

افزایش بیان ژنهای سوکسینات دهیدروژناز و پروفوبیلینوژن دی آمیناز در پاسخ به تنش شوری در گندم ماهوتی

فرهاد قوامی^۱، محمد علی ملبویی^۲، محمد رضا قنادها^۳، تهمینه لهراسی^۴، بهمن یزدی صمدی^۵، جواد مظفری^۱ و آنا پلنت^۶
۱، ۳، ۵، دانشجوی دوره دکتری و استادن، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران.
۲، ۴، دانشیار پژوهش مرکز ملی تحقیقات مهندسی ژنتیک و تکنولوژی زیستی
۶، محقق بخش ژنتیک و ذخایر توارثی، موسسه اصلاح و تهیه نهال و بذر، جاده ماهدشت،
۷، محقق گروه بیولوژی دانشگاه علوم دانشگاه سیمون فریزر، ونکوور، کانادا
تاریخ پذیرش مقاله ۸۳/۱۲/۲۵

خلاصه

به منظور شناسایی مکانیسم های درگیر در تحمل به شوری، ژنهای پاسخ دهنده به تنش شوری از گندم ماهوتی که از متحمل ترین ارقام بومی کشور به تنش شوری می باشد توسط روش نمایش افتراقی جداسازی گردید. دو ژن که تعداد نسخه های آنها در اثر شوری افزایش می یابد *wsr1* و *wsr2* نامیده شدند. *wsr1* شباهت بسیار زیادی به آنزیمی بنام سوکسینات دهیدروژناز داشت. افزایش رونوشت این ژن در اثر شوری احتمالاً" مربوط به واکنشی است که گندم ماهوتی برای رفع مسمومیت ناشی از یون سدیم در چرخه تنفسی سلول بکار می برد. ترجمه توالی *wsr2* شبیه به آنزیم پروفوبیلینوژن دی آمیناز می باشد که آنزیم کلیدی در ساخت تراپیرولهاست که پیش ماده ساخت کلروفیل ها هستند. به نظر می رسد که در تنش شوری بلند مدت، گیاه متحمل برای جایگزین کردن کلروفیل های از دست رفته اقدام به افزایش این آنزیم و سنتز بیشتر تراپیرولها می نماید.

واژه های کلیدی: پروفوبیلینوژن دی آمیناز، سوکسینات دهیدروژناز، شوری، گندم، نمایش افتراقی

مقدمه

امروزه جداسازی ژن های مربوط به صفات تک ژنی و انتقال آنها به گیاهان توسط روش های مهندسی ژنتیک به صورت معمول در آمده است. در این ارتباط، طرح های اصلاحی زیادی برای بهبود تولیدات گیاهی و مقاومت به طیف گسترده ای از آفات و بیماری ها با موفقیت به انجام رسیده و در سطح گسترده و تجاری استفاده می گردد. اما پیشرفت در صفات چند ژنی نظیر تحمل به شوری و خشکی در گیاهان زراعی و زینتی با دشواری ها و کندی زیادی همراه بوده است. شاید به این دلیل که این صفات کمی بوده و فقط قسمتی از پاسخ های چند ژنی تحت شرایط خشکی و شوری قابل ردیابی است (۲۳). روش های سنتی اصلاح نباتات نیز که بر اساس به کارگیری تنوع ژنتیکی حاضر در ژرم پلاسما موجود، تلاقی بین گونه ای و بین جنسی،

ایجاد موتاسیون و تنوع سوماکلونال سعی در ایجاد ارقام متحمل به شوری و خشکی داشته اند به خاطر پیچیده بودن این صفات چندان موفق نبوده اند (۷).

با این وجود، در طی دو دهه گذشته امکاناتی فراهم شده است که کاربرد زیست شناسی ملکولی را برای حل مشکلات پیچیده فیزیولوژیک ممکن ساخته است (۳). بر همین اساس امروزه اطلاعات زیادی درباره اساس ملکولی تحمل به تنش ها در دسترس بوده و روش های جداسازی، تجزیه و تحلیل ساختمان و عملکرد ژن های گیاهی راه اندازی گردیده است. از آنجا که برخی ژن ها نقش کلیدی در پاسخ به چنین تنش های محیطی را دارند، امید می رود بتوان با استفاده از امکانات موجود این ژن ها را شناسایی نمود. به موازات این تلاش ها، ایجاد گیاهان تراریخت برای بسیاری از گیاهان زراعی میسر گردیده و باعث

می‌باشند از میان صدها ژن دیگر که بیان آنها در اثر مواجه شدن گیاه با شرایط تنش و شوک اولیه تغییر می‌نماید، شناسایی می‌گردند. با توجه به اینکه گندم ماهوتی از گندم‌های متحمل بومی ایران می‌باشد و در کارهای قبلی ما (۱) نیز تحمل بالایی نسبت به دیگر ارقام متحمل به شوری از خود نشان داده است، شناخت مکانیسم‌های تحمل در این رقم می‌تواند کمک شایانی در جهت دستکاری ژنتیکی و بکارگیری استراتژی‌های اصلاحی مناسب جهت ارتقاء تحمل گندم‌های زراعی موجود به تنش شوری با توجه به اقلیم کشور ایران باشد.

مواد و روش‌ها

دانه‌های گندم ماهوتی که از متحمل‌ترین گندم‌های بومی ایران به شوری می‌باشد ابتدا در محلول ۲۰٪ وایتکس تجاری و Tween 20 ۰/۰۲٪ به مدت ۱۲ دقیقه ضدعفونی گردیدند. پس از شستشوی بذور در آب مقطر استریل، تعداد ۲۰ عدد بذر بر روی توری‌های استیل ضدزنگ که به صورت مربع به ابعاد ۶ سانتی متر بریده شده بودند و در درون محیط MS ۱/۲ به همراه ۰/۸٪ آگار قرار داده شده بودند، کشت شدند. ظروف پتری به مدت ۵ روز به اتاقک کشت با دمای ۲۵°C و فتوپریود ۱۶ ساعت در روز منتقل گردیدند. گیاهچه‌های سالم پس از مدت مذکور (۵ روز) به همراه توری‌هایشان به بطری‌های ۲ لیتری حاوی ۸۰ میلی لیتر محیط MS ۱/۲ بدون شکر انتقال یافتند و بر روی شیکر با سرعت ۶۰ دور در دقیقه قرار داده شدند. پس از ۲ روز، تیمارهای شوری ۰ (شاهد)، ۵۰، ۱۵۰، ۲۵۰ و ۳۵۰ میلی مولار NaCl بر روی گیاهان اعمال گردید.

محیط‌های غذایی هر ۳ روز یکبار تعویض شده و گیاهان پس از ۱۱ روز تیمار شوری (۱۸ روزگی) برداشت شدند. ریشه و برگ گیاهان به طور جداگانه وزن گردیده، در ازت مایع قرار داده شدند و برای استفاده‌های بعدی در فریزر ۸۰- درجه سانتیگراد نگهداری گردیدند. در شرایط کاملاً استریل در شیشه‌های ۲ لیتری حاوی محیط غذایی 1/2MS کشت گردیدند. گیاهان پس از هفت روزگی به مدت ۱۱ روز در معرض

شکل‌گیری استراتژی‌های آزمایشی مناسب برای افزایش تحمل به تنش‌ها در گیاهان گردیده است (۵، ۲۳).

با وجود پیشرفت‌های اخیر، مکانیسم‌های ملکولی و بیوشیمیایی درگیر در تحمل به شوری به خصوص در تنش‌های طولانی مدت هنوز عمدتاً ناشناخته است. بدیهی است قبل از مهندسی گیاهان متحمل به شوری بایستی اطلاعات کافی در زمینه اساس ملکولی و ژنتیکی مقاومت به تنش‌ها بدست آید (۳). این اطلاعات کمک خواهد کرد تا استراتژی‌های مناسب را جهت دستکاری گیاهان و به نژادی آنها با استفاده از روش‌های ملکولی و اصلاح نباتات کلاسیک در پیش‌گیریم (۱۷).

اگرچه افزایش و یا کاهش تعداد رونوشت‌های یک ژن دلیل بر نقش کلیدی آن در واکنش‌های بیوشیمیایی و فیزیولوژیک نمی‌باشد، اما جستجو برای اینگونه ژنها تنها راهی است که می‌توان در جهت شناسایی و جداسازی ژنهای پاسخ دهنده به تنش‌ها بکار برد (۱۲). یکی از روشهای متداول در این رابطه روش نمایش افتراقی می‌باشد که اولین بار توسط لیانگ و پاردی (۱۱) معرفی گردید. بر همین اساس از سال ۱۹۹۲ تاکنون که روش نمایش افتراقی معرفی گردیده است، ژن‌های زیادی توسط این روش از گیاهان مختلف جداسازی شده‌اند که می‌توان از این میان به جداسازی ژن‌های القاء شونده در اثر شوری از Mangrove (۲)، شناسایی ژن‌های مربوط به تنش سرما در یونجه و برنج (۱۰)، جداسازی ژن‌های القاء شونده در اثر ABA از گوجه‌فرنگی (۲۲)، جداسازی ژن‌های پاسخ دهنده به تنش اکسیداتیو از گیاه توتون (۲۱)، شناسایی ژن‌های تنظیم شونده توسط تنش خشکی در برنج (۱۹) و گندم دوروم (۱۶)، جداسازی ژن‌های القاء شونده در اثر شوری از جو (۱۳، ۲۰) و برنج (۶)، و بالاخره جداسازی ژن‌های پاسخ دهنده به تنش شوری در مراحل اولیه تنش از گندم (۱۴) اشاره نمود.

این تحقیق، به منظور شناسایی، جداسازی و تجزیه و تحلیل ژن‌های مربوط به پاسخ شوری در تنش طولانی مدت در مرحله گیاهچه‌ای گندم طراحی گردید. بدین ترتیب ژن‌هایی که بیان آنها برای بازگشت متابولیسم سلولی به حالت عادی لازم

شده برای توالی یابی به آزمایشگاه توالی یابی در دانشگاه UBC کانادا فرستاده شدند و با استفاده از آغازگرهای استاندارد M13 Forward و یا M13 Reverse توسط دستگاه ABI 377 توالی یابی گردیدند.

RNA کلی به میزان ۲۰ میکرو گرم از ژل آگارز حاوی ۱/۲٪ فرمالدئید عبور داده شد. پس از الکتروفورز و عکسبرداری از ژل، RNA از ژل به غشاء نایلونی با بار مثبت منتقل گردید. غشاءهای لکه گذاری شده پیش از دورگ گیری به مدت ۱ ساعت در ۱۰ میلی لیتر از بافر FSB (شامل ۱۰۰ میلی مولار تتراسدیم پیروفسفات، ۵۰ میلی مولار سدیم فسفات و ۱ میلی مولار EDTA) حاوی ۷٪ SDS و ۱ میلی گرم DNA اسپرم ماهی واسرشته شده در دمای C ۶۵ قرار داده شدند. دورگ گیری در همان بافر قبل با اضافه کردن کاوشگرهای cDNA نشاندار شده توسط P³²-dCTP که شدت پرتوایی آنها بیش از ۱۰^۸ cpm/μg بود، در تمام طول شب ادامه یافت. صبح روز بعد غشاءها سه مرتبه توسط 2X SSC حاوی ۰/۱٪ از SDS در دمای اتاق شسته شدند. سپس یک مرتبه به مدت ۴۵ دقیقه توسط 1X SSC حاوی ۰/۱٪ از SDS در دمای C ۶۵ و یک بار دیگر توسط 0.5X SSC حاوی ۰/۱٪ از SDS در همان دمای قبلی و همچنین در دمای C ۶۸ به مدت ۴۵ دقیقه شسته شدند. پس از شستشو، غشاءها در داخل پوشش نایلونی قرار داده شدند و در تاریک خانه بر روی فیلم عکاسی (Kodak X-Omat Blue) قرار داده شدند.

نتایج و بحث

چهار آغازگر لنگری برای انتهای ۳' و همینطور ۱۵ آغازگر اختیاری (۶۰ ترکیب متفاوت از آغازگرها) برای بدست آوردن قطعات cDNA در نمایش متفاوت mRNA های برگ گندم مورد استفاده قرار گرفت. با توجه به این تعداد ترکیب از آغازگرها و ایجاد ۸۰ تا ۱۵۰ نوار متفاوتی که در هر ژل توالی یابی قابل مشاهده بود، حدود ۶۰۰۰ قطعه متفاوت از mRNA های بیان شده درون گیاه مورد غربال قرار گرفت. با توجه به تخمین ژن های بیان شونده در گیاهان عالی که ۱۵ تا ۳۰ هزار

تنش های متفاوت نمک طعام با غلظت های ۰، ۵۰، ۱۵۰، ۲۵۰ میلی مولار قرار گرفتند.

RNA

برای DD-PCR مقدار ۱۰۰ میلی گرم از برگ های گیاهان در ازت مایع به خوبی آسیاب گردید و RNA کل توسط کیت Plant RNeasy System شرکت کیژن (Qiagen, SantraClarita, CA, USA) مطابق دستورالعمل موجود استخراج گردید. پس از استخراج، غلظت RNA موجود توسط دستگاه اسپکتروفتومتر Smart Spec 3000 شرکت BioRad تحت طول موج ۲۶۰nm اشعه ماوراء بنفش اندازه گیری شد. برای لکه گذاری نورتین، RNA کلی توسط روش کلرید لیتیم- فنل که بوسیله پرسکات و مارتین (۱۵) معرفی شده بود، استخراج گردید.

نمایش افتراقی مطابق با روش لیانگ و پاردی (۱۱) که متعاقباً توسط بوئر و همکاران (۳) تغییر یافته است، انجام شد. برای رونویسی معکوس از ۰/۵ میکرو گرم RNA کلی به همراه پرایمرهای آنکور (T11GC, T11CG, T11AC, T11CA) استفاده گردید. ۲ میکرولیتر از محصول RT به همراه آغازگرهای آنکور قبلی و ۱۵ آغازگر اختیاری در واکنش زنجیره ای پلیمرز بعدی استفاده شد که در آن از P³³-dATP جهت نشاندار کردن محصولات حاصله استفاده گردید. واکنش زنجیره ای پلیمرز به تعداد ۴۰ چرخه شامل دمای C ۹۴ برای ۳۰ ثانیه، C ۴۰ برای ۲ دقیقه و C ۷۲ برای ۳۰ ثانیه انجام شد و در آخر محصولات برای ۵ دقیقه در C ۷۲ باقی ماندند.

cDNA

قطعات cDNA با ابراز متفاوت از روی ژل توالی یابی جدا شده و به منظور همسانه سازی با استفاده از آغازگرهای مربوطه و در همان شرایط پیشین توسط PCR دوباره تکثیر گردیدند. سپس قطعات تکثیر یافته با استفاده از کیت همسانه سازی Topo TA Cloning System (Invitrogen, Sandiego, CA, USA) و مطابق دستورالعمل موجود در درون ناقل PCR2.1 Topo همسانه سازی گردیدند. قطعات همسانه سازی

بانک اطلاعاتی پروتئین ها بسیار کوتاه بوده و اکثراً ناحیه ۳'-UTR را شامل می شود، لذا *wsrI*/contig برای جستجو در بانک اطلاعات پروتئین ها توسط برنامه BLASTX مورد استفاده قرار گرفت. نتیجه جستجو نشان داد که فرآورده ترجمه EST مزبور شباهت بسیار زیادی به زیر واحد آهن- سولفور آنزیمی بنام سوکسینات دهیدروژناز از گیاه گندم دارد. این آنزیم نقش کلیدی در کمپلکس II نقل و انتقال الکترونی در میتوکندری دارد (۸). نشان داده شده است که تنها یک نسخه از این ژن در هسته وجود دارد که پروتئین ریپوزومی میتوکندریایی (*rsp14*) و سوکسینات دهیدروژناز را رمز می کند. روتوش های های این دو ترکیب متفاوت از طریق پیرایش متناوب بوجود آمده و پس از ترجمه آنها پروتئینشان به میتوکندری انتقال می یابد (۷).

پروتئین هایی که بیشترین شباهت را با ترجمه توالی مذکور نشان دادند به ترتیب زیر واحد آهن- سولفور آنزیم سوکسینات دهیدروژناز از گیاهان گندم (۲۸۱ آمینو اسید با ۹۳/۹٪ شباهت)، برنج (۲۸۱ آمینو اسید با ۸۶/۴٪ شباهت) و ذرت (۲۸۲ آمینو اسید با ۸۵/۱٪ شباهت) بودند. همانطور که در شکل ۳ دیده می شود توالی پروتئین های مربوط به زیر واحد آهن- سولفور این آنزیم به خوبی در طی تکامل حفظ شده است و در این گیاهان بسیار شبیه به هم می باشد.

آزمایش نورترن بلات افزایش بیان این قطعه در اثر تنش شوری را تایید نمود (شکل ۲). گزارش شده است که آنزیم سوکسینات دهیدروژناز (کمپلکس II) توسط سمیت یون سدیم غیر فعال می شود در حالی که کمپلکس I توسط تنش اکسیداتیو حاصل از شوری مورد آسیب قرار می گیرد (۸).

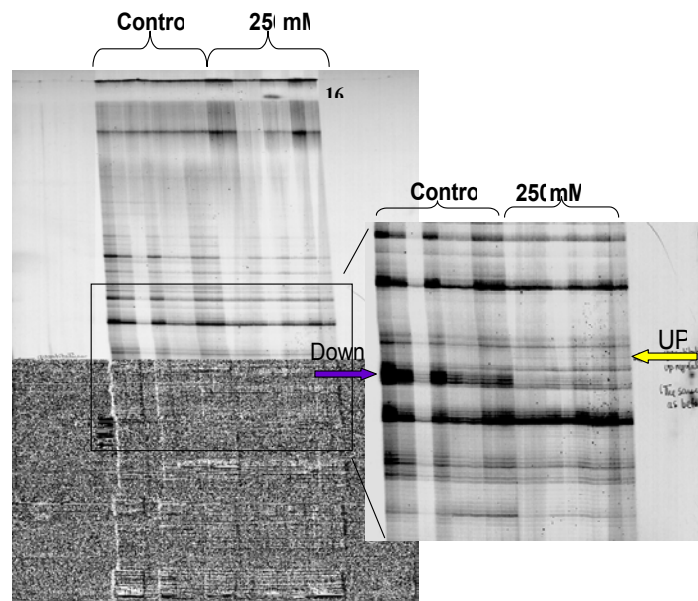
همانطور که در شکل ۲- الف دیده می شود بیان این ژن تا شوری ۱۵۰ میلی مولار افزایش چندانی نیافته و در شوری ۲۵۰ و ۳۵۰ میلی مولار افزایش می یابد. تحقیق قبلی ما (۱) نشان داد که محتوای یون سدیم در برگ گندم ماهوتی تا تیمار ۲۰۰ میلی مولار افزایش اندکی داشته و پس از آن افزایش چشمگیری می یابد. به نظر می رسد گندم ماهوتی با افزایش

می باشد (۱۲)، می توان گفت که mRNA های غربال شده یک سوم تا یک پنجم از کل mRNA های موجود در گندم را پوشش می دهند. از میان قطعات غربال شده ۱۱ قطعه با تظاهر متفاوت از روی ژل توالی یابی جداسازی گردید که از میان آنها ۷ قطعه تنظیم یافته کاهشی و ۴ قطعه تنظیم یافته افزایشی بودند. مثال هایی از این گونه قطعات در شکل ۱ نمایش داده شده است.

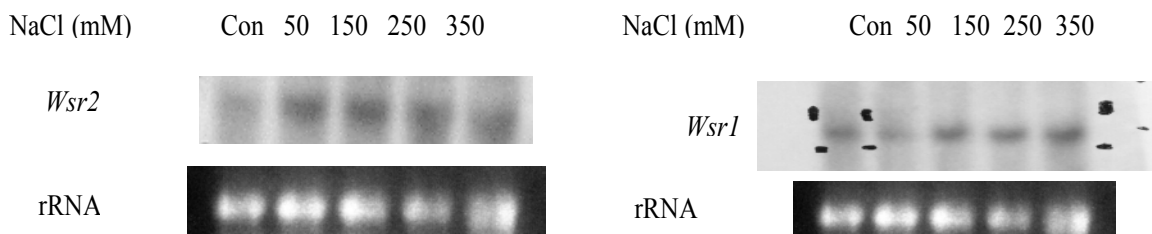
تعداد اندک قطعات متفاوت و یکسانی الگوی تظاهر mRNA در گیاهان تحت تنش و شاهد نشان از آن دارد که گندم ماهوتی پس از چند روز تنش شوری توانسته است به حالت اولیه خود برگشته و تنها با تغییر الگوی چندین ژن به زندگی عادی خود ادامه دهد. کاواساکی و همکاران (۱۰) نیز در بررسی گروهی بیان ژن ها در گیاهان برنج حساس و متحمل به شوری از طریق روش ریز آرایه گزارش کرده اند که تفاوت در الگوی تظاهر ژن ها میان گیاهان در معرض شوری و شاهد در رقم متحمل با وجود تغییرات فراوان اولیه، پس از مدت کوتاهی کاهش می یابد.

پس از لکه گذاری نورترن و بررسی چگونگی تظاهر ژن های مربوط به قطعات با بیان افتراقی توسط کاوشگرهای مربوطه، مشخص شد که تعداد رونوشت های دو ژن توسط تنش شوری افزایش یافته اند (شکل ۲). این ژنها به ترتیب *wsrI* و *wsr2* نامیده شدند. *wsrI* حاوی یک قطعه ۲۱۵ جفت نوکلئوتیدی است که در GenBank تحت شماره دسترسی CK136974 ثبت گردید. جستجو در بانک اطلاعاتی TIGR توسط این قطعه EST های مشابه را در گندم مشخص نمود که برخی از آنها تحت تنش خشکی و ABA جداسازی شده بودند. EST های ذکر شده به همراه *wsrI* برای بدست آوردن توالی بزرگتری از ژن مربوطه در گندم توسط نرم افزار Seqman با یکدیگر ادغام شده و در نهایت توالی ۱۰۱۴ جفت بازی *wsrI*/contig را بوجود آوردند. لازم به ذکر است توالی *wsrI* برای جستجو در

1. Down- regulated
2. Up-regulated
3. Microarray



شکل ۱- ژل توالی یابی مربوط به جداسازی قطعات تکثیر یافته توسط RT-PCR با استفاده از آغازگرهای T₁₁CA و پرایمر اختیاری 5'TTTTGGCTCC3' که بخشی از آن در سمت راست بزرگنمایی شده است. مسیرهای ۱ تا ۸ مربوط به گیاهان شاهد (۲ تکرار از استخراج RNA، ۲ تکرار نسخه برداری معکوس برای هر استخراج و ۲ واکنش PCR برای هر کدام) و مسیرهای ۹ تا ۱۶ مربوط به گندم های کشت شده در ۲۵۰ میلی مولار نمک می باشند. همانطور که در شکل دیده می شود نوارهایی که با فلشهای Down و Up در شکل مشخص شده اند مربوط به نوارهایی است که به ترتیب به طور کاهش یافته و افزایش یافته از روی ژل جداسازی گردیده اند.



شکل ۲- تجزیه و تحلیل نورترن بلات مربوط به ژن *Wsr1* (الف) و ژن *Wsr2* (ب). مسیرهای ۱ تا ۵ بر روی غشاء نیتروسولوز مربوط به RNA کلی استخراج شده از گیاهان کشت شده در شرایط کنترل (Con)، شوری ۵۰، ۱۵۰، ۲۵۰ و ۳۵۰ میلی مولار می باشند که با کاوشگرهای مربوط به قطعات به دست آمده از *Wsr1* (الف) و *Wsr2* (ب) دو رنگ گردیده اند. به منظور امکان مقایسه میان ابراز ژنها در شرایط مختلف باند مربوط به RNA ریبوزومی (rRNA) نیز در ژل آگارز که در انتقال به غشاء استفاده شده است در زیر هر بلات نشان داده شده است.

(TnAC) و آغازگر اختیاری (Arbiter4) بدست آمده است. این توالی در GenBank تحت شماره دسترسی CK136975 ثبت گردید. توالی *Wsr2* به همراه ESTهای مشابه ای که در نتیجه جستجو در بانک اطلاعاتی TIGR از گندم پیدا شده بودند، برای بدست آوردن توالی بزرگتری از ژن مربوطه در گندم توسط نرم افزار Seqman با یکدیگر ادغام شده و در نهایت توالی

بیان این آنزیم مخصوصاً در شوری های شدید که یون سدیم زیادی وارد سلول می گردد از اثر سمیت یون سدیم بر چرخه تنفسی گیاه جلوگیری کرده و جهت تحمل در برابر شوری از آن بهره می برد.

Wsr2 شامل یک قطعه ۲۵۹ نوکلئوتیدی و غنی از نوکلئوتید AT بوده و در نمایش متفاوت با آغازگر لنگری

Maize SDHB	MAAA-LLRRSPA V RALLSPALSSRLVASKPHSSSPAPPPA- KAAS STKTF S IYRW D -PDS P STKPHL KD	67
Rice SDHB	MAAAALRRSPAARALLSPALSSRLVASKPHSSSPAPPPPSKAGAN T TKTF S IYRW D -PDS P STKPHL KD	69
Wheat SDHB	MAAAALRRSPAARALLSPALSSRLVASKPHSSSPAPPPPSK PAS -TKTF S IYRW D -PDS P STKPHL KD	68
CONTIG(CDS)	-----SKPAS-TKTF S XX R XPDS P STKPHL KD	28
Maize SDHB	YQVDLSDCGPMVLDALLKIKNEQDPSLTFRRSCREGICGSCAMNIDGDNGLACLTKISG-ASSASTV S PL	136
Rice SDHB	YKVDLSDCGPMVLD W LKIKNEQDPSLTFRRSCREGICGSCAMNIDGDNGLACLTKISS-ASSASTIS PL	138
Wheat SDHB	YKVDLSDCGPMVLDALLKIKNEQDPSLTFRRSCREGICGTCAMNIDGDNGLACLTKISSEAAGASTIS PL	138
CONTIG(CDS)	YKVDLSDCG X MVLDALLKIKNEQDPSLTFRRSCREGICGSCAMNIDGDNGLACLTKISS E AAGASTIS PL	98
Maize SDHB	PHMFVVKDLVVDMTNFYSQYKSVEPWLKRKDP P Q Q GKEIP Q T K ADR A KLDGMYECILCAC C STSCPSY W	206
Rice SDHB	PHMFV T KDLVVDMTNFY N QYKSVEPWLKRK D A P P P Q Q GKEIP Q T K ADR A KLDGMYECILCAC C STSCPSY W	208
Wheat SDHB	PHMFVVKDLVVDMTNFY N QYKSVEPWLKRK D P P A A GGKEIYQSKADR A KLDGMYECILCAC C STSCPSY W	208
CONTIG(CDS)	PHMFVVKDLVVDMTNFY N QYKSVEPWLKRK D P P A A GGKEIYQSKADR A KLDGMYECILCAC C STSCPSY W	168
Maize SDHB	WNPEEYLGPAALLHANRWIQDSRDQFTKERLDSINDEFKLYRCHTIKNCTHACPKGLMPAKQIDTIK L LQ	276
Rice SDHB	WNPEEYLGPAALLHANRWIQDSRDQFTKERLDSINDEFKLYRCHTIKNCTHACPKGLMPAK E HDTIK L LQ	278
Wheat SDHB	WNPEEYLGPAALLHANRWIQDSRDEFTKERLDSINDEFKLYRCHTIKNCTHACPKGLMPAKQIDTIK L LQ	278
CONTIG(CDS)	WNPEEYLGPAALLHANRWIQDSRDEFTKERLDSINDEFKLYRCHTIKNCTHACPKG T Z P G	228
Maize SDHB	LGAPSA	282
Rice SDHB	LEA	281
Wheat SDHB	LGA	281
CONTIG(CDS)		228

شکل ۳- همردیفی توالی های پروتئینی مربوط به زیر واحد آهن - سولفور آنزیم سوکسینات دهیدروژناز در ذرت، برنج، گندم و چارچوب قرائت آزاد *wsr1contig* که با روش Clustal توسط نرم افزار MegAlign همردیف شده اند.

Arabidopsis PBG	MDIASSSLSDAHK V WLT R Q P SS R VNT C SLG S VSAI G F S L P QI S SPALGK C RRKQ S SS G FVKACVAVEQ K T	70
Pisum PBG	MEMT- - - L Y SS S SS F SL P S A PS N P- - - - - SL- SL F T S SS F RF S SK F K T SP F SK C R- - - - - I R ASLAVEQ O T	54
Wheat PBG	-----	0
Arabidopsis PBG	- - - RTAI I RI G TRG S PLALAQAYETREK L KKK H PEL M EDGAI H I E I I KT T GDK L LS Q PLADI G GKGLFT K	137
Pisum PBG	QQNKTALI R I G TRG S PLALAQAHET R Q K L M ASH T ELAE E GAI Q I V I I KT T GDK L LS Q PLADI G GKGLFT K	124
Wheat PBG	-----RI G TRG S PLALAQAR O T R DEL K AAHT E LAE D GAI E I V I I KT T GDK L LDKPLADI G GKGLFT K	62
Arabidopsis PBG	EI D EAL I NG H I D I A VHSMKDVPT Y L P E T I L P C NL P REDV R DA F I C L T AAT L AEL P AGS V VGT A SLRR K S	207
Pisum PBG	EI D EAL I NG H I D I A VHSMKDVPT Y L P E T I L P C NL P REDV R DA F I S L S AAS L AD L PAGS V I G T A SLRR K S	194
Wheat PBG	EI D DALL Q GS I D I AVHSMKDVPT Y L P E G M I L P C N L P REDV R DA F I C L T AK L LGEL P AGS V I A S A SLRR K S	132
Arabidopsis PBG	QI L H K YPAL H MEEN F RGNV Q T R L S KL Q G G K M QAT L LALAGL K RL S MT E NV A SI L SL D EML P AVAQGA I GI	277
Pisum PBG	QI L H R Y S L T VQDN F RGNV Q T R L R KL S EG V M K AT L LALAGL K RL N MT E NV T ST L SI D D M L P AVAQGA I GI	264
Wheat PBG	QI L Y K Y S L K VVN F RGNV Q T R L R KL R EGDV H AT L LALAGL K RL G MPET A T S V L S V D E M L P A V A QGA I GI	201
Arabidopsis PBG	AC R I D DD K MAT Y L A SLN H EET R LAI S CERAF L ET L DGS C R T PI A GYAS K D E E G NCI F RGL V AS P DGT K ML	347
Pisum PBG	AC R S N DD K M A E Y L A SLN H EET R LAI S CERAF L TT L DGS C R T PI A GYAS R DK D GN L F R GL V AS P DGT R ML	334
Wheat PBG	T C R S NDD K M E Y L SS L N H EDT R LAVACEREF L SV L DGN C R T PI A AYAY R DK D GN C S F RGL L AS P DGS I VY	271
Arabidopsis PBG	ET S RR K Q P Y V YED M V K M G K D AG Q EL L S R AG P GF F GN	382
Pisum PBG	ET S RL G S Y T Y ED M M K I G K D AGE E L L S R AG P GF F NS	369
Wheat PBG	ET S RS G T Y S F DD M V A L Q D D AG H EL K S K AG P GF F D G L Q	308

شکل ۴- مقایسه توالی های پروتئینی مربوط به آنزیم پروفوبیلینوزن دی آمیناز در آرابیدوپسیس، نخود و گندم با روش Clustal V توسط نرم افزار MegAlign. ناحیه بلوک شده مناطق مشابه در پروتئین های دیگر با گندم را نشان می دهد

نشان داد که محصول ترجمه Contig مزبور شباهت بسیار زیادی به آنزیم پروفوبیلینوزن دی آمیناز از گیاه گندم دارد. این آنزیم نقش کلیدی در سنتز تتراپیرولها دارد که پیش ماده برای ساخت کلروفیلها در کلروپلاست و پورفیرینها می باشد (۱۸). پروتئینهایی که بیشترین شباهت را با ترجمه توالی

۱۴۷۳ جفت بازی *wsr2contig* را بوجود آوردند. از آنجا که توالی *wsr2* برای جستجو در بانک اطلاعاتی پروتئین ها بسیار کوتاه بوده و اکثراً ناحیه ۳'-UTR را شامل می شود، لذا برای جستجو در بانک اطلاعات پروتئین ها توسط برنامه BLASTX مورد استفاده قرار گرفت. نتیجه جستجو

گیاهان مختلف بررسی نموده اند ژن های زیادی توسط تکنیک نمایش افتراقی جداسازی نموده اند که ابراز متفاوت داشته اند (به طور مثال می توان به مقالات ۵ و ۲۰ اشاره نمود). با این وجود داده های مربوط به مطالعات ملکولی در این مطالعه نشان داد که گیاه متحمل ماهوتی می تواند پس از گذراندن تغییرات شدید اولیه در الگوی بیان ژن ها به یک حالت تعادل برسد و با افزایش و یا کاهش بیان تعداد اندکی ژن شرایط شوری سخت را به نحو مطلوبی تحمل نماید. از آنجا که تعداد اندکی ژن در شرایط تنش شوری در گیاه متحمل ماهوتی افزایش یا کاهش داشتند، به نظر می رسد افزایش بیان ژن های مربوط به ساخت آنزیم های سوکسینات دهیدروژناز و پروفوبیلینوژن دی آمیناز از واکنش های کلیدی جهت تحمل به تنش شوری در گندم ماهوتی باشند.

مذکور نشان دادند به ترتیب آنزیم پروفوبیلینوژن دی آمیناز از گیاهان گندم (۳۰۸ آمینو اسید با ۹۹/۴٪ مشابهت)، نخود (۳۶۹ آمینو اسید با ۶۸/۸٪ مشابهت) و آرابیدوپسیس (۳۸۲ آمینو اسید با ۶۵/۹٪ مشابهت) بودند (شکل ۴). گزارش شده است که در گیاهچه های گندم و خیار که در معرض تنش گرمایی قرار گرفته اند فعالیت این آنزیم کاهش می یابد (۱۸). با وجود این در تنش شوری میزان نسخه های این ژن در گندم ماهوتی افزایش یافته است (شکل ۳). به نظر می رسد که در تنش شوری بلند مدت گیاه متحمل برای جایگزین کردن کلروفیل‌های از دست رفته اقدام به افزایش این آنزیم و سنتز بیشتر تتراپیرولها می نماید.

اکثر مطالعات که اثر تنش های کوتاه مدت شوری را بر روی

REFERENCES

منابع مورد استفاده

۱. قوامی، ف.، م. ع. ملبویی، م. ر. قنادها، ب. یزدی صمدی، ج. مظفری و م. جعفر آقایی. ۱۳۸۳. بررسی واکنش ارقام متحمل گندم ایرانی به تنش شوری در مرحله جوانه زنی و گیاهچه. مجله علوم کشاورزی ایران. جلد ۳۵. شماره ۲. ۴۵۳-۴۶۴
1. Banzai, T. G., D. J. Hershkovits, N. Katcoff, Z. Hanagata, Dubinsky & I. Karube. 2002. Identification and characterization of mRNA transcripts differentially expressed in response to high salinity by means of differentially display in mangrove, *Bruguiera gymnorrhiza*. *Plant Science*, 162: 499-505.
2. Bartels, D. & D. Nelson. 1994. Approaches to improve stress tolerance using molecular genetics. *Plant Cell and Environment*. 17: 639-667.
3. Bauer, D., H. Muller, J. Reich, H. Riedel, V. Ahrenkiewl, P. Warthoe & M. Strauss. 1993. Identification of differentially expressed mRNA species by an improved display technique (DDRT-PCR). *Nucl. Acids Res*. 21:4272- 4280
4. Bohnert, H.J., D. Nelson, & R.G. Jensen. 1995. Adaptation to environmental stress. *Plant Cell*, 7: 1099-1111.
5. Cenci, A., R. D'ovidio, O.A. Tanzarella, C. Ceoloni and E. Porceddu. 1999. Identification of molecular markers linked to pm13, an *Aegilops longissima* gene conferring resistance to powdery mildew in wheat. *Theor. Appl. Genet*. 98: 448-454.
6. Cushman, J.C. & H.J. Bohnert. 2000. Genomic approaches to plant stress tolerance. *Current Opinion in Plant Biology*. 3: 117-124.
7. Figueroa, P., I. Gomez, L. Holuigue, A. Araya & X. Jordana. 1999. Transfer of rsp14 from the mitochondrion to the nucleus in maize implied integration within a gene encoding the iron-sulphur subunit of succinate dehydrogenase and expression by alternative splicing. *Plant Journal*, 18:601-609.
8. Hamilton, E.W. & S. A. Heckathorn. 2001. Mitochondrial adaptations to NaCl. Complex I is protected by anti-oxidants and small heat shock proteins, where as complex II is protected by proline and betaine. *Plant Physiology*, 126: 1266-1274.
9. Iwasuta, S., R. Imai, K. Uchiyama & M. Gau. 1999. The coupling of differential display and QAFLP approaches for nonradioactive mRNA fingerprinting. *Molecular Biotechnology*. 12:137-141
10. Kawasaki, S., C. Bohnert, M. Deyholos, H. Wang, S. Brazille, K. Kawai, D. Galbraith & H. Bohnert. 2001. Gene expression profiles during the initial phase of salt stress in rice. *The Plant Cell*. 13: 889-905.

11. Liang, P. & A.B. Pardee. 1992. Differential display of karyotic messenger RNA by means of the polymerase chain reaction. *Science*, 257:967-971.
12. Lievens, S., S., Goormachtig & M. Holsters. 2001. A critical evaluation of differential display as a tool to identify genes involved in legume nodulation: looking back and looking forward. *Nucleic Acids Research*.29: 3459-3468.
13. Moramoto, Y., T. Nakamura, A. Alvarez-Nakase, T. Takabe & G. Garab 1998. Isolation of salt-induced cDNA clones in barley leaves using differential display. *Proceeding of the XIth International Congress on Photosynthesis, Budapest, Hungary, Volume IV*: 3043-3046.
14. Nemoto, Y., N. Kavakami, & T. Sasakuma. 1999. Isolation of novel early salt-responding genes from wheat (*Triticum aestivum*) by differential display. *Theor. Appl. Gene.* 98:673-678.
15. Prescott, A. & C. Martin. 1987. A rapid method for the quantitative assessment of levels of specific mRNAs in plants. *Plant Mol. Bio. Rep.* 4: 219-224.
16. Rampino, P., M. Malatrasi, M. Gulli, N. Marmiroli, & C. Perrotta. 2003. Drought stress-related sequences in durum wheat. *Tenth International Wheat Genetics Symposium. Volume 1*:380-383.
17. Razavi, K., S. Mohsen-zadeh & M.A. Malboobi. 2001. Molecular aspects of osmotic stresses. *International Symposium on prospect of saline agriculture in the GCC countries. 18-20th of March, Dubai*.
18. Tewari, A. K. & B.C. Tripathy. 1998. Temperature stress induced impairment of chlorophyll biosynthetic reactions in cucumber and wheat. *Plant physiol.* 117:851-858.
19. Tyagi, A., N. Klueva, H. Zheng & H.T. Nguyen. 2002. Isolation of novel transcription factor from rice by differential display of mRNA. *Current Science.* 83: 1568-1573.
20. Ueda, A., W. Shi, T. Nakamura & T. Takabe. 2002. Analysis of salt-inducible genes in barley roots by differential display. *Journal of Plant Research.* 115: 119-130.
21. Vranova, E., S. Atichartpongkul, R. Villarroel, M. Van Montagu, D. Inze, & W. Van Camp. 2002. Comprehensive analysis of gene expression in *Nicotiana tabacum* leaves acclimated to oxidative stress. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 16: 10870-10875.
22. Wei, J.Z., A. Tirajoh, J. Effendy & A.L. Plant. 2000. Characterization of salt-induced changes in gene expression in tomato (*Lycopersicon esculantum*) roots and the role played by abscisic acid. *Plant Science*, 159: 135-148.
23. Winicov, I. 1998. New molecular approaches to improving salt tolerance in crop plants. *Annals of Botany*, 82:703-710.