از آن، به‌طور معنی‌داری در مقایسه با گیاهان شاهد، کاهش یافت. درحالی‌که محتوای پروتئین‌های محلول کل در رقم 'تونو'، ابتدا با افزایش سطح شوری و تا تیمار ۲/۴ گرم در لیتر به‌طور معنی‌داری در مقایسه با گیاهان

به‌زراعی کشاورزی

شاهد، افزایش و سپس با افزایش بیشتر غلظت نمک و در سطوح شوری ۳/۶ و ۴/۸ گرم در لیتر، به طور معنی داری در مقایسه با گیاهان شاهد، کاهش یافت. محتوای پروتئین های محلول کل در رقم 'شاهرود ۱۲'، ابتدا با افزایش سطح شوری و تا تیمار ۳/۶ گرم در لیتر به طور معنی داری در مقایسه با گیاهان شاهد، افزایش یافت. سپس با افزایش بیشتر غلظت نمک و در سطح شوری ۴/۸ گرم در لیتر، کاهش یافت (جدول ۷). پروتئین هایی که در شرایط تنش ایجاد می شوند دو دسته هستند: پروتئین های تنش شوری که فقط در صورت تنش شوری تجمع می یابند و به عنوان تنظیم کننده

اسمزی فعالیت می کنند و پروتئین های تنش که در پاسخ به گرما، سرما، خشکی، غرقابی و کمبود و یا زیادی عناصر معدنی در سلول ها تجمع می یابند. همچنین، ارتباط بین تجمع پروتئین های محلول در گیاه و میزان مقاومت به شوری، به گونه و رقم گیاهی بستگی دارد [۱۱]. لذا رقم 'شاهرود ۱۲'، که در پاسخ به تنش شوری قادر به تجمع میزان بیشتری از پروتئین های محلول بوده است، از این مکانیسم به نحو مطلوب تری در مقایسه با سایر ژنوتیپ های مطالعه شده در این تحقیق در جهت تنظیم اسمزی استفاده کرده است.

جدول ۷. اثر متقابل شوری و ژنوتیپ های بادام بر محتوای پرولین، مالون دآلدهید، سایر آلدئیدها و پروتئین محلول کل

ژنوتیپ	سطوح شوری (گرم در لیتر)	پرولین (میکرو مول بر گرم وزن تازه)	مالون دآلدهید (نانومول بر گرم وزن تازه)	سایر آلدئیدها (نانومول بر گرم وزن تازه)	پروتئین محلول کل (میکروگرم بر گرم وزن تازه)
Pr > F*	-	<۰.۰۰۱	<۰.۰۰۱	<۰.۰۰۱	<۰.۰۰۱
شاهرود ۱۲	۰	۲۳/۰۵ jk	۷/۴۵ j	۰/۱۷۱ g	۸/۹۰ m
شاهرود ۱۲	۱/۲	۲۹/۸۹ h	۷/۴۷ j	۰/۱۷۴ g	۱۰/۴۲ g
شاهرود ۱۲	۲/۴	۳۴/۲۷ g	۷/۹۸ ij	۰/۱۷۸ g	۱۱/۶۱ c
شاهرود ۱۲	۳/۶	۵۳/۷۴ d	۹/۲۰ h-j	۰/۱۸۴ g	۱۲/۱۵ a
شاهرود ۱۲	۴/۸	۷۸/۴۵ a	۱۲/۳۰ gh	۰/۱۹۱ fg	۹/۶۱ i
تونو	۰	۲۰/۶۲ k	۱۰/۸۳ g-j	۰/۱۷۹ g	۸/۸۶ n
تونو	۱/۲	۲۵/۰۳ ij	۱۲/۱۲ g-i	۰/۱۹۱ fg	۹/۱۵ l
تونو	۲/۴	۲۸/۲۳ hi	۱۳/۹۷ fg	۰/۲۱۳ ef	۹/۳۸ j
تونو	۳/۶	۴۵/۹۴ e	۱۸/۵۸ e	۰/۲۳۶ de	۸/۳۳ p
تونو	۴/۸	۶۷/۱۰ b	۲۵/۴۷ c	۰/۲۹۱ c	۷/۵۵ r
۱-۱۶	۰	۲۲/۱۷ jk	۷/۷۵ j	۰/۱۸۸ g	۱۰/۹۶ d
۱-۱۶	۱/۲	۳۰/۷۸ gh	۱۰/۸۳ g-j	۰/۱۹۲ fg	۱۲/۱۲ b
۱-۱۶	۲/۴	۳۷/۸۴ f	۱۳/۹۳ fg	۰/۲۲۹ de	۱۰/۳۳ h
۱-۱۶	۳/۶	۵۸/۵۶ c	۲۱/۱۶ de	۰/۳۱۳ c	۸/۳۱ q
۱-۱۶	۴/۸	۶۰/۳۳ c	۳۲/۰۱ b	۰/۳۸۴ b	۶/۸۱ s
پایه GF ₆₇₇	۰	۲۰/۱۰ k	۱۷/۵۴ ef	۰/۲۱۵ ef	۱۰/۶۸ f
پایه GF ₆₇₇	۱/۲	۳۱/۲۴ gh	۱۹/۳۵ de	۰/۲۴۷ d	۱۰/۸۸ e
پایه GF ₆₇₇	۲/۴	۴۰/۵۰ f	۲۳/۱۳ cd	۰/۳۱۴ c	۹/۲۰ k
پایه GF ₆₇₇	۳/۶	۵۷/۳۰ c	۳۴/۵۸ b	۰/۴۰۷ b	۸/۷۰ o
پایه GF ₆₇₇	۴/۸	۵۲/۱۶ d	۴۵/۴۱ a	۰/۵۱۳ a	۶/۲۰ t

*: مقدار Pr > F برای هر صفت، مربوط به اثر متقابل شوری و ژنوتیپ است.

میانگین هایی که در هر ستون و برای هر صفت دارای حروف متفاوت هستند، بر اساس آزمون دانکن، در سطح احتمال یک درصد اختلاف معنی داری با یکدیگر دارند.

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد، برهمکنش تیمار شوری و ژنوتیپ بر محتوای پراکسید هیدروژن و فعالیت آنزیم‌های گایاکول پراکسیداز، آسکوربات پراکسیداز و کاتالاز در سطح یک درصد، معنی‌دار شد (جدول ۶). میزان فعالیت آنزیم کاتالاز در تمامی ژنوتیپ‌های مطالعه‌شده، ابتدا با افزایش غلظت نمک، افزایش و سپس با افزایش بیشتر سطح شوری، مقدار آن کاهش یافت. روند تغییرات در میزان فعالیت آنزیم کاتالاز در بین ژنوتیپ‌های بررسی‌شده با یکدیگر اختلاف معنی‌داری را نشان داد. میزان فعالیت آنزیم کاتالاز در برگ‌های پایه GF677 و ژنوتیپ '۱۶-۱'، ابتدا با افزایش سطح شوری و در تیمار ۱/۲ گرم در لیتر به‌طور معنی‌داری در مقایسه با گیاهان شاهد، افزایش یافت. سپس میزان فعالیت این آنزیم در ژنوتیپ‌های فوق با افزایش بیشتر غلظت نمک، کاهش یافت. میزان کاهش در فعالیت آنزیم کاتالاز در برگ‌های پایه GF677 و ژنوتیپ '۱۶-۱' در سطوح شوری ۲/۴، ۳/۶ و ۴/۸ گرم در لیتر در مقایسه با گیاهان شاهد، معنی‌دار بود (جدول ۶). همچنین، میزان فعالیت آنزیم کاتالاز در برگ‌های ارقام 'تونو' و 'شاهرود ۱۲'، ابتدا با افزایش سطح شوری تا تیمار ۳/۶ گرم در لیتر به‌طور معنی‌داری در مقایسه با گیاهان شاهد، افزایش یافت. سپس میزان فعالیت آنزیم کاتالاز در این دو رقم با افزایش بیشتر غلظت نمک، کاهش یافت. میزان کاهش در فعالیت آنزیم کاتالاز در برگ‌های این ارقام، در سطح شوری ۴/۸ گرم در لیتر در مقایسه با گیاهان شاهد، معنی‌دار نبود. نتایج به‌دست‌آمده از این تحقیق با نتایج سرخه و همکاران [۳۳]، مطابقت داشت.

بر اساس نتایج به‌دست‌آمده، میزان فعالیت آنزیم گایاکول پراکسیداز در تمامی ژنوتیپ‌های مطالعه‌شده، ابتدا با افزایش غلظت نمک، افزایش و سپس با افزایش بیشتر سطح شوری، کاهش یافت. روند تغییرات در میزان فعالیت آنزیم گایاکول پراکسیداز در بین ژنوتیپ‌های

بررسی شده با یکدیگر اختلاف معنی‌داری را نشان داد. میزان فعالیت آنزیم گایاکول پراکسیداز در برگ‌های پایه GF677 و ژنوتیپ '۱۶-۱'، با افزایش سطح شوری و تا تیمار ۲/۴ گرم در لیتر به‌طور معنی‌داری در مقایسه با گیاهان شاهد، افزایش یافت. میزان افزایش در فعالیت آنزیم گایاکول پراکسیداز در برگ‌های پایه GF677 و ژنوتیپ‌های '۱۶-۱'، در سطح شوری ۲/۴ گرم در لیتر نسبت به سطح شوری ۱/۲ گرم در لیتر، معنی‌دار نبود که نشان‌دهنده افزایش اندک در فعالیت این آنزیم در ژنوتیپ‌های فوق در سطح شوری ۲/۴ گرم در لیتر است. سپس فعالیت این آنزیم در برگ‌های پایه GF677 و ژنوتیپ '۱۶-۱'، با افزایش بیشتر غلظت نمک و در سطوح شوری ۳/۶ و ۴/۸ گرم در لیتر به‌طور معنی‌داری در مقایسه با گیاهان شاهد، کاهش یافت. اما میزان فعالیت آنزیم گایاکول پراکسیداز در برگ‌های رقم 'شاهرود ۱۲'، با افزایش سطح شوری تا تیمار ۴/۸ گرم در لیتر به‌طور معنی‌داری در مقایسه با گیاهان شاهد، افزایش یافت (جدول ۸). نتایج به‌دست‌آمده از این تحقیق با نتایج رهنمون و همکاران [۳ و ۴]، مطابقت داشت. آن‌ها تأثیر سطوح مختلف شوری را بر تغییرات آنزیمی در ۴۷ ژنوتیپ بادام بررسی و گزارش کردند که به موازات انباشت یون‌های سدیم و کلر در برگ، فعالیت آنزیم آنتی‌اکسیدان پراکسیداز تا سطح شوری ۵۰ میلی‌مول افزایشی و در سطوح بالاتر (۷۵ میلی‌مولار)، کاهشی بود. گزارش شده است که تحمل به شوری، به یک سیستم آنتی‌اکسیدانی کارآمد بستگی دارد و در ارقام متحمل‌تر و در سطوح بالای شوری، میزان فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان بیشتر است [۲۰].

میزان فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز در برگ‌های پایه GF677 و ژنوتیپ '۱۶-۱'، با افزایش سطح شوری و تا تیمار ۱/۲ گرم در لیتر به‌طور معنی‌داری در مقایسه با گیاهان

شاهد، افزایش یافت. سپس فعالیت این آنزیم در برگ‌های پایه GF₆₇₇ و ژنوتیپ '۱۶-۱'، با افزایش بیشتر غلظت نمک و در سطح شوری ۳/۶ و ۴/۸ گرم در لیتر به‌طور معنی‌داری در مقایسه با گیاهان شاهد، کاهش یافت. میزان فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز در برگ‌های رقم 'شاه‌رود ۱۲'، ابتدا با افزایش سطح شوری و تا تیمار ۳/۶ گرم در لیتر به‌طور معنی‌داری در مقایسه با گیاهان شاهد، افزایش یافت. سپس فعالیت این آنزیم با افزایش بیشتر غلظت نمک و در سطح شوری ۴/۸ گرم در لیتر کاهش یافت. میزان کاهش در فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز در برگ‌های این ژنوتیپ‌ها در سطح شوری ۴/۸ گرم در لیتر در مقایسه با گیاهان شاهد، معنی‌دار نبود (جدول ۸).

در مجموع نتایج حاصل از بررسی میزان فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، گایاکول پراکسیداز و آسکوربات پراکسیداز نشان داد که فعالیت این آنزیم‌ها در برگ‌های پایه GF₆₇₇ در سطوح شوری ۳/۶ و ۴/۸ گرم در لیتر در مقایسه با سایر ارقام مطالعه‌شده به جز ژنوتیپ '۱۶-۱'، به‌طور معنی‌داری کمتر بود. از طرفی، بیشترین میزان فعالیت هر سه آنزیم مورد مطالعه در سطح شوری ۳/۶ گرم در لیتر و در رقم 'شاه‌رود ۱۲'، مشاهده شد. این نتایج نشان می‌دهد که نوع رقم پیوندی در افزایش فعالیت آنزیم‌های بررسی‌شده و افزایش تحمل به تنش شوری مؤثر است. نتایج به‌دست‌آمده با نتایج حاصل از بررسی صفات مورفولوژیک در این ارقام که توسط مومن‌پور و همکاران [۹] گزارش شده بود، مطابقت داشت. آنان با بررسی صفات مورفولوژیک و میزان آسیب‌های ظاهری گیاهان گزارش کرده بودند که رقم 'شاه‌رود ۱۲'، دارای وضعیت مطلوب‌تری نسبت به سایر ارقام و ژنوتیپ‌های بررسی‌شده بود. کمترین میزان رشد در شرایط اعمال تنش شوری و بیشترین میزان آسیب‌های ظاهری نیز، به‌ترتیب در پایه GF₆₇₇ و بعد از آن در ژنوتیپ '۱۶-۱'، مشاهده شده بود [۹].

بر اساس نتایج، محتوای پراکسیداسیون هیدروژن در تمامی ژنوتیپ‌های مطالعه‌شده، با افزایش غلظت نمک، افزایش یافت. میزان افزایش در محتوای پراکسیداسیون هیدروژن در بین ژنوتیپ‌های بررسی‌شده با یکدیگر اختلاف معنی‌داری را نشان داد. محتوای پراکسیداسیون هیدروژن در برگ‌های پایه GF₆₇₇ و ژنوتیپ '۱۶-۱'، با افزایش سطح شوری و در تیمار ۲/۴ گرم در لیتر به‌طور معنی‌داری در مقایسه با گیاهان شاهد، افزایش یافت. درحالی‌که افزایش در محتوای پراکسیداسیون هیدروژن در برگ‌های رقم 'شاه‌رود ۱۲'، تنها در سطح شوری ۴/۸ گرم در لیتر در مقایسه با گیاهان شاهد، معنی‌دار بود. در مجموع بیشترین محتوای پراکسیداسیون هیدروژن در سطوح شوری ۳/۶ و ۴/۸ گرم در لیتر و در برگ‌های پایه GF₆₇₇ (۴/۸/۱۷) و ۵۹/۹۱ میکروگرم بر گرم وزن تازه) و پس از آن در ژنوتیپ '۱۶-۱'، (۴۲/۶۲ و ۵۱/۳۸ میکروگرم بر گرم وزن تازه)، مشاهده شد. در نقطه مقابل کمترین محتوای پراکسیداسیون هیدروژن در سطوح شوری ۳/۶ و ۴/۸ گرم در لیتر در برگ‌های رقم 'شاه‌رود ۱۲'، (۲۸/۶۱ و ۳۳/۴۱ میکروگرم بر گرم وزن تازه) مشاهده شد (جدول ۸). پراکسید هیدروژن برای سلول‌های گیاهی به‌ویژه اندامک کلروپلاست بسیار سمی است و در غلظت‌های خیلی پایین، باعث ممانعت از فعالیت آنزیم‌های چرخه کلون خصوصاً آنزیم‌های دارای گروه سولفیدریل مثل گلیسرآلدئید ۳-فسفات دهیدروژناز و فروکتوز ۱ و ۶ بیس فسفاتاز می‌گردد [۳۴]. آنزیم‌های کاتالاز، پراکسیداز و آسکوربات پراکسیداز همگی از بین برنده پراکسید هیدروژن محسوب می‌شوند که هر کدام حوزه فعالیت جداگانه‌ای در داخل سلول دارند [۳۴]. لذا رقم‌های 'شاه‌رود ۱۲'، که در سطوح بالاتر شوری (۳/۶ و ۴/۸ گرم در لیتر)، دارای فعالیت بیشتری از نظر آنزیم‌های نام‌برده بود، به‌نحو مطلوب‌تری با اثرات مخرب پراکسید هیدروژن، مقابله کردند.

اثر تنش شوری بر رقم‌های بادام 'شاهرود ۱۲'، 'تونو' و ژنوتیپ '۱۶-۱' پیوند شده روی پایه GF677: II صفات بیوشیمیایی

جدول ۸. اثر متقابل شوری و ژنوتیپ‌های بادام بر محتوای پراکسید هیدروژن و فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، گایاکول پراکسیداز و آسکوربات پراکسیداز

ژنوتیپ	سطوح شوری (گرم در لیتر)	فعالیت کاتالاز (میکرو مول بر گرم وزن تازه در دقیقه)	فعالیت گایاکول پراکسیداز (میکرو مول بر گرم وزن تازه در دقیقه)	فعالیت آسکوربات پراکسیداز (میکرو مول بر گرم وزن تازه در دقیقه)	پراکسید هیدروژن (میکرو گرم بر گرم وزن تازه)
Pr > F*	-	< ۰.۰۰۱	< ۰.۰۰۱	< ۰.۰۰۱	< ۰.۰۰۱
شاهرود ۱۲	۰	۰/۹۰ h	۰/۱۱۲ hi	۸/۰۶ c-e	۲۵/۸۴ j
شاهرود ۱۲	۱/۲	۰/۹۳ gh	۰/۱۳۴ gh	۹/۷۹ cd	۲۶/۳۵ j
شاهرود ۱۲	۲/۴	۱/۶۴ b	۰/۲۶۲ c	۱۶/۴۳ b	۲۶/۸۸ j
شاهرود ۱۲	۳/۶	۲/۱۸ a	۰/۲۹۰ b	۲۲/۰۳ a	۲۸/۶۱ ij
شاهرود ۱۲	۴/۸	۱/۴۷ c	۰/۳۳۴ a	۱۶/۸۵ b	۳۳/۴۱ f-h
تونو	۰	۰/۸۷ hi	۰/۱۱۵ hi	۷/۲۲ d-f	۲۸/۶۴ ij
تونو	۱/۲	۰/۸۸ h	۰/۱۲۲ gh	۹/۴۳ c-e	۳۰/۴۸ hi
تونو	۲/۴	۰/۹۲ h	۰/۱۴۷ f-h	۱۰/۸۵ c	۳۴/۴۹ fg
تونو	۳/۶	۱/۳۰ d	۰/۱۵۵ e-g	۸/۶۹ c-e	۳۸/۸۲ e
تونو	۴/۸	۰/۸۱ i	۰/۱۱۴ hi	۶/۸۰ d-f	۴۷/۶۱ c
۱-۱۶	۰	۰/۹۹ g	۰/۱۱۵ hi	۷/۹۴ c-e	۲۶/۱۷ j
۱-۱۶	۱/۲	۱/۲۱ e	۰/۱۲۴ gh	۱۰/۷۳ c	۲۸/۵۹ ij
۱-۱۶	۲/۴	۰/۶۲ j	۰/۱۵۲ e-g	۶/۸۸ d-f	۳۵/۱۴ f
۱-۱۶	۳/۶	۰/۴۴ k	۰/۰۸۴ ij	۴/۴۰ fg	۴۲/۶۲ d
۱-۱۶	۴/۸	۰/۲۸ l	۰/۰۳۷ k	۲/۲۷ g	۵۲/۷۰ b
پایه GF ₆₇₇	۰	۱/۰۶ e	۰/۱۷۰ d-f	۷/۹۷ c-e	۲۸/۳۷ ij
پایه GF ₆₇₇	۱/۲	۱/۲۲ f	۰/۱۸۵ de	۱۰/۷۱ c	۳۱/۳۵ g-i
پایه GF ₆₇₇	۲/۴	۰/۶۶۱ j	۰/۱۹۹ d	۶/۷۱ ef	۳۹/۵۶ de
پایه GF ₆₇₇	۳/۶	۰/۳۷۵ k	۰/۰۷۱ j	۳/۲۶ g	۴۸/۱۷ c
پایه GF ₆₇₇	۴/۸	۰/۱۸۸ m	۰/۰۳۶ k	۱/۶۸ g	۵۹/۹۱ a

* مقدار Pr > F برای هر صفت، مربوط به اثر متقابل شوری و ژنوتیپ است.

میانگین‌هایی که در هر ستون و برای هر صفت دارای حروف متفاوت هستند، بر اساس آزمون دانکن، در سطح احتمال یک درصد اختلاف معنی‌داری با یکدیگر دارند.

۴. نتیجه‌گیری

به‌طور کلی نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد، ترکیب پایه GF₆₇₇ و نوع پیوندک و سطح شوری، ویژگی‌های بیوشیمیایی بادام را تحت تأثیر قرار می‌دهد. محتوای پراکسید هیدروژن، مالون‌دی‌آلدهید و سایر آلدئیدها، با افزایش غلظت نمک تا سطح شوری ۴/۸ گرم در لیتر در تمامی ژنوتیپ‌های مطالعه‌شده، افزایش یافتند که نشان‌دهنده اثرات مخرب شوری بر ژنوتیپ‌های مطالعه‌شده می‌باشد. همچنین، محتوای فنل کل، ظرفیت آنتی‌اکسیدانی، قندهای محلول، پرولین، پروتئین محلول

کل، فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، گایاکول پراکسیداز و آسکوربات پراکسیداز در تمامی ژنوتیپ‌های مطالعه‌شده، ابتدا با افزایش غلظت نمک، افزایش و سپس با افزایش بیشتر سطح شوری، مقدار آن‌ها کاهش یافت که نشان می‌دهد، ژنوتیپ‌های مطالعه‌شده با استفاده از مکانیزم‌های آنزیمی و غیر آنزیمی می‌توانند با اثرات مخرب شوری مقابله کنند که روند تغییرات در تمامی صفات بیوشیمیایی مورد مطالعه، تحت تأثیر نوع ژنوتیپ پیوندی است. به‌طوری‌که در مجموع، بیشترین محتوای پروتئین محلول کل، فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، گایاکول پراکسیداز و

به‌زراعی کشاورزی

۶. غلامی، م و راحمی م (۱۳۸۹). بررسی اثرات تنش شوری کلرید سدیم بر خصوصیات فیزیولوژیکی و مورفولوژیکی پایه رویشی هیبرید هلو- بادام (GF677). فناوری تولیدات گیاهی. ۲ (۱): ۳۱-۲۱.

۷. مومن پور ع، ایمانی ع، بخشی د و رضایی ح (۱۳۹۳). ارزیابی تحمل به شوری در برخی از ژنوتیپ های بادام پیوند شده روی پایه GF677 بر اساس صفات مورفولوژیک و فلورسانس کلروفیل. فرآیند و کارکرد گیاهی. ۳ (۱۰): ۲۸-۹.

۸. مؤمن پور ع، بخشی د، ایمانی ع و رضایی ح (۱۳۹۴). ارزیابی خصوصیات رشدی و غلظت عناصر غذایی در چهار ژنوتیپ بادام پیوندشده روی پایه GF677 تحت تنش شوری. علوم باغبانی ایران. ۶۴ (۳): ۶۰۳-۶۲۴.

۹. مومن پور ع، بخشی د، ایمانی ع و رضایی ح (۱۳۹۴). اثر تنش شوری بر خصوصیات رشدی و غلظت عناصر غذایی در رقم های بادام 'شاهرود ۱۲'، 'تونو' و ژنوتیپ '۱-۱۶' پیوندشده روی پایه GF677. به زراعی کشاورزی. ۱۷ (۱): ۲۱۶-۱۹۷.

۱۰. میرمحمدی میبدی س ع و قره یاضی ب (۱۳۸۱). جنبه های فیزیولوژیک و بهنژادی تنش شوری گیاهان. انتشارات دانشگاه صنعتی اصفهان. ۲۷۴ صفحه.

11. Ashraf M and Harris PJC (2003). Potential biochemical indicators of salinity tolerance in plants. Plant Science. 166: 3-16.
12. Bakhshi D and Arakawa O (2006). Effects of UV-B irradiation on phenolic compound accumulation and antioxidant activity in 'Jonathan' apple influenced by bagging, temperature and maturation. Food, Agriculture and Environment. 4 (1): 75-79.
13. Bartles D and Sunkar R (2005) Drought and salt tolerance in plants: a review. Plant Science. 24: 23-58.
14. Bates LS, Waldren RP and Teare LD (1973). Rapid determination of free proline for water stress studies. Plant and Soil Science. 39: 205-208.
15. Beauchamp CO and Fridovich I (1971). Superoxide dismutase: improved assays and an assay applicable to acrylamide gels. Annual Review of Biochemistry. 44: 276-287.

آسکوربات پراکسیداز در سطح شوری ۳/۶ گرم در لیتر و بیشترین محتوای فنل کل، ظرفیت آنتی اکسیدانی، قندهای محلول و پرولین در سطح شوری ۴/۸ گرم در لیتر و در رقم 'شاهرود ۱۲'، مشاهده شد. در نقطه مقابل، کمترین مقدار در محتوای پراکسید هیدروژن، مالون دی آلدید، سایر آلدیدها و قندهای نامحلول، در دو سطوح شوری ۳/۶ و ۴/۸ گرم در لیتر در رقم 'شاهرود ۱۲'، مشاهده شد. در مجموع، از میان ارقام مورد مطالعه، رقم 'شاهرود ۱۲'، پیوند شده روی پایه GF677 به عنوان متحمل ترین رقم به شوری تشخیص داده شد.

منابع

۱. اورعی م، طباطبایی ج، فلاحتی ا و ایمانی ع (۱۳۸۸). اثرات تنش شوری و پایه بر رشد، شدت فتوسنتز، غلظت عناصر غذایی و سدیم درخت بادام. علوم باغبانی ایران. ۲۳ (۲): ۱۴۰-۱۳۱.
۲. حیدری شریف آباد ح (۱۳۸۰). گیاه و شوری. موسسه تحقیقات جنگل ها و مراتع. ۷۶ صفحه.
۳. رهنمون ح، شکاری ف، دژم پور ج و خورشیدی م ب (۱۳۹۲). تأثیر سطوح مختلف شوری روی برخی تغییرات مورفولوژیکی و بیوشیمیایی بادام (*Prunus dulcis* Mill). به زراعی کشاورزی. ۱۵ (۲): ۱۹۲-۱۷۹.
۴. رهنمون ح، قاسیموف نعمت ع، شکاری ف و علی اصغر زاده ن (۱۳۸۸). تأثیر تنش شوری روی برخی رفتارهای اکوفیزیولوژیکی نژادگان های گزینش شده بادام (*Prunus amygdalus* B.). علوم و فنون باغبانی ایران. ۱۰ (۲): ۱۶۷-۱۷۶.
۵. علایی ش و تفضلی ع (۱۳۸۲). اثر های شوری کلرید سدیم، کیتین و سایکوسل بر تجمع برخی از عناصر در زیتون (*Olea europea* L.). رقم دزفول. علوم و فنون باغبانی ایران. ۴ (۱ و ۲): ۱-۱۰.

16. Bradford MM (1976) A rapid and sensitive method for the quantization of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Annual Review of Biochemistry*. 72: 248-254.
17. Cesarino IA, Araújo P, Sampaio M JL, Paes LAF and Mazzafera P (2012) Enzymatic activity and proteomic profile of class III peroxidases during sugarcane stem development. *Plant Physiology and Biochemistry*. 55: 66-76.
18. Chance B and Maehly AC (1955) Assay of catalases and peroxidase. In: Colowickand SP and Kaplan NO (Eds.), *Methods in Enzymology*. New York Academic Press, pp. 764-775.
19. Du G, Li F, Ma F and Liang D (2009) Antioxidant capacity and the relationship with polyphenol and Vitamin C in Actinidia fruits. *Food Chemistry*. 113: 557-562.
20. Erturk U, Sivritepe N, Yerlikaya C, Bor M, Ozdemir F and Turkan I (2007) Responses of the cherry rootstock to salinity in vitro. *Biologia Plantarum*. 51: 597-600.
21. Grattan SR (2002) *Irrigation water salinity and crop production*. University of California. Agriculture and Natural Recourses Publication. 8066.
22. Heath RL and Packer L (1969). Photoperoxidation in isolated chloroplast, I. Kinetics and stoichiometry of fatty acid peroxidation. *Archives of Biochemistry and Biophysics*. 125: 189-198.
23. Karamanos AJ (1995) The involvement of Proline and some metabolites in water stress and their importance as drought resistance indicators. *Plant Physiology*. 21(2-3): 98-110.
24. Kochert G (1987) Carbohydrate determination by the phenolsulfuric acid method. in Helebus Cambridge Univ. Press, Cambridge.
25. Levitt J (1980) Responses of plants to environmental stresses: water, radiation, salt and other stresses. Vol. II. Academic Press, New York.
26. Maas EV and Hoffman GJ (1977) Crop salt tolerance: current assessment. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*. 103: 115- 134.
27. Mahajan Sh and Tuteja N (2005) Cold, salinity and drought stresses: An overview. *Archives of Biochemistry and Biophysics*. 444: 139-158.
28. Montaium R, Hening H and Brown PH (1994) The relative tolerance of six Prunus rootstocks to boron and salinity. *American Society for Horticultural Science*. 6: 1169-1175.
29. Mousavi A, Lessani H, Babalar MA, Talaei R and Fallahi E (2008) Influence of salinity on chlorophyll, leaf water potential, total soluble sugars and mineral nutrients in two young olive plants. *Plant Nutrition*. 31(11): 1906-1916.
30. Munns R and Tester M (2008) Mechanisms of salinity tolerance. *Annual Review of Plant Biology*. 59: 651-681.
31. Nakano Y and Asada K (1981) Hydrogen peroxide is scavenged by ascorbate-specific peroxidase in spinach chloroplast. *Plant Cell and Environment*. 22: 867-880.
32. Singleton VL, Orthofer R, and Lamuela-Raventos R (1999) Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of Folin-Ciocalteu reagent. *Methods in Enzymology*. 299: 152-178.
33. Sorkheh K, Shiran B, Rouhi V and Khodambashi M (2012). Salt stress induction of some key antioxidant enzymes and metabolites in eight Iranian wild almond species. *Plant Physiology*. 34: 203-213.
34. akeda T, Yokota A and Shigeoka S (1995) Resistance of photosynthesis to hydrogen peroxide in algae. *Plant Cell Physiology*. 36: 1089-1095.
35. Velikova V, Yordanov I and Edreva A (2000) Oxidative stress and some antioxidant systems in acid rain-treated bean plants. *Plant Science*. 151: 59-66.
36. Vogt T (2010) Phenyl propanoid biosynthesis. *Molecular Plant*. 3: 2-20.
37. Zhang J and Kirkham MB (1996) Enzymatic responses of the acrobat-glutathione cycle to drought in sorghum and sunflower. *Plant Science*. 113: 139-147.



Crops Improvement

(Journal of Agricultural Crops Production)

Vol. 20 ■ No. 2 ■ Summer 2018

Effect of salinity stress on almond (*Prunus dulcis*) ‘Shahrood 12’, ‘Touno’ cultivars and ‘1-16’ genotype budded on GF₆₇₇ rootstock:

II. Biochemical characteristics

Ali Momenpour^{1*}, Davod Bakhshi², Ali Imani³

1. Assistant Professor, National Salinity Research Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Yazd, Iran
2. Associate Professor, Horticultural Department, College of Agriculture, University of Guilan, Rasht, Iran.
3. Associate Professor, Temperate Fruit Research Center, Horticultural Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran.

Received: June 16, 2017

Accepted: August 26, 2017

Abstract

To evaluate the effect of salinity stress on the biochemical reactions of almond genotypes, a factorial experiment was carried out based on completely randomized design (CRD), with two factors; genotypes in 4 levels (Shahrood 12, ‘Touno’ cultivars and ‘1-16’ genotype budded on GF₆₇₇ rootstock and GF₆₇₇ (without budding)) and irrigation water salinity in 3 levels (0, 1.2, 2.4, 3.6, and 4.8 g/L of natural salt equal to electrical conductivity of 0.5, 2.5, 4.9, 7.3 and 9.8 ds/m respectively). Total phenolics, antioxidant capacity, soluble carbohydrate, non-soluble carbohydrate, proline, total soluble proteins, hydrogen peroxide, malondialdehyde, other aldehydes, enzymes activity of catalase, ghayacol peroxidase and ascorbat peroxidase were measured at the end of experiment. Results showed that in all genotypes with increasing salinity level (to 4.8 gr/lit), the content of hydrogen peroxide, malondialdehyde and other aldehydes were increased. Also, the content of total phenolics, antioxidant capacity, soluble carbohydrates, proline, total soluble proteins, enzymes activity of catalase, ghayacol peroxidase and ascorbat peroxidase, were increased at the lower salinity levels (1.2 and 2.4 g/lit), but their contents were reduced in higher salinity levels. Thoroughly, the highest content of soluble proteins, enzymes activity of catalase, ghayacol peroxidase and ascorbat peroxidase at salinity level 3.6 gr/lit and the highest content of total phenolics, antioxidant capacity, soluble carbohydrate and prolin at salinity level 4.8 gr/lit were observed in ‘Shahrood 12’ cultivar. Also, the lowest content of hydrogen peroxide, malondialdehyde, other aldehydes and total non-soluble carbohydrate at salinity levels 3.6 and 4.8 gr/lit were observed in ‘Shahrood 12’ cultivar. Finally, ‘Shahrood 12’ budded on GF₆₇₇ rootstock was recognized as the most tolerant cultivar to salinity.

Keywords: Enzymatic activity, hydrogen peroxide, proline, soluble carbohydrate, total phenol.