

بررسی الگوی بیان *miR159* و *miR171* تحت تنش خشکی در هلو، بادام و GN

Study the expression pattern of *miR159* and *miR171* under drought stress in peach, almond and GN

فضیله اسماعیلی^۱، بهروز شیران^{۱*}، ندا میرآخورلی^۱، حسین فلاحی^۲

۱- به ترتیب دانشجوی کارشناسی ارشد، استاد، استادیار، دانشگاه شهرکرد، ایران

۲- استادیار، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران

Esmaili F¹, Shiran B^{*2}, Mirakhorli N³, Fallahi H⁴

1. MSc Student, Professor, Assistant Professor, Shahrekord University, Shahrekord, Iran

2. Assistant Professor, Razi University, Kermanshah

* نویسنده مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: Beshiran45@gmail.com

(تاریخ دریافت: ۹۳/۱/۱۸ - تاریخ پذیرش: ۹۴/۲/۱۵)

چکیده

میکرو RNAها، RNAهای کوچکی هستند که هیچ پروتئینی کد نمی کنند و به عنوان تنظیم کننده های منفی بیان ژن در یوکاریوت ها فعالیت دارند. *miR159* و *miR171* میکرو RNAهای مهمی هستند که در رشد و نمو گیاه و همچنین پاسخ به تنش نقش دارند. در این پژوهش نقش *miR159* و *miR171* به عنوان میکرو RNAهای کلیدی در برگ هلو و بادام و هیبرید GN بررسی شد. به این منظور دو سطح تنش ملایم و شدید خشکی جهت مقایسه با نمونه شاهد در نظر گرفته شد. استخراج RNA برای هر سه نمونه انجام شد و در مرحله بعد سنتز cDNA ساقه-حلقه صورت گرفت. همچنین بروز *miR159* و *miR171* با روش qRT-PCR بررسی شد. مقایسه بین نمونه شاهد و تنش، و بررسی معنی دار بودن بیان میکروRNAها و ژن های هدف آن ها با استفاده از آزمون T-test دوتایی انجام شد. شبکه ژنی برای این میکروRNAها تحت تنش خشکی با استفاده از نرم افزار 7 Pathway studio رسم شد. نتایج، نشان داد که *miR159* و *miR171* به تنش خشکی پاسخ دادند. ژن های *MYB33* و *SCL6* به ترتیب به عنوان ژن هدف *miR159* و *miR171* به صورت یوانفورماتیک پیش بینی شدند. این دو ژن در رشد و نمو گیاه دخیل هستند. رشد ضعیف یکی از ویژگی های مشخص گیاهان تحت شرایط تنش به خصوص تنش خشکی است که باعث کاهش متابولیسم گیاه و تغییر مسیر منابع غذایی در جهت سازش با شرایط جدید می شود. *miR159* و *miR171* با توجه به ماهیت ژن هدف-شان در تنظیم و توسعه گیاه نقش داشتند و طی شرایط تنش، تغییر بیان معنی داری نشان دادند.

واژه های کلیدی

بادام

تنش خشکی

میکرو RNA

هلو

cDNA

مقدمه

میکرو RNA ها، RNAهای کوچک غیر کد شونده هستند که بروز ژن را در گیاهان و حیوانات تنظیم می کنند (Jones-Rhoades et al. 2006). میکروRNAهای گیاهی اولین بار در آراییدوپسیس گزارش شدند. این RNAها نقش مهمی در تنظیم بیان ژن پس از رونویسی ایفا کرده و به عنوان تنظیم کننده های منفی بیان ژن در یوکاریوت ها فعالیت دارند (Jover-Gil et al. 2005). طول میکروRNAها در حیوانات ۲۲-۲۰ نوکلئوتید و در گیاهان ۲۴-۱۹ نوکلئوتید است (Reinhart et al. 2002; Bartel 2004). حضور نوکلئوتید اوراسیل در اولین مکان انتهایی ۳' میکروRNAهای بالغ نشان می دهد که در همه اجداد گیاهی شامل خزها، بازدانه ها، تک لپه ای ها و دولپه ای ها بصورت کاملاً حفاظت شده هستند (Zhang et al. 2006). میکروRNAها از طریق قطعه قطعه کردن mRNAهای هدف و یا جلوگیری از ترجمه، فعالیت تنظیمی خود را اعمال می کنند (Unver et al. 2009). آنها در گیاه نقش های مهمی از جمله رشد، هدایت سیگنال، تجزیه پروتئین، پاسخ به تنش های محیطی و هجوم عوامل بیماری زا و همچنین تنظیم بیورژن خود را ایفا می کنند (Zhang et al. 2006). در این بین *miR159* از جمله میکروRNAهای درگیر در رشد و توسعه گیاهان به شمار می رود و نقش آن در سیگنال دهی هورمون های ABA و GA به اثبات رسیده است (Reyes and Chua 2007). Jones-Rhoades et al. (2006) چهار فاکتور رونویسی MYB33، MYB65، MYB101 و MYB104 را به عنوان ژن هدف برای *miR159* گزارش کردند. Zhang et al. (2004) and Achard et al. (2006) نقش *miR159* را در انتقال فاز رشدی گیاهان کشف و تنظیم ژن های MYB33 و MYB65 را توسط *miR159* در شروع گلدهی اثبات کردند و بیان داشتند که افزایش بیان *miR159* باعث تاخیر در گلدهی طی روزهای کوتاه شده است. همچنین GAMYB که تنظیم کننده مثبت LEAFY می باشد (عامل مهم در گسترش گلدهی) یکی دیگر از ژن های هدف *miR159* می باشد.

miR171 نیز یکی از میکروRNAهای درگیر در رشد و توسعه گیاهان است. بیان این میکروRNA توسط تنش های غیرزنده مانند شوری و خشکی سرکوب می شود (Zhang et al. 2011). ژن های

هدف *miR171* فاکتورهای رونویسی خانواده GRAS مانند SCL و SCR هستند. مطالعات ثابت کرده که سه ژن *SCL1/2/4* در آراییدوپسیس و چهار ژن دیگر آن در برنج با *miR171* جفت می شوند. خانواده ژنی SCL دارای نقش های زیادی شامل رشد و نمو گیاه، سیگنال دهی هورمون جیبرلین، گامتوژنز، شکل گیری مریستم جانبی است (Kantar et al. 2010). همچنین ژن SCR مورد هدف *miR171a/b/c* قرار می گیرد. این ژن یکی از عوامل مهم در تقسیم سلولی و رشد شعاعی ریشه بوده و در پاسخ به تنش ها مانند تنش خشکی شرکت می کند (Ma et al. 2011). هدف از این تحقیق بررسی نقش میکروRNAهای 171 و 159 در پاسخ به تنش خشکی و همچنین اثر تنظیمی آنها در بروز ژن هدف مربوطه در هلو، بادام و هیبرید هلو- بادام GN می باشد.

مواد و روش ها

پیش بینی ژن های هدف به روش بیوانفورماتیکی شناسایی ژن هدف برای میکروRNAها بسیار ساده می باشد، چرا که توالی آنها با توالی ژن های هدفشان به طور تقریبی یا کاملاً مکمل هستند. این موضوع به خصوص در میان میکروRNAهای گیاهی بارزتر است (Bartel et al. 2004). miRNAها عموماً به ناحیه 3'-UTR، و یا ناحیه رونویسی شونده mRNA هدف خود متصل می شوند و از بروز آن جلوگیری می کنند (Zhang et al. 2008). بنابراین می توان رونوشت های هدف یعنی همان توالی های مکمل miRNA را توسط الگوریتم Blast پیش بینی کرد (Zhang et al. 2007). برای یافتن ژن های هدف *miR159* و *miR171* از پایگاه اطلاعاتی Rose (<http://210.218.199.249/rose/>) استفاده شد. در این مرحله چند فاکتور مد نظر گرفته شد (Zhang et al. 2008 الف) تعداد ناجورجفت ها بین میکروRNA و هدف آن نباید از چهار عدد بیشتر باشد؛ ب) بین مکان بازهای ۱۰ و ۱۱ نباید ناجور جفت وجود داشته باشد. زیرا در این ناحیه برش اتفاق می افتد و منجر به تجزیه mRNA هدف می شود؛ ج) بیشتر از یک عدد ناجور جفت نباید بین مکان بازهای یک و نه وجود داشته باشد؛ د) تا سه عدد ناجور جفت بین مکان بازی ۲۳-۱۲ قابل قبول است؛ ه) سه ناجور جفت نباید پشت سرهم وجود داشته باشند. مشخصات ژن های هدف پیش بینی شده در جدول ۱ آمده است.

¹ Micro RNA

جدول ۱- مشخصات ژن‌های هدف پیش‌بینی شده برای *miR159* و *miR171* با استفاده از سایت Rose

miRNA	Target symbol	Accession	Discription
miR159	MYB33, ATMYB33	ppa003628m	myb domain protein 3
miR171b	HAM3, ATHAM3	ppa001781m	GRAS family transcription factor

دو تکرار بیولوژیک نمونه‌گیری برای شرایط کنترل، تنش ملایم و شدید انجام شد.

استخراج RNA کل و سنتز cDNA اختصاصی میکرو RNA ۱۰۰ میلی‌گرم از بافت مورد نظر (بافت برگ) با کمک هاون چینی استریل در نیتروژن مایع به خوبی کوبیده شده و برای استخراج RNA کل از روش (Rubio-Piña and Zapata-Pérez (2011) استفاده شد (شکل ۱). غلظت RNA با کمک دستگاه بیوفتومتر و طول موج ۲۶۰ نانومتر تعیین شد. مقدار کل RNA برحسب میکروگرم در میکرولیتر محاسبه شد. همچنین جهت تعیین کیفیت RNA نیز میزان دو میکروگرم از هر نمونه روی ژل یک درصد آگارز، الکتروفورز شد تا نسبت به کیفیت بالای آن اطمینان حاصل شود. پس از اطمینان از کیفیت RNA و مشاهده باندهای RNA ریبوزومی 18S و 28S و همچنین باند مربوط به RNA با وزن ملکولی کم^۲، تیمار آنزیمی DNaseI بر اساس روش پیشنهادی شرکت فرمنتاز برای تمامی نمونه‌ها اعمال شد. تیوب-های حاوی RNA جهت نگهداری، در دمای ۸۰- درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند. برای ساخت cDNA میکرو RNA، ابتدا آغازگرهای ساقه-حلقه طبق دستورالعمل Varkonyi-Gasic et al. (2007) و (Chen et al. (2002 طراحی شد (جدول ۲).

پس از طراحی آغازگر، برای ساخت cDNA از روش Varkonyi-Gasic et al. (2007)، روش PCR ساقه-حلقه و آنزیم رونوشت-برداری معکوس^۳ ساخت شرکت فرمنتاز استفاده شد. یک میکرولیتر RNA ۲۰۰ نانوگرم به همراه یک میکرولیتر آغازگر RT (100 μM) مخلوط شد و حجم واکنش با استفاده از آب DEPC به ۶/۵ میکرولیتر رسانده شد. جهت حذف ساختار ثانویه نمونه‌ها به مدت پنج دقیقه در دمای ۶۵ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد و پس از آن سریعاً به ظرف حاوی یخ منتقل شد. سپس دو

کشت نهال، اعمال تنش خشکی و نمونه‌گیری

تعداد هجده نهال شامل شش نهال هلو رقم جی.اچ.هیل، شش نهال بادام رقم سفید و شش نهال هیبرید هلو-بادام اسپانیایی "GN 15" که همگی از طریق روشی تکثیر شده بودند و از نظر ژنتیکی کاملاً یکسان بودند از مرکز تحقیقات کشاورزی استان چهارمحال بختیاری تهیه شد. در بهمن ماه ۱۳۹۰ تمام نهال‌های یکساله در گلدان‌های ده کیلوگرمی با ترکیب خاک (کمپوست و شن رودخانه به نسبت ۳ به ۱) کشت شدند و در گلخانه تحت شرایط کاملاً کنترل شده (۱۶ ساعت نور، دمای ۲۴±۲ درجه سانتی‌گراد و ۸ ساعت تاریکی، دمای ۱۵±۲ درجه سانتی‌گراد) نگهداری شدند. عناصر غذایی مکمل و سمپاشی علیه آفات در گلدان‌ها انجام شد. اوایل فروردین ماه ۱۳۹۲ از برگ‌های جوان (سومین و چهارمین برگ از انتهای نهال) نمونه‌برداری صورت گرفت و بلافاصله در نیتروژن مایع فریز شدند و تا زمان استخراج RNA در فریزر ۸۰- درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند. نمونه-گیری از برگ‌های جوان به منظور استخراج RNA با کیفیت بالا انجام شد چون در گیاه بادام با بالا رفتن سن برگ متابولیت‌های ثانویه افزایش یافته و شدیداً بر کیفیت RNA استخراجی اثر می-گذارد. نمونه‌گیری اولیه در شرایط آبیاری کامل گیاه (نمونه کنترل) صورت گرفت و تنش خشکی در شرایط بدون آبیاری گلدان‌ها به مدت هفت و ده روز اعمال شد. محتوای نسبی آب برگ^۱ به عنوان شاخصی برای اطمینان از اعمال تنش خشکی در نظر گرفته شد و RWC طی ۱۲ روز اندازه‌گیری شد و در نهایت روز هفتم و دهم برای نمونه‌گیری انتخاب شد (Thapa et al. 2011). نمونه‌های روز هفتم به عنوان نمونه تنش ملایم و نمونه-های روز دهم به عنوان نمونه تنش شدید در نظر گرفته شد. به منظور کاهش خطا و جلوگیری از نوسانات حرارتی گلخانه‌ای کلیه نمونه‌گیری‌ها در ساعت ۱۰ صبح انجام شد در این بررسی از

^۲ Low molecular weight RNA^۳ Reverse transcriptase^۱ Relative water content (RWC)

درجه سانتی‌گراد و یک دقیقه در دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد (شکل ۲).

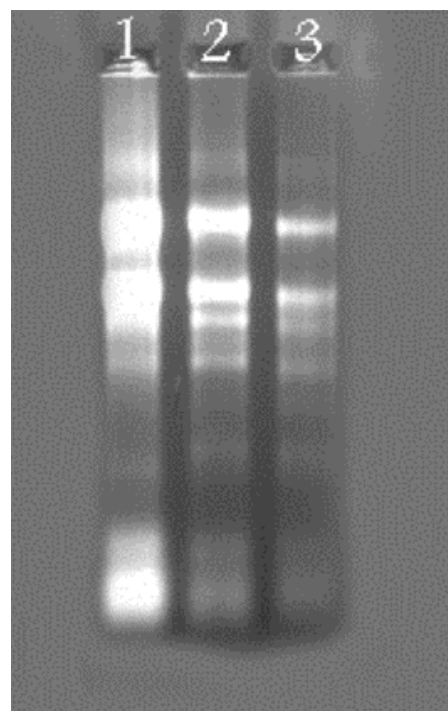
سنتز cDNA برای ژن‌های هدف

طراحی آغازگر ژن‌های هدف با استفاده از سایت NCBI و نرم-افزار Primer3 صورت گرفت. در طراحی آغازگر برای ژن‌های هدف توجه به این نکته ضروری بود که حتما ناحیه مکمل با میکرو RNA تکثیر شود. با در نظر گرفتن این ضرورت، برای ژن-های هدف آغازگر اختصاصی طراحی شد. آغازگرهای طراحی شده از نظر طول قطعه آغازگری، دمای اتصال، و عدم وجود آغازگر-دایمر توسط نرم‌افزار Vector NTI 10 آزمون شد. همچنین برای اطمینان از تکثیر صحیح، آغازگرها با ژنوم هلو Blast شدند. cDNA با استفاده الیگونوکلئوتیدهای Poly A و آنزیم رونوشت‌برداری معکوس ساخت شرکت فرمنتاز سنتز شد. یک میکرولیتر RNA ۲۰۰ نانوگرم به همراه یک میکرولیتر آغازگر oligo dt مخلوط شد و حجم واکنش با استفاده از آب DEPC به ۱۲/۵ میکرولیتر رسانده شد. جهت حذف ساختار ثانویه نمونه‌ها به مدت پنج دقیقه در دمای ۶۵ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد و پس از آن سریعاً به ظرف حاوی یخ منتقل شد. سپس چهار میکرولیتر بافر (5X)، دو میکرولیتر dNTP (10 mM)، یک میکرولیتر آنزیم رونوشت‌برداری معکوس (200 U/μl) و ۰/۵ میکرولیتر آنزیم RNase inhibitor (40 U/μl) به هر تیوب افزوده شد. مواد با حجم نهایی ۲۰ میکرولیتر به خوبی مخلوط شده و سپس نمونه‌ها به مدت ۶۰ دقیقه در دمای ۴۲ درجه سانتی‌گراد و برای اتمام واکنش ۵ دقیقه در دمای ۷۲ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند. جهت حصول اطمینان از تکثیر صحیح cDNA ژن هدف برنامه PCR نهایی مشابه با برنامه اجرا شده برای میکرو RNA انجام شد.

بررسی بروز *miR159* و *miR171* و ژن‌های هدف آن‌ها با استفاده از واکنش qRT-PCR

به منظور بررسی تغییرات بروز میکرو RNAهای مورد بررسی و ژن‌های هدف آن‌ها از واکنش زنجیره‌ای پلیمرز در زمان واقعی^۲ استفاده شد. واکنش PCR در زمان واقعی با استفاده از مخلوط واکنش تاکارا، حاوی SYBR Green و آغازگر اختصاصی در

میکرولیتر بافر واکنش (5X)، یک میکرولیتر dNTP (10 mM)، ۰/۲۵ میکرولیتر آنزیم رونوشت‌برداری معکوس (200 U/μl) و ۰/۲۵ میکرولیتر آنزیم RNase inhibitor (40 U/μl) به هر تیوب افزوده شد. حجم نهایی واکنش ۱۰ میکرولیتر در نظر گرفته شد. جهت ساخت cDNA برنامه حرارتی Stem-loop PCR با شرایط زیر اجرا شد: ۳۰ دقیقه ۱۶ درجه سانتی‌گراد، ۳۰ ثانیه در دمای ۳۰ درجه سانتی‌گراد، ۳۰ ثانیه در دمای ۴۲ درجه سانتی‌گراد، یک ثانیه ۵۰ درجه سانتی‌گراد.

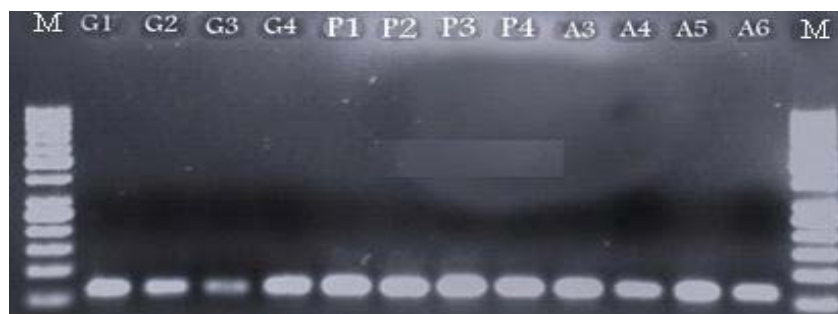


شکل ۱- الگوی الکتروفورزی نمونه‌های RNA کل استخراج شده به ترتیب یک تا سه در بادام، هلو و GN بر روی ژل ۱/۵ درصد آگارز.

جهت تکثیر cDNA، یک میکرولیتر cDNA به همراه دو میکرولیتر بافر واکنش (5X)، ۰/۵ میکرولیتر dNTP (10 mM)، ۰/۴ میکرولیتر آغازگر رفت (10 μM)، ۰/۴ میکرولیتر آغازگر برگشت (10 μM) و ۰/۴ میکرولیتر آنزیم Taq polymerase مخلوط شد و حجم نهایی واکنش با استفاده از ۱۵/۳ میکرولیتر آب مقطر استریل به ۲۰ رسانده شد. برنامه PCR نهایی^۱ با شرایط زیر اجرا شد: دو دقیقه در دمای ۹۴ درجه سانتی‌گراد، ۱۵ ثانیه در دمای ۹۴

^۲ Real-time PCR

^۱ End point PCR



شکل ۲- الکتروفورز محصول Endpoint PCR مربوط به *miR159* روی ژل آگارز ۱/۵ درصد و رنگ آمیزی با اتیدیوم بروماید. به ترتیب از سمت راست ۴ نمونه نام گذاری شده با حرف A مربوط به بادام، چهار نمونه نام گذاری شده با حرف P مربوط به هلو و چهار نمونه نام گذاری شده با حرف G مربوط به هیبرید GN می باشد. M سایز مارکر لدر 50 bp است و اندازه نوار تکثیر یافته حدود ۶۷ جفت باز می باشد.

جدول ۲- توالی آغازگرهای مورد استفاده برای *miR159* و *miR171* به همراه ژن های هدف آن ها (*MYB33* و *SCL6*)

RT primer- <i>miR159</i>	GTCGTATCCAGTGCAGGGTCCGAGGTATTCGCACTGGATACG ACAAGAGC
RT primer- <i>miR171</i>	GTCGTATCCAGTGCAGGGTCCGAGGTATTCGCACTGGATACG ACTGATAT
<i>miR159</i> -Forward primer	CGGCGGTGGAGTGACAGGA
<i>miR171</i> -Forward primer	TTCCTTTTGAGCCGTGCCA
Universal Primer	GTGCAGGGTCCGAGGT
<i>MYB33</i> -Forward primer	TGGAGCTCCCTTCACTCCAA
<i>MYB33</i> -Reverse primer	ATGGAGCAAAGCATCCAGCA
<i>SCL6</i> - Forward primer	ACTCGCGCAAGGGATATTGG
<i>SCL6</i> - Reverse primer	GGTGTGGTGTGAAGGAGCA

که یک نرم افزار داده کاوی متن است جمع آوری می کند و سپس این اطلاعات را به یک فرم قابل درک و ارائه در می آورد.

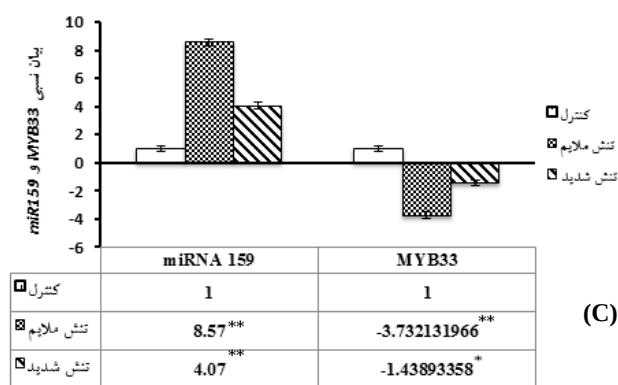
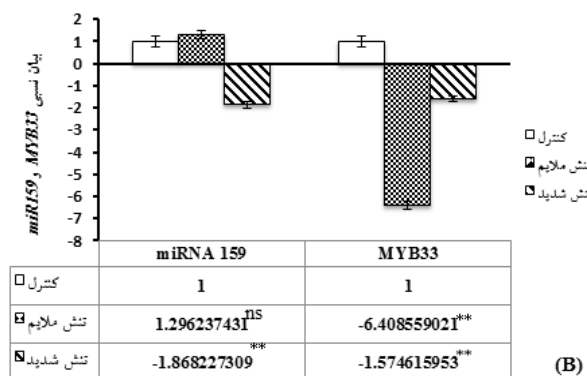
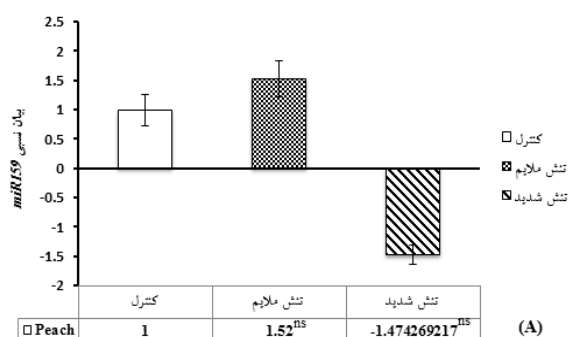
نتایج و بحث

میزان محتوای نسبی آب برگ طی دوازده روز اندازه گیری شد و با توجه به آن روز هفتم سطح تنش اول (ملایم) و روز دهم سطح تنش دوم (شدید) در نظر گرفته شد. مقدار RWC در نمونه های کنترل به ترتیب در هلو ۹۰ درصد و در بادام و GN15 ۸۸ درصد بود. با اعمال تنش خشکی میزان RWC روند کاهشی داشت و در روز هفتم در هلو، بادام و GN15 به ترتیب ۷۵ درصد، ۷۹ درصد و ۸۰ درصد شد. این روند کاهشی تا روز دهم ادامه داشت و در روز دهم در هلو، بادام و GN15 به کمترین مقدار به ترتیب به ۶۷ درصد، ۶۹ درصد و ۷۲ درصد رسید. در روزهای دهم و دوازدهم این مقدار ثابت ماند. نتایج حاصل از qRT-PCR نشان داد که تغییرات بیان *miR159* در هر دو سطح تنش در هلو تغییرات

دستگاه روترژن، کیاژن آلمان انجام شد. ۱۲ میکرولیتر از مخلوط واکنش شامل شش میکرولیتر مخلوط واکنش تاکارا حاوی SYBR Green، یک میکرولیتر cDNA، یک میکرولیتر آغازگر رفت، یک میکرولیتر آغازگر برگشت و سه میکرولیتر آب مقطر استریل بود. این واکنش با چهار تکرار تکنیکی و دو تکرار بیولوژیک انجام شد. همچنین از ژن خانگی 18S rRNA به عنوان کنترل داخلی در نرمال سازی نتایج qRT-PCR استفاده شد. بیان نسبی میکرو RNA با استفاده از روش $2^{-\Delta\Delta CT}$ محاسبه شد. مقایسه بین نمونه شاهد و تنش با استفاده از آزمون T-test دوتایی انجام شد.

رسم شبکه ژنی

رسم تعامل های موجود برای *miR159* و *miR171* توسط نرم افزار پتوی استودیو ۷ انجام گرفت. برای این کار از پایگاه داده گیاهی RESNET موجود در این نرم افزار استفاده شد که شامل آخرین عملکردهای منسوب به ژن های گیاهی می باشد. این نرم افزار اطلاعات خودش را به کمک یک نرم افزار دیگر به نام MedScan

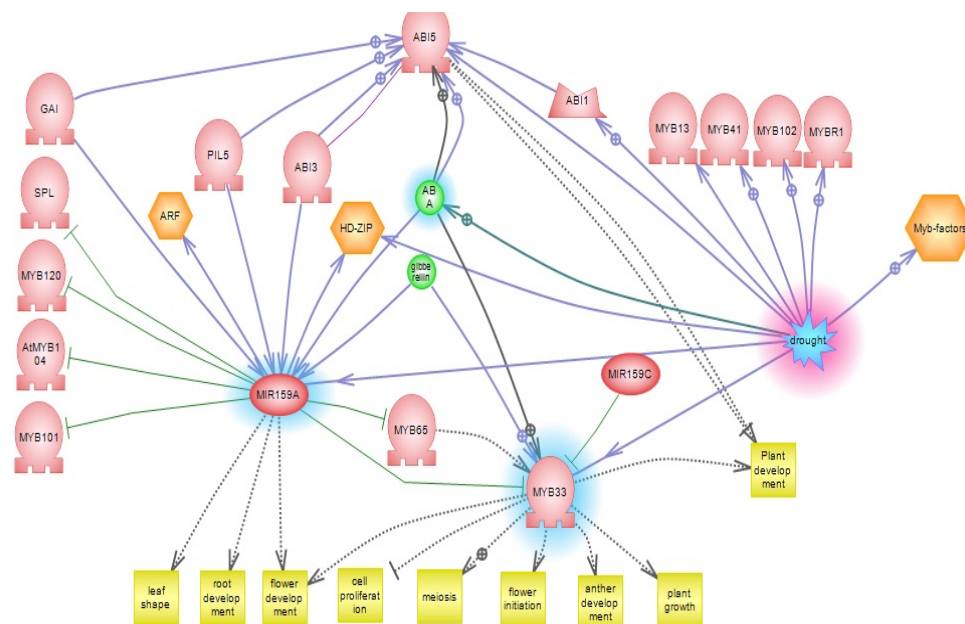


شکل ۳- الگوی بیان *miR159* و ژن هدف آن (*MYB33*) در بافت برگ هلو (A)، بادام (B) و GN (C) تحت تیمار تنش خشکی در مقایسه با نمونه کنترل. ns، * و ** به ترتیب نشان دهنده عدم اختلاف معنی دار و معنی دار در سطوح پنج و یک درصد

یافت. در سطح تنش شدید افزایش بیان *miR159* نسبت به سطح ملایم کمتر است و ژن هدف آن نیز کاهش کمتری داشته است. این هماهنگی در تغییرات بیان *miRNA* و ژن هدف آن موید تنظیم ژن *MYB33* توسط *miR159* در گیاه GN است. ABA به عنوان هورمون تنش شناخته می شود و غلظت آن طی شرایط تنش افزایش می یابد. افزایش غلظت هورمون ABA باعث جلوگیری از

ناچیزی داشته، اما در بادام طی تنش شدید کاهش معنی دار این میکرو RNA مشاهده شد. در هیبرید GN افزایش بیان هشت و چهار برابری به ترتیب طی تنش ملایم و شدید مشاهده شد (شکل ۳). *MYB33* به عنوان ژن هدف *miR159* در بادام و GN که تغییرات بیان *miR159* در آن ها معنی دار بود، مورد بررسی قرار گرفت. همانطور که در شکل ۳ مشاهده می شود این ژن در بادام و GN در سطح تنش ملایم و شدید کاهش بیان معنی دار داشته است. نقش *miR159* در سیگنال دهی هورمون های ABA به اثبات رسیده است (Reyes and Chua 2007). ABA یک هورمون با چندین فعالیت است که در همه اندام ها و بافت های زنده گیاهان یافت می شود. اهمیت ABA در پاسخ به تنش توسط نقش آن در بستن روزنه ها، نگهداری رشد ریشه و جلوگیری از رشد اندام هوایی است. نتایج به دست آمده از الگوی بیان *miR159* در بادام، هلو و GN هماهنگ با مطالعات پیشین می باشد (Eldem et al. 2012; Sunkar et al. 2012). افزایش بیان *miR159* طی تنش خشکی رشد گیاه را به گونه ای تنظیم می کند تا انرژی گیاه در مسیر سازش با شرایط تنش مصرف شود. در هلو طی تنش ملایم و شدید تغییرات معنی داری در بیان این میکرو RNA مشاهده نشد، بنابراین *miR159* در سازگاری این گیاه در شرایط خشکی نقش مهمی نداشت. در بادام بیان *miR159* در شرایط تنش ملایم، افزایش و ژن هدف آن کاهش بیان را نشان داد. اگرچه بیان میکرو RNA و ژن هدف به صورت معکوس بود، اما از آنجا که افزایش بیان *miR159* معنی دار نبود، بنابراین احتمال می رود که مکانیسم تنظیمی دیگری بروز ژن هدف را طی تنش ملایم کاهش داده است، در تنش شدید بیان این *miR159* همسو با ژن هدف آن کاهش یافته است. این موضوع می تواند به دلیل تنظیم ژن هدف روش ناهماهنگ^۱ باشد. این نوع تنظیم بیان زمانی رخ می دهد که میکرو RNA در یک سلول و ژن هدف آن در سلول مجاور باشد (Siani et al. 2012) و یا اینکه مکانیسم دیگری به جز *miRNA* در تنظیم بیان این ژن دخالت دارد (شکل ۳). در GN بیان *miR159* طی دو سطح تنش افزایش یافته و بیان ژن هدف آن کاهش داشته است. طی تنش ملایم، افزایش بیان *miR159* بیشتر بوده و به موازات آن، ژن هدف نیز به میزان بیشتری کاهش

¹ Non-coherent


 شکل ۴- شبکه برهم‌کنش‌های موجود برای *miR159* در شرایط تنش خشکی

تنش خشکی باعث رشد ضعیف می‌شود و از رشد و نمو گیاه طی شرایط تنش جلوگیری می‌کند. بنابراین در شرایط تنش بیان ژن *MYB33* باید کاسته شود و *miR159* این تنظیم منفی را انجام می‌دهد. همچنین شبکه نشان می‌دهد که *miR159* در رشد و نمو ریشه نیز نقش دارد.

نتایج حاصل از روش qRT-PCR کاهش بیان *miR171* را در سطح تنش ملایم و شدید در هلو نشان داد. همچنین در بادام بروز این میکروRNA در سطح تنش ملایم نسبت به حالت کنترل تغییری محسوس نداشت در حالی‌که در سطح تنش شدید کاهش معنی‌دار نشان داد. در GN نیز بیان *miR171* در سطح تنش ملایم دو برابر شد (شکل ۵). یکی از ژن‌های درگیر در رشد و نمو، به عنوان ژن هدف این میکروRNA انتخاب شد. این ژن با نام *SCL6* یک عامل رونویسی^۱ از خانواده بزرگ عوامل رونویسی GRAS یا SCARECROW LIKE می‌باشد. نتایج حاصل از روش qRT-PCR نشان داد بروز این ژن در هلو، بادام و GN در سطح تنش ملایم و شدید کاهش یافته‌است (شکل ۵). در مطالعه حاضر در هلو، بادام و GN هم *miR171* و هم ژن هدف آن به طور همزمان الگوی کاهش بیان از خود نشان داده‌اند (شکل ۵).

رشد اندام هوایی و پاسخ به تنش می‌شود و از آنجا که *miR159* در سیگنال‌دهی ABA نقش دارد، افزایش بیان آن طی شرایط تنش کاملاً منطقی است و یک مکانیسم مقاومتی به شمار می‌رود. همچنین گیاه در شرایط تنش سعی در جلوگیری از رشد و توسعه اندام هوایی خود جهت ذخیره انرژی دارد. از طرفی ژن *MYB33* در رشد و نمو گیاه نقش دارد. بنابراین منطقی به نظر می‌رسد طی شرایط تنش بیان آن کاسته شود و این فرآیند توسط افزایش بیان *miR159* انجام می‌شود. در نتیجه *miR159* در GN نقش مهمی در تحمل خشکی دارد.

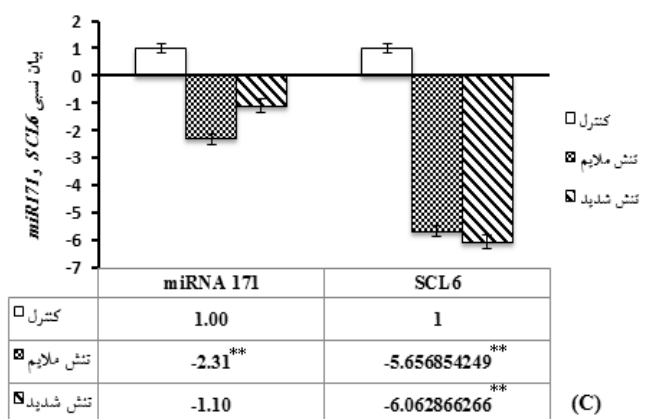
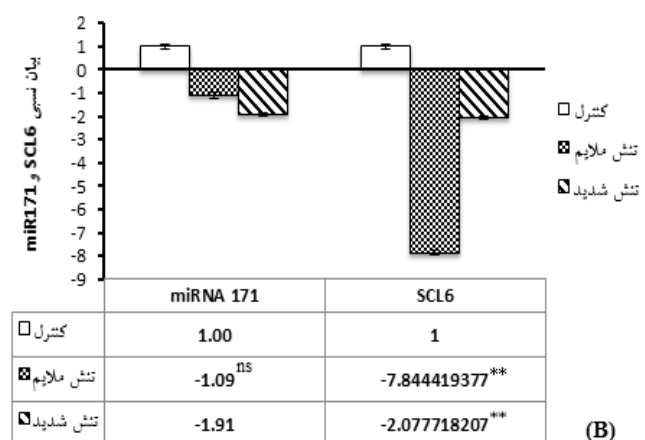
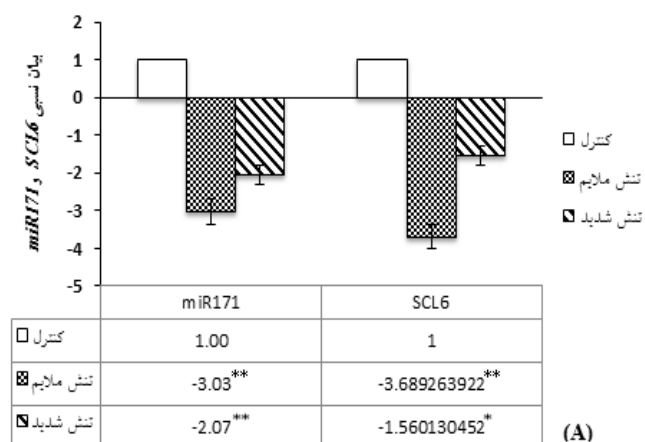
نتایج حاصل از رسم شبکه برهم‌کنش‌های موجود برای *miR159* سرکوب چهار ژن *MYB104/101/65/33* را توسط این میکروRNA نشان داد (شکل ۴). همچنین حضور هورمون‌های آبسازیک اسید و جیبرلین نقش *miR159* را در سیگنال‌دهی این دو هورمون تایید کرد. همانطور که در شکل ۴ ملاحظه می‌شود تنش خشکی باعث افزایش غلظت هورمون ABA می‌شود و این موضوع باعث تجمع *miR159* طی تنش خشکی می‌شود. در مطالعه حاضر *MYB33* به عنوان ژن هدف انتخاب شد و شبکه رسم شده نقش آن را در فرآیندهای بیولوژیکی مختلف از جمله رشد و نمو گیاه و همچنین شروع و نمو گلدهی نشان داد. متقابلاً

^۱ Transcription factor

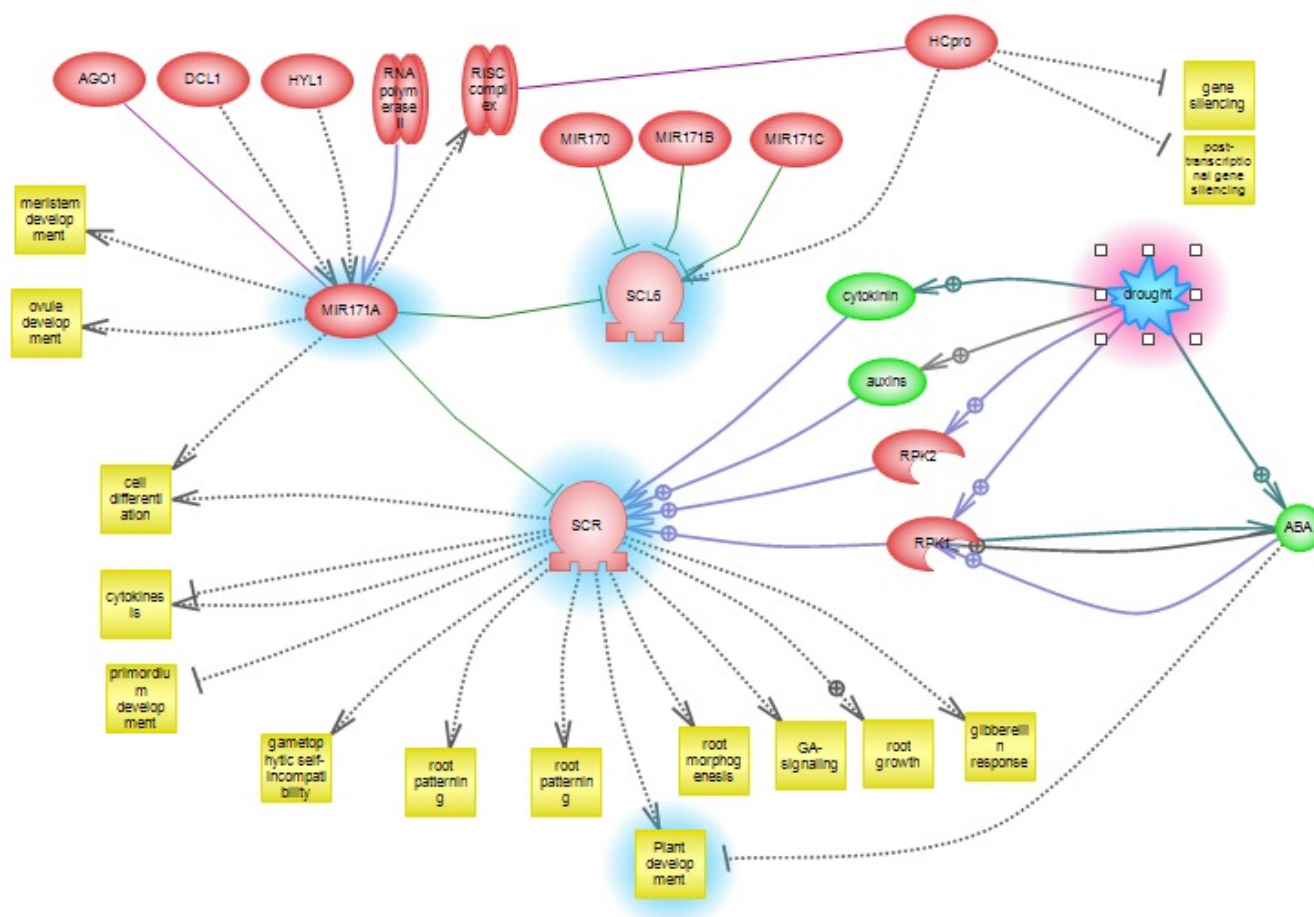
این موضوع می‌تواند به دلیل تنظیم ژن هدف توسط این میکرو RNA به روش ناهماهنگ باشد. در واقع کاهش بیان ژن *SCL6* در پاسخ به تنش خشکی استراتژی گیاه جهت کاهش متابولیسم و ذخیره انرژی برای مبارزه و سازش با شرایط تنش است. اما نتایج مربوط به کاهش بیان *miR171* پیشنهاد می‌کنند که مکانیسم‌های دیگری در زمینه تنظیم بیان ژن *SCL6* وجود دارد و *miR171* تنها تنظیم کننده بیان آن نمی‌باشد زیرا نتایج رسم شبکه ژنی نشان داد که این ژن علاوه بر *miR171* توسط *miR170* نیز تنظیم می‌شود (شکل ۶).

نتایج حاصل از رسم شبکه تعامل‌های موجود برای *miR171* در شرایط تنش خشکی در شکل ۶ نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود، بیان ژن‌های *SCL6* و *SCR* توسط *miR171* سرکوب می‌شود. تنش خشکی نیز مستقیماً بروز ژن *SCL6* را تحت تأثیر قرار می‌دهد. اما در مورد ژن *SCR* این تنظیم به واسطه دو پروتئین کیناز با نام‌های *RPK1* و *RPK2* اتفاق می‌افتد. پروتئین‌های کینازی جز گروه پروتئین‌های تنظیمی به شمار می‌آیند و در تنظیم سیگنال‌های انتقال دهنده و بیان ژن‌های پاسخ دهنده به تنش نقش دارند. شبکه ژنی نشان داد که تنش خشکی و هورمون ABA باعث افزایش بیان این دو پروتئین شده و آن‌ها نیز به نوبه خود بیان ژن *SCR* را افزایش می‌دهند. این ژن در رشد ریشه نقش دارد بنابراین کاهش بیان *miR171* جهت افزایش بیان این ژن طی شرایط خشکی مورد انتظار است. نتایج حاصل از شبکه نشان داد که ژن *SCL6* علاوه بر *miR171* توسط *miR170* نیز سرکوب می‌شود. بنابراین تغییرات بیان همسوی این ژن و *miR171* می‌تواند به دلیل هدف قرار دادن ژن *SCL6* توسط *miR170* در سه گیاه مورد بررسی باشد.

رشد ضعیف یکی از ویژگی‌های مشخص گیاهان تحت شرایط تنش به خصوص تنش خشکی است که باعث کاهش متابولیسم گیاه و تغییر مسیر منابع غذایی در جهت سازش با شرایط جدید می‌شود. *miR171* و *miR159* با توجه به ماهیت ژن هدف‌شان در تنظیم و توسعه گیاه نقش داشتند و طی شرایط تنش، تغییرات بیان معنی‌داری نشان دادند.



شکل ۵- الگوی بیان *miR171* به همراه ژن هدف (*SCL6*) در بافت برگ هلو (A)، بادام (B) و GN (C) تحت تیمار تنش خشکی در مقایسه با نمونه کنترل. ns، * و ** به ترتیب نشان دهنده عدم اختلاف معنی‌دار و معنی‌دار در سطوح پنج و یک درصد.



شکل ۶- شبکه برهمکنش‌های موجود برای *miR171* در شرایط تنش خشکی

سپاسگزاری

از دانشگاه شهرکرد در تامین بخشی از هزینه‌های این تحقیق کمال تشکر را داریم. همچنین از آقای دکتر اسماعیل ابراهیمی برای

کمک در رسم شبکه ژنی سپاسگزاریم.

منابع

- Achard P, Herr A, Baulcombe DC, Harberd NP (2004) Modulation of floral development by a gibberellin-regulated microRNA. *Development* 131:3357-3365.
- Bartel DP (2004) MicroRNAs: genomics, biogenesis, mechanism, and function. *Cell* 116:281-297.
- Chen C, Ridzon DA, Broomer AJ, Zhou Z, Lee DH, Nguyen JT, Guegler KJ (2005) Real-time quantification of microRNAs by stem-loop RT-PCR. *Nucleic Acids Research* 33:e179-e179.
- Eldem V, Akçay UÇ, Ozhuner E, Bakır Y, Uranbey S, Unver T (2012) Genome-wide identification of miRNAs responsive to drought in peach (*Prunus persica*) by high-throughput deep sequencing. *PloS One* 7:e50298.

- Jones-Rhoades MW, Bartel D, Bartel B (2006) MicroRNAs and their regulatory roles in plants. *Annual Review of Plant Biology* 57:19-53.
- Jover-Gil S, Candela H, Ponce M, (2005) Plant microRNAs and development. *International Journal of Developmental Biology* 49:733.
- Kantar M, Unver T, Budak H (2010) Regulation of barley miRNAs upon dehydration stress correlated with target gene expression. *Functional and Integrative Genomics* 10:493-507.
- Ma Z, Coruh C, Axtell MJ (2011) Arabidopsis lyrata small RNAs: transient miRNA and small interfering RNA loci within the Arabidopsis genus. *Plant Cell* 22:1090-1103.

Reinhart BJ, Weinstein EG, Rhoades MW, Bartel B, Bartel DP (2002) MicroRNAs in plants. *Genes and Development* 16:1616-1626.

Reyes JL, Chua NH (2007) ABA induction of *miR159* controls transcript levels of two MYB factors during *Arabidopsis* seed germination. *Plant Journal* 49:592-606.

Rubio-Piña JA, Zapata-Pérez O (2011) Isolation of total RNA from tissues rich in polyphenols and polysaccharides of mangrove plants. *Electronic Journal of Biotechnology* 14:11-11.

Saini A, Li Y, Jagadeeswaran G, Sunkar R (2012) Role of microRNAs in Plant Adaptation to Environmental Stresses. In *MicroRNAs in Plant Development and Stress Responses* 219-232.

Sunkar R, Li YF, Jagadeeswaran G (2012) Functions of microRNAs in plant stress responses. *Trends in Plant Science* 17:196-203.

Thapa G, Dey M, Sahoo L, Panda SK (2011) An insight into the drought stress induced alterations in plants. *Biologia Plantarum* 55, 603-613.

Unver T, Namuth-Covert DM, Budak H (2009) Review of current methodological approaches for characterizing microRNAs in plants. *International Journal of Plant Genomics*. doi: 10.1155/2009/262463

Varkonyi-Gasic E, Wu R, Wood M, Walton EF, Hellens RP (2007) Protocol: a highly sensitive RT-PCR method for detection and quantification of microRNAs. *Plant Methods* 3:12.

Zhang B, Pan X, Stellwag EJ (2008) Identification of soybean microRNAs and their targets. *Planta* 229:161-182.

Zhang B, Pan X, Cannon CH, Cobb GP, Anderson TA (2006) Conservation and divergence of plant microRNA genes. *Plant Journal* 46:243-259.

Zhang B, Wang Q, Wang K, Pan X, Liu F, Guo T, Anderson TA (2007) Identification of cotton microRNAs and their targets. *Gene* 397:26-37.

Zhang X, Zou Z, Zhang J, Zhang Y, Han Q, Hu T, Ye Z (2011) Over-expression of *sly-miR156a* in tomato results in multiple vegetative and reproductive trait alterations and partial phenocopy of the *sft* mutant. *Febs Letters* 585:435-439.