

بررسی تغییر محتوای اسمولیت های سازگار در چهار رقم گندم تحت تنش کمبود آب

عذرا صبورا*^۱، نوشین باریک رو^۲، حمیدرضا شریفی^۳

تاریخ دریافت: ۹۲/۱۲/۱۳

تاریخ تصویب: ۹۴/۰۳/۱۸

چکیده:

این مطالعه به منظور بررسی تغییر محتوای اسمولیت‌های سازگار (شامل محتوای قندهای احیا کننده و پرولین) و همچنین پلی ساکارید های ۴ رقم گندم تحت شرایط کمبود آب در شرایط مزرعه ای اجرا گردید. تیمارهای مورد بررسی شامل تنش رطوبت در مرحله رسیدگی بذر و رقم بودند که به صورت کرت های خرد شده در قالب طرح بلوکهای کامل تصادفی با سه تکرار مورد مطالعه قرار گرفتند. تیمارهای رطوبتی به صورت آبیاری مطلوب و قطع آبیاری از مرحله گلدهی اعمال

بخشی از این مقاله مربوط به پایان نامه نوشین باریک رو به راهنمایی دکتر صبورا در دانشگاه الزهرا می باشد

۱ دانشیار، گروه علوم گیاهی، دانشکده علوم زیستی، دانشگاه الزهرا (نویسنده مسئول saboora@alzahra.ac.ir)

۲ کارشناس ارشد، گروه علوم گیاهی، دانشکده علوم زیستی، دانشگاه الزهرا

۳ استادیار مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی، بخش تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، مشهد

گردید. ارقام مورد مطالعه شامل ارقام مرودشت (حساس)، پیشتاز و بهار (نیمه مقاوم) و لاین WS-۸۲-۹ (مقاوم) بودند. نتایج نشان داد که کمترین میزان افت عملکرد ناشی از قطع آبیاری در مرحله پرشدن دانه در لاین WS-۸۲-۹ اتفاق می افتاد و بقیه ارقام تفاوت معنی داری آشکار نکردند (۳۰ درصد در مقابل ۴۳-۲۵ درصد در ارقام دیگر). بررسی های بیوشیمیایی نشان داد که تنش خشکی سبب تجمع پرولین در برگ پرچم شد (در نمونه های شاهد $21-20 \mu\text{g/g FW}$ در مقایسه با $57 \mu\text{g/g FW}$ در لاین WS-۸۲-۹ و $83 \mu\text{g/g FW}$ در رقم بهار در ششمین روز اعمال تنش). با گذشت زمان از تفاوت بین محتوای پرولین برگ پرچم ارقام مختلف در شرایط فراهمی رطوبت و تنش آب کاسته شد. تغییر درصد قندهای محلول نیز روندی مشابه پرولین داشت. بر اساس نتایج ما اعمال تنش رطوبتی سبب افزایش میزان قندهای محلول ساقه به خصوص در رقم مرودشت، بهار و لاین WS-۸۲-۹ شد. افزایش میزان قندهای محلول برگ پرچم در رقم بهار و پیشتاز و لاین WS-۸۲-۹ در مراحل میانی و در رقم مرودشت در مراحل انتهایی پرشدن دانه رخ داد. طی دوره تنش کم آبی محتوای پلی ساکاریدی برگ و ساقه تمام ارقام مورد بررسی به خصوص در ارقام حساس کاهش یافت (بیشترین شدت کاهش ۰/۵۲ و ۰/۶۷ درصد به ترتیب در برگ و ساقه ارقام مرودشت و پیشتاز و کمترین آن ۰/۳۱ و ۰/۳۷ درصد به ترتیب در برگ و ساقه رقم بهار و لاین WS-۸۲-۹ مشاهده شد). به نظر می رسد تجمع اسمولیت های سازگار و پرولین واکنشی عمومی در همه ارقام بود ولی سرعت روند افزایش این ترکیبات طی دوره تنش در ارقام مقاوم بیشتر بود.

واژه های کلیدی: پرولین، پلی ساکارید، تنظیم اسمزی، تنش خشکی، گندم، قند های محلول

مقدمه :

خشکی مهمترین مشکل فراروی تولید محصولات زراعی در مناطق خشک و نیمه خشک است. ایران در نوار بیابانی دنیا (عرض ۲۸ تا ۴۸ درجه شمالی) قرار دارد و لذا به استثنای سواحل دریای خزر و بخش کوچکی از دامنه های البرز و زاگرس، بقیه مناطق کشور دارای اقلیم خشک و نیمه خشک می باشند. از این رو تنش خشکی از دیر باز به عنوان یکی از مهم ترین عوامل تهدیدکننده تولید گندم کشور مطرح بوده و به دلیل تداوم خشکسالی های اخیر اهمیتی دوچندان نیز یافته است. تنش خشکی در واقع کاهش پتانسیل آب خاک بوده و زمانی در گیاه رخ می دهد که میزان آب دریافتی گیاه کمتر از تلفات آن باشد، این امر ممکن است به علت اتلاف بیش از حد یا کاهش جذب آب و یا وجود هر دو مورد باشد (آل ابراهیم و همکاران، ۱۳۸۴). در چنین شرایطی گیاه تا زمانی به جذب آب ادامه می دهد که پتانسیل آب سلولهای آن کمتر (منفی تر) از پتانسیل آب خاک باشد. کاهش پتانسیل آب در سلول های گیاه مترادف با از بین رفتن آماس، کاهش رشد طولی برگ، بسته شدن روزنه ها و به دنبال آن کاهش فتوسنتز ناشی از کمبود دی اکسید کربن بین سلولی است. در چنین شرایطی گیاه به منظور ادامه جذب آب، پتانسیل اسمزی خود را از طریق تجمع

ترکیبات تنظیم کننده اسمزی از جمله یون های معدنی، کربوهیدرات های محلول و پرولین کاهش می دهد (Verbruggen and Hermans, 2008). کاهش پتانسیل اسمزی باعث می گردد تا گیاه قدرت بیشتری برای جذب آب، حفظ هدایت روزنه ای (Gonzalez et al., 1999) و تحمل آزدایی داشته باشد (Taize and Ziger, 2002).

در بررسی ۵ رقم جو خود رو، ۵ رقم گندم تتراپلوئید و یک رقم گندم وحشی که منشأ مختلفی داشته و تحمل به خشکی و پتانسیل عملکرد آنها نیز متفاوت بود، گزارش شد که ارقام حساس و متحمل به خشکی به ترتیب کمترین و بیشترین تنظیم اسمزی را انجام می دادند. تحقیقات تولت و همکاران نشان داد که پتانسیل نسبی آب برگ و تجمع قندهای محلول به شدت به تنظیم اسمزی وابسته بوده و این صفات می توانند به عنوان معیاری برای ارزیابی سریع صفات تنظیم اسمزی در جوامع در حال تفرق مطرح باشند (Teulat et al., 2006). در ارزیابی امکان افزایش عملکرد گندم در ۳۹ مزرعه آزمایشی و در ۸ فصل زراعی از طریق ژن تنظیم اسمزی نشان داده شد که در شرایط تنش رطوبتی، عملکرد ارقام دارای ژن تنظیم اسمزی به طور محسوسی بیشتر از ارقام فاقد آن بود (Morgan, 2000).

تنظیم اسمزی از طریق تجمع ترکیباتی که به لحاظ اسمزی فعال می باشند، صورت می گیرد. این ترکیبات به دو دسته تقسیم

کمتر از میزان کربوهیدراتهای محلول بوده و میزان افزایش آن در هر دو رقم حساس و مقاوم یکسان بود. در این تجربه نتیجه گیری شد که افزایش کربوهیدراتهای محلول در مقایسه با پرولین شاخص مناسبتری برای افزایش پتانسیل مقاومت به خشکی می باشد (Kameli and Losel 1993). بر اساس تحقیقات (Blum (2011 گزارشهای منتشر شده در رابطه با تنظیم اسمزی گونه ها و ارقام مختلف گیاهان زراعی طی تنش خشکی پیچیدگی ها و تناقض هایی دیده می شود. بنابراین مشخص کردن روند تغییر انباشتگی اسمولیت های سازگار اهمیتی دوچندان پیدا می کند

پژوهش حاضر به بررسی تغییر اسمولیت ها در ارقام مختلف گندم نان که میزان تحمل متفاوتی را نسبت به شرایط خشکی نشان می دهند، پرداخته است. تمام آزمایش ها در شهرستان کرج (استان البرز) انجام شد. این شهرستان در بین طول جغرافیائی $56^{\circ}16''$ و عرض جغرافیائی $35^{\circ}49''$ قرار دارد. بر اساس بررسی های آماری بلند مدتی که توسط ایستگاه هواشناسی کرج انجام شده، این شهرستان با بارندگی سالیانه $247/3$ (حداکثر 300) میلی متر، میانگین سالیانه دمای هوا 16 درجه سانتیگراد، میانگین رطوبت نسبی 53 درصد و تبخیر سالانه 2184 میلی متر دارای اقلیم نیمه خشک با زمستان نسبتاً سرد و تابستان نسبتاً معتدل می باشد.

می شوند؛ اول ترکیبات نیتروژن داری مانند پرولین و سایر اسید های آمینه، ترکیبات چهارتایی آمونیوم، و پلی آمیدها، و دوم ترکیبات هیدروکسی نظیر ساکارز، الکل های پلی هیدریک و الیگو ساکاریدها (McCue and Hanson, 1990). در این میان تجمع پرولین یکی از واکنش های عمومی گیاه به وقوع تنش های محیطی و از جمله کاهش پتانسیل آب می باشد. پرولین به ویژه به دلیل ویژگی های ساختار یونی دو قطبی و آب دوستی بالای خود به عنوان یک ترکیب سازگار عمل می کند. تاکنون توافقی روشن در خصوص کارکرد تجمع ناشی از خشکی پرولین حاصل نشده؛ هر چند نقش تنظیم کننده اسمزی برای آن محتمل است. سایر کارکردهای ذکر شده برای تجمع پرولین شامل پایداری ماکروملکول ها، مخزن کربن و نیتروژن پس از تخفیف تنش، داکسیداسیون رادیکال های آزاد و تنظیم وضعیت اکسیداسیون و احیای سلول از طریق متابولیسم پرولین می باشند (Mohammadkhani and Heidari, 2008). در بررسی واکنش ارقام گندم به تنش های شوری و خشکی افزایش میزان ساکارز و اسید های آمینه به اثبات رسید، تحت تنش شوری گلاسیسین-بتائین و ساکارز و تحت تنش خشکی پرولین از جمله اسمولیت های سازگار غالب بودند (Sabry et al. 1995). همچنین در مطالعه دو رقم گندم دوروم مشخص شد که اثر تنش خشکی بر افزایش میزان پرولین

برخی از ارقام را توضیح دهد. در این رابطه گرچه تحقیقات زیادی در سطح گلخانه انجام شده است اما مطالعات مزرعه ای پاسخ واقعی گیاه را در شرایط طبیعی نشان خواهد داد. بررسی روند تغییر هریک از این مواد در حین بروز تنش خشکی، نقش آنرا را در برقراری تنظیم اسمزی و به تبع آن تحمل خشکی روشن خواهد نمود.

مواد و روش ها

تیمار های مورد بررسی در این آزمایش فراهمی رطوبت در دو سطح (شامل آبیاری مطلوب و قطع آبیاری از مرحله گلدهی) و رقم در چهار سطح می باشد. بذر ارقام مورد مطالعه از موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر تهیه گردید. در تجربیات اولیه کشت و بررسی تحمل خشکی ارقام تا حدودی مشخص شده بود که ارقام مرودشت حساس، بهار نیمه حساس، پیشتاز نیمه متحمل و لاین ۹-۸۲-WS از ارقام متحمل می باشد (Mehrvan 2008; Najafian 2009). کشت ارقام به صورت آزمایش کرت های خرد شده در قالب طرح بلوکهای کامل تصادفی با سه تکرار اجرا گردید. بافت خاک محل اجرای آزمایش لومی رسی بوده و زمین محل اجرای آزمایش سال قبل بصورت آیش رها شده بود. میزان کود مصرفی با توجه به آزمون خاک و به میزان ۱۵۰ کیلوگرم کود نیتروژن

رژیم بارندگی در این استان در مجموع مدیترانه ای است به این معنا که در طول فصول پاییز و زمستان بیشترین میزان بارندگی های سالیانه (۶۹/۷ درصد) ریزش می نماید و میزان ۲۸/۲ درصد بارش در سه ماهه سوم (بهار) رخ داده در فصل خشک که از اواسط خرداد تا اوایل مهرماه ادامه دارد، کمتر از ۵ درصد بارندگی سالیانه استان نازل می گردد. نمودار ماهیانه بارندگی کرج نشان می دهد که بارندگی از مهر ماه شروع و تا اردیبهشت ماه ادامه می یابد و با شروع فصل بهار از مقدار ریزش های جوی کاسته شده و کمترین مقدار ماهیانه آن به ماه های تابستان اختصاص دارد (مراجعه شود به منابع اینترنتی در پایان بخش منابع). بنابراین کشت گندم در این شهرستان در اواخر دوره کشت با تنش خشکی روبروست که از بعد اقتصادی لطمات جبران ناپذیری را به کشاورزی منطقه از نظر رسیدگی بذر و میزان محصول وارد می کند، بنابراین بررسی اثرات خشکی و تغییرات بیوشیمیایی گیاهان برای تحمل شرایط تنش اهمیت زیادی پیدا می کند. از اینرو توانایی ارقام گندم کشت شده در این منطقه از نظر انباشته کردن پلی ساکاریدها و دو نوع اسمولیت سازگار (قند های محلول و پرولین) در برگ پرچم و ساقه در طول دوره رسیدگی بذر تحت شرایط مزرعه ای از زمینه های مطالعاتی جالب است که می تواند سازو کار مقاومت

محلول ۳ درصد سولفوسالیسیلیک اسید ساییده و همگنای حاصل ۵ دقیقه در ۳۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفوژ شد. به ۲ میلی لیتر روشناور، ۲ میلی لیتر معرف نین هیدرین و ۲ میلی لیتر استیک اسید اضافه و محلول حاصل به مدت ۱ ساعت در دمای جوش در حمام آب گرم نگهداری شد. سپس لوله ها سرد و به هر یک ۴ میلی لیتر تولوئن افزوده شد. جذب فازتولوئن در ۵۲۰ نانومتر با دستگاه اسپکتروفوتومتر تعیین شد و محتوای پرولین مطابق روش Bates و همکاران (۱۹۷۳) بر حسب $\mu\text{g/g}$ FW محاسبه گردید.

استخراج و سنجش کربوهیدراتها: حدود ۰/۰۵ گرم از پودر برگ در اتانول ۸۰ درصد (۱:۱۰ W/V) عصاره گیری شد و پس از سانتریفیوژ، روشناور در یک پتری تبخیر و باقیمانده در آب مقطر نیمه گرم حل شد. سپس با استفاده از باریم هیدروکسید ۰/۳ نرمال و محلول سولفات روی ۵ درصد قند های محلول آن جدا شد و طبق روش Somogy (۱۹۵۲) به صورت درصد وزن خشک (DW%) محاسبه گردید. برای استخراج و سنجش قندهای پلی ساکاریدی، رسوبات خشک شده حاصل از عصاره گیری الکلی در مرحله قبل در یک دستگاه رفلاکس با آب مقطر چندین بار جوشانده شدند. سپس محتویات درون ارلن صاف و از آن برای سنجش قندهای پلی ساکاریدی به روش

و ۱۰۰ کیلوگرم کود فسفره بود؛ نظر به بالا بودن مقدار پتاسیم قابل جذب از دادن این عنصر به خاک چشم پوشی شد. کنترل علف های هرز با استفاده از علف کش D-۲,۴ انجام شد. کاشت در کرت هایی به طول ۷ و عرض ۲/۵ متر (مشتمل بر ۴ پشته و هرپشته شامل ۳ خط به فاصله ۲۰ سانتی متر) صورت گرفت. بلافاصله پس از کاشت آبیاری کلیه کرتها انجام و تا زمان سنبله دهی به صورت مطلوب تداوم یافت. به منظور اعمال تنش رطوبت، آبیاری در نیمی از کرتها از مرحله سنبله دهی قطع گردید. بر این اساس تنش خشکی وارده به ارقام مورد مطالعه در مزرعه با نزدیک شدن به انتهای فصل تشدید شده و لذا این ارقام با تنش رو به تزایدی در مرحله پرشدن دانه مواجه بودند. نمونه برداری برای انجام اندازه گیری های بیوشیمیایی از برگ های پرچم صورت گرفت. این نمونه گیری از مرحله آبکی دانه شروع و به فاصله هر ۶ روز یکبار (در مجموع ۵ مرحله) تا رسیدگی بذر تداوم یافت. در زمان برداشت دو پشته کناری و ۰/۵ متر از ابتدا و انتهای هر کرت حذف و باقیمانده کرت (۷/۵ متر مربع) برای تعیین عملکرد برداشت، و وزن هزار دانه آن با انجام نمونه گیری تصادفی تعیین گردید.

استخراج و سنجش پرولین: برگها در

نتایج فنل - سولفوریک استفاده شد (Dubois et al., 1956)

تجزیه واریانس دو طرفه داده های مربوط به مقدار پرولین، پلی ساکاریدها و قندهای محلول موجود در برگ و ساقه و عملکرد ارقام مورد بررسی با توجه به سه عامل اصلی (رقم، شدت تنش و زمان نمونه گیری) انجام گرفت. نتایج حاصل از بررسی آماری داده ها نشان داد که اختلاف میانگین های هر یک از پارامترهای اندازه گیری شده تحت تاثیر ۳ عامل اصلی ذکر شده در جدول ۱ به تنهایی در سطح $p < 0.01$ معنی دار بود اما اختلاف میانگین های پلی ساکاریدهای ساقه و قندهای محلول برگ پرچم ارقام مختلف تحت اثر متقابل رقم \times سطح تنش \times زمان نمونه برداری در سطح $p > 0.05$ معنی دار نبودند (جدول ۱).

مقدار پلی ساکاریدها نیز بر حسب درصد وزن خشک (DW%) محاسبه شد. تجزیه تحلیل آماری: به منظور تعیین وجود اختلاف معنی دار بین میانگین های صفات مورد بررسی در تیمارها، تجزیه واریانس دو طرفه داده های حاصل از اندازه گیری هر یک از اسمولیت های سازگار، پلی ساکاریدها و وزن هزار دانه با استفاده از نرم افزار spss version ۱۱,۵ انجام شد. سپس رتبه بندی میانگین ها در سطح احتمال $p < 0.05$ با روش آزمون چند دامنه ای دانکن صورت گرفت و نمودارها رسم گردیدند.

جدول ۱: تجزیه واریانس محتوای پرولین و کربوهیدراتهای چهار رقم گندم در شرایط آبیاری مطلوب و تنش خشکی

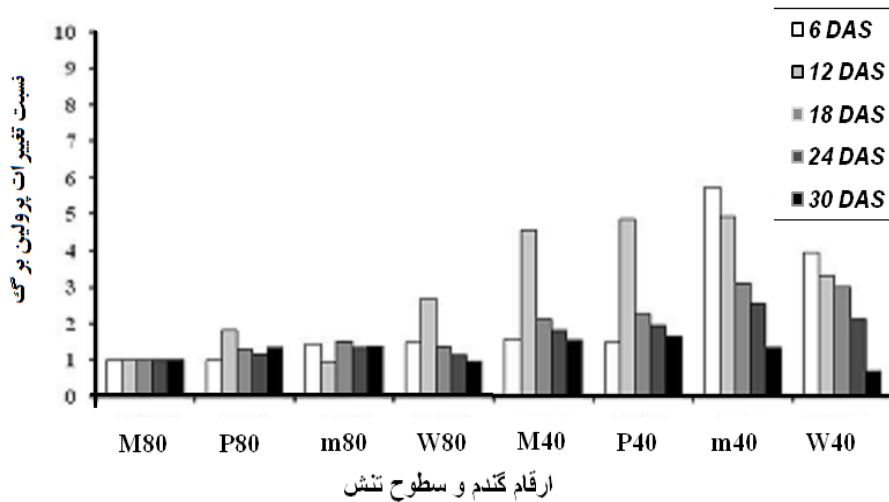
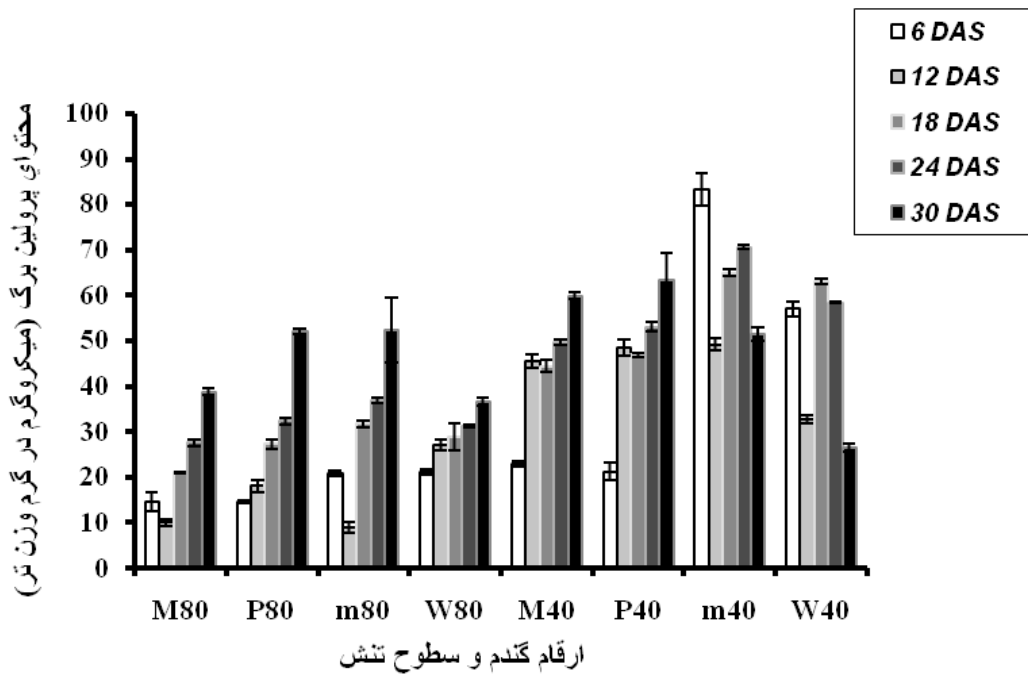
منبع تغییرات	درجه آزادی df	میانگین مربعات محتوای پرولین برگ	درجه آزادی df	میانگین مربعات			
				پلی ساکارید		قند احیاکننده	
				ساقه	برگ	ساقه	برگ
رقم (A)	3	9.75**	3	1.86**	3.05**	9.35**	0.5**
سطح تنش (B)	1	159.51**	1	4.86**	3.14**	2.52**	0.36**
زمان نمونه گیری (C)	4	14.67**	2	41.88**	12.95**	12.9**	2.54**
AB	3	4.056**	3	0.4**	0.06**	0.004**	0.15ns
AC	4	5.92**	2	0.44*	0.03**	0.45**	1.5**
BC	12	5.1**	6	20.17**	0.39**	6.6**	17.17**
ABC	12	3.48**	6	0.02ns	0.015*	0.43**	0.8ns
خطا	80	0.1	48	0.27.	0.006.	0.15	1.6
کل	120		72				

* و ** به ترتیب نشان دهنده وجود اختلاف معنی دار بین میانگین ها در سطح احتمال ۵٪ و ۱٪ می باشد.

تغییر محتوای پرولین:

نتایج حاصل از این مطالعه (تنش خشکی شدید شونده در محیط مزرعه) نشان داد که وقوع تنش خشکی در طی پرشدن دانه سبب افزایش غلظت پرولین در تمام ژنوتیپ ها شد، اما افزایش پرولین در رقم بهار و لاین متحمل WS-۸۲-۹ بسیار سریع و شدید بود $20-21 \mu\text{g/g FW}$ در نمونه های شاهد هر دو رقم در مقایسه با $57 \mu\text{g/g FW}$ در رقم WS-۸۲-۹ و $83 \mu\text{g/g FW}$ در رقم بهار در ششمین روز اعمال تنش). با گذشت زمان از تفاوت بین محتوای پرولین ارقام در شرایط وجود و عدم وجود تنش رطوبت کاسته شد. برای مثال افزایش میزان پرولین برگ پرچم در گیاهان تحت تنش رقم مرودشت در روزهای ۶، ۱۲، ۱۸، ۲۴ و ۳۰ از $23 \mu\text{g/g FW}$ به $60 \mu\text{g/g FW}$ رسید که در مقایسه با نمونه های شاهد (بین $14-39 \mu\text{g/g FW}$) به ترتیب حدود $1/5$ ، $4/5$ ، $2/11$ ، $1/79$ و $1/5$ برابر شاهد افزایش یافته بود (شکل ۱). تغییر محتوای پرولین رقم پیشتان مشابه رقم مرودشت روندی صعودی داشت. در نمونه های تنش دیده رقم بهار نیز انباشتگی میزان پرولین نسبت به گیاهان شاهد طی ۲۴ روز اول ملاحظه شد. البته همانطور که اشاره شد تراز بالای پرولین در گیاه ثابت نماند و با گذشت زمان از میزان آن کاسته شد به طوری که در نمونه گیری آخر

میزان پرولین نمونه های تحت تنش و شاهد اختلاف زیادی با یکدیگر نداشتند (حدود $52 \mu\text{g/g FW}$). بررسی نسبت تغییرات میزان پرولین برگ پرچم ارقام مورد بررسی نسبت به میزان پرولین رقم مرودشت در محیط آبیاری مطلوب مبین آن بود که میانگین شدت واکنش ارقام پیشتان، بهار، و لاین WS-۸۲-۹ در محیط مطلوب به ترتیب $1/3$ ، $1/3$ ، $1/5$ برابر و در محیط تنش به ترتیب $2/3$ ، $3/5$ ، و $2/6$ برابر بوده است؛ میزان پرولین رقم مرودشت در محیط تنش نیز به طور متوسط $2/2$ برابر میزان پرولین همین رقم در شرایط مطلوب بود (شکل ۱b). بنابراین شدت واکنش در رقم بهار و رقم متحمل WS-۸۲-۹ سریعتر و شدیدتر بوده و با گذشت زمان از تفاوت بین میزان پرولین ارقام در هر دو شرایط وجود و عدم وجود تنش رطوبت کاسته شده بود. در شرایط تنش زا، مقدار پرولین لاین WS-۸۲-۹ از نمونه گیری اول تا پنجم نسبت به نمونه های شاهد افزایش یافت (به ترتیب $2/6$ ، $1/2$ ، $2/18$ و $1/8$ برابر شاهد). بیشترین افزایش در روزهای ششم و هجدهم اعمال تنش دیده شد، به ترتیب از ۲۱ و ۲۹ میکروگرم پرولین در هر گرم وزن تر برگ در نمونه های شاهد به $57 \mu\text{g/g FW}$ و $63 \mu\text{g/g FW}$ در نمونه های تنش دیده رسید (شکل ۱). در حالیکه محتوای پرولین نمونه های تنش دیده در مرحله آخر کمتر از نمونه های شاهد بود ($27 \mu\text{g/g FW}$) در

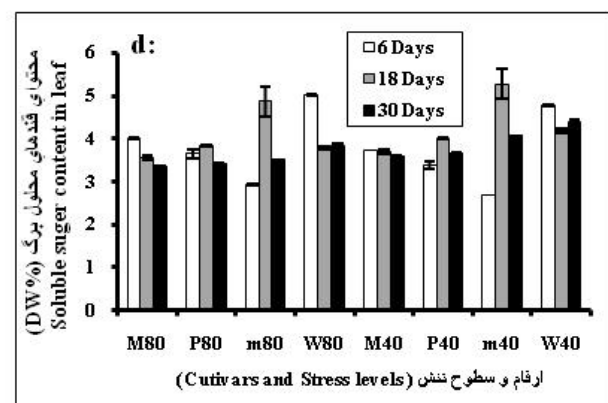
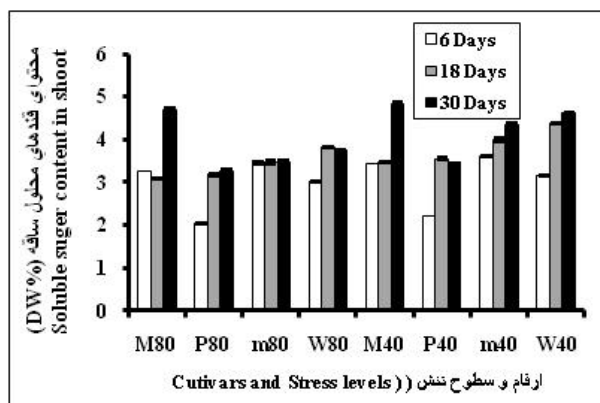
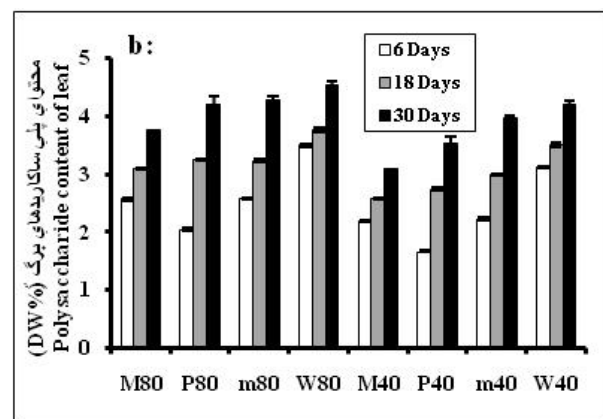
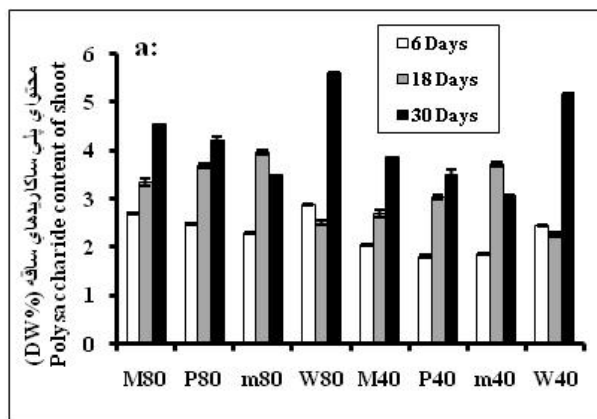


شکل ۱: اثر تنش کمبود آب بر تغییر محتوای پرولین برگ پرچم گندم از مرحله گرده افشانی تا پرشدن دانه (a) و نسبت تغییر محتوای پرولین برگ گیاهان تحت تنش در مقایسه با محتوای این ترکیب در روز اول اعمال تیمار خشکی (b): DAS، روز بعد از تیمار تنش رطوبتی؛ M80، مرودشت با سطح آبیاری ۸۰٪FC۸۰؛ P80، پیشتاز با سطح آبیاری ۸۰٪FC۸۰؛ m80، رقم بهار با سطح آبیاری ۸۰٪FC۸۰؛ W80، لاین WS-۸۲-۹ با سطح آبیاری ۸۰٪FC۸۰؛ M40، مرودشت با سطح آبیاری ۴۰٪FC۴۰؛ P40، پیشتاز با سطح آبیاری ۴۰٪FC۴۰؛ m40، رقم بهار با سطح آبیاری ۴۰٪FC۴۰؛ W40، لاین WS-۸۲-۹ با سطح آبیاری ۴۰٪FC۴۰.

تغییر محتوای کربوهیدراتها در شرایط تنش خشکی

تغییر محتوای پلی ساکاریدهای برگ و ساقه: توزیع کربوهیدراتها در اندامهای برگ و ساقه ارقام مورد بررسی در روزهای ششم، هجدهم و سی ام بعد از اعمال تنش در (شکل ۲) نشان داده شده

گیاهان تحت تنش و $37 \mu\text{g/g FW}$ در گیاهان شاهد). در ارقام دیگر نیز) به جز رقم مرودشت (میزان پرولین نمونه های شاهد و تنش دیده در آخرین نمونه گیری به یکدیگر نزدیک بود، که نشان دهنده کاهش اثر پرولین در بر طرف کردن اثر منفی تنش خشکی در مراحل نهایی رشد است.



شکل ۲: اثر تنش کمبود آب بر تغییر محتوای قندهای پلی ساکاریدی و محلول موجود در اندام های ساقه (a,c) و برگ پرچم (b,d) رقم گندم طی مراحل گرده افشانی تا پرشدن دانه، DAS، روز بعد از تیمار تنش رطوبتی M_{80} ، مرودشت با سطح آبیاری $FC_{80}\%$ ؛ P_{80} ، پیشتاز با سطح آبیاری $FC_{80}\%$ ؛ m_{80} رقم بهار با سطح آبیاری $FC_{80}\%$ ، W_{80} لاین $WS-82-9$ با سطح آبیاری $FC_{80}\%$ ؛ M_{40} ، مرودشت با سطح آبیاری $FC_{40}\%$ ؛ P_{40} ، پیشتاز با سطح آبیاری $FC_{40}\%$ ؛ m_{40} رقم بهار با سطح آبیاری $FC_{40}\%$ ، W_{40} ، $WS-82-9$ با سطح آبیاری $FC_{40}\%$.

کاسته شد (۸ درصد). کاهش انباشتگی میزان پلی ساکارید ها در لاین WS-۸۲-۹ نیز مشابه رقم بهار، کم بود. بیشترین میزان پلی ساکارید ساقه در آخرین برداشت مزرعه ای در لاین WS-۸۲-۹ دیده شد (۵/۱۷ DW%). (شکل ۲). البته رقم فوق در شرایط مطلوب نیز از ظرفیت بالایی برای انباشتگی پلی ساکاریدها در ساقه (به ویژه در مراحل آخر رشد) برخوردار بود. چنین به نظر می رسد که کاهش بیشتر پلی ساکارید های برگ در رقم مرودشت (در قیاس با رقم WS-۸۲-۹)

تغییر محتوای قندهای محلول برگ و ساقه : بررسی میزان قندهای محلول ساقه و برگ در طی مراحل پرشدن دانه نشان داد که در طی مراحل پرشدن دانه و صرفنظر از شرایط رطوبتی، درصد قندهای محلول ساقه در تمامی ارقام افزایش یافت. اما در برگ، درصد قندهای ارقام مرودشت و لاین WS-۸۲-۹ کاهش و در ارقام پیشتاز و بهار افزایش و سپس کاهش یافت (شکل ۲d و ۲c). نسبت به سایر ارقام، درصد قندهای محلول برگ در رقم متحمل WS-۸۲-۹ در هر دو شرایط مطلوب و تنش رطوبت، و به خصوص در مراحل اولیه پر شدن دانه برتری چشمگیری داشت (حدود ۵٪ DW در روز ششم اعمال تنش در مقابل ۳-۴٪ وزن خشک در سه رقم دیگر)؛ میزان قندهای محلول ساقه این

است. همانطور که مشاهده می شود میزان پلی ساکارید های برگ و ساقه (صرفنظر از میزان فراهمی رطوبت) بتدریج افزایش یافت، چنانکه ۶، ۱۸، و ۳۰ روز پس از گرده افشانی، میانگین درصد پلی ساکارید های برگ به ترتیب ۲/۵، ۳/۱، ۳/۹ و در ساقه ۲/۳، ۳/۲ و ۴/۲ درصد بود. بدین ترتیب بیشترین درصد پلی ساکاریدهای برگ و ساقه در هر دو شرایط مطلوب و تنش رطوبتی (به استثنای درصد پلی ساکارید ساقه در مرحله میانی پرشدن دانه) در رقم متحمل به خشکی WS-۸۲-۹ ثبت گردید.

اعمال تنش سبب کاهش پلی ساکاریدهای برگ و ساقه تمامی ارقام شد؛ ولی بیشترین شدت کاهش در ارقام مرودشت و پیشتاز (به ترتیب ۰/۵۲ و ۰/۶۷ در برگ و ساقه) و کمترین آن در رقم بهار و لاین WS-۸۲-۹ (به ترتیب ۰/۳۱ و ۰/۳۷ در برگ و ساقه) مشاهده شد (شکل ۲a و ۲b). محتوای پلی ساکاریدهای موجود در برگ نمونه های تنش دیده رقم مرودشت طی روزهای ششم، هجدهم و سی ام به ترتیب نسبت به شاهد ۹، ۱۷ و ۱۷ درصد کاهش یافت. از طرف دیگر رقم پیشتاز در طول زمان تنش، کاهش مداومی را از نظر میزان پلی ساکاریدهای برگ در هر هفته (حدود ۱۷٪) نشان داد، اما در رقم بهار در شرایط تنش (نسبت به شاهد) به میزان ناچیزی از میزان پلی ساکاریدهای برگ پرچم

بر خلاف وزن هزار دانه معنی دار نبود که علت این امر را می توان به واکنش کاملاً متفاوت ارقام فوق در دو شرایط فراهمی رطوبت و کم آبی در مرحله پرشدن دانه نسبت داد.

طبق جدول ۲ وقوع تنش خشکی در مراحل پس از گرده افشانی موجب افت شدید میانگین عملکرد و وزن هزار دانه ارقام شد به نحوی که میزان عملکرد از ۵/۷ تن در هکتار در شرایط آبیاری مناسب به حدود ۴ تن در هکتار در شرایط کمبود آب کاهش یافت؛ همینطور میانگین وزن هزار دانه از ۴۱/۹ گرم به ۲۷/۴ گرم رسید. این امر با توجه به زمان قطع آبیاری (از مرحله گرده افشانی به بعد) و شکل گیری و پر شدن دانه در این مرحله پدیده ای قابل انتظار بود. اثر اصلی رقم بر وزن هزار دانه معنی دار بود، بالاترین وزن هزار دانه در رقم WS-۸۲-۹ (با ۴۰/۹ گرم) و کمترین آن در رقم مرودشت (با ۲۸/۳ گرم) مشاهده شد. کاهش وزن هزار دانه (ناشی از وقوع تنش خشکی در مرحله پرشدن دانه) در ارقام مرودشت، بهار، پیشتاز و رقم WS-۸۲-۹ به ترتیب ۳۷/۵٪، ۳۷/۱٪، ۳۴/۹٪ و ۳۰/۵٪ بود. وقوع تنش در مرحله پرشدن دانه سبب افت شدید عملکرد در تمامی ارقام مورد مطالعه به استثنای رقم WS-۸۲-۹ شد. اندازه بذر شاخصی کیفی است که تغییر آن نه فقط عملکرد بلکه میزان تلفات حین برداشت و درصد استخراج آرد در کارخانه های آرد

رقم نیز گرچه به لحاظ میانگین تفاوت زیادی با سایر ارقام نداشت اما در مراحل اولیه پرشدن دانه در قیاس با بقیه ارقام برتری محسوس داشت. اما برتری رقم مرودشت مربوط به مراحل انتهایی پرشدن دانه بود (تغییر از ۳/۳٪ در روز ششم به ۴/۷٪ وزن خشک در روز سی ام). افزایش میزان قندهای محلول برگ در رقم بهار در مراحل میانی پرشدن دانه رخ داد (۲/۹٪ در روز ششم در مقابل ۴/۹٪ در روز هجدهم) (شکل ۲). بر اساس این نتایج اعمال تنش رطوبتی سبب افزایش میزان قندهای محلول ساقه به خصوص در رقم مرودشت، بهار و لاین WS-۸۲-۹ شد. اما در مورد برگ، وقوع تنش رطوبتی سبب ایجاد یک کاهش DW٪ ۰/۳ در روز ششم اعمال تنش خشکی در تمام ارقام گردید که این اثر در رابطه با اثر تنش خشکی در کاهش فتوسنتز جاری قابل توجیه می باشد.

اثر تنش خشکی بر عملکرد گندم:

جدول ۲ نتایج حاصل از مقایسه میانگین عملکرد و وزن هزار دانه ارقام مورد بررسی را در شرایط آبیاری مطلوب و تنش رطوبتی نشان می دهد. نتایج بیانگر آن است که اثرات اصلی سطح تنش کمبود آب و ارقام و همچنین اثر متقابل این دو عامل بر روی میانگین وزن هزار دانه معنی دار بود، اما اثر اصلی رقم بر عملکرد دانه

جدول ۲: مقایسه اثر اصلی سطح تنش و رقم و اثر متقابل آنها بر عملکرد و وزن هزار دانه ی چهار رقم گندم

تیمار	وزن هزار دانه Weight of 1000 seeds (g)	عملکرد (تن در هکتار) Grain yield (tha)
آبیاری مطلوب (I1)	41.9 a	5.751 a
خشکی آخر فصل (I2)	27.4 b	3.992 b
ارقام		
مرودشت (V1)	28.3 c	4.571 a
پیشناز (V2)	36.3 b	5.087 a
بهار (V3)	33.1 b	4.810 a
WS-۸۲-۹ (V4)	40.9 a	5.018 a
اثر متقابل		
I1V1	34.9 c	5.623 ab
I1V2	43.9 ab	6.167 a
I1V3	40.7 b	6.099 a
I1V4	48.2 a	5.117 abc
I2V1	21.8 e	3.518 c
I2V2	28.6 d	4.006 bc
I2V3	25.6 de	3.522 c
I2V4	33.5 c	4.920 abc

میانگین های با حروف مشابه در هر ستون فاقد اختلاف معنی دار در سطح احتمال ۵ درصد هستند.

سازي را تحت تاثیر قرار می دهد لذا کاهش آن اهمیت بسیار زیادی دارد. محاسبه تعداد دانه در واحد سطح زیر کشت بیانگر آن بود که تعداد دانه های لاین-۸۲-WS ۹ (۱۱۹۴۳ دانه در متر مربع) به شکل محسوسی کمتر از سایر ارقام بود (به ترتیب ۱۶۱۰۵، ۱۴۱۷۷ و ۱۴۴۹۰ دانه در متر مربع برای ارقام مرودشت، پیشناز و بهار). به بیان بهتر بنیانگذاری تعداد دانه در لاین WS-۸۲-۹، حتی در شرایط فراهمی رطوبت نیز به نحو کنترل شده ای انجام و مدیریت شده بود.

بحث

به طور کلی می توان اظهار نمود که ارقام متحمل کشت شده در مزرعه در همان روزهای اول تنش خشکی به سرعت اقدام به سنتز و انباشتگی پرولین کرده بودند که این موضوع به وضوح در روز ششم بعد از اعمال تنش نشان داده شد. در روزهای بعد محتوای پرولین برگ گیاهان تحت تنش ارقام فوق همچنان بالا بود، اما نسبت به روزهای نخست کمی کاهش یافت حتی در لاین WS-۸۲-۹ در مواردی کمتر از شاهد شد. در ارقام حساس تر،

افزایش محتوای پرولین در فاصله زمانی طولانی تری به وقوع پیوست و در زمان نزدیک به برداشت، مقدار آن به اندازه محتوای پرولین ارقام مقاوم بود. در هر حال محتوای پرولین نمونه های تنش دیده همیشه بیشتر از گیاهان رشد یافته در شرایط مطلوب رطوبتی بود. انباشتگی پرولین و جلوگیری از فلوئورسانس کلروفیل، از جمله نشانگرهای تحمل خشکی است که باعث سازگاری ارقام گندم به کمبود آب می شود. (Al Hakimi et al., 1995; Teulat et al., 2006; Zhu and Gong, 2010; Keyvan, 2005). بنابراین می توان افزایش ۳۶ درصدی و قابل ملاحظه محتوای پرولین را در مرحله سنبله دهی رقم مرودشت از جمله علل کاهش رشد و وزن هزار دانه این رقم حساس دانست. با توجه به روند افزایشی میزان پرولین برگ پرچم در محیط مطلوب چنین به نظر می رسد که افزایش میزان پرولین در ابتدای اعمال تنش عمدتاً از طریق افزایش ساخت این اسید آمینه و نه تجزیه آن رخ داده است؛ که این امر موید نظریه استفاده از پرولین به عنوان یک اسمولیت سازگار برای تنظیم اسمزی و مقابله با تنش های محیطی است (Blum 2011). اما از آنجا که پرولین از آمینواسید های ضروری است و انباشتگی آن ممکن است روی ورود این آمینو اسید جهت بیوسنتز و گردهمایی پروتئین های کلیدی و موثر در تنظیم

اعمال حیاتی و رشد و نمو گیاه اثر منفی بگذارد لذا با طولانی شدن دوره تنش تجمع سایر اسمولیت های سازگار (نظیر گلیکوزید های محلول و آمین های نوع چهارم) جایگزین پرولین خواهد شد (Al Hakimi et al., 1995; Teulat et al., 2006). بررسی محتوای پرولین به عنوان یک ترکیب اسمولیت سازگار در شرایط کمبود آب در ژنوتیپ های مختلف گندم دوروم نشان داده است که ژنوتیپ های مختلف نسبت به کمبود آب دارای آستانه تحمل متفاوتی هستند و محتوای پرولین رابطه نزدیکی با آستانه تنش آب خاک و انباشت ترکیبات ضد تنش خشکی در گندم دارد (Hong-Bo et al., 2006; Navabpour et al., 2015). پرولین با جاروب کردن رادیکالهای هیدروکسیل در شرایط تنش اکسیداتیو از فرو پاشی غشای سلولی جلوگیری می کند و به عنوان یک اسمولیت ساختار پروتئین ها و آنزیمهارا حفظ می کند. (Talebi et al., 2013). در غیاب پرولین مقاومت غشا در برابر پراکسیداسیون کاهش یافته و نشأت الکترولیتها ۳ برابر بیشتر می شود. تغییر محتوای پرولین که در ارتباط با خشکی ایجاد می شود به حفظ وضعیت آب کمک می نماید (Ashraf and Foolad, 2007). افزایش (Simova-Stoilova et al., 2008). غلظت این اسید آمینه که به تنظیم اسمزی کمک می کند می تواند ناشی از ممانعت از تجزیه پرولین، کاهش سنتز پروتئین و

رویشی گندم کاهش می یابد و در تحقیقات دیگری بر افزایش میزان کربوهیدراتهای محلول در مرحله رویشی تاکید شده است (Kafi et al., 2003). احتمالاً انباشت این مواد به تحمل گیاهان تحت تنش کمک می کند و تغییر مقدار آنها در پاسخ به تنش اسمزی تنوع قابل ملاحظه ی بافتها و ژنوتیپهای مختلف گندم را نشان می دهد. Navabpour و همکاران (۲۰۱۵) با مطالعه نیمرخ تغییرات بیان ژنها در چهار رقم گندم تحت تنش خشکی، بیش بیانی دو ژن مسئول تنظیم اسمزی را که در ترابری قندهای محلول ژنوتیپ های متحمل مشارکت داشتند به اثبات رساندند.

میزان قند های محلول برگ پرچم ارقام مورد بررسی در این پژوهش مراحل پرشدن دانه و در واکنش به اعمال تنش خشکی افزایش یافت و به سطحی بالاتر از نمونه های شاهد رسید. میزان افزایش قند های محلول در رقم متحمل به خشکی WS-۸۲-۹ و رقم بهار بیشتر از ارقام مرودشت و پیشتاز بود. چنین به نظر می رسد که افزایش درصد قندهای محلول در برگ و ساقه ارقام مورد مطالعه عمدتاً ناشی از تبدیل پلی ساکارید ها به قند های ساده تر (که از نظر اسمزی فعال تر هستند) و با هدف تنظیم اسمزی در جهت سازگاری بیشتر با تنش خشکی بوده و لذا افزایش قندهای محلول را می توان با کاهش پلی ساکاریدهای برگ و

یا افزایش تجزیه پروتئین (همراه با کاهش رشد) باشد. مطالعه متابولیسم پرولین در گندم به کمک ایجاد تنش های اسمزی نشان داده است که محتوای پرولین از طریق فراتنظیمی مراحل بیوسنتز آن افزایش می یابد (Lei et al., 2007).

Ehdaie و همکاران (۲۰۰۶) در بررسی روند تغییرات وزن خشک اندام های مختلف گندم، افزایش وزن خشک ساقه را در نیمه اول دوره پرشدن دانه گزارش نمودند. به نظر می رسد که حداقل بخشی از افزایش درصد پلی ساکارید های ساقه و به خصوص برگ ناشی از انتقال مجدد کربوهیدرات های محلول به دانه و کاهش وزن اندام و به تبع آن افزایش درصد پلی ساکارید ها باشد. Ehdaie و همکاران (۲۰۰۶) نیز در بررسی تغییرات وزن خشک ساقه در طی مراحل پر شدن دانه اعلام نموده بودند که میزان این ذخایر طی دوره پرشدن دانه ابتدا افزایش و سپس کاهش یافته بود و شدت کاهش در شرایط تنش خشکی بیشتر بود. بر اساس این مطالعه تنوع ژنتیکی قابل ملاحظه ای بین ارقام در این رابطه وجود داشت که می تواند به عنوان معیار انتخاب ژنوتیپ ها برای تحمل به تنش خشکی مد نظر قرار گیرد.

برخی گزارشها نشان می دهد که در شرایط تنش اسمزی مجموع پلی ساکارید ها و کربوهیدراتهای محلول در اندام های

ساقه مرتبط نمود. حساسیت بیشتر رقم مرودشت در شرایط تنش خشکی نیز ممکن است ناشی از تبدیل پلی ساکاریدهای این رقم به قند های ساده تر و انتقال مجدد این مواد از برگ به بذر باشد. این امر یعنی اتکا به انتقال مجدد برای پرکردن دانه موجب تخلیه زود هنگام برگ (سازوکار خود تخریبی) و افت سریع فتوسنتز جاری می شود. تبدیل کربوهیدرات های بزرگ به قندهای ساده تر در شرایط تنش خشکی از سوی سایر منابع نیز گزارش شده است. در شرایط کم آبی، مقدار پروتئین هایی با وزن مولکولی بالا و نشاسته کاهش می یابد. در نتیجه فعالیت آمیلاز محتوای قند های محلول بیشتر می گردد و ژنوتیپ هایی که دارای مخازن بزرگتری از قندهای محلول باشند از مقاومت بیشتری در مقابل خشکی برخوردار خواهند بود (Farshadfar et al., 2008; Ghasempour et al., 1998). نظر به کاهش تفاوت میزان قندهای محلول برگ ارقام مختلف در مراحل انتهایی پرشدن دانه، به نظر می رسد که هر چهار رقم مورد بررسی از سازوکار تنظیم اسمزی برای مقابله با تنش خشکی استفاده کرد اما استفاده زود هنگام از این روش و تداوم آن تعیین کننده موفقیت یا عدم موفقیت یک رقم در مقابله با خشکی است. همانطور که در شکل ۳ کاملاً مشخص است میزان قندهای محلول رقم متحمل ۹-۸۲-WS در مراحل اولیه پر شدن دانه، در هر دو شرایط مطلوب و تنش، تفاوت شاخصی با سایرین داشت و با گذشت زمان از این تفاوت کاسته شد. احتمالاً بخشی از روند تغییر میزان قندهای محلول ساقه ناشی از انتقال آن بین برگ و ساقه می باشد. Hoseinian Khoshro و همکاران (۲۰۱۳) و Fernanda Dreccer و همکاران (۲۰۰۹) ضمن تایید وجود تنوع ژنتیکی در این مورد اعلام نمودند که میزان کربوهیدرات های غیر ساختمانی ساقه در طی مراحل پرشدن دانه ابتدا افزایش و سپس کاهش می یابد. مطالعات نشان داده است که افزایش سنتز کربو هیدراتها در گندم سبب افزایش مقاومت به خشکی می شود (Erdei et al., 2002). تنظیم اسمزی در اندام های در حال رشد به میزان تامین متابولیت ها بستگی دارد، زیرا این پدیده با صرف انرژی همراه است و تهیه ترکیبات کربن دار برای تولید اسمولیت های سازگار به تداوم فتوسنتز وابسته است. اکثر گیاهان به منظور حفظ وضعیت آبی خود با انباشتن متابولیت هایی نظیر پرولین، کربوهیدراتهای محلول و برخی یونها اقدام به تنظیم تعادل اسمزی نموده و با تنش های شوری و خشکی مقابله می کنند (Hoseinian Khoshro, 2013). مطالعه دو تنش شوری و خشکی بر روی دانه رسته های گندم

ارقام مختلف وجود نداشت (به ویژه ارقام پیشتاز و بهار با عملکرد حدود ۶ تن در هکتار) اما هر یک از این ارقام وقتی که در شرایط تنش رطوبتی قرار می گرفتند نسبت به شرایط آبیاری مطلوب به طور معنی داری ($p < 0.05$) عملکردشان کاهش می یافت. بیشترین میزان افت عملکرد دانه به ترتیب در ارقام بهار (۴۳/۹٪)، مرودشت (۳۷/۵٪) و پیشتاز (۲۵/۱٪) و کمترین میزان افت نیز در رقم ۹-۸۲-WS (حدود ۴٪) مشاهده شد. این نتایج با گزارش Ahmadi و Sio-Se Mardeh (۲۰۰۴) مطابقت دارد. آنها با مقایسه عملکرد ۴ رقم گندم تحت تنش خشکی کاهش ۳۶ درصدی عملکرد رقم حساس را نسبت به شرایط شاهد نشان دادند. بنابراین می توان رقم ۹-۸۲-WS را به عنوان یک رقم مقاوم در نظر گرفت. زیرا وزن هزار دانه لاین ۹-۸۲-WS حتی در شرایط تنش رطوبت در حد خوبی (۳۲/۵ گرم) حفظ شده بود اما در سایر ارقام و به خصوص مرودشت (۲۱/۸ گرم) به شدت کاهش یافته بود به نظر می رسد تفاوت کاهش وزن هزار دانه ارقام مورد مطالعه در واکنش به تنش خشکی را می توان به تفاوت تعداد بذرهای این ارقام نسبت داد. یکی از علل تحمل به خشکی در رقم ۹-۸۲-WS ممکن است مربوط به رشد کنترل شده در دوره رشد رویشی (تعداد پنجه کمتر در هر بوته) و

نشان داده است که در تنش خشکی میزان کربوهیدراتهای محلول در گیاهان مقاوم بیش از ارقام حساس افزایش می یابد در حالی که در تنش شوری از میزان قندهای محلول کل کاسته می شد (Kerepesi and Galiba, 2001).

نتایج فوق با تحقیقات Al Hakimi و همکاران (۱۹۹۵) مطابقت دارد، آنها ضمن بررسی تغییرات محتوای قند های محلول و پرولین در دو گونه گندم (T. polonicum and T. durum) بیان نمودند که مطالعه محتوای قند های محلول برای انتخاب ارقام متحمل گندم نسبت به بررسی محتوای پرولین صفت بهتری محسوب می شود. محمدخانی و حیدری (Mohammadkhani and Hidari, 2008) نیز از طریق مقایسه مقدار مواد محلول انباشته شده در دو رقم ذرت (*Zea mays* L.) پس از تیمار تنش خشکی نشان دادند که تحت شرایط تنش زا محتوای قند های محلول افزایش و محتوای نشاسته به طور شاخصی کاهش می یابد. آنها گزارش نمودند که قند های محلول در تنظیم اسمزی نقش مهمتری را ایفا می کنند و پرولین احتمالاً باعث به حداقل رساندن آسیب هایی غشایی پدید آمده در طی دهیدراسیون می شود.

بر اساس نتایج حاصل از این مطالعه، علیرغم اینکه در شرایط طبیعی از نظر میانگین عملکرد دانه تفاوت زیادی بین

تعداد دانه کمتر در هر سنبله باشد.

افزایش فعالیت های پروتئازی بود.

نتیجه گیری کلی

بر اساس نتایج حاصل تمامی ارقام از انباشت پرولین به عنوان یک واکنش حفاظتی در برابر تشدید تنش خشکی استفاده کردند ولی سرعت واکنش و تجمع پرولین در هر رقم متفاوت و تعیین کننده سطح تحمل به خشکی آن رقم بود. کاهش میزان پرولین برگ پرچم همزمان با مراحل پر شدن دانه را می توان به کاهش اتکای گیاه به اثرات حفاظتی پرولین در مواجهه با تنش خشکی و استفاده از آن به عنوان یک منبع ذخیره کربن و نیتروژن برای پر کردن دانه (انتقال مجدد) نسبت داد. به این ترتیب نتایج حاصل بیانگر آن است که امکان به گزینی ارقام متحمل به خشکی از طریق شاخص میزان پرولین تنها در صورت انجام آن در مراحل اولیه پس از اعمال تنش امکان پذیر بوده و تعلق در انجام آن نتایج گمراه کننده ای به همراه خواهد داشت. چنین به نظر می رسد که این امر علت تضاد منابع در خصوص اعلام کارایی استفاده از میزان پرولین به عنوان یک شاخص به گزینی برای تحمل به خشکی باشد. افزایش محتوای پرولین برگ پرچم گندم به تنهایی موجب افزایش تحمل ارقام به تنش های اسمزی نمی شود، همچنانکه در ارقام حساسی چون مرودشت این افزایش در دوره آخر فصل دلیلی بر

در مجموع محتوای قند های محلول و پلی ساکارید های برگ طی دوره ی تنش بسته به نوع رقم و سطح تنش متناسب با مقاومت گیاه در برابر کمبود آب تغییر کرد بنابراین بررسی میزان کربوهیدراتها از جمله شاخص های مناسب برای به گزینی ارقام تحت تنش خشکی محسوب می شود. در ارقام مقاوم تحت تنش، در پایان دوره ی رشد و مرحله پر شدن دانه مجموع قند های محلول و پلی ساکاریدها افزایش یافت. در حالیکه در رقم حساس به علت رشد ناکافی سلولها، تراکم پلی ساکارید آنها بالا و میزان قند های محلول آن کمتر می شد. ارقام حساس به علت میزان انباشتگی بیشتر پلی ساکارید در اندامهای مختلف و میزان قندهای محلول کم، تحمل کمتری را در برابر خشکی به نمایش گذاشتند.

سپاسگزاری

بدینوسیله از معاونت پژوهشی دانشگاه الزهرا و دانشکده علوم زیستی بخاطر فراهم نمودن امکانات مالی و پژوهشی لازم برای تحقیق حاضر و همچنین مدیریت بخش تحقیقات غلات موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر (بخش تحقیقات غلات، کرج) که امکان استفاده از ارقام کشت شده در مزرعه را فراهم نمودند، قدر دانی و تشکر می شود.

منابع

آل ابراهیم، م.؛ صباغ نیا، ن.؛ عبادی، ا.؛ و محب الدینی، م. (۱۳۸۴) بررسی تنش خشکی و شوری بر روی جوانه زنی بذر گیاه دارویی آویشن (*Thimus ulgaris*) "مجله پژوهش در کشاورزی ۱، ۱۹-۱۳.

Ahmadi, A. and Sio-Se Mardeh, A. (2004) The effects of water stress on soluble carbohydrates, chlorophyll and proline contents of four Iranian wheat cultivars under different moisture regimes. *Iranian Journal of Agricultural Science* 35(3): 753-763.

Al Hakimi, A. Monneveux, P. and Galiba, G. (1995). Soluble sugars, proline and Relative Water Content (RWC) as traits for improving drought tolerance and divergent selection for RWC from *T. polonicum* into *T. durum*" *Journal of Genetic Breeding* 49: 237-244.

Ashraf, M. and Foolad, M.R. (2007), Roles of glycine betaine and proline in improving plant abiotic stress resistance *Environment Experimental Botany* 59: 206–216.

Blum, A. (2011) *Plant Water Relations, Plant Stress and Plant Production*. Pp. 11-52. In: Blum, A. (ed) *Plant Breeding for Water-Limited Environments*, Springer-Verlag, London.

Bates, L.S. Waldren, R.P. and Teare, L.D. (1973) "Rapid determination of free prolin for water-stress studies" *Plant Soil* 39: 205-207.

Dubois, M. Gilles, K.A. Hamilton, J.K. Rebers, P.A. and Smith, F. (1956) "Colorometric method for determination of sugars and related substrates" *Analytical Chemistry* 28: 350-356.

Ehdaie, B. Alloush G.A. Madore, M.A. and Waines, J.G. (2006) Genotypic variation for stem reserves and mobilization in wheat: I. postanthesis changes in interned dry matter *Crop Science* 46:735-746.

Erdei, L. Tari, I. Csiszár, J. pécsváradi, A. Horváth, F. Szabó, M. Ördög, M. Cseuz, L. Zhiponova, M. Szilák, L. and Györgyey, J. (2002) "Osmotic stress responses of wheat species and cultivars differing in drought toler-

- ance: some interesting genes (advices for gene hunting)” *Acta biologica Szegediensis* 46(3-4): 63-65.
- Farshadfar, E. Ghasempour, H. Vaezi, H. (2008) “Molecular aspects of drought tolerance in bread wheat (*T. aestivum*)” *Pakistan Journal of Biological Sciences* 11(1): 118-122.
- Fernanda Dreccer, M. van Herwaarden, A.F. and Chapman, S. (2009) “Grain number and grain weight in wheat lines contrasting for stem water soluble carbohydrate concentration” *Field Crops Research* 112: 43-54.
- Ghasempour, H.R. Gaff, D.F. Williams, R.P.W. and Gianello, R.D. (1998) “Contents of sugars in leaves of drying desiccation tolerant flowering plants, particularly grasses” *Plant Growth Regulator* 24: 185-191.
- Gonzalea, A. Martin I. and Ayerbe L. (1999) “Barley yield in water stress conditions. The influence of precocity, osmotic adjustment and stomatal conductance” *Field Crop Research* 62:23-34.
- Hong-Bo, S. Xiao-Yan, C. Li-Ye, C. Xi-Ning, Z. Gang, W. Yong-Bing, Y. Chang-Xing, Z. and Zan-Min, H. (2006) “Investigation on the relationship of proline with wheat anti-drought under soil water deficits” *Colloids and Surfaces B, Biointerfaces* 53(1): 113-119.
- Hoseinian Khoshro, H. Taleei, A. Bihamta, M.R. Shahbazi, M. Abbasi, A.R. (2013) “Expression Analysis of the genes involved in osmotic adjustment in bread wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars under terminal drought stress conditions” *Journal of Crop Science and Biotechnology* 16 (3): 173-181.
- Kafi, M. Styuart, V.C. Borland, A.M. (2003) “Carbohydrate and proline content in leaves, roots and apexes of salt-tolerant and salt-sensitive wheats” *Plant Physiology* 50(2): 174-182.
- Kameli, A. Losel, D.M. (1993) “Carbohydrates and water status in wheat plants under water stress” *New Phytologist* 125 : 609-614.
- Kerepesi, I. and Galiba, G. (2001) “Osmotic and salt stress-Induced alteration in soluble carbohydrate content in wheat seedlings” *Crop Science* 40: 482-487.

- Keyvan, S. (2010) "The effects of drought stress on yield, relative water content, proline, soluble carbohydrates and chlorophyll of bread wheat cultivars" *Journal of Animal and Plant Sciences* 8(3): 1051- 1060
- Lei, Y. Yin, C. Ren, J. and Li, C. (2007) "Effect of osmotic stress and sodium nitroprusside pretreatment on proline metabolism of wheat seedlings" *Biologia Plantarum* 51: 386-390.
- McCue, K.F. and Hanson, A.D. (1990) "Drought and salt tolerance: towards understanding and application" *Trends Biotechnology* 8: 358–362.
- Mehrvar, M.R. (2008) "Evaluation of the spring wheat genotypes during desirable dates and mass planting under normal irrigation and at the end of drought season conditions" *Annual reports from improvement agricultural experiment- physiology of grain, Grain research department, Seed and Plant Improvement Institute.*
- Mohammadkhani, N. and Hidari, R. (2008) "Drought-induced accumulation of soluble sugars and proline in two maize varieties" *World Applied Sciences Journal* 3(3): 448-453.
- Morgan, J.M. (2000) "Increases in grain yield of wheat by breeding for an osmoregulation gene: relationship to water supply and evaporative demand" *Aust journal of agricultural research* 51: 971-978.
- Najafian, G. (2009) "Drought tolerance indices, their relationship and manner of application to wheat breeding programs" *Middle Eastern and Russian Journals of Plant Science and Biotechnology* 3:25-34.
- Navabpour, S. Ramazanpour, S.S. Soltanloo, H. Vakili Bastam, S. (2015) "Drought stress changed expression profile of some genes in tillering and pollination stages of adult wheat" *Applied Science Reports* 9 (2): 100-109
- Sabry, S. Smith, T. and Smith, G. M. (1995) "Osmoregulation in spring Wheat under drought and salinity stress" *Genetic Breeding* 49(1): 55-60.
- Simova-Stoilova, L. Demirevska, K. Petrova, T. Tsenov, N. and Feller U. (2008) "Antioxidative protection in wheat varieties under severe recoverable drought at seedling stage" *Plant Soil Environment* 54(12): 529–536.

- Somogy, M. (1952) "Notes on sugar determination: Biological Chemistry 195: 19-23.
- Taize, L. and zeiger, E. (2002). Plant physiology, 3rd ed., Sinauer Associates Inc Publishers Massachusetts.
- Talebi, R. Ensafi, M.H. Baghbani, N. Karami, E. and Mohammadi, K.H. (2013) "Physiological responses of chickpea (*Cicer arietinum*) genotypes to drought stress" Environmental and Experimental Biology 11: 9-15.
- Teulat, B. Rekika, D. Nachit, M. and Monneveux P., (2006) "Comparative osmotic adjustments in barley and tetraploid wheats". Plant Breed, 116: 519-52.
- Verbruggen, N. and Hermans C., 2008. Proline accumulation in plants: a review. Amino Acids, 35: 753 759.
- Zhu, X. and Gong H. G. (2005) "Different soluble levels in two spring wheat cultivars induced by progressive field water stress at different development stages. Journal of Arid Environment 62: 1-14.
- <http://www.alborz-met.ir>, was available in 8 march 2015.
- <http://dir.wikipg.com/wiki> , was available in 8 march 2015.