بسم الله الرحمن الرحيم

تعهدنامه‌ی اصالت اثر و رعایت حقوق دانشگاه

تمامی حقوق مادّی و معنوی مترتب بر نتایج، ابتکارات، اختراعات و نوآوری‌هایِ ناشی از انجام این پژوهش، متعلق به **دانشگاه محقق اردبیلی** می‌باشد. نقل مطلب از این اثر، با رعایت مقرّرات مربوطه و با ذکر نام دانشگاه محقق اردبیلی، نام استاد راهنما و

اینجانب حوریه توکلی حسنکلو دانش‌آموخته‌ی مقطع کارشناسی ارشد رشته‌ی مهندسی کشاورزی گرایش زراعت دانشکده‌ی علوم کشاورزی دانشگاه محقق اردبیلی به شماره‌ی دانشجویی ۹۰۳۳۳۰۳۱۰۶ که در تاریخ

از پایان‌نامه‌ی تحصیلی خود تحت عنوان اثر تنش کم‌آبی بر تغییرات برخی متابولیت‌ها در ژنوتیپ-های گندم دفاع نموده‌ام، متعهد می‌شوم که:

۱) این پایان‌نامه را قبلاً برای دریافت هیچ‌گونه مدرک تحصیلی یا به عنوان هرگونه فعالیت پژوهشی در سایر دانشگاه‌ها و مؤسسات آموزشی و پژوهشی داخل و خارج از کشور ارائه ننموده‌ام.
۲) مسئولیت صحّت و سقم تمامی مندرجات پایان‌نامه‌ی تحصیلی خود را بر عهده می‌گیرم.
۳) این پایان‌نامه، حاصل پژوهش انجام شده توسط اینجانب می‌باشد.
۴) در مواردی که از دستاوردهای علمی و پژوهشی دیگران استفاده نموده‌ام، مطابق ضوابط و مقرّرات مربوطه و با رعایت اصل امانتداری علمی، نام منبع مورد استفاده و سایر مشخصات آن را در متن و فهرست منابع و مآخذ ذکر نموده‌ام.
۵) چنانچه بعد از فراغت از تحصیل، قصد استفاده یا هر گونه بهره‌برداری اعم از نشر کتاب، ثبت اختراع و ... از این پایان‌نامه را داشته باشم، از حوزه‌ی معاونت پژوهشی و فنّاوری دانشگاه محقق اردبیلی، مجوزهای لازم را اخذ نمایم.
۶) در صورت ارائه‌ی مقاله‌ی مستخرج از این پایان‌نامه در همایش‌ها، کنفرانس‌ها، سمینارها، گردهمایی‌ها و انواع مجلات، نام دانشگاه محقق اردبیلی را در کنار نام نویسندگان (دانشجو و اساتید راهنما و مشاور) ذکر نمایم.
۷) چنانچه در هر مقطع زمانی، خلاف موارد فوق ثابت شود، عواقب ناشی از آن (منجمله ابطال مدرک تحصیلی، طرح شکایت توسط دانشگاه و ...) را می‌پذیرم و دانشگاه محقق اردبیلی را مجاز می‌دانم با اینجانب مطابق ضوابط و مقرّرات مربوطه رفتار نماید.

نام ونام خانوادگی دانشجو: حوریه توکلی حسنکلو

دانشکده‌ی علوم کشاورزی

گروه آموزشی زراعت و اصلاح نباتات

پایان‌نامه برای دریافت درجه‌ی کارشناسی ارشد
در رشته‌ی مهندسی کشاورزی گرایش زراعت

عنوان:

اثر تنش کم‌آبی بر تغییرات برخی متابولیت‌ها در ژنوتیپ‌های گندم

استاد راهنما:
دکتر علی عبادی

استاد مشاور:
دکتر سدابه جهانبخش

پژوهشگر:
حوریه توکلی حسنکلو

تابستان ۹۲

دانشکده‌ی علوم کشاورزی

گروه آموزشی زراعت و اصلاح نباتات

پایان‌نامه برای دریافت درجه‌ی کارشناسی ارشد
در رشته‌ی مهندسی کشاورزی گرایش زراعت

عنوان:

اثر تنش کم‌آبی بر تغییرات برخی متابولیت‌ها در ژنوتیپ‌های گندم

پژوهشگر:
حوریه توکلی حسنکلو

ارزیابی و تصویب شده‌ی کمیته‌ی داوران پایان‌نامه با درجه‌ی .....

نام و نام خانوادگی	مرتبه‌ی علمی	سمت	امضاء
دکتر علی عبادی	دانشیار	استاد راهنما و رییس کمیته‌ی داوران	
دکتر سدابه جهان-بخش	استادیار	استاد مشاور	
دکتر محمد صدقی	دانشیار	داور	

تابستان ۹۲

تقدیم به:

چشمه های جوشان محبت

جلوه های مهر و

عطوفت الهی

لبخندهای پر مهر زندگیم

پدر و مادر عزیزم

که در تمام مراحل زندگی، به من راه و رسم درست زیستن را آموختند.

سپاسگزاری:

شکر شایان نثار ایزد منان که توفیق را رفیق راهم ساخت تا این پایان نامه را به پایان برسانم .سپاس بیکران بر همدلی و همراهی پدر و مادر عزیزم که در پستی وبلندی‌های زندگی همراه و همیشگی من بودند. از خانواده مهربانم که با دیباچه روشن نگاهشان راه را بر من آسان و امید را بر من سرازیر کردند، صمیمانه تشکر می‌نمایم.

از استاد فاضل و اندیشمند جناب آقای دکتر علی عبادی که همواره نگارنده را مورد لطف و محبت خود قرار داه اند ،کمال تشکر را دارم . شاگردی ایشان افتخار همیشه من خواهد بود.

از استاد گرامی خانم دکتر سدابه جهان‌بخش که مشاوره این پایان نامه را با جان و دل بر عهده داشتند، سپاسگذارم.

از آقای دکتر صدقی زحمت بازخوانی و داوری پایان نامه را بر عهده داشتند، کمال تشکر را دارم. از نماینده تحصیلات تکمیلی آقای دکتر زارع تشکر می‌کنم.

از خواهر عزیزم که همواره در تمامی مراحل این پژوهش همراه همیشگیم بود و از آقای دکتر کلانتر که در انجام این پژوهش کمک‌هایشان بی‌دریغ بود، کمال تشکر و قدردانی را دارم و از خداوند مهربان کامیابی این دوستان را آرزومندم.

با آرزوی سعادت و شادکامی برای تمامی این عزیزان

نام خانوادگی دانشجو: توکلی حسنکلو	نام: حوریه
عنوان پایان‌نامه: اثر تنش کم‌آبی بر تغییرات برخی متابولیت‌ها در ژنوتیپ‌های گندم	
استاد راهنما: دکتر علی عبادی	استاد مشاور: دکتر سدابه جهانبخش
مقطع تحصیلی :کارشناسی ارشد	رشته: مهندسی کشاورزی
گرایش: زراعت	دانشگاه: محقق اردبیلی
دانشکده: علوم کشاورزی	تاریخ دفاع: ۱۳۹۲/۰۶/۱۳ تعدادصفحات: ۵۳

چکیده:

به منظور بررسی تاثیر تنش کم‌آبی بر برخی از ویژگی‌های فیزیولوژیک، مورفولوژیک و بیوشیمیایی ژنوتیپ‌های گندم، آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملا تصادفی در سه تکرار و به صورت گلدانی در گلخانه دانشکده کشاورزی دانشگاه محقق اردبیلی در سال ۱۳۹۱ اجرا شد. فاکتور اول، تنش کم‌آبی در سه سطح ۳۵، ۶۰ و ۸۵ بر حسب ظرفیت مزرعه‌ای بوده و از رقم میهن و ژنوتیپ‌های C-۸۸D-۷، C-۸۸D-۱۷، C۸۸D-۱۹ و C۸۸D-۲۰ به عنوان فاکتور دوم استفاده شد. نتایج نشان داد که با افزایش سطوح کم‌آبی، میزان پتاسیم، کلروفیل a و b، کلروفیل کل، اسید آمینه‌های لیزین و متیونین، رطوبت نسبی و رطوبت نسبی از دست رفته کاهش یافت، در صورتی‌که عناصر سدیم، فسفر و آنزیم‌های آنتی اکسیدان شامل سوپراکسید دیسموتاز، کاتالاز، پراکسیداز و پلی‌فنل اکسیداز و همچنین اسمولیت‌هایی مانند پرولین و قندهای محلول به طور معنی‌داری افزایش نشان داد. با این حال کمبود آب میزان پروتئین کل را در ژنوتیپ‌های C-۸۸D-۱۹، C-۸۸D-۱۷ و C-۸۸D-۲۰، میزان کارتنوئیدها را در ژنوتیپ‌های C-۸۸D-۲۰ و C-۸۸D-۷ و کلسیم را در رقم میهن و ژنوتیپ C-۸۸D-۱۹ کاهش داد، درحالی‌که تاثیر کم‌آبی بر سایر ژنوتیپ‌ها منجر به افزایش این صفت‌ها شد، به‌طوری که پروتئین کل در رقم میهن و ژنوتیپ C-۸۸D-۷، میزان کارتنوئید در ژنوتیپ‌های C-۸۸D-۱۷ و C-۸۸D-۱۹ و میزان کلسیم در C-۸۸D-۲۰، C-۸۸D-۱۷ و C-۸۸D-۷ با تشدید تنش افزایش یافت. تحمل تنش کم‌آبی در اثر فعالیت آنزیم‌های آنتی-اکسیدان و متابولیت‌های سازگاری افزایش پیدا کرده و تجزیه‌ی پروتئین‌ها و اسیدهای آمینه مانند لیزین و متیونین می‌تواند منجر به افزایش تولید این اسمولیت‌ها و آنتی اکسیدان‌ها شود. کمبود آب موجب تجزیه کلروفیل‌ها شد و فعالیت آنتی‌اکسیدان‌هایی مانند سوپراکسید دیسموتاز، پراکسیداز و نیز کارتنوئیدها به کاهش خسارت کلروفیل‌ها انجامید. همچنین افزایش تولید اسمولیت‌ها و آنتی‌اکسیدان‌ها در اثر تنش کم‌آبی می‌تواند از آثار مخرب انواع اکسیژن فعال در سلول‌ها کاسته و به پایداری غشاءهای سلولی کمک نماید.

کلیدواژه‌ها: گندم، کم‌آبی، آنتی اکسیدان‌ها، اسمولیت‌ها، عناصر، کلروفیل، کارتنوئید

فهرست مطالب

شماره و عنوان مطالب **صفحه**

فصل اول: مبانی نظری پژوهش

۱-۱- مشخصات گیاه‌شناسی گندم..... ۲
۱-۲- شاخص‌های ارزیابی تحمل به تنش کم‌آبی..... ۲
۱-۳- کم‌آبی و تنش اکسیداتیو ناشی از آن..... ۳
۱-۴- اثر تنش کم‌آبی بر میزان فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، پراکسیداز، پلی‌فنل اکسیداز و سوپراکسید دیسموتاز..... ۵
۱-۵- تاثیر تنش کم‌آبی بر محتوای قند محلول..... ۶
۱-۶- تاثیر تنش کم‌آبی بر میزان انباشت پرولین..... ۷
۱-۷- اثر تنش کم‌آبی بر محتوای کلروفیل‌ها و کارتنوئید..... ۸
۱-۸- تغییرات میزان عناصر در شرایط تنش کم آبی..... ۹
۱-۹- تغییرات محتوای نسبی آب و میزان آب نسبی از دست رفته در اثر کم آبی..... ۱۱
۱-۱۰- تنش کم‌آبی و تغییرات اسیدآمینه‌های متیونین و لیزین..... ۱۲
۱-۱۱- اثر تنش اکسیداتیو بر میزان پروتئین..... ۱۴
۱-۱۲- هدف پژوهش..... ۱۵

فصل دوم: مواد و روش پژوهش

۲-۱- مشخصات محل اجرای آزمایش..... ۱۷
۲-۲- نوع آزمایش..... ۱۷
۲-۳- زمان اعمال تنش و نمونه‌برداری..... ۱۷
۲-۴- آماده‌سازی خاک مورد آزمایش..... ۱۷
۴-۵- اندازه‌گیری صفات مورد نظر..... ۱۸
۴-۵-۱- محتوای آب نسبی برگ (RWC)..... ۱۸
۴-۵-۲- میزان آب نسبی از دست رفته برگ (RWL)..... ۱۸
۴-۵-۳- اندازه‌گیری رنگیزه‌های فتوسنتزی..... ۱۹
۴-۵-۴– استخراج پروتئین‌های کل محلول از برگ..... ۱۹
۴-۵-۵- سنجش فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، پراکسیداز و پلی‌فنل اکسیداز..... ۱۹
۴-۵-۶- سنجش مقدار پرولین..... ۲۰
۴-۵-۷- سنجش مقدار قندهای کل برگ..... ۲۰
۴-۵-۸.- اندازه‌گیری میزان فعالیت سوپراکسید دیسموتاز..... ۲۰
۴-۵-۹- اندازه‌گیری میزان عناصر اندام‌های هوایی..... ۲۱
۴-۵-۱۰- سنجش غلظت لیزین و متیونین..... ۲۱

فصل سوم: نتایج و بحث

۳-۱- اثر تنش کم‌آبی بر روی تغییرات غلظت عناصر در اندام هوایی ژنوتیپ‌های گندم ۲۳
۳-۱-۱-کلسیم..... ۲۳
۳-۱-۲-فسفر..... ۲۴
۳-۱-۳- سدیم..... ۲۵
۳-۱-۴- پتاسیم..... ۲۶
۳-۲- اثر تنش کم‌آبی بر روی میزان فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان در ژنوتیپ‌های گندم..... ۲۷
۳-۲-۱-سوپراکسید دیسموتاز..... ۲۸
۳-۲-۲-کاتالاز..... ۲۹
۳-۲-۳-پراکسیداز..... ۳۰
۳-۲-۴- پلی‌فنل اکسیداز ۳۱
۳-۳- اثر ژنوتیپ و تنش کم‌آبی بر روی میزان کلروفیل‌ها و کارتنوئیدها در گندم..... ۳۲
۳-۳-۱- کلروفیل a، b و کلروفیل کل..... ۳۲
۳-۳-۳- کلروفیل a/b..... ۳۵
۳-۳-۵- کارتنوئیدها..... ۳۶
۳-۴-تاثیر کمبود آب بر تنظیم‌کننده‌های اسمزی در ژنوتیپ‌های گندم..... ۳۷
۳-۴-۱- پرولین ۳۷
۳-۴-۲- قند محلول..... ۳۹
۳-۴-۳- متیونین..... ۴۰
۳-۴-۴- لیزین..... ۴۱
۳-۴-۵- پروتئین..... ۴۲
۳-۵-تاثیر کمبود آب بر محتوای آب نسبی برگ و میزان آب نسبی از دست رفته‌ی برگ در ژنوتیپ‌های گندم ۴۳
۳-۶- مقایسه ژنوتیپ‌ها..... ۴۵
۳-۷- نتیجه‌گیری..... ۴۶

فهرست جدول‌ها

شماره و عنوان جدول **صفحه**

جدول۲-۱- نتایج تجزیه خاک گلدان مورد استفاده در آزمایش.....۱۷
جدول ۳-۱- نتایج تجزیه واریانس اثر تنش کم‌آبی بر میزان عناصر اندام هوایی ژنوتیپ‌های گندم.....۲۳
جدول ۳-۲- نتایج تجزیه واریانس اثر تنش کم‌آبی بر میزان فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان در ژنوتیپ-های گندم.....۲۸
جدول ۳-۳- نتایج تجزیه واریانس اثر ژنوتیپ و تنش کم‌آبی بر میزان کلروفیل‌ها و کارتنوئیدها در ژنوتیپ‌های گندم.....۳۲
جدول ۳-۴- نتایج تجزیه واریانس تنش کم‌آبی بر میزان تنظیم‌کننده‌های اسمزی در ژنوتیپ‌های گندم.....۳۷
جدول ۳-۵- نتایج تجزیه واریانس تنش کم‌آبی بر میزان رطوبت نسبی و آب از دست‌رفته در ژنوتیپ‌های گندم.....۴۴

فهرست شکل‌ها

شماره و عنوان شکل **صفحه**

شکل ۱-۱- رابطه‌ی تنش‌های محیطی، تولید ROS و مرگ سلولی.....۵
شکل ۱-۲- کمبود پتاسیم و القاء NADPH اکسیداز، تولید رادیکال سوپراکسید و خسارت به سلول‌های ریشه.....۱۱
شکل۱-۳- a) بیوسنتز متیونین و ترکیبات حاصل از تجزیه‌ی آن b) سرنوشت متیونین در گیاهان عالی.....۱۴
شکل ۱-۴- a) مسیر کاتابولیسم لیزین در گیاهان و متابولیت های حاصل از آن. b) مسیرهای تبدیل گلوتامات به متابولیت‌های مربوط به تنش (گالیلی و همکاران، ۲۰۰۱).....۱۵
شکل۳-۱- اثر تنش کم‌آبی بر میزان کلسیم در ژنوتیپ‌های گندم ۲۴
شکل۳-۲- تاثیر تنش کم‌آبی بر میزان فسفر در ژنوتیپ‌های گندم.....۲۵
شکل۳-۳- اثر تنش کم‌آبی بر محتوای سدیم در برگ ژنوتیپ‌های گندم ۲۶
شکل۳-۴- تاثیر تنش کم‌آبی بر پتاسیم در ژنوتیپ‌های گندم ۲۷
شکل ۳-۵- اثر تنش کم‌آبی بر میزان فعالیت آنزیم سوپراکسیددیسموتاز در ژنوتیپ‌های گندم.....۲۸
شکل۳-۶- تاثیر سطوح تنش کم‌آبی بر میزان فعالیت آنزیم کاتالاز در ژنوتیپ‌های گندم.....۲۹
شکل۳-۷- تاثیر تنش کم‌آبی بر تغییرات فعالیت آنزیم پراکسیداز در ژنوتیپ‌های گندم ۳۱
شکل۳-۸- تاثیر تنش کم‌آبی بر تغییرات فعالیت آنزیم پلی‌فنل اکسیداز در ژنوتیپ‌های گندم ۳۲
شکل۳-۹- تاثیر تنش کم‌آبی بر میزان کلروفیل در ژنوتیپ‌های گندم a.....۳۴
شکل۳-۱۰- اثر تنش کم‌آبی بر میزان کلروفیل b در ژنوتیپ‌های گندم ۳۴
شکل۳-۱۱- اثر تنش کم‌آبی بر میزان کلروفیل کل در ژنوتیپ‌های گندم.....۳۵
شکل۳-۱۲- اثر شدت‌های مختلف تنش کم‌آبی بر میزان کلروفیل a/b در ژنوتیپ‌های گندم.....۳۵
شکل۳-۱۳-اثر تنش کم‌آبی بر میزان کارتنوئیدها در ژنوتیپ‌های گندم.....۳۶
شکل۳-۱۴- اثر تنش کم‌آبی بر میزان سنتز پرولین در در ژنوتیپ‌های گندم.....۳۸
شکل۳-۱۵- اثر تنش کم‌آبی بر میزان تولید قندهای محلول در ژنوتیپ‌های گندم.....۳۹
شکل۳-۱۶- اثر تنش کم‌آبی بر تغییرات متیونین در ژنوتیپ‌های گندم.....۴۰
شکل۳-۱۷- اثر تنش کم‌آبی بر میزان لیزین در ژنوتیپ‌های گندم.....۴۲
شکل۳-۱۸- اثر تنش کم‌آبی بر تغییرات پروتئین کل در ژنوتیپ‌های گندم.....۴۳
شکل۳-۱۹- تاثیر تنش کمبود آب بر میزان آب نسبی در ژنوتیپ‌های گندم.....۴۵
شکل۳-۲۰- تاثیر تنش کمبود آب بر تغییرات آب نسبی از دست رفته در ژنوتیپ‌های گندم.....۴۵
شکل ۳-۲۱- قسمتی از رابطه بین پارامترهای کمی مطالعه شده در این پژوهش.....۴۷

فصل اول:

مبانی نظری پژوهش

۱-۱- مشخصات گیاه‌شناسی گندم

گندم *(Triticum aestivum)* گیاهی یکساله، از خانواده غلات (Poaceae) و جنس *Triticum* بوده و در سطح وسیعی از زمین‌های کشاورزی دنیا، به مقدار زیاد کشت می‌شود. گندم در نواحی خشک نیز محصول کافی تولید می‌کند. این گیاه از نظر تولید و سطح زیر کشت، مهمترین محصول کشاورزی ایران بوده و اهمیت اقتصادی آن چه از نظر تولید و چه از نظر تغذیه در دنیا بیش از سایر محصولات کشاورزی می‌باشد. حتی در مناطقی که به علت متغییر بودن شرایط اقلیمی و یا خشکی محیط امکان تولید گیاهان زراعی وجود ندارد، می‌توان گندم را کشت کرد. اولویت تولید گندم در دنیا، برای تغذیه انسان بوده و تغذیه حیوانات، پرندگان و مصارف صنعتی در درجه دوم اهمیت قرار دارد. از دانه گندم برای تأمین خوراک انسان استفاده شده و ساقه و کاه آن برای تهیه بستر دام‌ها کاربرد دارد (خدابنده، ۱۳۷۳). اهمیت گندم به علت ویژگی گلوتن آن می‌باشد. کیفیت انبارداری و وجود تنوع در محصولات تهیه شده از گندم، باعث شده که این غله، غذای اصلی بیش از یک سوم مردم جهان را تشکیل دهد. منشا جغرافیایی گندم، جنوب غربی آسیا بوده که در آنجا بیش از ۱۰۰۰۰ سال کشت شده است. گونه‌های وحشی خویشاوند گندم هنوز در لبنان، سوریه، شمال فلسطین اشغالی، عراق، ایران و شرق ترکیه رشد می‌نماید. به‌نژادی گندم از اوایل سال‌های ۱۸۰۰ میلادی شروع شد. از آن زمان به بعد اصلاح در عملکرد و کیفیت دانه، تغییرات در ساختار گیاه و تلاش در جهت افزایش مقاومت به تنش کم‌آبی، ورس، حشرات، آفت و عوامل بیماری‌زا صورت گرفته است (ارزانی،۱۳۸۷).

۱-۲- شاخص‌های ارزیابی تحمل به تنش کم‌آبی

ایران یکی از کشورهایی است که در اکثر نقاط آن تنش‌های مهم غیرزنده مانند کم‌آبی، شوری، شدت تشعشع، کمبود عناصر غذایی، سمیت فلزات و نیروهای فیزیکی نظیر باد، همچنین تنش‌های زنده مهم شامل قارچ‌ها، باکتری‌ها، ویروس‌ها و حشرات موجب کاهش عملکرد، از بین رفتن حاصلخیزی خاک و در مواردی عدم امکان تداوم کشاورزی گردیده است. واکنش گیاهان به تنش‌های محیطی در سطوح فیزیولوژیک، بیوشیمیایی، مورفولوژیک، آناتومی، سلولی و مولکولی متفاوت بوده و گیاهان برای زنده ماندن نیازمند سازگار شدن به انواع تنش‌ها می‌باشند. توان گیاهان برای سازش به تنش‌ها بستگی به نوع، شدت، مدت و مرحله وقوع تنش و همچنین وابسته به گونه‌ی گیاهی است (مانس[۱]، ۲۰۰۲). کم‌آبی و شوری خاک از جمله مهم‌ترین تنش‌های غیرزنده بوده، که تاثیر نامطلوبی بر تولید محصولات و کیفیت آن‌ها می‌گذارد. کم‌آبی و شوری منجر به محدودیت‌های اسمزی، یونی و غذایی در گیاهان شده، که می‌تواند منجر به تاخیر در رشد، اختلالات متابولیک و تنش اکسیداتیو گردد. گیاهان قادرند با استفاده از

[۱] Munns

مکانیزم تغییر شکل برگ، تنظیم اسمزی، ممانعت از ورود و خروج یون‌ها و سیستم تلقیح انواع اکسیژن فعال نسبت به تنش، تحمل یا سازگاری کسب کنند (تورکان[۲]، ۲۰۱۱).

خشکی در اثر عدم توازون بین تبخیر و تعرق با بارندگی ایجاد می‌شود. در طی دوره رشد گیاهان، تنش کمبود آب در اثر پایین بودن میزان رطوبت قابل دسترس در خاک، دمای زیاد و تشعشع بالا به وجود می‌آید. در بین گونه‌ها، ارقام و ژنوتیپ‌های گیاهی، تنوع قابل توجهی که حاصل اصلاح‌نباتات و سازگاری طبیعی است، دیده می‌شود. واکنش گیاهان مختلف به تنش کم‌آبی متفاوت بوده و می‌تواند شامل گریز، اجتناب و تحمل کم‌آبی باشد. مقاومت گیاه در برابر تنش کم‌آبی ناشی از تنوع ژنتیکی گیاهان بوده و انتخاب براساس یک عامل، معیار مناسبی در ارزیابی مقاومت نخواهد بود. بنابراین در انتخاب ارقام مقاوم، لازم است به شاخص‌های مقاومت به خشکی که موجب تغییراتی در فیزیولوژی، آناتومی و مورفولوژی ارقام می‌گردد، توجه شود (عبادی، ۱۳۷۸). بر این‌اساس می‌توان عنوان کرد که عکس‌العمل گیاهان به تنش کم‌آبی به ماهیت کمبود آب وابسته بوده و ممکن است به صورت: ۱- پاسخ-های فیزیولوژیک به تنش کوتاه‌مدت (پاسخ کوتاه مدت) ۲- تطابق غیرقابل توارث با سطح مشخصی از تنش کم‌آبی (پاسخ میان‌مدت) و ۳- تطابق قابل توارث (پاسخ بلند مدت) طبقه‌بندی شود. پاسخ کوتاه-مدت به تنش کمبود آب با کاهش حداکثر جذب CO_2 همراه است. از جمله واکنش‌های میان‌مدت به کم‌آبی، تنظیم اسمزی به‌وسیله تجمع نمک‌های آلی بوده و پاسخ بلند مدت به کم‌آبی شامل الگوهای ژنتیکی می‌باشد (پسرکی[۳]، ۱۹۹۹). تنظیم اسمزی مکانیزمی برای حفظ روابط آبی تحت تنش اسمزی بوده و به وسیله‌ی تجمع محدوده‌ای از مولکول‌ها یا یون‌های فعال اسمزی شامل قند محلول، پرولین، اسیدهای آلی، کلسیم، پتاسیم، یون‌های کلرید و غیره انجام می‌شود. همچنین تنش کم‌آبی منجر به تولید انواع اکسیژن فعال شده و در نتیجه‌ی تولید این ماده پراکسیداسیون لیپیدهای غشاءها، تخریب اسید نوکلوئیک‌ها و پروتئین‌های ساختاری و کارکردی اتفاق می‌افتد. تحت تنش کم‌آبی، کلروپلاست، میتوکندری و پراکسیزوم اولین مکان‌های تولید انواع اکسیژن فعال (ROS[۴]) می‌باشد (فاروق و همکاران[۵]، ۲۰۰۹).

۱-۳- کم‌آبی و تنش اکسیداتیو ناشی از آن

از جمله پاسخ‌های گیاهان به تنش کم‌آبی، می‌توان به افزایش انواع اکسیژن فعال ROS اشاره کرد. فعالیت متابولیت‌های اکسنده و انتقال الکترون منبع اصلی ROS در کلروپلاست، میتوکندری و پراکسیزوم سلول‌های گیاهی می‌باشد (سینگ ژیل و توتجا[۶]، ۲۰۱۰). انواع اکسیژن فعال از احیاء ناقص اکسیژن در طی فرایندهای زیستی و هوازی سلول مانند فتوسنتز، تنفس و تنفس‌نوری به وجود می‌آید

[۲] Turkan
[۳] Passarkli
[۴] Reactive Oxygen Species
[۵] Farooq et al
[۶] Singh Gill and Tuteja

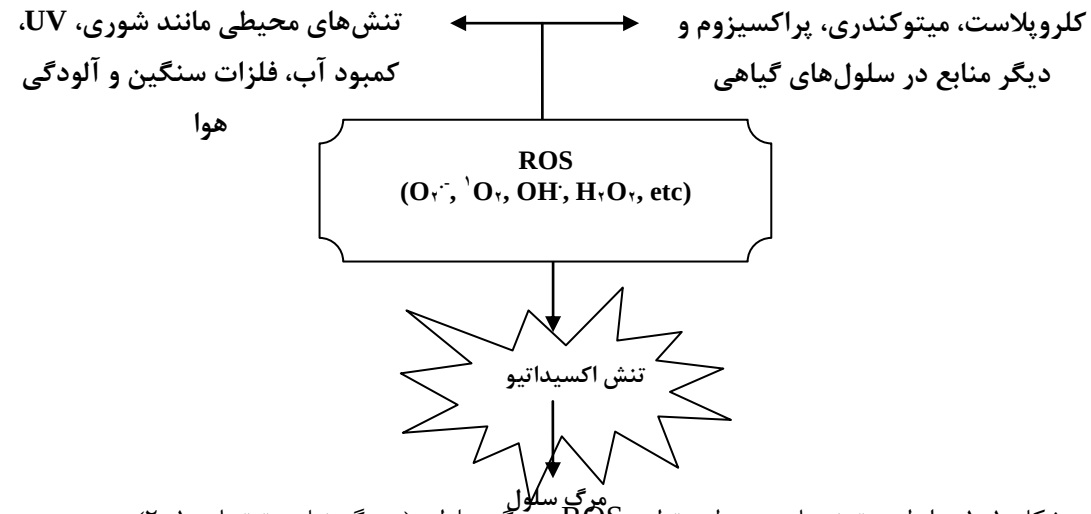
(میتلر[۷]، ۲۰۰۲). به طوری که حدود یک تا دو درصد از اکسیژن مصرفی سلول منجر به تولید ROS می-شود (بتاچرجی[۸]، ۲۰۰۵). میزان تولید ROS در شرایط عادی رشد معمولاً کم بوده، اما در شرایط وجود تنش مانند کم‌آبی هموستازی سلولی مختل شده و تولید ROS به سرعت افزایش یافته و در نتیجه منجر به ایجاد تنش اکسیداتیو می‌گردد (میتلر، ۲۰۰۲). اگرچه در طی تنش‌های محیطی ROS به وجود آمده، دارای پتانسیلی است که منجر به ایجاد آسیب‌های اکسیداتیو در سلول‌ها می‌شود، اما بررسی‌هایی وجود دارد که نشان می‌دهد ROS نقش کلیدی در گیاهان ایفا می‌کند. برای مثال به عنوان مولکول انتقال سیگنال به وسیله ژن‌های[۹] درگیر در پاسخ به تنش‌های محیطی، آلودگی پاتوژن‌ها، مرگ برنامه‌ریزی شده‌ی سلول و دیگر محرک‌های رشد و تکامل انتقال در بافت‌های گیاهی عمل می‌کند (میتلر و همکاران[۱۰]، ۲۰۰۴). در واقع ROS از تنظیم‌کننده‌های مولکولی حیاتی برای سلول بوده، اما در اثر تولید بیش از حد آن و یا زمانی که سیستم آنتی‌اکسیدانی به خوبی کار نمی‌کند، موجب آسیب به سلول‌ها می-شود (سینگ ژیل و توتجا، ۲۰۱۰). زیرا این ماده توان واکنش با بسیاری از ترکیب‌های سلولی را داشته و می‌تواند باعث آسیب به سلول‌ها شود (میتلر، ۲۰۰۲).

پراکسید هیدروژن از انواع اکسیژن فعال بوده و از احیاء O_2^-[۱۱] تولید می‌شود. این ماده نسبت به دیگر ROSها واکنش‌پذیری کمتری داشته و نیمه‌ی عمر بیشتری دارد (بتاچرجی، ۲۰۰۵). تجمع H_2O_2[۱۲] مازاد در سلول‌های گیاهی منجر به وقوع تنش اکسیداتیو شده و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان را افزایش می‌دهد (تواری و همکاران[۱۳]، ۲۰۰۶). فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان و ترکیبات با وزن مولکولی پایین این توانایی را دارد که بدون آن‌که خود مورد تغییر قرار گرفته و به مواد مخرب رادیکال تبدیل شود، ROS را مهار کند (میتلر و همکاران.، ۲۰۰۴). گیاهان برای مهار H_2O_2 دارای دو نوع مکانیزم آنتی‌اکسیدانی بوده که شامل سیستم آنتی‌اکسیدانی غیرآنزیمی و آنزیمی می‌باشد (سینگ ژیل و توتجا، ۲۰۱۰). مکانیزم آنتی‌اکسیدانی غیر آنزیمی شامل کارتنوئیدها، α-توکوفرول، آسکوربات و گلوتاتیون بوده و مکانیزم آنتی‌اکسیدانی آنزیمی شامل سوپراکسید دیسموتاز، کاتالاز، پراکسیداز، آسکوربات‌پراکسیداز، و گلوتاتیون‌ردااکتاز است (آسدا و تاکاهاشی[۱۴]، ۱۹۸۷؛ میتلر و همکاران.، ۲۰۰۴). هر دو نوع آنتی‌اکسیدان‌ها برای کنترل تولید ROS در طی تنش و حفظ سطح مناسبی از انواع اکسیژن فعال برای رشد و فرایند بهره‌گیری از سیگنال در گیاهان ضروری می‌باشد. با این‌حال در اثر هماهنگی بین فعالیت آنتی‌اکسیدان-های آنزیمی و غیرآنزیمی، آسیب‌های ناشی از تنش اکسیداتیو کاهش می‌یابد (میتلر و همکاران.، ۲۰۰۴). منابع اصلی تولید ROS در سلول‌های گیاهی، کلروپلاست، میتوکندری، پراکسیزوم و NADPH اکسیداز

---

[۷] Mittler
[۸] Bhattacharjee
[۹] Transduction
[۱۰] Mittler et al
[۱۱] Superoxide Radicals
[۱۲] Hudrogen Peroxide
[۱۳] Tewari et al
[۱۴] Asada and Takahashi

در غشای پلاسمایی است (میتلر، ۲۰۰۲) که می‌تواند به پروتئین‌ها، لیپیدهای غشاء و دیگر ترکیبات سلولی آسیب برساند (آسدا[۱۵]، ۱۹۹۴).



شکل ۱-۱- رابطه‌ی تنش‌های محیطی، تولید ROS و مرگ سلولی (سینگ ژیل و توتجا، ۲۰۱۰)

۱-۴- اثر تنش کم‌آبی بر میزان فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، پراکسیداز، پلی‌فنل اکسیداز و سوپراکسید دیسموتاز

در استروما و غشای تیلاکوئید آنزیمی فعالیت می‌کند که قادر است، واکنش سوپراکسید به پراکسید هیدروژن را کاتالیز کند. این آنزیم سوپراکسید دیسموتاز نام دارد (آسدا، ۱۹۹۴). در کلروپلاست‌های سالم حدود ۳۰ میلی‌مول سوپراکسید تولید می‌شود، که بیشتر آن از لومن به استروما نفوذ می‌کند (آسدا و تاکاهاشی، ۱۹۸۷). در اندامک‌هایی به نام پراکسیزوم، H_2O_2 به طور مستقیم از فعالیت گلی‌کلات‌اکسیداز منشاء می‌گیرد (آسدا، ۱۹۹۴). در مورد مکانیزم H_2O_2، O_2 و سیستم آنزیمی که بتواند در مدت کوتاهی رادیکال‌های بسیار سمی هیدروکسیل را سم‌زدایی کند، هنوز اطلاعات کاملی وجود ندارد. در واقع ممکن است این سیستم تکامل نیافته باشد (آسدا، ۱۹۹۴). به نظر می‌رسد با افزایش شدت تنش، فعالیت آنزیم کاتالاز افزایش می‌یابد (محمدی و همکاران[۱۶]، ۲۰۱۱). آنزیم کاتالاز از جمله آنزیم‌هایی است که از سلول‌ها در برابر پراکسید هیدروژن محافظت کرده و برای برخی از سلول‌ها حتی در شرایط طبیعی الزامی می‌باشد. همچنین کاتالاز نقش مهمی در کسب مقاومت در برابر تنش اکسایشی در واکنش‌های تطبیقی سلول‌ها بازی می‌کند. یافته‌های بیوشیمیایی نشان می‌دهد که، کاتالاز در سلول-های گیاهی تنها در پراکسی‌زوم و گلی‌اکسی‌زوم مستقر می‌باشد. احتمالاً کاتالاز در این دو اندامک، تخریب H_2O_2 تولید شده از فعالیت اکسیدازهای فلاوین را کاتالیز کرده و آنزیمی است که از یون‌های فلزی به عنوان کوفاکتور استفاده می‌نماید (ساعی، ۱۳۸۳). پراکسیداز در گیاهان دارای نقش‌های

[۱۵] Asada
[۱۶] Mohammadi et al

چندگانه‌ی فیزیولوژیک و بیوشیمیایی بوده و در ایجاد پیوند با مولکول‌های دیواره‌ی سلولی، اکسایش اکسین، تولید لیگنین و پاسخ به تنش‌های زنده و غیر زنده دخالت دارد (گویروگا و همکاران[۱۷]، ۲۰۰۰). همچنین پراکسیداز عموماً به عنوان آنزیم مسمومیت‌زدای ROS عمل می‌کند، زیرا H_2O_2 ماده‌ای است که برای دامنه گسترده‌ای از واکنش‌های وابسته به پراکسیداز به عنوان ماده پذیرنده الکترون عمل می‌کند. همچنین پلی‌فنل اکسیداز در بیشتر گیاهان آلی، کاتالیز نوعی کوئینون از فنل‌ها را در مجاورت مولکول اکسیژن برعهده دارد (زند و همکاران، ۱۳۸۸).

۱-۵- تاثیر تنش کم‌آبی بر محتوای قند محلول

گیاهان قادر به تحمل تنش کم‌آبی در محدوده خاصی هستند. تجمع اسمورگیولاتورها[۱۸] یکی از مهمترین عوامل حفظ گیاهان در مقابل تنش‌های غیرزنده است. در این میان می‌توان به افزایش ترکیباتی مانند گلوکز، فروکتوز، ساکاروز و پلی‌اول‌ها اشاره کرد (هولگرن و همکاران[۱۹]، ۱۹۹۹). پلی‌اول‌ها[۲۰] و قندهای محلول از محافظت‌کننده‌های اسمزی بوده و تجمع کربوهیدرات‌های محلول در پاسخ به تنش‌های محیطی در ارتباط با تنظیم اسمزی و یا حفاظت غشاءهای سلولی می‌باشد (کرپسی[۲۱]، ۱۹۹۸). انباشتن یک یا چند ماده آلی با وزن مولکولی کم، پتانسیل اسمزی را پایین آورده و تنظیم اسمزی به وسیله تبدیل پلی‌ساکاریدها (نشاسته و فروکتان‌ها) به یکدیگر و الیگوساکاریدها (ساکارز و گلوکز) کنترل می‌شود. زیرا پتانسیل اسمزی، ارتباط مستقیم با تعداد مولکول‌های ماده حل شده دارد (پائول و همکاران[۲۲]، ۱۹۹۹). منوساکاریدها نقش اصلی در پاسخ اولیه به کم‌آبی و شوری را بر عهده دارند. علاوه بر این، تجمع قندها در گیاهان رشد یافته در معرض کمبود آب و شوری یک نشانه وابسته به ژنوتیپ حساس برای بهبود مقاومت به کم‌آبی و شوری بوده و محتوای قندهای محلول ممکن است روش موثری در انتخاب گونه‌های مقاوم به کم‌آبی و شوری باشد. تجمع کربوهیدرات‌های محلول (به ویژه ساکاروز) در گیاهان اغلب به عنوان پاسخی به تنش کم‌آبی و شوری گزارش شده است (کرپسی[۲۳]، ۱۹۹۸). آنتولین و همکاران[۲۴] (۱۹۹۳) اعلام کردند که انباشت قندهای محلول نسبت به تغییرات میزان محتوای نسبی آب (RWC) و پتانسیل آب برگ‌ها واکنش سریعی می‌باشد. در واقع افزایش غلظت ساکارز و سطح قندهای محلول در پاسخ به تغییرات میزان محتوای نسبی آب و پتانسیل برگ‌ها اتفاق می‌افتد.

۱-۶- تاثیر تنش کم‌آبی بر میزان انباشت پرولین

[۱۷] Quiroga et al
[۱۸] Osmoregulators
[۱۹] Hullgren et al
[۲۰] Polyols
[۲۱] Kerepesi
[۲۲] Paul and Robert
[۲۳] Kerepesi
[۲۴] Antholine et al

گیاهان زراعی در طول دوره رشد خود با درجه‌ای از کم‌آبی مواجه می‌شوند، که بر فعالیت فیزیولوژیک گیاه تاثیرگذار می‌باشد. از آنجایی که فشار آماس (تورگر) بالای سلول‌ها برای انجام فعالیت-های مهم فیزیولوژیک از جمله رشد سلول‌ها و حرکات روزنه‌ای ضرورت دارد. بنابراین گیاه مقاوم به تنش کم‌آبی با استفاده از مکانیزم‌های مختلف، پتانسیل آماس سلول‌های خود را بالا نگه می‌دارند. از جمله مکانیزم‌های کارآمد برای حفظ فشار تورگر در شرایط تنش کم‌آبی انجام پدیده‌ای موسوم به تنظیم اسمزی بوده (هانسون و همکاران[۲۵]، ۱۹۸۶) و شدت تنظیم اسمزی به رقم و مقدار کاهش پتانسیل آب برگ بستگی دارد (مورگان[۲۶]، ۱۹۸۴). در گیاهان عالی پرولین از طریق گلوتامات و اورنیتین سنتز شده و نحوه تولید آن تحت شرایط مختلف، متفاوت می‌باشد. به طوری که در شرایط بدون تنش و نرمال پرولین ترجیحاً از طریق اورنیتین سنتز شده و در صورتی که گیاه تحت شرایط تنش قرار گیرد، پرولین از گلوتامات و از طریق پرولین-۵-کربوکسیلات سنتتاز ساخته می‌شود. مقدار زیادی از پرولین انباشت شده طی تنش اسمزی از طریق سنتز آن از گلوتامات حاصل می‌شود (کاویکیشور و همکاران[۲۷]، ۱۹۹۵). تجمع پرولین در گیاهان در معرض خشکی، فقط یکی از نتایج تنش نبوده بلکه قسمتی از سیستم دفاعی متابولیک بر علیه تنش غیر زنده می‌باشد (تورکان، ۲۰۱۱). در برخی ازگیاهان در مراحل اولیه تنش کم-آبی چندین اسیدآمینه افزایش می‌یابد که با ادامه کم‌آبی تنها تجمع و ذخیره‌ی پرولین مشاهده شده (راجیندر[۲۸]، ۱۹۸۷) و در اثر تجمع پرولین، پتانسیل اسمزی سلول کاهش می‌یابد. کاهش پتانسیل اسمزی بافت‌های گیاهی، واکنش‌های بیوشیمیایی را محدود نکرده، بلکه منجر به حفاظت سلول‌ها در برابر اثرات نامطلوب تنش می‌گردد. بنابراین، می‌توان بیان کرد که پتانسیل اسمزی پایین در بافت‌ها می‌تواند ناشی از تجمع پرولین باشد (چیچک و چاکیرلار[۲۹]، ۲۰۰۲). تجمع پرولین در در طی تنش، نقش محافظتی چندگانه داشته و برای یک زمان طولانی، پرولین به عنوان یک اسمولیت طبیعی از ساختارهای سلولی محاظت نموده و منجر به پایداری آنزیم‌ها می‌گردد (کاویکیشور و همکاران[۳۰]، ۲۰۰۵). پرولین حلالیت زیادی در آب داشته و در pH خنثی، بدون بار می‌باشد. این ماده علاوه بر این‌که به عنوان وسیع‌ترین اسمولیت انباشته شده در شرایط تنش شناخته شده، یک حفاظت‌کننده اسمزی بوده و به عنوان ذخیره‌کننده انرژی برای تنظیم پتانسیل‌های اکسید و احیاء عمل می‌کند. همچنین یک مهارکننده‌ی رادیکال هیدروکسیل بوده و اسیدیته سلول را کاهش داده و ماکرومولکول‌ها را در مقابل تخریب محافظت می‌کند (کاویکیشور و همکاران،، ۱۹۹۵). علاوه براین در پایداری ساختارهای زیر سلولی (غشاها و پروتئین‌ها)، خنثی‌سازی رادیکال‌های آزاد در شرایط تنش نیز نقش دارد. همچنین پرولین می‌تواند به‌عنوان محلول سازگار پروتئینی، کاهش‌دهنده pH سیتوپلاسمی و حفظ‌کننده نسبت متعادل $NADP^+/NADPH$ در متابولیسم، عمل کند. تجزیه سریع این اسیدآمینه به محض رهایی از تنش، می‌تواند احیاگرهای کافی را فراهم کند که از فسفریلاسیون اکسیداتیو در میتوکندری و تولید ATP برای

[۲۵] Hanson et al
[۲۶] Morgan
[۲۷] KaviKishor et al
[۲۸] Rajinder
[۲۹] Çiçek and Çakirlar
[۳۰] KaviKishor et al

بازسازی خسارت‌های القا شده از تنش، پشتیبانی کند. تجمع پرولین در واکنش به تنش، به‌طور طبیعی در سیتوسول اتفاق می‌افتد. سیتوسول مکانی است، که در تنظیم تعادل اسمزی سیتوپلاسمی مشارکت می‌کند (اشرف[۳۱] و فولاد، ۲۰۰۷). در مورد اثر افزایش پرولین بر عملکردهای مختلف سلولی نظریات گوناگونی مطرح شده است. برای نمونه، پرولین از طریق حفظ ظرفیت آبگیری در سیتوپلاسم سلول منجر به حفظ ماکرومولکول‌ها از جمله آنزیم‌ها می‌شود تا از تشکیل اشکال نامطلوب و یا قطعه قطعه شدن آن-ها جلوگیری به عمل آید (اون و همکاران[۳۲]، ۱۹۹۲).

۱-۷- اثر تنش کم‌آبی بر محتوای کلروفیل‌ها و کارتنوئید

تنش کم‌آبی منجر به بسته شدن روزنه‌ها شده، در نتیجه غلظت CO_2 سلولی کاهش می‌یابد. درحالی که با از دست رفتن آب سلول‌های مزوفیل، دستگاه فتوسنتزی آسیب دیده، و تحت این شرایط فتوسنتز مختل می‌شود. همچنین کلروپلاست در معرض انرژی برانگیخته مازاد قرار گرفته و احیا نوری اکسیژن اتفاق می‌افتد که منجر به تولید ROS می‌گردد (واسیم و همکاران[۳۳]، ۲۰۱۱). محصولات فتوسنتزی به آسانی توسط ROS تحت تاثیر قرار می‌گیرد که این امر باعث اکسیداسیون رنگدانه‌های فتوسنتزی، پروتئین و لیپیدهای غشای تیلاکوئیدی شده و در نهایت باعث تجزیه آنها می‌گردد (سونوکی[۳۴]، ۱۹۹۹). تولید گونه‌های فعال اکسیژن، در کلروپلاست‌ها به وسیله انتقال مستقیم انرژی از کلروفیل به مولکول اکسیژن یا به وسیله احیاء اکسیژن تک‌ظرفیتی در فتوسیستم I طی چرخه مهلر صورت می‌گیرد (آسدا[۳۵]، ۱۹۹۹). کلروفیل مولکول سبز رنگی در گیاه بوده که نقش مهمی در فتوسنتز گیاه ایفا می‌کند. کلروفیل نور خورشید را جذب کرده و از انرژی آن برای سنتز قند استفاده می‌کند. همچنین دو نوع کلروفیل در گیاه وجود دارد. کلروفیل a و b که هر دو پذیرنده انرژی خورشیدی برای انجام فتوسنتز هستند. سیستم فتوسنتزی گیاهان آلی نسبت به تنش کم‌آبی حساسیت زیادی نشان می-دهند (فالک و همکاران[۳۶]، ۱۹۹۶). رنگدانه‌های فتوسنتزی نقش مهمی در جذب نوری و اتلاف انرژی مازاد داشته و تحت تنش کم‌آبی میزان کلروفیل a و b تغییر پیدا می‌کند. افزایش کلروفیل و کارتنوئید تحت تنش کم‌آبی ممکن است به دلیل کاهش سطح برگ بوده و یا پاسخ دفاعی در برابر اثرات مضر تنش کم‌آبی باشد (فاروق و همکاران، ۲۰۰۹). کارتنوئید رنگدانه‌ای است که در گیاهان و موجودات ذره بینی یافت می‌شود. همچنین یک آنتی‌اکسیدان قابل‌حل در چربی بوده که نقش‌های مختلفی در گیاه مانند مقاومت به تنش اکسیداتیو ایفا می‌کند (سیفرمن-هارمز[۳۷]، ۱۹۸۷). استفاده گیاهان از انرژی نوری برای فتوسنتز، بستگی زیادی به توانایی آن‌ها در از بین بردن انرژی مازاد دارد. کارتنوئیدها نقش مهمی در محافظت از سلول‌های گیاهی در برابر انرژی مازاد داشته و منجر به تلف شدن انرژی مازاد جذب شده

[۳۱] Ashraf and Foolad
[۳۲] Evan et al
[۳۳] Waseem et al
[۳۴] Sonoike
[۳۵] Asada
[۳۶] Falk et al
[۳۷] Siefermann-Harms

می‌شود. در گیاهان ترانس‌ژنیک که تولید متابولیت‌ها یا آنزیم‌های خنثی‌کننده‌ی ROS (کاتالاز، سوپراکسید دیسموتاز و آسکوربات پراکسیداز) در آن‌ها افزایش یافته، تحمل به تنش اکسیداتیو بهبود یافته و میزان بالاتری از عملکرد را تحت شرایط تنش‌های محیطی نشان می‌دهند (ادروا[۳۸]، ۲۰۰۵). انتقال الکترون یکی از منابع تولید ROS می‌باشد. برای مثال تولید اکسیژن در کلروپلاست در طی فتوسنتز می‌تواند یک الکترون را به واسطه فتوسیستم دریافت کرده و به این ترتیب رادیکال سوپراکسید را تشکیل دهد (آسدا و تاکاهاشی، ۱۹۸۷).

۱-۸- تغییرات میزان عناصر در شرایط تنش کم‌آبی

مکانیزم‌های جذب و انتقال عناصر غذایی در گیاهان، مانند جریان توده‌ای، انتشار، جذب و انتقال به وسیله پدیده اسمز، تابعی از مقدار رطوبت موجود در خاک و ریشه می‌باشد. در صورت کاهش رطوبت، شدت و مقدار جذب عناصر غذایی دستخوش تغییر و تحول قرار می‌گیرد. اگرچه برخی از این سیستم‌های انتقالی عناصر، نظیر انتشار به مقدار رطوبت کمتری جهت جذب عناصر غذایی نیازمند بوده در این راستا، با کاهش رطوبت تا آستانه بحرانی، نیز روند جذب و انتقال برخی از عناصر غذایی توسط ریشه ادامه می‌یابد، ولی برخی دیگر از مکانیزم‌های جذب و انتقال، از جمله جریان توده‌ای وابستگی زیادی به مقدار رطوبت دارد. در صورت کاهش رطوبت، عناصری که بوسیله این جریان انتقال می‌یابد، روند جذب منفی خواهد داشت (تایز و زایگر[۳۹]، ۱۹۹۸). همچنین از اثرات تنش کم‌آبی، بالا رفتن غلظت املاح محلول در محیط ریشه و افزایش مواد اسمزی خاک می‌باشد، که کاهش پتانسیل آب خاک، منجر به کاهش جذب عناصر غذایی می‌شود (پاتاکاس و همکاران[۴۰]، ۲۰۰۲). کلسیم یکی از عناصر مهم بوده که در دیواره سلولی نقش استحکامی ایفا می‌کند. پژوهش‌های جدید نشان می‌دهد که کلسیم فقط یک عنصر غذایی پرمصرف نبوده، بلکه نقش مهمی در متابولیسم و توسعه گیاه ایفا می‌کند (پوایا و ردی[۴۱]، ۲۰۰۰). از جمله نقش‌های کلسیم در گیاهان شامل تعدیل‌کننده رشد، متابولیسم و نیز به عنوان پیام‌رسان ثانویه در موجودات مختلف از جمله گیاهان می‌باشد. از این رو مطالعه در مورد اثر کلسیم در تنش‌های ایجاد شده بر روی گیاه ضروری به نظر می‌رسد. پژوهش‌های قبلی نشان می‌دهد که کلسیم می‌تواند در افزایش تحمل به سرما مفید واقع شود (ساندرز و همکاران[۴۲]، ۱۹۹۹). فسفر در ترکیب اسیدهای نوکلئیک و غشاهای سلولی گیاهان حضور داشته و در تبادلات انرژی، فتوسنتز و سوخت‌وساز قند در اندام‌های مختلف گیاهان نقش دارد. یک نقش مهاری بسیار شگفت‌انگیز فسفات غیرآلی در فتوسنتز و سوخت و ساز شناخته شده است. غلظت به نسبت اندک فسفات غیر آلی در محیط بیرون، با وجود تحریک میزان کل تثبیت گاز کربنیک، میزان ساخته شدن نشاسته را در کلروپلاست‌های جدا شده،

[۳۸] Edreva
[۳۹] Taiz and zeiger
[۴۰] Patakas et al
[۴۱] Poovaiah and Reddy
[۴۲] Sanders et al