بسم الله الرحمن الرحيم

دانشگاه تبریز

گروه به‌نژادی و بیوتکنولوژی گیاهی

پایان‌نامه کارشناسی ارشد در رشته بیوتکنولوژی کشاورزی

عنوان

اثر تنش شوری و تیمار با پرولین بر الگوی نواری آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان ارقام جو در مرحله گیاهچه‌ای

استاد راهنما:

دکترمصطفی ولی زاده

استاد مشاور:

دکتر محمد مقدم واحد

پژوهشگر:

محمد بهروزی ورجوی

شهریور ۱۳۹۳

سپاس بیکران خداوند متعال را که ستایش جز او نیست و اندیشه بشری هرگز به ژرفای عظمتش راه نیابد. خداوندی که مبدأ علم است و به انسان آنچه را نمی‌دانست آموخت.

از پدر فداکار، مادر مهربان و خانواده عزیزم که در تمام مراحل زندگی‌ام با وجود و حمایت‌های بی‌دریغشان هموار کننده راهم بودند، کمال تشکر و قدردانی را دارم.

بر خود واجب می‌دانم از استاد راهنمای ارجمند جناب آقای دکتر مصطفی ولیزاده که همواره مرهون الطاف بزرگوارانه ایشان بوده و در اجرا و تدوین این پایان‌نامه از راهنمایی-های ارزنده‌شان برخوردار بوده‌ام با تمام وجود سپاسگذاری نمایم. از استاد مشاوره دلسوزم جناب آقای دکتر مقدم که همواره در مشکلات و مسائل پایان نامه مایه دلگرمی و پیشرفتم بودند کمال تشکر و قدردانی را دارم. از استاد داورمحترم جناب آقای دکتر علی بنده حق که در انجام این پژوهش و همچنین بازخوانی دقیق و ظریف پایان‌نامه زحمت زیادی را متقبل شدند تشکر و قدردانی می‌نمایم. از مدیرگروه محترم گروه به‌نژادی و بیوتکنولوژی گیاهی جناب آقای دکتر محمود تورچی و از تمامی اساتید محترم گروه به نژادی و بیوتکنولوژی گیاهی که در محضرشان کسب علم و ادب نموده‌ام کمال تشکر و قدردانی را دارم. همچنین از جناب آقای مهندس کهنمویی، سرکار خانم مهندس شریعت، سرکار خانم رنجبر و جناب آقای جعفرپور به خاطر همکاری‌های بی‌دریغشان کمال تشکر و قدردانی را دارم.

در پایان از کلیه عزیزانی که همواره در اجرای پایان نامه در کنارم بودند و کمک هایشان را دریغم نکردند: جناب آقایان مرزوقیان، محمدزاده جلالی، محرم‌نژاد، دل‌انگیز، عزیزی، دلایی و از تک تک دوستانم و به خصوص هم کلاسیها و هم اتاقی های عزیزم صمیمانه سپاسگزارم و برایشان آرزوی بهترین ها را دارم.

تقدیم به

مهر مادر

فداکاری پدر

به پاس آسایشی که از خود دریغ کردند تا شاهد آسایش و موفقیت فرزندشان باشند.

نام خانوادگی: بهروزی ورجوی نام: محمد

عنوان پایان نامه: اثر تنش شوری و تیمار با پرولین بر الگوی نواری آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان ارقام جو در مرحله گیاهچه‌ای

استادراهنما: دکترمصطفی ولیزاده استاد مشاور: دکتر محمد مقدم

مقطع تحصیلی: کارشناسی ارشد رشته تحصیلی: مهندسی کشاورزی

گرایش: بیوتکنولوژی کشاورزی دانشگاه: تبریز

دانشکده: کشاوررزی تاریخ فارغ التحصیلی: تعداد صفحه ۷۶

واژه‌های کلیدی: پرولین- تنش شوری- جو- سوپراکسیددیسموتاز- پراکسیداز- کاتالاز

چکیده

تنش‌های غیرزیستی مانند شوری یکی از مهمترین عوامل کاهش عملکرد جو بشمار می‌روند. در این پژوهش الگوی ایزوزیمی آنزیم‌های پراکسیداز (POX)، کاتالاز (CAT) و سوپراکسید دیسموتاز (SOD) برگ گیاهچه‌های ده رقم جو پس از تیمار شوری در سه سطح (۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌مولار) و تیمار خارجی پرولین در سه سطح (۰، ۵ و ۱۰ میلی‌مولار) مورد مطالعه قرار گرفت. آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملا تصادفی با سه تکرار در شرایط آزمایشگاهی پیاده شد. برای بررسی آنزیمی، از هر رقم نمونه‌هایی از برگ‌های چند بوته در هر واحد آزمایشی به صورت مخلوط برداشت و مورد استخراج آنزیمی قرار گرفت. سپس با انجام الکتروفورز افقی روی ژل پلی آکریل آمید ۸ درصد و رنگ آمیزی ژل‌ها، الگوی نواری آنزیم‌ها تصویر برداری و با نرم افزار MCID از نظر میزان فعالیت آنزیم‌ها در کلیه ترکیب‌های تیماری بررسی شد. تجزیه واریانس میزان فعالیت تک آنزیم CAT نشان داد که بین ارقام، سطوح مختلف شوری و اثر متقابل این دو تفاوت معنی داری وجود داشت. همچنین اثر متقابل سه‌جانبه شوری × رقم × پرولین برای این آنزیم معنی‌دار شد. برای POX سه ایزوزیم بدون ابهام و تکرارپذیر مشاهده شد. فعالیت آنزیمی هر سه ایزوزیم POX بین ارقام مورد مطالعه، بین سطوح مختلف شوری و نیز اثر متقابل شوری × رقم اختلاف معنی‌داری نشان داد. همچنین اثر متقابل شوری × پرولین در ایزوزیم POX_3 و اثر سه جانبه شوری × رقم × پرولین در ایزویم‌های POX_2 و POX_3 معنی‌دار بود. تجزیه واریانس داده-های مرتبط با فعالیت سه ایزوزیم مشاهده شده SOD نشان داد که بین ارقام مورد مطالعه از نظر میزان فعالیت این ایزوزیم-ها اختلاف معنی‌داری وجود داشت. همچنین اثر متقابل شوری × رقم در ایزوزیم SOD_1 معنی‌دار شد. بطور کلی ارقام ارس،یوسف و نصرت به خاطر بیشترین فعالیت CAT، ارقام ماکویی و نصرت به جهت بیشترین فعالیت POX و رقم ترش به دلیل فعالیت SOD بیشتر، به عنوان ارقام برخوردار از توانایی تحمل بیشتر به تنش شوری معرفی شدند. همچنین واکنش ارقام در برابر شوری اختلاف اثر بسیار بیشتری در مقایسه با واکنش آن‌ها در برابر پرولین داشته است. در ضمن در POX_3 تیمار ۵ میلی‌مولار پرولین نیز منجر به تعدیل اثرات تنش و کاهش معنی‌دار فعالیت این ایزوزیم نسبت به شرایط شوری ۲۰۰ میلی‌مولار شد.

مقدمه..... ا

فصل اول: بررسی منابع

۱-۱ جو..... ۱

۱-۱-۱ تاریخچه جو..... ۱

۱-۱-۲ گیاه شناسی و سازگاری جو..... ۱

۱-۲ تنش‌های محیطی..... ۲

۱-۲-۱ تعریف تنش..... ۲

۱-۲-۲ انواع تنش‌های محیطی..... ۲

۱-۲-۳ تنش شوری..... ۲

۱-۳ مکانیسم های دخیل در سازگاری به تنش..... ۳

۱-۳-۱ نموی..... ٤

۱-۳-۲ ساختاری..... ٤

۱-۳-۳ فیزیولوژیک..... ٤

۱-۳-٤ بیوشیمیایی..... ٤

۱-٤ انواع راه‌های سازگاری با تنش شوری در گیاهان..... ٤

۱-۵ گونه‌های فعال اکسیژن‌دار(ROS)..... ۵

۱-۵-۱ نحوه تولید و کارکرد گونه‌های فعال اکسیژن..... ٦

۱-٦ آسیب‌های ناش از گونه‌های فعال اکسیژن..... ۱۰

۱-۶-۱ آسیب‌های ناشی از سوپراکسید (O_2^-)..... ۱۰

۱-۶-۲ آسیب‌های ناشی از پراکسیدهیدروژن (H_2O_2)..... ۱۱

۱-۷ آنتی اکسیدان‌ها..... ۱۲
۱-۷-۱ آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان ۱۳
۱-۷-۲ پرولین..... ۱۶
۱-۸ بررسی پژوهش‌های انجام شده در جو و غلات..... ۱۸
اهداف تحقیق..... ۲۵

فصل دوم: مواد و روش‌ها

۲-۱ مواد گیاهی..... ۲۷
۲-۲ طرح آزمایشی..... ۲۷
۲-۳ تجزیه‌های آنزیمی..... ۲۸
۲-۳-۱ بافت مورد استفاده برای بررسی آنزیم‌ها..... ۲۸
۲-۳-۲ استخراج آنزیمی..... ۲۸
۲-۳-۳ الکتروفورز در ژل آکریل‌آمید..... ۲۸
۲-۳-٤ تهیه ژل..... ۲۹
۲-۳-٥ راه اندازالکتروفورز افقی..... ۳۱
۲-۳-٦ رنگ‌آمیزی آنزیم‌ها..... ۳۲
۲-۳-۷ نام‌گذاری نوارهای ایزوزیمی..... ۳۳
۲-۳-۸ کمی سازی فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدان مورد مطالعه..... ۳۵
۲-۳-۹ تجزیه و تحلیل داده‌ها..... ۳۵

فصل سوم: نتایج وبحث

۳-۱ کاتالاز (CAT)..... ۳۸

۳-۲ پراکسیدازها (POX).....٤٤

۳-۳ سوپراکسیددیسموتازها (SOD).....٥٥

منابع مورد استفاده

منابع.....٦٤

فهرست جداول

جدول ۱-۱ نحوه تشکیل انواع اکسیژن‌های فعال (میتلر، ۲۰۰۲).....٦

جدول ۱-۲ مکانیسم و محل تولید رادیکال‌های فعال اکسیژن درسلول‌های گیاهی (میتلر،۲۰۰۲).....۹

جدول ۲-۱ ارقام مورد مطالعه جو (و نحوه تحمل آن‌ها به تنش خشکی بر اساس اظهارنظر پژوهشگران مؤسسه).....۲۷

جدول ۳-۱ تجزیه واریانس اثر ژنوتیپ، شوری و پرولین در فعالیت سه آنزیم کاتالاز، پراکسیداز و سوپراکسیددیسموتاز.....۳۹

فهرست شکل‌ها

شکل ۱-۱ مسیر فرعی احیاء ناقص اکسیژن.....٦

شکل ۱-۲ مراکز تولید ROS و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان در اثر تنش شوری (گابر، ۲۰۱۰).....۸

شکل ۲-۱ نمونه‌ای از نام‌گذاری و حرکت نوارهای ایزوزیمی در آنزیم کاتالاز (CAT).....٣٤

شکل ۲-۲ نمونه‌ای از نام‌گذاری و حرکت نوارهای ایزوزیمی در آنزیم پراکسیداز (POX).....٣٤

شکل ۲-۳ نمونه‌ای از نام‌گذاری و حرکت نوارهای ایزوزیمی در آنزیم سوپراکسیددیسموتاز (SOD).....۳۵

شکل ۳-۱ فعالیت آنزیم کاتالاز (CAT) را در ارقام جو و در شرایط مختلف آزمایش در ژل پلی-آکریل‌آمید افقی.....۳۸

شکل ۳-۲ میانگین ترکیب تیماری ارقام و تنش شوری ناشی از NaCl برای فعالیت آنزیم کاتالاز (CAT) در مرحله گیاهچه ای ارقام جو..... ٤٠
شکل ۳-۳ میانگین فعالیت آنزیم کاتالاز (CAT) برای ارقام جو در سطوح مختلف پرولین..... ٤١
شکل ۳-٤ میانگین فعالیت دنسیتومتریک آنزیم کاتالاز (CAT) در سطوح مختلف شوری و سطوح مختلف پرولین ٤٢
شکل ۳-٥ فعالیت آنزیم پراکسیداز (POX) در ارقام جو و در شرایط مختلف آزمایش در ژل پلی-آکریل‌آمید افقی..... ٤٤
شکل ۳-٦ میانگین ترکیب تیماری ارقام و تنش شوری ناشی از NaCl برای فعالیت آنزیم پراکسیداز (POX_1) در مرحله گیاهچه ای ارقام جو..... ٤٦
شکل ۳-۷ میانگین فعالت دنسیتومتریک ایزویزیم POX_2 در ارقام جو و سطوح مختلف شوری..... ٤٧
شکل ۳-۸ میانگین ترکیب تیماری ارقام و تیمار خارجی پرولین برای فعالیت آنزیم پراکسیداز (POX_2) در مرحله گیاهچه ای ارقام جو..... ٤٨
شکل ۳-۹ میانگین فعالیت ایزوریم POX_2 در سطوح مختلف شوری و سطوح مختلف پرولین..... ٤٩
شکل ۳-۱۰ میانگین فعالیت دنسیتومتریک ایزوزیم POX_3 در ارقام جو و سطوح مختلف شوری... ٥٠
شکل ۳-۱۱ میانگین فعالیت دنسیتومتریک ایزوزیم POX_3 در ارقام جو و سطوح مختلف پرولین... ٥١
شکل ۳-۱۲ میانگین ترکیب تیماری تنش شوری ناشی از NaCl و تیمار خارجی پرولین برای فعالیت آنزیم پراکسیداز (POX_3) در مرحله گیاهچه ای ارقام جو..... ٥٢
شکل ۳-۱۳ فعالیت آنزیم سوپراکسیددیسموتاز (SOD) را در ارقام جو و در شرایط مختلف آزمایش در ژل پلی‌آکریل‌آمید افقی..... ٥٦
شکل ۳-١٤ میانگین ارقام جو مورد آزمایش برای فعالیت دنسیتومتریک ایزوزیم SOD_1..... ٥٨

شکل ۳-۱۵ میانگین ترکیب تیماری ارقام و تیمار خارجی پرولین برای فعالیت آنزیم سوپراکسیددیسموتاز ($SOD_۲$) در مرحله گیاهچه ای ارقام جو..... ۵۹
شکل ۳-۱۶ میانگین فعالیت دنسیتومتریک آنزیمی در ارقام مختلف جو برای ایزوزیم $SOD_۳$..... ۶۰

مقدمه

افزایش جمعیت جهان از یک سو و محدودیت منابع غذایی از سوی دیگر به‌عنوان بزرگترین چالش در دنیای امروز مطرح است. گیاهان به‌عنوان بزرگترین منبع تامین کننده غذای بشر بشمار می-روند. متوسط عملکرد جو در دنیا در طی سال‌های اخیر۲/٤۹ تن در هکتار و درایران متوسط ۱/۷٤تن در هکتار می‌باشد (فائو، ۲۰۱۲). جو یکی از محصولات غذایی مهم در بسیاری از ممالک جهان نظیر اروپای شرقی و غرب آسیا به‌شمار می‌رود (بهنیا، ۱۳۷۳). دانه جو علاوه بر مصرف تغذیه‌ای انسان، در صنعت داروسازی و کارخانجات نشاسته‌سازی به‌دلیل دارا بودن مالت بالا استفاده می‌شود. دانه این گیاه به علت دارا بودن ویتامین‌های مهمی مثل A، E، B_1، B_2، B_{12} ، مواد معدنی مانند کلسیم، فسفر، سدیم، منگنز و منیزیوم و درصد پروتئین نسبتاً بالا (۱۰-۱۵٪) از اهمیت بالایی برخوردار است (نورمحمدی و همکاران، ۱۳۸۰).

شوری خاک یک مشکل روز افزون خاک‌های کشاورزی است که باعث کاهش سرعت رشد گیاهان و تولید محصول مخصوصاً در مناطق خشک و نیمه خشک می‌شود. ایران دارای اقلیم گرم و خشک بوده و مجموع خاک‌های شور و سدیمی در آن حدود ۲۷ میلیون هکتار برآورد شده که بیش از نیمی از زمین‌های قابل کشت می‌باشد (رضوانی‌مقدم و کوچکی، ۲۰۰۱). گیاهان از نظر میزان مقاومت به شوری و یا حساسیت به شوری متفاوت می‌باشند. افزایش مقاومت گیاهان به شوری و انتخاب ژنوتیپ‌های مناسب برای کاشت در مناطق شور، اهمیت زیادی از نظر کشاورزی واقتصادی دارد (کینگسبوری و همکاران، ۱۹۸٤). گیاهان زراعی در طول دوره رشد رویشی خود همواره با تنش‌های محیطی متعددی نظیر شوری و خشکی روبرو هستند. بیشترین خسارت در گیاهان که از طریق تنش-های مختلف اعمال می شود، در ارتباط با خسارت اکسیداتیو در سطوح مختلف سلولی است (آلن، ۱۹۹۵). پاسخ به استراتژی سازش گیاه، به مدت و سختی دوره شوری بستگی دارد و اگر بیش از یک مدت معین امتداد پیدا کند، منتج به تنش اکسیداتیو و در صورت عدم توانایی در کنترل، مرگ را به دنبال خواهد داشت.

بروز تنش شوری سبب ایجاد اختلالات متابولیسمی در سلول‌های گیاهی می‌گردد که می‌توان به افزایش تولید گونه‌های فعال اکسیژن به عنوان یکی از عوامل اصلی اختلالات متابولیسمی سلول اشاره کرد (میتلر و همکاران، ۲۰۰٤). فعالیت گونه‌های فعال اکسیژن[1] (ROS) ممکن است سبب بروز صدماتی همچون اکسید شدن لیپیدها، تغییر ساختمان پروتئین‌ها، غیر فعال شدن آنزیم ها، بی رنگ شدن و یا از بین رفتن رنگدانه‌هائی مانند کلروفیل و سایر ترکیبات رنگیزه ای و هم چنین حمله مداوم به مولکول‌های آلی مثل DNA و در نتیجه اختلال در رشته های DNA گردد (حبیبی و همکاران، ۲۰۰٤؛ موهانتی، ۲۰۰۳؛ میتلر، ۲۰۰۲).

گیاهان برای مقابله با تنش اکسیداتیو ایجاد شده، دارای سیستم دفاعی با کارائی بالائی هستند که می تواند رادیکال‌های آزاد را از بین برده و یا خنثی کنند. آنتی‌اکسیدان‌ها به دو دسته ترکیبات آنزیمی و غیرآنزیمی تقسیم می‌شوند. سیستم دفاعی آنزیمی عمدتا شامل سوپراکسیددیسموتاز (SOD)، آسکوربات‌پراکسیداز (APX)، کاتالاز (CAT) و گلوتاتیون‌ردوکتاز (GR) است که آنزیم‌های آنتی-اکسیدان کلیدی در مبارزه علیه گونه‌های فعال اکسیژن بشمار می‌روند و مهمترین ترکیبات غیرآنزیمی آنتی‌اکسیدانی شامل گلوتاتیون، اسیدآسکوربیک، توکوفرول، کاروتنوئیدها و ترکیبات متفرقه (از جمله فلاونوئیدها، مانیتول‌ها و پلی‌فنل‌ها) می‌باشند (بولخینا و همکاران، ۲۰۰۳). از آنجایی که ارتباط قوی بین تحمل به شوری و تغییر بیان ژن‌ها، تجمع متابولیت‌ها، پروتئین‌های مخصوص و آنزیم‌های آنتی-اکسیدان در گیاهان وجود دارد، آگاهی از تغییرات پروتئین‌ها و آنزیم‌ها تحت شرایط تنش‌زا ممکن است کمکی برای شناسایی صفات فیزیولوژیکی موثر در برنامه‌های اصلاحی و تولید ارقام مقاوم باشد

1. Reactive Oxygen Speices (ROS)

این پژوهش در راستای چگونگی فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان در شرایط مختلف شوری حاصل از NaCl و در سطوح مختلف پرولین در ارقام جو مورد کشت در منطقه انجام گرفت.

فصل اول:

بررسی منابع

۱-۱ جو

۱-۱-۱ تاریخچه جو

جو(*Hurdeum vulgar*) از اولین گیاهان اهلی شده توسط انسان است. یکی از نظرات حاکی از آن است که اجداد جوهای وحشی و اهلی، گیاهی بوده که در حال حاضر منقرض شده است و این گیاه در مناطقی می‌روییده است که امروزه گونه *Hordeum spontaueum* می‌روید. این مناطق، از کوه‌های زاگرس در غرب ایران تا جنوب آناتولی و جنوب فلسطین امتداد دارد (کوچکی، ۱۳۸۵). نام جو در ایران از کلمه جاو (jaw) که در زبان پهلوی به این گیاه اطلاق می‌شد، گرفته شده و در هند نیز Jaw نام دارد (خدابنده، ۱۳۷۲). به احتمال زیاد گونه‌های زراعی از گونه وحشی هوردئوم اسپانتانئوم منشأ گرفته‌اند (یزدی صمدی وعبدمیشانی، ۱۳۸۳).

۱-۱-۲ گیاه‌شناسی و سازگاری جو

جو مانند گندم از خانواده گندمیان[1]، یکساله، علفی و دارای آرایشی به شکل سنبل می‌باشد. روی سنبل و در محل گره‌ها ۳ سنبله وجود دارد. هر سنبله از یک گل که مستقیماً روی گره‌ها اتصال دارد، تشکیل شده است. در برخی از انواع جو، هر شش گل تبدیل به دانه می‌شود و تشکیل سنبل‌های شش ردیفه را می‌دهند. در برخی دیگر فقط گل میانی تبدیل به دانه می‌شود و سنبل‌های دو ردیفه را روی سنبله تشکیل می‌دهند. دسته اول به جوهای شش ردیفه و دسته دوم به جوهای دو ردیفه موسوم است (بهنیا، ۱۳۷۳). جو گیاهی خودگشن بوده و احتمال دگرگشنی آن کم است (نورمحمدی

1.Gramineae

و همکاران، ۱۳۸۰). جو در مقایسه با گندم مقاومت بیشتری به خشکی و بیماری‌ها دارد و در شرایط نامساعد، عملکرد آن بیشتر از گندم است. به همین دلیل جو را اغلب در مناطقی که از نظر بارندگی و نوع خاک برای گندم مناسب نیست، کشت می‌کنند. بذر جو برای جوانه‌زدن احتیاج به رطوبت کمتری نسبت به بذر گندم دارد و در مواردی که بذر در شرایط نامساعد خشک شده و رطوبت مجدداً تامین شود، رشد مجدد خود را زودتر از سر می‌گیرد (کوچکی، ۱۳۸۵).

۱-۲ تنش‌های محیطی

۱-۲-۱ تعریف تنش

تنش به عنوان کاهش رشد کمی یا کیفی یک گیاه خاص تعریف می‌شود که در اثر تغییرات خارج از دامنه مطلوب عوامل محیطی ایجاد می‌شود (کافی و دامغانی، ۱۳۸۱؛ لویت، ۱۹۸۰).

۱-۲-۲ انواع تنش‌های محیطی

زیستی (زنده)

غیر زیستی (غیرزنده)

از بین عوامل مختلف تنش‌زای زنده می‌توان به بیماری‌ها، آفات، علف‌های هرز اشاره کرد. اما تنش‌های غیر زنده شامل تنش کمبود آب، شوری، دما، تشعشعات و امواج الکترومغناطیس و.... می‌باشد (جونز و جونز، ۱۹۸۹).

۱-۲-۳ تنش شوری

شوری به غلظت بالای نمک‌های محلول در خاک گفته می‌شود. خاک‌هایی به عنوان خاک‌های

شور تلقی می‌شوند که EC آن ds/m ٤ یا بیشتر باشد (تقریبا مساوی با ٤٠ میلی مولار NaCl است) و حدودا فشار اسمزی مساوی با ۰/۲ مگاپاسکال (MPa) تولید کند. این تعریف از شوری از EC گرفته شده است که به طور معنی‌داری عملکرد اغلب گیاهان زراعی را تحت تاثیر قرار می‌دهد (مونز و تستر، ۲۰۰۸). سمیت سلولی ناشی از یون سدیم به‌دلیل نسبت بالای بار الکتریکی توده یون سدیم به یون پتاسیم می‌باشد که موجب از هم گسیختگی ساختار آب و در نتیجه کاهش برهمکنش آب‌گریزی و نیروهای هیدرواستاتیک در پروتئین‌ها می‌گردد. بعلاوه یون سدیم بر فعالیت آنزیم‌ها نیز تأثیر می‌گذارد که بخشی از این تأثیر به صورت مستقیم از طریق اتصال یون سدیم به جایگاه‌های بازدارنگی آنزیمی یا بخشی به صورت غیر مستقیم از طریق جایگزین شدن سدیم به جای پتاسیم در جایگاه‌های فعال آنزیمی می‌باشد (بهاندال و مالیک، ۱۹۸۸). علاوه‌براین، پتاسیم برای سنتز پروتئین لازم است زیرا اتصال tRNA به ریبوزوم‌ها نیازمند وجود یون پتاسیم است (بلاها و همکاران، ۲۰۰۰). هر چند اثرات شوری بر واکنش آنزیمی متعدد و پیچیده می‌باشد، این اثرات به میزان زیادی به تأثیر نمک‌ها در تغییر PH سیتوسل مربوط می‌شود که آن نیز به نوبه خود میزان فعالیت آنزیم‌ها را تحت تأثیر قرار می‌دهد (پالگ و همکاران، ۱۹۸٤). بطوریکه فعالیت آنزیم‌ها در غلظت‌های پایین یون‌ها افزایش جزئی دارد ولی به‌تدریج در حضور غلظت‌های کلریدسدیم بیش از ۱۰۰ میلی‌مولار از فعالیت آنزیم‌ها ممانعت می‌شود (مونس، ۲۰۰۲).

۱-۳ مکانیسم های دخیل در سازگاری به تنش

البته بایستی در نظر گرفت که نحوه پاسخ گیاهان در برابر تنش‌های محیطی به دو عامل اصلی ژنتیک و محیط بستگی دارد (کروری سودابه و معقولی، ۱۳۷۵). مکانیسم‌های مختلفی وجود دارند که می‌توانند باعث ایجاد سازگاری گیاهان در محیط تحت تنش شوند.

۱-۳-۱ نموی:

مکانیسم‌هایی که تحت کنترل ژن‌های متعددی است و با ایجاد تغییرات کلی در رشد گیاه آن را به محیط سازگار می‌نماید. مثل تغییر در زمان گلدهی.

۱-۳-۲ ساختاری:

مکانیسم‌ها و صفاتی که با ایجاد تغییراتی در ساختار فیزیکی گیاه، تحمل آن را به تنش زیاد می کند. مانند رشد ریشه و وجود موم بر روی برگ‌ها.

۱-۳-۳ فیزیولوژیک:

مکانیسم‌ها و صفاتی که با تغییرات اساسی در متابولیسم طبیعی گیاه تحمل آن را به تنش زیاد می کند. مانند افزایش کارآیی در مصرف آب.

۱-۳-٤ بیوشیمیایی:

صفاتی نظیر تولید تنظیم کننده‌های اسمزی که با تولید یک یا چند ماده گیاه را به تنش سازگار می کند.

۱-٤ انواع راه‌های سازگاری با تنش شوری در گیاهان

علاوه بر رفتار عادی هر سلول در زمان بروز تنش که منتج به تقویت بقای سلولی و نهایتاً واکنش مطلوب گیاه به تنش شوری می‌گردد، گیاه می‌تواند دارای دامنه وسیعی از سازوکارهای مختلف اختصاصی گروه‌های خاصی از سلول‌ها باشد. این سازوکارها عمدتاً شامل موارد زیر است:

تنظیم انتقال Na^+ به اندام هوایی (روبرت و تیستر، ۱۹۹۵)

چرخش سدیم از اندام هوایی به آوند آبکش (فلاورز، ۲۰۰٤)

تجمع در قسمت خاصی از اندام هوایی (مانند برگ‌های پیر)(مونس، ۲۰۰۵)

کنترل میزان تبخیر و تعرق (مونس، ۲۰۰۵)

که هر کدام از این سازوکارها می‌توانند در گیاه خاصی رخ دهد و یا ترکیبی از آن‌ها سبب بقای گیاه گردد.

۱-۵ گونه‌های فعال اکسیژن‌دار(ROS)

اکسیژن برای گیاهان هم‌چون تمام موجودات زنده همانند یک تیغ دو لبه است. بدین منظور که از طرفی برای رشد و نمو طبیعی مصرف آن اجتناب ناپذیر است، ولی از سوی دیگر تماس مداوم با آن باعث صدمه دیدن سلول و نهایتاً مرگ آن خواهد شد (فینکل و هولبروک، ۲۰۰۰). این عنصر ٪۲۱ از کل ترکیبات گازی موجود در اتمسفر را تشکیل می‌دهد که به دلیل برخورداری از الکترون‌های جفت در اربیتال‌های خود، حالت پایداری دارد. ولی این عنصر پتانسیل ردوکس بالایی دارد و در سلول‌های گیاهی و اندامک‌های آن حضور فعال دارد. جهت احیای اکسیژن و تبدیل شدن آن به آب چهار الکترون مورد نیاز است که بر اساس مدل زیر این عمل در متابولسیم عادی سلول اتفاق می‌افتد (شکل ۱-۱). اما سلول همواره در شرایط عادی به سر نمی‌برد. در چنین شرایطی احیای اکسیژن در مسیرهای فرعی نیز صورت می‌گیرد که احیای ناقص اکسیژن اتمسفری را در بر دارد. در مسیرهای فرعی اکسیژن با گرفتن یک، دو و سه الکترون به ترتیب به سوپراکسید(O^{-}_{2})، پراکسیدهیدروژن (H_2O_2) و رادیکال هیدروکسیل (OH^{-}) تبدیل می‌شود (میتلر ،۲۰۰۲؛ بیک و اسکینر، ۲۰۰۳).