مقاله پژوهشی

کاربرد محلول‌پاشی برگی روی در کاهش اثرات سمیت بور در دو رقم انگور

سکینه توکلی[۱]، جعفر امیری[۲]* و محسن برین[۳]

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۹/۶- تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۵/۲۱)

چکیده

سمیت بور، یکی از مهم‌ترین اختلالاتی است که می‌تواند رشد گیاهانی مانند انگور را در نواحی خشک و نیمه‌خشک جهان محدود سازد. به منظور بررسی تأثیر کاربرد محلول‌پاشی برگی سولفات روی بر برخی ویژگی‌های مورفولوژیک، فیزیولوژیک و بیوشیمیایی در دو رقم انگور (قزل‌اوزوم و حسینی) در شرایط سمیت بور، آزمایش گلخانه‌ای با سه فاکتور شامل دو رقم انگور (قزل‌اوزوم و حسینی)، چهار سطح بور (۰/۲۵ (شاهد)، ۲/۵، ۵ و ۱۰ میلی‌گرم در لیتر) و محلول پاشی سه سطح سولفات روی (صفر (شاهد)، ۳ و ۶ گرم در لیتر) به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملا تصادفی با چهار تکرار و در مدّت شش ماه انجام شد. نتایج نشان داد که تنش سمیت بور، موجب کاهش تعداد برگ، طول ریشه، وزن تر و خشک شاخساره و میزان کلروفیل گردید. با افزایش بور میزان نشت یونی غشاء یاخته‌های برگ و میزان مالون‌دی‌آلدهید افزایش یافت. یافته‌های این پژوهش نشان داد که در شرایط سمیت بور، کاربرد سولفات روی (به ویژه در غلظت شش گرم در لیتر) باعث بهبود شاخص‌های رویشی و کاهش نشت یونی و افزایش آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی در هر دو رقم شد. به طور کلّی در پژوهش حاضر، استفاده از سولفات روی توانست بعضی از اثرات منفی ناشی از سمیت بور را در هر دو رقم انگور تعدیل نماید.

کلمات کلیدی: انگور، شاخص‌های رویشی، محتوای نسبی آب برگ، نشت یونی

۱ - دانشجوی سابق کارشناسی ارشد علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه

۲ - استادیار گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه

۳ - استادیار گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه

* پست الکترونیک: j.amiri@urmia.ac.ir

مقدمه

تولید انگور در نواحی خشک و نیمه‌خشک دچار مشکلاتی شده است که یکی از این مشکلات، شوری و سمیت بور می‌باشد. هر چند که بور یک عنصر کم مصرف ضروری محسوب می‌شود، ولی مقادیر بیش از حد آن در محیط رشد، مسمومیت گیاه را در پی خواهد داشت (ایراسلان[1] و همکاران، ۲۰۰۷). سمیت بور در مناطقی که دارای خاک‌های شور و خاک قلیایی با میزان بارندگی کم می‌باشند و میزان شتشوی خاک کم است مشاهده می‌گردد (کاماچوکریسبال[2] و همکاران، ۲۰۱۸). سمیت بور، عاملی است که به‌طور جدّی تولید محصولات باغی را در مناطق مختلف جهان به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک محدود می‌کند (هریرا-رودریگز[3] و همکاران، ۲۰۱۰). درختان میوه از جمله میوه‌های ریز، مرکبات و گردو نسبت به سمیت بور حساس هستند (گونز و همکاران[4]، ۲۰۰۶). انگور گیاهی است که به زیادی بور حساس می‌باشد و بور در آوندهای این گیاه به صورت جریان توده‌ای حرکت کرده و در این گیاه غیرمتحرک می‌باشد. آستانه‌ی تحمل آن ۰/۳ تا ۰/۷۵ میلی‌گرم در لیتر گزارش گردیده است (یرمیاهو[5] و بن-گال، ۲۰۰۶). علائم ظاهری سمیت بور بسته به گونه متفاوت می‌باشد و رقم‌ها نیز نقش مهمی در ظهور این علائم بازی می‌کنند. علائم ظاهری سمیت بور در انگور ابتدا به صورت پیچ خوردگی و فنجانی شدن برگ‌ها اتفاق افتاده و سپس به صورت سوختگی نوک و سوختگی حاشیه برگ‌ها مشاهده می‌گردد (چاتزی ساویدیس و تیریوس[6]،۲۰۱۰). اثرات فیزیولوژیکی سمیت بور شامل کاهش تقسیم سلولی ریشه، جلوگیری از گسترش دیواره سلولی و کاهش رشد شاخه و ریشه، کم شدن محتوای کلروفیل برگ و برگ سوختگی (کلروز و لکه‌های نکروزه)، کاهش میزان فتوسنتز، کاهش محتوای لیگنین و سوبرین و کاهش تعداد و اندازه میوه‌ها می‌باشد (سرویلا[7] و همکاران، ۲۰۱۲). با توجه به توانایی بور در ترکیب شدن با دو گروه هیدروکسیل در شکل‌گیری باند سیس، سه دلیل اصلی برای سمیت بور پیشنهاد شده است ۱- تغییرات دیواره سلولی ۲- توقف متابولیکی به وسیله تشکیل پیوند با ترکیباتی همانند آدنوزین تری‌فسفات ۳- توقف تقسیم و توسعه سلولی به وسیله تشکیل پیوند با قندهایی مانند ریبوز (هریرا-رودریگز و همکاران، ۲۰۱۰).

در پایه‌های گیلاس CAB-6P و Gisela-5، سمیت بور باعث کاهش تعداد و وزن تر برگ و نیز طول و وزن‌تر شاخه در سطح دو میلی‌گرم در لیتر شده است (سوتیروپولوس[8] و همکاران، ۲۰۰۶). در دو رقم پرتقال (*Citrus sinensis*) تیمار ۲/۵ میلی‌گرم در لیتر بور، رشد ریشه را کاهش داده و کاهش حجم ریشه و ارتفاع گیاه در هر دو رقم را در پی داشت (شنگ و همکاران[9]، ۲۰۰۸). برخی پژوهش‌ها نشان داد که غلظت‌های زیاد بور باعث کاهش میزان رنگدانه‌های فتوسنتزی (کلروفیل a، b و نسبت کلروفیل a به b) و کارتنوئید شد (کیهان[10] و همکاران، ۲۰۱۷؛ سرافی[11] و همکاران، ۲۰۱۸). در پژوهشی که در پایه سیترنج (*Citrus sinensis*×*Poncirus trifoliata*)، در محیط آبکشت صورت گرفت، کاربرد بور (غلظت‌های ۴۰ تا ۱۰۰ میکرومولار) باعث کاهش کلروفیل، کارتنوئید و تبادلات گازی برگ گردیده و میزان پراکسیداسیون لیپیدی غشاء سلولی افزایش یافت (شاه[12] و همکاران، ۲۰۱۷). عنصر روی یکی از عناصر کم مصرف مورد نیاز گیاه می‌باشد. عنصر روی به‌دلیل کمک در ساخته شدن آنزیم‌های خنثی‌کننده پراکسید هیدروژن و اکسیژن فعالی که در گیاهان هنگام مواجهه با تنش‌ها القاء می‌شوند، می‌تواند به کاهش آسیب سلولی کمک کند (تیسدال[13] و همکاران، ۲۰۰۳). کاربرد روی در خاک و یا محلول‌پاشی برگی آن می‌تواند در کم کردن سمیت بور در گیاه تأثیر بگذارد (کانگ[14] و سالتویت، ۲۰۰۲). همچنین کاظمی[15] (۲۰۱۳) در خیار نشان داد که کاربرد سولفات روی به صورت محلول‌پاشی برگی در غلظت‌های ۱۵، ۳۰ و ۵۰ میلی‌گرم در لیتر، باعث افزایش ارتفاع گیاه، وزن خشک برگ‌ها، تعداد برگ‌های گیاه و میزان کلروفیل می‌گردد. در درختان پرتقال والنسیا نشان داده شد که کاربرد سولفات روی (در غلظت ۰/۴ درصد) باعث افزایش میزان عناصر برگ گردید (آمورو[16]، ۲۰۱۵). با توجه به اهمیت اقتصادی انگور

1. Eraslan
2. Camacho- cristbal
3. Herrera-Rodriguez
4. Gunes
5. Yermiyahu and Ben-Gal
6. Chatzissavvidis and Therios
7. Cervilla
8. Sotiropoulos
9. Sheng
10. Kayihan
11. Sarafi
12. Shah
13. Tisdale
14. Kang and Saltiveit
15. Kazemi
16. Amoro

در ایران به‌ویژه در استان آذربایجان غربی، این پژوهش با هدف بررسی و ارزیابی تأثیر محلول‌پاشی برگی سولفات روی بر دو رقم انگور (قزل‌اوزوم و حسینی) در شرایط سمیت بور انجام گرفته است تا ضمن مطالعه اثرات سمیت بور بر برخی ویژگی‌های مورفولوژیکی، فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی در دو رقم انگور مورد مطالعه، اثرات محلول‌پاشی سولفات روی در کاهش اثرات سمیت بور مورد بررسی قرار گیرد.

مواد و روش‌ها

پژوهش حاضر درگلخانه و آزمایشگاه‌های گروه علوم باغبانی دانشگاه ارومیه طی سال‌های ۱۳۹۵ و ۱۳۹۶ به اجرا درآمد. به منظور بررسی تأثیر سولفات روی بر برخی ویژگی‌های مورفولوژیکی، فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی در دو رقم انگور (قزل‌اوزوم و حسینی) در شرایط سمیت بور به صورت کشت بدون خاک، پژوهشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه فاکتور که فاکتور اول شامل دو رقم انگور (قزل اوزوم و حسینی)، فاکتور دوم اسید بوریک (همراه با محلول غذایی) در چهار سطح ۰/۲۵ (شاهد)، ۲/۵، ۵ و ۱۰ میلی‌گرم در لیتر و فاکتور سوم شامل سه سطح سولفات روی (به صورت محلول پاشی برگی) صفر (شاهد)، ۳ و ۶ گرم در لیتر با چهار تکرار اجرا شد. در این پژوهش، بوته‌های یک‌دست و هم‌اندازه دو رقم انگور قزل اوزوم و حسینی تهیه و به گلدان‌هایی به ابعاد ۲۷×۲۵ سانتی‌متر منتقل شدند به نحوی که هرگلدان محتوی یک نهال بود. مخلوط محیط کشت در این گلدان‌ها شامل پرلیت وکوکوپیت به نسبت حجمی ۱:۱ بود. گیاهان در گلخانه‌ای با شرایط نوری ۱۶ ساعت طول‌روز و دمای بین ۱۷ تا ۳۵ درجهٔ سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۴۰ تا ۶۰ درصد مستقر شدند. قبل از شروع تیمارها، کل بوته‌ها به صورت تک شاخه و یکنواخت هرس شده و به قیم بسته شدند. گیاهان بعد از استقرار در گلدان با محلول غذایی نیم هوگلند آبیاری شده و پس از گذشت ۴۵ روز از کاشت بوته‌ها در گلدان‌ها، تیمارهای اسید بوریک، اعمال شد. این تیمار همراه با محلول غذایی نیم هوگلند، مورد استفاده قرار گرفت. اولین محلول‌پاشی سولفات روی همزمان با شروع تیمارها اعمال گردید. مجموعاً سه مرتبه این محلول‌پاشی تکرار شد (هر پانزده روز یکبار محلول‌پاشی برگی سولفات روی انجام شد). مدت زمان اعمال تنش بور، یک ماه بود. پس از شروع کاشت نهال‌ها در گلدان‌ها، گیاهان هفته‌ای سه بار با ۱۵۰ میلی‌لیتر محلول غذایی نیم هوگلند، آبیاری می‌شدند. برای جلوگیری از ایجاد شوک ناشی از تنش بور به گیاهان، در اولین آبیاری بعد از شروع تنش از اسید بوریک ۰/۲۵ و ۲/۵ میلی‌گرم در لیتر همراه با محلول غذایی نیم هوگلند استفاده شد. در آبیاری دوم از اسید بوریک ۰/۲۵، ۲/۵ و ۵ میلی‌گرم در لیتر در محلول غذایی استفاده شد. در آبیاری سوم از اسید بوریک ۰/۲۵، ۲/۵، ۵ و ۱۰ میلی‌گرم در لیتر در محلول غذایی هوگلند استفاده گردید. هفته‌ای یک بار، شستشوی کامل محیط ریشه گیاهان با آب انجام گرفت تا تغییرات EC و pH ناشی از تجمع نمک‌ها در بستر کاشت در اثر انجام عمل آبشویی به کم‌ترین حد ممکن برسد. به منظور بررسی برخی از ویژگی‌های رویشی گیاهان در انتهای آزمایش (یک هفته بعد از آخرین محلول پاشی سولفات روی)، صفاتی نظیر طول ریشه با استفاده از خط‌کش و وزن تر شاخساره به کمک ترازوی دیجیتال (با دقت ۰/۰۰۰۱ گرم) اندازه‌گیری گردید و تعداد برگ نیز شمارش شد. جهت تعیین وزن خشک شاخساره، ابتدا نمونه‌ها به مدّت ۷۲ ساعت در آون با دمای ۷۰ درجه سلسیوس قرار گرفتند و پس از خارج نمودن نمونه‌ها از آون، وزن خشک آن‌ها به کمک ترازوی دیجیتال (با دقت ۰/۰۰۰۱ گرم) تعیین شد. برای اندازه گیری میزان محتوای نسبی آب برگ، ابتدا در هر بوته، ۱۰ عدد دیسک برگی به قطر ۸ میلی‌متر از برگ‌های توسعه یافته قسمت انتهایی ساقه تهیه شد. بلافاصله وزن تر آن‌ها به کمک ترازوی دیجیتال (با دقت ۰/۰۰۰۱ گرم) اندازه گیری گردید و سپس در داخل ظروف پتری دیش حاوی آب مقطر به مدّت ۴ ساعت در یخچال (۴ درجه سلسیوس) و در تاریکی قرار داده شدند. پس از خارج کردن دیسک‌ها از آب مقطر، جهت حذف رطوبت اضافی سطح دیسک‌ها، آنها را در بین دو لایه کاغذ صافی خشک نموده و سپس وزن آماس آنها اندازه‌گیری شد. پس از تعیین وزن آماس، دیسک‌های برگی به آون (۷۰ درجهٔ سانتی‌گراد) منتقل شده و پس از گذشت ۴۸ ساعت وزن خشک آنها تعیین گردید و در نهایت محتوای نسبی آب برگ (بر حسب درصد) با استفاده از رابطه زیر محاسبه گردید (ترنر[1]، ۱۹۸۱).

۱۰۰× [(وزن خشک-وزن آماس) / (وزن خشک-وزن تر)]= محتوای نسبی آب برگ (٪)

1. Turner

روش اندازه‌گیری نشت یونی غشاء بدین صورت بود که از هر تکرار، تعداد دو برگ توسعه یافته از قسمت انتهایی ساقه، نمونه‌گیری و به قطعه‌های ۱×۱ سانتی‌متر تقسیم شدند. قطعه‌ها ۳ بار با آب مقطر شسته شده و سپس در لوله‌های آزمایش ۱۰ میلی‌لیتری محتوی آب مقطر نگهداری شدند، نمونه‌ها به مدّت ۲۴ ساعت در دمای اتاق (۲۵ درجه سانتی گراد) داخل دستگاه شیکر قرار داده و EC_1 آن‌ها قرائت شد. سپس نمونه‌ها را در اتوکلاو و در دمای ۱۲۰ درجه سانتی گراد به مدّت ۲۰ دقیقه قرار داده و پس از خنک کردن محلول (۲۵ درجه سانتی‌گراد) EC_2 آن‌ها نیز قرائت شد. نشت یونی غشاء برگ به صورت درصد با استفاده از فرمول زیر محاسبه گردید (لوتس[1] و همکاران، ۱۹۹۶).

نشت یونی غشاء برگ (٪) = $[EC_1 / EC_2] \times 100$

EC[2]: هدایت الکتروليتی

برای اندازه‌گیری رنگیزه‌های کلروفیل از روش لیختن تالر و ویلبورن[3] (۱۹۸۵) استفاده شد. برای محاسبه کلروفیل a از فرمول‌های زیر استفاده شد:

$Chl\ a = 11.75\ A_{662} - 2.350\ A_{645}$

در این رابطه Chl a غلظت کلروفیل a می‌باشد (A میزان جذب خوانده شده در هر طول موج توسط اسپکتروفتومتر می‌باشد).

برای اندازه‌گیری میزان مالون‌دی‌آلدهید[4] (MDA) از روش هیث و پاکر[5] (۱۹۶۸) استفاده گردید. جذب محلول حاصل توسط دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۵۳۲ nm و ۶۰۰ nm قرائت گردید. برای محاسبه میزان MDA از ضریب خاموشی ($۱۵۵mM^{-1}\ cm^{-1}$) و از فرمول زیر استفاده شد.

$MDA\ (\mu mol / g\ Fw) = [A532\text{-}A600/155] \times 1000$

A532 و A600: به ترتیب جذب محلول توسط دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۵۳۲ nm و ۶۰۰ nm

برای تهیه عصاره گیاهی جهت تعیین میزان فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و گایاکول پراکسیداز از روش کانگ و سالتویت (۲۰۰۲) با اندکی تغییرات استفاده شد. سنجش فعالیت آنزیم کاتالاز با استفاده از روش ایبی[6] (۱۹۸۴) اندازه‌گیری شد. فعالیت آنزیم کاتالاز به صورت کاهش در جذب طی یک دقیقه در طول موج ۴۲۰ nm با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر محاسبه شد. برای سنجش میزان فعالیت آنزیم کاتالاز از ضریب خاموشی ($۴۳/۶\ mM^{-1}\ Cm^{-1}$) و از فرمول زیر استفاده شد.

$$\text{Units } (\frac{mM}{min}) = \frac{\Delta oD/\ min(slope) \times Vol.\ of\ assay\ (0.0003)}{Extinction\ Coefficient\ (43.6)}$$

$= \frac{doD}{min\ (sl\ ope)}$ = اختلاف بین دو قرائت در یک دقیقه

Vol.of assay (.0003)= حجم محلول داخل سل

Extinction cofficient (43.6)= ضریب خاموشی

فعالیت آنزیم گایاکول پراکسیداز با استفاده از روش اپچیایا[7] و همکاران (۱۹۸۵) انجام گرفت. فعالیت آنزیم گایاکول پراکسیداز به صورت افزایش در جذب طی ۱ دقیقه در طول موج ۴۲۰ نانومتر با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر محاسبه شد. برای سنجش فعالیت گایاکول پراکسیداز از ضریب خاموشی ($۲۶/۶\ mM^{-1}\ Cm^{-1}$) استفاده شد.

$$\text{Units } (\frac{mM}{min}) = \frac{\Delta oD/\ min(slope) \times Vol.\ of\ assay\ (0.0001)}{Extinction\ Coefficient\ (26.6)}$$

تجزیه آماری داده‌ها و نرم افزارهای مورد استفاده

برای انجام تجزیه واریانس و مقایسه میانگین صفات مورد بررسی، از نرم افزار SAS نسخه 9.1 استفاده شد. مقایسه میانگین‌های تیمارها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد انجام گرفت. همچنین برای رسم شکل از نرم افزار Excel نسخه ۲۰۱۰ استفاده گردید.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که شاخص‌های مورفولوژیکی تحت تأثیر تیمارهای مختلف بور و سولفات روی و برهمکنش آن‌ها در دو رقم انگور قرار گرفتند (جدول ۱).

طول ریشه

میزان کاهش طول ریشه در تیمار ۱۰ میلی‌گرم در لیتر بور نسبت به شاهد در رقم حسینی بر خلاف رقم قزل‌اوزوم غیر معنی‌دار بود (شکل ۱- الف). در تیمار ۱۰ میلی‌گرم در لیتر بور همراه با ۶ گرم در لیتر سولفات روی طول ریشه نسبت به تیمار شاهد (۰/۲۵ میلی‌گرم در لیتر بور و صفر گرم در لیتر سولفات روی)، ۴۸/۱ درصد کاهش داشت (شکل ۱- ب).

1. Lutts
2. Electrical conductivity
3. Lichtenthaler and Wellburn
4. Malondialdehyde
5. Heath and Paker
6. Aebi
7. Updhyaya

جدول ۱- نتایج تجزیه واریانس تأثیر سطوح مختلف بور، سولفات روی و برهمکنش آن‌ها بر برخی ویژگی‌های مورفولوژیکی دو رقم انگور

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات			
		طول ریشه	تعداد برگ	وزن تر شاخساره	وزن خشک شاخساره
رقم	۱	۹/۳۸۱ ns	۱۰/۰۱ ns	۳۶۶۰/۵۴**	۸۵۶/۸۷**
سولفات روی	۲	۵۳۵۷/۴۹**	۱۳۱۳/۷۹**	۱۱۳۲۳/۸۴**	۲۵۵۴/۵۴**
بور	۳	۸۰۴/۷۲**	۲۱۰/۹۳**	۲۱۳۰/۷۷**	۵۲۰/۳**
سولفات روی × رقم	۲	۸۷/۲*	۶/۷۹ ns	۱۹۶/۰۶**	۳۲/۵۱*
بور × رقم	۳	۱۳۰/۵۴*	۳۳/۶۸*	۷۳/۱۸ns	۲۳/۱۷ ns
بور × سولفات روی	۶	۵۲۱/۶۵**	۲۲۴/۶۷**	۱۴۵۷/۹۴**	۲۸۷/۸۱**
بور × سولفات روی × رقم	۶	۳۳/۶۳ns	۱۳/۲۵ ns	۲۹/۲۷ns	۴/۶۷ns
خطای آزمایش		۲۶/۵۹	۷/۲	۳۴/۰۵	۱۰/۰۳
ضریب تغییرات (٪)		۹/۸۷	۹/۹۲	۹/۰۸	۱۰/۳۵

ns، ** و *: به ترتیب نشان‌دهنده عدم وجود اختلاف معنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال ۱٪ و معنی‌دار در سطح احتمال ۵ ٪

تعداد برگ

در هر دو رقم با افزایش سطوح بور تعداد برگ کاهش یافت البته این کاهش در سطح ۱۰ میلی گرم در لیتر بور در مقایسه با شاهد در رقم حسینی برخلاف رقم قزل اوزوم غیرمعنی‌دار بود (شکل ۲- الف). در تیمار ۱۰ میلی‌گرم در لیتر بور و ۶ گرم در لیتر سولفات روی، تعداد برگ ۴۱/۵۹ درصد نسبت به تیمار شاهد (۰/۲۵ میلی‌گرم در لیتر بور و صفر گرم در لیتر سولفات روی) کاهش داشت (شکل۲- ب).

وزن تر شاخساره

در تیمار ۱۰ میلی‌گرم در لیتر بور و ۶ گرم در لیتر سولفات روی وزن تر شاخساره نسبت به تیمار شاهد (۰/۲۵ میلی گرم در لیتر بور و صفر گرم در لیتر سولفات روی)، ۵۲/۳ درصد کاهش داشت. وزن تر شاخساره در رقم حسینی نسبت به قزل‌اوزوم در تیمار ۶ گرم در لیتر سولفات روی ۱/۱ برابر افزایش داشت (شکل ۳).

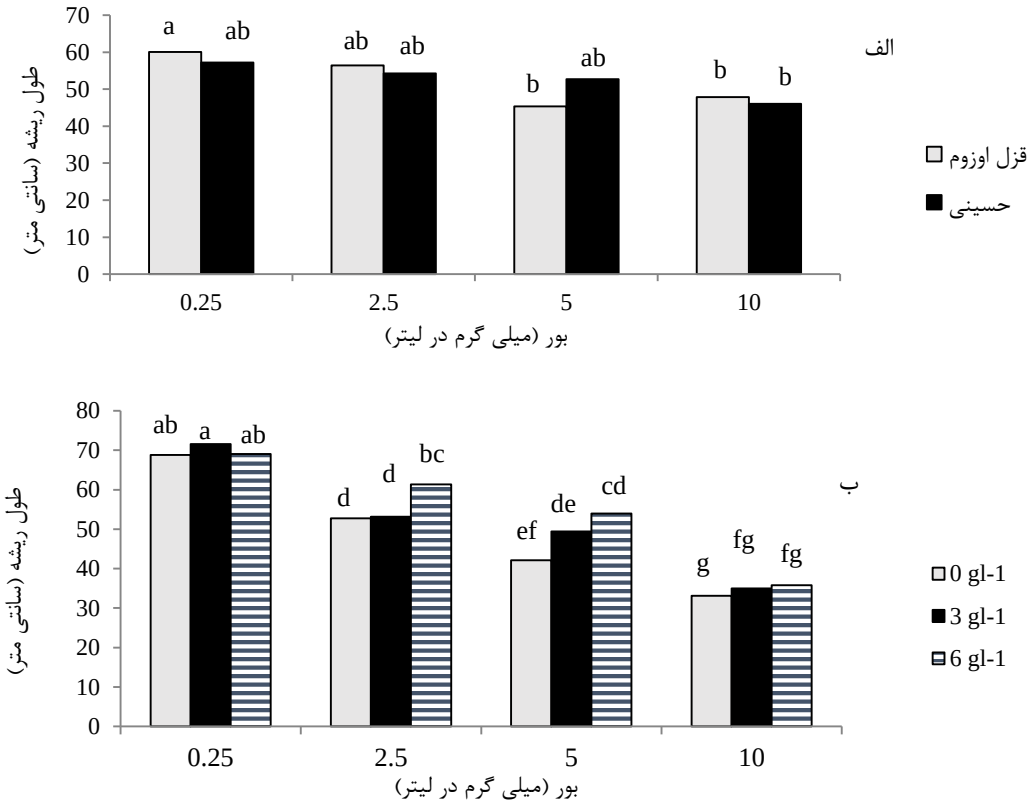
وزن خشک شاخساره

با افزایش بور، وزن خشک شاخساره کاهش یافت. همچنین نتایج نشان داد که سولفات روی تأثیر مثبتی در کاهش اثرات بور بر وزن خشک شاخساره داشت (شکل ۴).

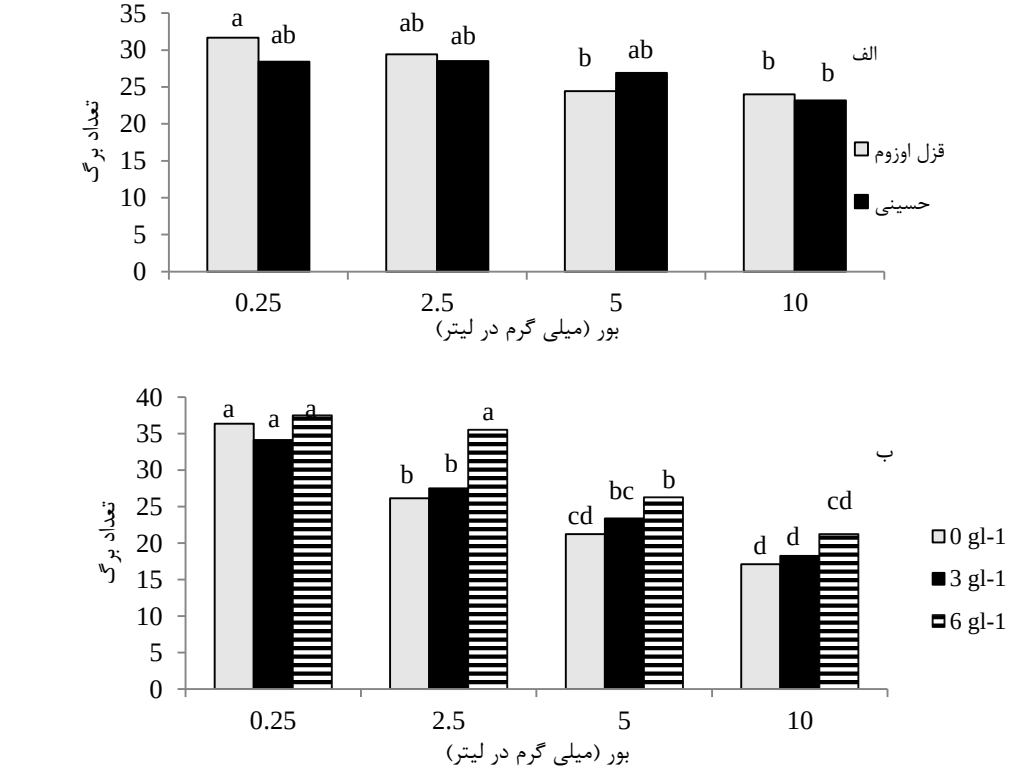
در پایه‌های مرکبات (*Citrus sp.*)، غلظت‌های ۵ تا ۱۰ میلی گرم در لیتر بور، باعث کاهش رشد رویشی و میزان فتوسنتز شده، همچنین میزان بور در برگ‌ها، ساقه و ریشه افزایش یافت (سیمون‌گراو[1] و همکاران، ۲۰۱۹). زیادی اسید بوریک عمدتاً باعث تنش آبی در ریشه شده و در نتیجه رشد ریشه مختل می‌شود. زیادی بور باعث توقف رشد از طریق توقف فعالیت چرخه میتوزی و CDK[2] و الگوی ژن‌های کلیدی چرخه سلولی می‌شود (آکوا[3] و همکاران، ۲۰۱۰). سمیت بور می‌تواند مانع از رشد طولی ریشه گردد زیرا این عنصر یکی از اجزای تشکیل‌دهنده دیواره سلولی اولیه بوده و مقادیر بیش از حد آن باعث اختلال در فرآیند ساخت دیواره سلولی می‌شود. در مجموع سمیت بور می‌تواند باعث کاهش تقسیم سلولی شده و رشد ریشه را کاهش دهد (آردیک[4] و همکاران، ۲۰۰۹).

در زیتون مشاهده گردید که تعداد برگ در هر گیاه، ارتفاع گیاه و تعداد شاخه‌های جانبی با افزایش میزان بور کاهش معنی‌داری یافتند (چاتزی ساویدیس و تیریوس، ۲۰۱۰). روی (Zn) یک عنصر ضروری برای گیاهان است که در بسیاری از واکنش‌های آنزیمی دخیل است و برای رشد و تکامل گیاهان ضروری است (خان[5] و همکاران، ۲۰۱۵). زیادی بور باعث اختلال در توسعه دیواره سلول و جلوگیری از تقسیم سلول و کاهش رشد ساقه می‌گردد (رید[6] و همکاران، ۲۰۰۴). نتایج پژوهش حاضر نشان داد که وزن تر و خشک شاخساره به شدت تحت تأثیر سطوح بالای بور قرار گرفته به طوری که با افزایش سطوح بور کاهش معنی داری در وزن تر و خشک شاخساره نسبت به شاهد (۰/۲۵ میلی‌گرم در لیتر بور) در هر دو رقم انگور (قزل‌اوزوم و حسینی) مشاهده شد. احتمالاً کاهش وزن اندام‌ها تحت تنش سمیت بور به علّت اختلال در متابولیسم کلی سلول هاست (جلیازکوا[7] و همکاران، ۲۰۰۳). همچنین کاهش وزن

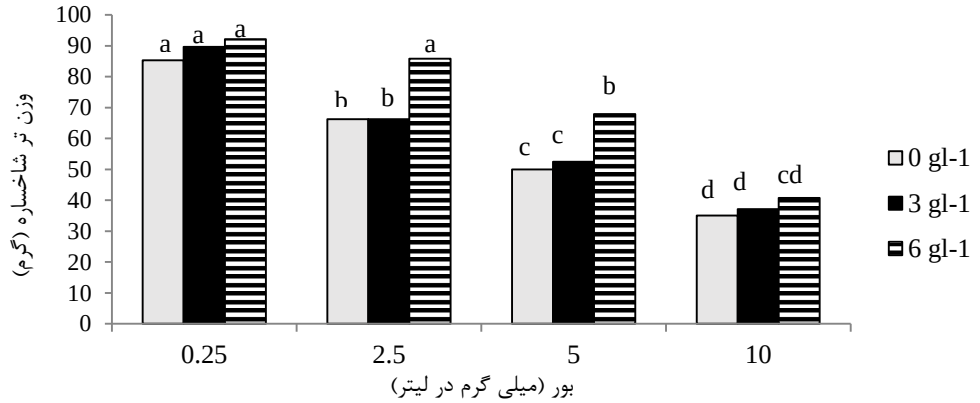
1. Simon- Grao
2. Cyclin-dependent kinases
3. Aquea
4. Ardic
5. Khan
6. Reid
7. Jeliazkova



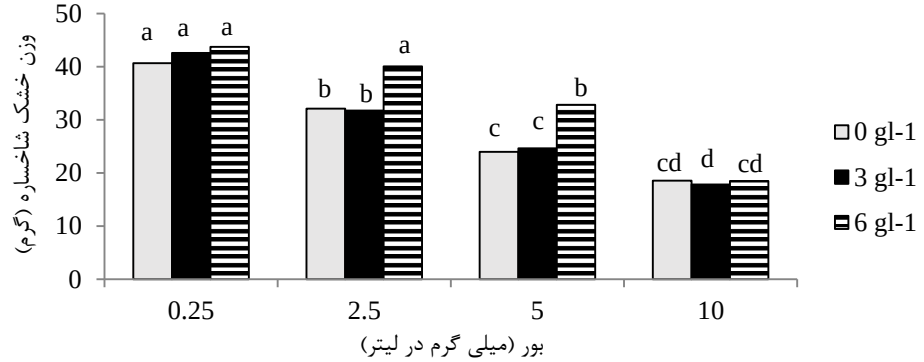
شکل ۱- مقایسه میانگین اثرات متقابل بور و رقم (الف) و بور و سولفات روی (ب) بر طول ریشه. میانگین های با حروف مشترک تفاوت معنی داری از نظر آماری در سطح احتمال ۵ درصد بر اساس آزمون دانکن ندارند.



شکل ۲- مقایسه میانگین اثرات متقابل بور و رقم (الف) و بور و سولفات روی (ب) بر تعداد برگ. میانگین های با حروف مشترک تفاوت معنی داری از نظر آماری در سطح احتمال ۵ درصد بر اساس آزمون دانکن ندارند.



شکل ۳- مقایسه میانگین اثرات متقابل بور و سولفات روی بر وزن تر شاخساره در دو رقم انگور. میانگین های با حروف مشترک تفاوت معنی داری از نظر آماری در سطح احتمال ۵ درصد بر اساس آزمون دانکن ندارند.



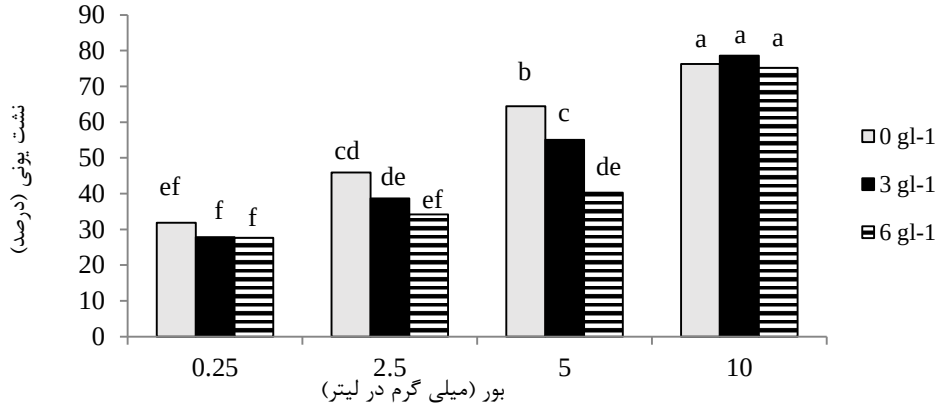
شکل ۴- مقایسه میانگین اثرات متقابل بور و سولفات روی بر وزن خشک شاخساره در دو رقم انگور. میانگین های با حروف مشترک تفاوت معنی داری از نظر آماری در سطح احتمال ۵ درصد بر اساس آزمون دانکن ندارند.

اندام‌ها ممکن است به این دلیل باشد که سمیت بور باعث کاهش تقسیم سلولی ریشه، حجم سلولی ساقه، قطر ساقه و کلروفیل می‌گردد (یرمیاهو و بنگال، ۲۰۰۶). با توجه به اثر مثبت روی در افزایش شاخص سطح برگ، افزایش کلروفیل فتوسنتزی و در نتیجه افزایش فتوسنتز دارد، در تجمع ماده خشک کل گیاه در طول فصل خشک مؤثر است (ترهان و شارما[1]، ۲۰۰۰).

نشت یونی

با افزایش بور، میزان نشت یونی افزایش و در غلظت‌های ۲/۵ و ۵ میلی‌گرم در لیتر بور، کاربرد ۶ گرم در لیتر سولفات روی، به طور معنی‌داری میزان نشت یونی را کاهش داد (شکل ۵). اسیدهای چرب غیراشباع حساس‌ترین بخش غشاء به اکسید شدن و تخریب از طریق تنش اکسایشی می‌باشند. بر اثر تجزیه اسیدهای چرب غیراشباع به وسیله اکسیژن واکنشگر، ترکیباتی مثل مالون‌دی‌آلدئید تولید می‌شود که برای سلول سمیت ایجاد می‌کند. تجمع مالون دی‌آلدئید در شرایط تنش، سبب افزایش نفوذپذیری غشای پلاسمایی می‌شود و نشت یونی افزایش می‌یابد که شاخصی از میزان صدمه اکسایشی به شمار می‌رود (گولن[2] و همکاران، ۲۰۰۸). تحت تنش سمیت بور، غشاء سلولی پایداری خود را از دست می‌دهد و تنش بور باعث افزایش نفوذپذیری غشاء و در نتیجه باعث تغییر در یکپارچگی ساختار غشاء می‌گردد (آپستول و زویازک[3]، ۲۰۰۴). افزایش نشت یونی در اثر سمیت بور در گیاهانی مانند انگور (سویله مزاوغلو[4] و همکاران، ۲۰۰۹) و زیتون (رستمی و همکاران، ۱۳۹۰) گزارش گردیده است. در پژوهش حاضر نتایج نشان داد که محلول‌پاشی برگی سولفات روی در غلظت‌های کمتر بور تأثیر مثبتی در کاهش اثرات منفی بور بر میزان نشت یونی غشاء برگ داشت. احتمالاً دلیل این امر نقش عنصر روی در فعال شدن آنزیم‌های گیاهی در متابولیسم کربوهیدرات‌ها، حفظ تمامیت غشاهای سلولی و سنتز پروتئین‌ها باشد (بری‌نان[5]، ۲۰۰۵). همچنین، برهمکنش

1. Trehan and Sharma
2. Gulen
3. Apostol and Zwiazek
4. Soylemezoglu
5. Brennan



شکل ۵- مقایسه میانگین اثر متقابل بور و سولفات روی، بر میزان نشت یونی در برگ‌های دو رقم انگور. میانگین های با حروف مشترک تفاوت معنی داری از نظر آماری در سطح احتمال ۵ درصد بر اساس آزمون دانکن ندارند.

عنصر روی با فسفولیپیدها و گروه‌های سولفیدریل پروتئین-های غشایی در حفظ غشاءهای سلولی نقش مهمی دارد (دیسانت[1]، ۲۰۱۰).

مالون دی‌آلدهید

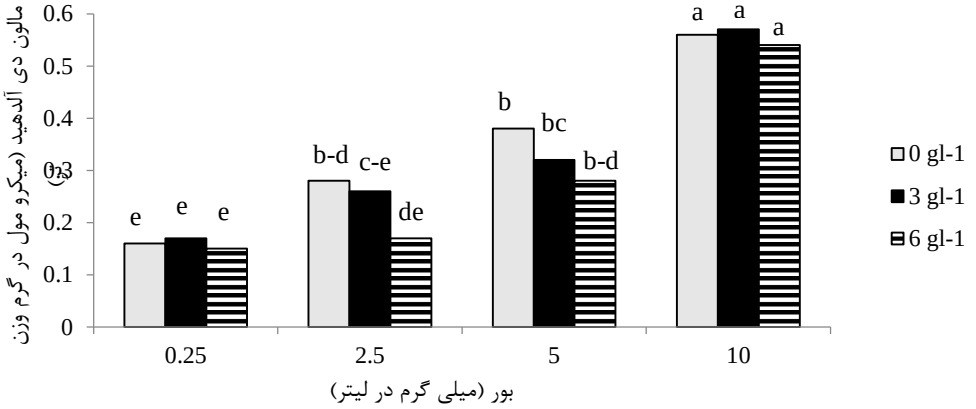
با افزایش بور، محتوای مالون‌دی‌آلدئید افزایش یافت. کاربرد ۶ گرم در لیتر سولفات روی در سطح ۲/۵ میلی‌گرم در لیتر بور، میزان مالون‌دی‌آلدهید را در مقایسه با شاهد کم نمود اما در سایر سطوح بور تأثیری بر میزان این ماده نداشت (شکل ۶). مالون‌دی‌آلدهید، محصول پراکسیداسیون اسیدهای چرب غیراشباع است که به عنوان یک نشانگر زیستی برای پراکسیداسیون لیپیدی که ممکن است در حضور گونه‌های اکسیژن فعال رخ دهد، استفاده می‌شود و یکی از نشانه‌های تنش اکسیداتیو در موجودات زنده است (آیواز[2] و همکاران، ۲۰۱۳). در پژوهش حاضر، با افزایش غلظت بور، میزان مالون دی‌آلدهید افزایش یافت. گونز و همکاران (۲۰۰۶) نیز با بررسی تأثیر سمیت بور در انگور گزارش نمودند که با افزایش غلظت بور، میزان مالون‌دی-آلدهید در برگ‌های انگور افزایش یافت. افزایش مالون‌دی-آلدئید تحت سمیت بور در پایه‌های سیب M9 (مولازیوتیس[3] و همکاران، ۲۰۰۶)، پایه‌های انگور (سویلیمیزاوغلو و همکاران، ۲۰۰۹) و در گلابی (ونگ[4] و همکاران، ۲۰۱۱) نیز گزارش گردیده است. عنصر روی در کنترل تولید و پاکسازی رادیکال‌های اکسیژن آزاد و جلوگیری از اکسیداسیون غشای لیپید نقش کلیدی دارد (آلووی، ۲۰۰۸). نشان داده شده است که Zn دارای اثر مهار قوی روی اکسیداسیون NADPH در غشاء است (کاوانو[5] و همکاران، ۲۰۰۲). محلول‌پاشی برگی Zn باعث کاهش محتوای مالون‌دی‌آلدهید در گیاهان (*Brassica juncea* L.) تحت تیمار شوری در مقایسه با گیاهان شاهد شد (پروایز[6] و همکاران، ۲۰۱۷).

محتوای نسبی آب برگ

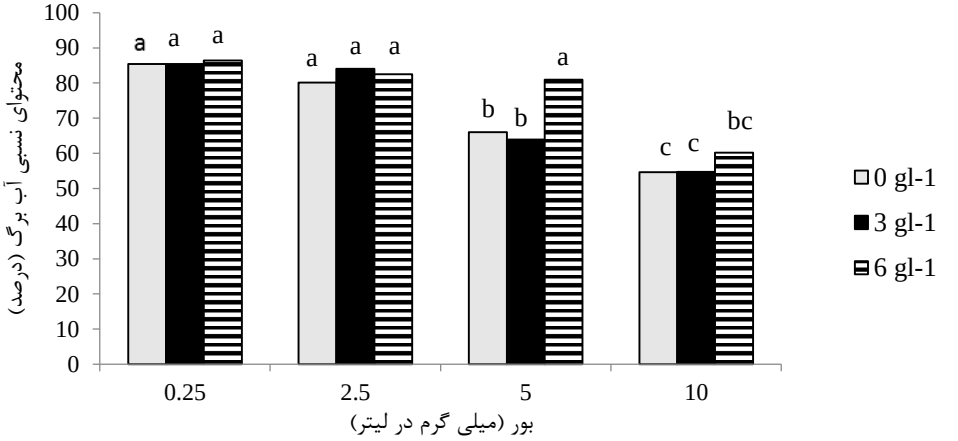
در تیمارهای ۲/۵ و ۵ میلی‌گرم در لیتر بور، کاربرد سولفات روی تأثیر معنی‌داری در کاهش اثرات منفی بور در محتوای نسبی آب برگ در مقایسه با شاهد داشت (شکل ۷).

در پژوهش حاضر با افزایش غلظت بور، محتوای نسبی آب برگ کاهش یافت. کاهش مقدار نسبی آب برگ نشان‌دهنده کاهش تورژسانس سلولی در اثر کاهش دسترسی به آب برای فرآیند گسترش سلولی می‌باشد (ویسوتسکایا[7] و همکاران، ۲۰۱۰). افزایش غلظت بور در محیط ریشه، خشکی فیزیولوژیکی ایجاد نموده و باعث کاهش جذب آب از خاک می‌گردد. همچنین باعث سنتز هورمونی به نام اسید آبسیزیک می‌شود. سنتز این نوع تنظیم‌کننده رشد در پاسخ به دهیدراسیون بوده و باعث کاهش رشد ریشه شده و نیز با انتقال آن به بخش هوایی به عنوان یک پاسخ تنش آبی عمل می‌کند (آکویا[8] و همکاران، ۲۰۱۱). لذا انباشت بور در برگ‌ها باعث اختلال در فشار اسمزی شده و باعث کاهش

1. Disante
2. Ayvaz
3. Molassiotis
4. Wang
5. Kawano
6. Parvaiz
7. Vysotskaya
8. Aque



شکل ۶- مقایسه میانگین اثر متقابل بور و سولفات روی، بر محتوای مالون دی آلدهید در برگ‌های دو رقم انگور. میانگین های با حروف مشترک تفاوت معنی داری از نظر آماری در سطح احتمال ۵ درصد بر اساس آزمون دانکن ندارند.



شکل ۷- مقایسه میانگین اثر متقابل بور، سولفات روی بر میزان محتوای نسبی آب برگ در دو رقم انگور . میانگین های با حروف مشترک تفاوت معنی داری از نظر آماری در سطح احتمال ۵ درصد بر اساس آزمون دانکن ندارند.

محتوای نسبی آب برگ می‌گردد. عنصر روی از طریق محافظت از پروتئین‌ها و لیپیدهای غشایی در برابر رادیکال-های آزاد و سایر محصولات حاصل از واکنش‌های احیایی درون سلولی، باعث حفظ یکپارچگی غشاء سلولی می‌شود. بنابراین، عنصر روی از عناصر مهم کاهش‌دهنده آسیب‌های اکسیداتیو غشاءسلولی محسوب می‌شود (ککمک[1]، ۲۰۰۰). این می‌تواند نقش عنصر روی را در تنظیم فعالیت سیستم-های آنتی‌اکسیدانی گیاه در مواجهه با اثرات تخریبی تنش اکسیداتیو بر غشاهای سلولی و در نتیجه حفظ سلامت و کارکرد طبیعی غشاءها تأیید نماید.

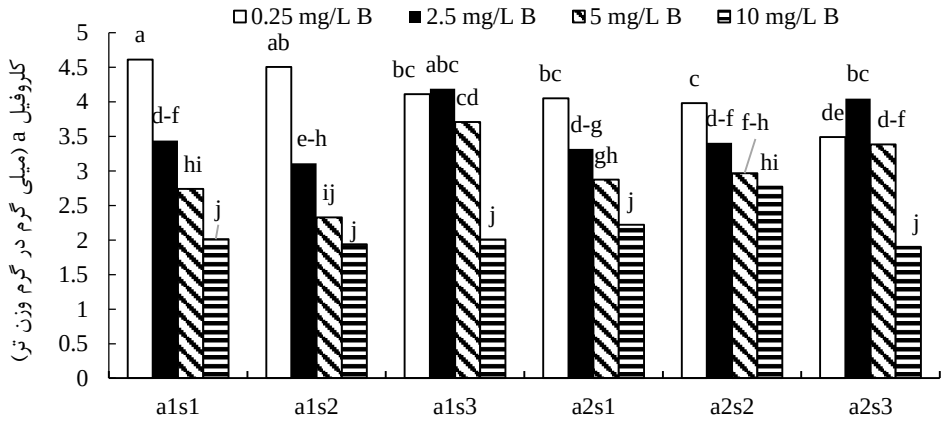
کلروفیل a

اثرات اصلی سولفات روی، بور و اثرات متقابل بور و سولفات روی، سولفات روی و رقم، همچنین اثرات متقابل بور، سولفات روی و رقم در سطح احتمال ۱ درصد بر کلروفیل a معنی‌دار بود (جدول ۴-۳). با افزایش بور، میزان کلروفیل a کاهش یافت. همچنین نتایج نشان داد که سولفات روی در غلظت‌های متوسط بور تأثیر مثبتی در کاهش اثرات منفی بور بر میزان کلروفیل a داشت (شکل ۸).

نتایج پژوهش حاضر نشان داد که با افزایش غلظت بور، مقدار کلروفیل a کاهش یافت. کاهش کلروفیل در اثر سمیت بور در گلابی (ونگ و همکاران، ۲۰۱۱) و پرتقال (شنگ و همکاران، ۲۰۰۸) گزارش گردید. کاهش کلروفیل می‌تواند ناشی از اختلال در برخی از فرآیندهای متابولیکی از طریق کاهش توسعه نقاط مریستمی و تغییرات چشمگیر در مقدار آنزیم‌ها باشد (یرمی‌یاهو و همکاران، ۲۰۰۶). عنصر روی بر محتوای عناصر غذایی مؤثر در تشکیل کلروفیل نظیر آهن و منیزیم تأثیر دارد (کوسیسکال و انال[2]، ۲۰۰۹). مولکول کلروفیل یکی از اهداف مورد حمله رادیکال‌های آزاد

1. Cakmak

2. Kosesakal and Unal



شکل ۸-مقایسه میانگین اثرات متقابل بور، سولفات روی و رقم بر میزان کلروفیل a در دو رقم انگور(قزل‌اوزوم و حسینی). a_1 و a_2 به ترتیب نشان‌دهنده رقم قزل‌اوزوم و حسینی می‌باشند s_1 و s_2 و s_3 نیز نشان دهنده غلظت‌های صفر، ۳ و ۶ گرم در لیتر سولفات روی در هر دو رقم می‌باشد. میانگین های با حروف مشترک تفاوت معنی داری از نظر آماری در سطح احتمال ۵ درصد بر اساس آزمون دانکن ندارند.

می‌باشد. احتمالاً روی با فعال کردن سیستم‌های آنتی اکسیدانی و در نتیجه کاهش تنش اکسیداتیو از تخریب و کاهش کلروفیل جلوگیری نماید که می‌تواند به‌علّت نقش این عنصر در متابولیسم نیتروژن و ساخت کلروفیل باشد (عابدی‌باباعربی[1] و همکاران، ۲۰۱۱).

فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی

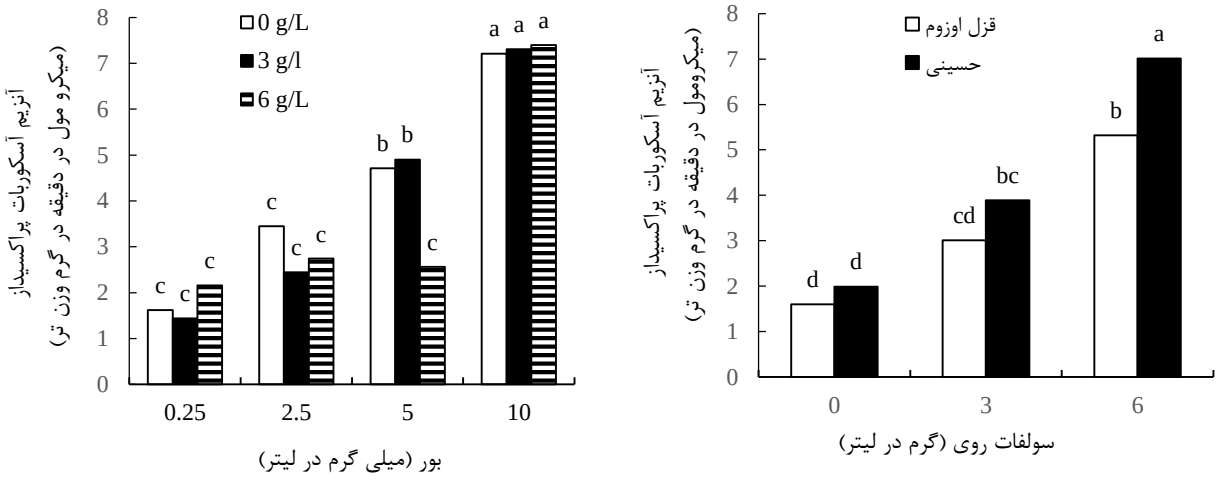
با افزایش بور، فعالیت آنزیم‌های آسکوربات پراکسیداز و گایاکول پراکسیداز افزایش یافت (شکل‌های ۹ و ۱۰). افزایش فعالیت آنزیم گایاکول پراکسیداز تحت شرایط سمیت بور و تنش شوری در انگور گزارش شده است (سویله‌مزاوغلو و همکاران، ۲۰۰۹). ونگ و همکاران (۲۰۱۱) افزایش در فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و آسکوربات پراکسیداز را در گلابی در غلظت‌های۱۰۰ و ۳۰۰ میکرومول بور در مقایسه با گیاهان شاهد (۱۰ میکرومول) را گزارش نمودند. در دو جنس.*Cucumis sativus* L و *Cucurbita pepo*، بور (۱۰ تا ۲۰ میلی‌گرم در لیتر)، باعث افزایش فعالیت آنزیم-های آنتی اکسیدانی آسکوربات پراکسیداز، کاتالاز و سوپراکسیددسموتاز گردید (لاندی[2] و همکاران، ۲۰۱۳). در پژوهش حاضر با محلول‌پاشی برگی سولفات روی، میزان فعالیت آنزیم‌های آسکوربات پراکسیداز و گایاکول پراکسیداز نسبت به تیمار شاهد افزایش یافت. این افزایش در رقم حسینی بیشتر از رقم قزل‌اوزوم بود. روی به دلیل کمک در ساخته شدن آنزیم‌های خنثی‌کننده پراکسید هیدروژن و اکسیژن فعالی که در گیاهان هنگام مواجه با تنش القاء می‌شوند، می‌تواند به کاهش آسیب سلولی کمک کند (تیسدال و همکاران، ۲۰۰۳).

نتیجه‌گیری کلی

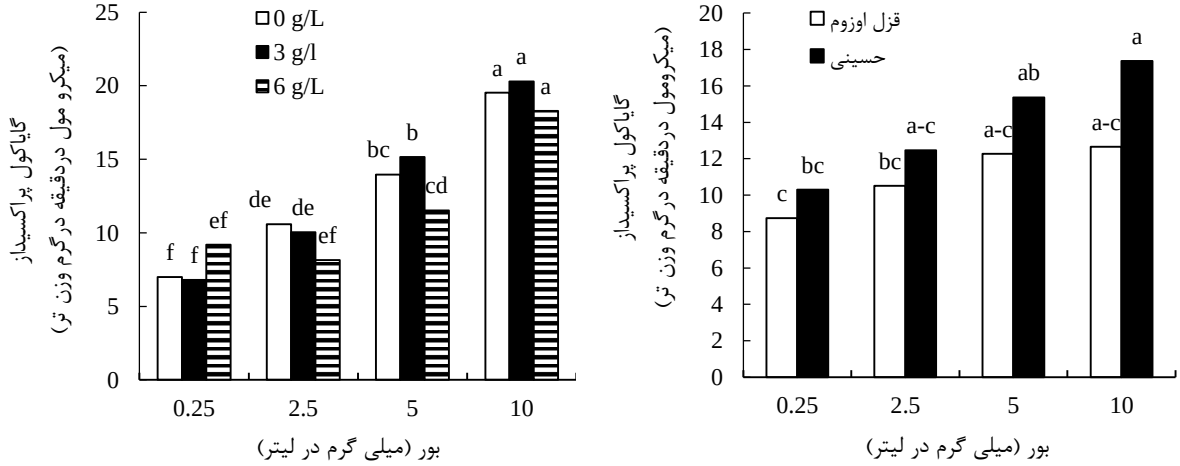
در پژوهش حاضر، با افزایش غلظت بور، شاخص‌های رویشی هر دو رقم انگور از جمله طول ریشه، تعداد برگ، وزن تر و خشک شاخساره کاهش یافتند. کاربرد همزمان بور و سولفات روی در هر دو رقم انگور اثرات معنی‌داری بر ویژگی‌های رشدی گیاه داشت. وزن تر و خشک شاخساره با محلول‌پاشی برگی سولفات روی (به ویژه در غلظت ۶ گرم در لیتر سولفات روی و در تیمارهای ۲/۵ و ۵ میلی‌گرم در لیتر بور) افزایش یافت. در غلظت ۵ میلی‌گرم در لیتر بور، کاربرد ۶ گرم در لیتر سولفات روی، به طور معنی‌داری میزان نشت یونی را کاهش داد. فعالیت آنزیم‌های آسکوربات پراکسیداز و گایاکول پراکسیداز در رقم حسینی بیشتر از قزل اوزوم بود. بنابراین، در پژوهش حاضر، روی تأثیر مثبتی در تعدیل اثرات سوء غلظت‌های متوسط بور (۲/۵ و ۵ میلی گرم در لیتر) در هر دو رقم انگور ایفاء نمود.

1. Abedi Babaarabi

2 . Landi



شکل ۹- مقایسه میانگین اثرات متقابل بور و سولفات روی (الف)، سولفات روی و رقم (ب) بر فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز در برگ‌های دو رقم انگور (قزل اوزوم و حسینی). میانگین های با حروف مشترک تفاوت معنی داری از نظر آماری در سطح احتمال ۵ درصد بر اساس آزمون دانکن ندارند.



شکل ۱۰- مقایسه میانگین اثرات متقابل بور و سولفات روی (الف)، بور و رقم (ب)، بر فعالیت آنزیم گایاکول پراکسیداز در برگ های دو رقم انگور (قزل اوزوم و حسینی). میانگین های با حروف مشترک تفاوت معنی داری از نظر آماری در سطح احتمال ۵ درصد بر اساس آزمون دانکن ندارند.

جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس تأثیر سطوح مختلف بور، سولفات‌روی و برهمکنش آنها بر برخی ویژگی‌های فیزیولوژیکی در دو رقم انگور

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات					
		نشت یونی	مالون‌دی آلدهید	محتوای نسبی آب برگ	آسکوربات پراکسیداز	گایاکول پراکسیداز	کلروفیل a
رقم	۱	۵۳/۴۶ ns	۰/۰۱۹۲ ns	۴/۹۵۱ ns	۲۳/۴۰۳**	۱۹۲/۰۷**	۰/۰۱۵۵ ns
سولفات روی	۲	۹۴۴۳/۳۰**	۰/۷۵**	۳۷۷۷/۲۰**	۱۵۵/۷۱۷۱**	۸۵۳/۶۰۸**	۱۶/۷۱۲**
بور	۳	۲۴۷۱/۹۲**	۰/۱۱۳۱**	۱۱۸۸/۷۱**	۳۵/۸۷۹**	۱۴۳/۶۲**	۵/۴۵۹**
سولفات روی × رقم	۲	۱۷۶/۷۳ ns	۰/۰۰۱۳ ns	۱۸/۲۸ ns	۳/۴۶۱*	۴۸/۱۶۴ **	۱/۱۲۸**
بور × رقم	۳	۸۹/۰۳ns	۰/۰۰۱۶ ns	۰/۸۱۷ns	۱/۰۵۲۴ns	۱۱/۹۴*	۰/۱۸۲ ns
بور × سولفات روی	۶	۱۱۹۴/۴۴**	۰/۰۶۵۶**	۵۱۲/۰۵**	۱۶/۰۷۸**	۵۱/۴۷۴**	۱/۸۶**
بور × سولفات روی × رقم	۶	۶۲/۵۹ns	۰/۰۰۳۱ ns	۱۲/۸۸ns	۰/۶۹۸ns	۶/۲۵۴ ns	۰/۳۱۸ **
خطای آزمایش		۴۴/۵۱	۰/۰۰۶۴	۲۴/۹۴	۰/۸۷۸	۳/۳۴۴	۰/۱۰۵۳
ضریب تغییرات (٪)		۱۳/۴۳	۲۴/۶۶	۶/۷۷	۲۴/۶۲۶	۱۴/۶۶۷	۱۰/۱

ns، ** و *: به ترتیب نشان‌دهنده عدم وجود اختلاف معنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال ۱٪ و معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪

منابع

رستمی، ح.، طباطبایی، س.ج.، زارع‌نهندی، ف. و حاجی‌لو، ج. ۱۳۹۰. اثرات غلظت‌های بور بر برخی خصوصیات رویشی و فیزیولوژیکی زیتون. نشریه علوم باغبانی، ۲۷: ۱۸-۲۶.

Abedi Babaarabi, S., Movahedi Dehnavi, M., Yadavi, A. and Adhami, A. 2011. Effect of Zn and spraying on safflower physiological traits and yeild under drought stress conditions. Electronic Journal of Crop Production, 4 (1): 75-95.

Aebi, H. 1984. Catalase in vitro. Methods in enzymology, 105: 121-126.

Alloway, B.J. 2008. Zinc in soils and crop nutrition (2d Ed.). International Zinc Association (IZA). Brussels. 136 p.

Amoro, S.M. 2015. Effect of algae extract and zinc sulfate foliar spray on production and fruit quality of Orange tree cv. Valencia. Iosr Journal of Agriculture and Veterinary Science, 8: 51-62.

Apostol, K.G. and Zwiazek, J.J. 2004. Boron and water uptake in jack pine (*Pinus banksiana*) seedlings. Environmental and Experimental of Botany, 51: 145- 153.

Aquea, F., Timmermann, T. and Arce-Johnson, P. 2010. Analysis of histone acetyltransferase and deacetylase families of (*Vitis vinifera* L.). Plant Biochemistry, 48: 194-199.

Aquea, F., Vega, A., Timmermann, T., Poupin, M.J. and Arce-Johnson, P. 2011. Genome-wide analysis of the set domain group family in Grapevine. Plant Cell Reports, 30: 1087-1097.

Ardic, M., Sekmen, A.H., Turkan, I., Tokur, S. and Ozdemir, F. 2009. The effects of boron toxicity on root antioxidant systems of two chickpea (*Cicer arientinum* L.) cultivars. Plant and Soil, 314: 99-108.

Ayvaz, M., Kemal Avci, M., Yamaner, C., Koyuncu, M., Guven, A. and Fagerstedt, K. 2013. Does excess boron affect the malondialdehyde levels of Potato cultivars? EurAsian Journal of BioSciences, 7: 47-53.

Brennan, R.F. 2005. Zinc application and its availability to plants. Ph.D. Thesis, University Murdoch.

Camacho-Cristobal, J.J., Navarro-Gochicoa, M.T., Rexach, J., Gonzalez- Fontes, A. and Herrera-Rodriguez, M.B. 2018. Plant response to boron deficiency and boron use efficiency in crop plants. Plant Micronutrient Use Efficiency. Academic Press, Cambridge, pp. 109–121.

Cakmak, I. 2000. Possible roles of Zinc in protecting plant cells from damage by reactive oxygen. New Phytologist, 146: 185-205.

Cervilla, L.M., Blasco, B., Rios, J.J., Rosales, M.A. and Sanchez-Rodriguez, E. 2012. Parameters symptomatic for boron toxicity in leaves of Tomato plants. Journal of Botany, 1-17.

Chatzissavvidis, C. and Therios, I. 2010. Response of four olive (*Olea europaea* L.) cultivars to six B concentrations: Growth performance, nutrient status and gas exchange parameters. Scientia Horticulturae, 127: 29-38.

Disante, K.B., Fuentes, D. and Cortina, J. 2010. Response to drought of Zn-stressed (*Quercus suber* L.), seedlings. Environmental Expermental Botany, 70: 96-103.

Eraslan, F., Inal, A., Gunes, A. and Alpaslan, M. 2007. Boron toxicity alters nitrite reductase activity, prolin accumulation, membrane permeability, and mineral constituents of Tomato and pepper plants. Journal of Plant Nutrition, 30: 981-994.

Gunes, A., Soylemezoglu, G., Inal, A., Bagci, E.G. and Coban, S. 2006. Antioxidant and stomatal resposes of grapevine (*Vitis vinifera* L.) to boron toxicity. Scientia Horticulturae, 110: 279-284.

Gulen, H., Cetinkaya, C., Kadlonglu, M., Kesici, M., Cansev, A. and Eris, A. 2008. Peroxidase activity and lipid peroxidation in strawberry (*Fragaria ananassa*) plants under low temperature. Journal Biology and Environmental Sciences, 2(6): 95-100.

Heath, R.L. and Packer, L. 1968. Photoperoxidation in Isolated Chloroplasts. Archives Biochemistry Biophysics, 125: 850-857.

Herrera–Rodriguez, M.B., Gonzalez-Fontes, A., Rexach, J., Camacho-Cristobal, J.J.M., Maldonado, J. and Navarro-Gochicoa, M.T. 2010. Role of boron in vascular plants and response mechanisms to boron stresses. Plant Stress, 4(2): 115-122.

Jeliazkova, E.A., Craker, L.E. and Xing, B. 2003. Seed germination of anise, caraway, and fennel in heavy metal contaminated solutions. Journal of Herbs, Spices and Medicinal Plants, 10(3): 83-93.

Kang, H.M. and Saltveit, M.E. 2002. Chiling tolerance of maize, cucumber and rice seedling leaves and roots are differentially affected by salicylic acid. Plant Physiology, 115: 571-576.

Kawano, T., Kawano, N., Muto, S. and Lapeyrie, F. 2002. Retardation and inhibition of the cation-induced superoxide generation in BY-2 Tobacco cell suspension culture by Zn^{2+} and Mn^{2+}. Plant Physiology, 114: 395-404.

Kayihan, C., Oz, M.T., Eyidoğan, F., Yücel, M. and Oktem, H.A. 2017. Physiological, biochemical, and transcriptomic responses to boron toxicity in leaf and root tissues of contrasting wheat cultivars. Journal of Plant Molecular Biology Reporter, 35(1): 97–109.

Kazemi, M. 2013. Effect of foliar application of iron and zinc on growth and zinc on growth and productivity of cucumber. Bulletin of Environment, Pharmacology and Life Sciences, 2 (11): 11-14.

Khan, A.S, Nasir, M., Malik, A.U., Basra, S.M.A. and Jaskani, M.J. 2015. Effect of calcium, boron and zinc on the leaf mineral status, growth, productivity and fruit quality of 'Kinnow' mandarin (*Citrus nobilis* Lour × *Citrus deliciosa* Tenora). Journal of Plant Nutrition, 38(6): 821- 838.

Kosesakal, T., Unal, M. 2009. Role of zinc deficiency in photosynthetic productivity of cucumber. Bulletin of Environment**,** Pharmacology **a**nd Life Sciences, 2 (11): 11-14.

Landi, M., Remorini, D., Pardossi, A. and Guidi, L. 2013. Boron excess affects photosynthesis and antioxidant apparatus of greenhouse Cucurbita pepo and Cucumis sativus. Journal of Plant Research, 126(6): 775–786.

Lichtenthaler, H.K. and Wellburn, A.R. 1985. Determination of total cartenoids and chlorophylls a and b leaf in different solvents**.** Biochemical Society Transactions, 11: 591-592.

Lutts, S., Kinet, J.M. and Bouharmont, J. 1996. NaCl-induced senescence in leaves of rice cultivar differing in salinity resistance. Annals of Botany, 78: 389-398.

Molassiotis, A.N., Sotiropoulos, T., Tanou, G., Kofidis, G., Diamantidis, C. and Therios, I. 2006. Antioxidant and anatomical responses in shoot culture of the apple rootstock MM_{106} treated with NaCl, KCI, manitol or sorbitol. Biologia Plantarum, 50: 331-338.

Parvaiz, A., Ahanger, M.A., Alyemeni, M.N., Wijaya, L., Egamberdieva, D., Bhardwaj, R. and Ashraf, M. 2017. Zinc application mitigates the adverse effects of NaCl stress on mustard (*Brassica juncea* L.) Czern and Coss through modulating compatible organic solutes, antioxidant enzymes, and flavonoid content. Journal of Plant Interactions, 12(1): 429-437.

Reid, R.J., Hayes, J.E., Post, A., Stangoulis, J.C.R. and Graham, R.D. 2004. A critical analysis of the cause of boron toxicity in plants. Plant Cell and Environment, 25: 1405-1414.

Sarafi, E., Siomos, A., Tsouvaltzis, P., Therios, I. and Chatzissavvidis, C. 2018. Boron toxicity effects on the concentration of pigments, carbohydrates and nutrient elements in six non-grafted pepper cultivars (*Capsicum annuum* L.). Indian Journal of Plant Physiology, 23(3): 474-485.

Shah, A., Wu, X., Ullah, A., Fahad, S., Muhammad, R., Yan, L. and Jiang, C. 2017. Deficiency and toxicity of boron: alterations in growth, oxidative damage and uptake by citrange orange plants. Ecotoxicology and Environmental Safety, 145: 575–582.

Sheng, O., Song, S.W., Chen, Y.J., Peng, S.A. and Deng, X.X. 2008. Effects of exogenous B accumulation and distribution of two navel orang cultivars. Trees, 23: 59-68.

Simon-Grao, S., Nieves, M., Camara-Zapata, J.M., Martinez-Nicolas, J.J., Rivero, R.M., Fernandez-Zapata, J.C. and Garcia-Sanchez, F. 2019. The forner alcaide no. 5 *citrus* genotype shows a different physiological response to the excess of boron in the irrigation water in relation to its two genotype progenitors. Scientia Horticulturae, 245:19–28.

Sotiropoulos, T.E., Molassiotis, A., Almaliotis, D., Mouhtaridou, G. and Dimassi, K. 2006. Growth, nutritional status, chlorophyll content and antioxidant responses of the apple rootstock MM_{111} shoots cultured under high boron concentrations in vitro. Journal of Plant Nutrition, 29: 575-583.

Soylemezoglu, G., Demir, K., Inal, A. and Gunes, A. 2009. Effect of silicon on antioxidant and stomatal response of two grapevine (*Vitis vinifera* L.) rootstocks grown in boron toxic, saline, and boron toxic-saline soil. Scinece Horticulture, 123: 240-246.

Tisdale, S.L., Nelson, W.L., Beaton, J.D. and Havlin, J.L. 2003. Soil fertility and fertilizers. 5th (eds.) Prentice-Eall of India Preiate Limited. New Delhi. India. 634p.

Trehan, S.P. and Sharma, R.C. 2000. Phosphorus and zinc uptake efficiency of potato (*Solanum tuberosum* L.) in comparison to wheat (*Triticum aestivum* L.), maize (*Zea mays* L.) and sunflower (*Helianthus annus* L.). International Journal of Plant Production, 30(4): 485-488.

Turner, N.C. 1981. Further progress in crop water relations. Advances in Agronomy, 58: 293-338.

Updhyaya, A., Sankhla, D., T.D., Davis, T.D., Sankhla, N. and Smidth, B.N., 1985. Effect of paclobutrazol on the activities of some enzymes of activated oxygen metabolism and lipid peroxidation in senescing soybean leaves. Journal of Plant Physiology, 121(5): 453-461.

Vysotskaya, L., Hedley, P.E., Sharipova, Veselov, D., Kudoyarova, G., Morris, J., and Jones, H.G. 2010. Effect of salinity on water relations of wild barley plants differing in salt tolerance. AoB Plants, 86: 407-421.

Wang, J.Z., Tao, S.T., Qi, K.J., Wu, J. and Wu, H.Q. 2011. Changes in photosynthetic properties and antioxidative system of pear leaves to boron toxicity. African Journal of Biotecnology, 10: 19693-19700.

Yermiyahu, U. and Ben-Gal, A. 2006. Boron toxicity in grapevine. HortScience, 41(7): 1698-1703.