

تأثیر عصاره جلبک دریایی بر شاخص های فیزیولوژیک و بیوشیمیایی ریحان (*Ocimum basilicum* L.) در شرایط تنش کم آبی

بهروز اسماعیل پور^{۱*}، حمیده فاطمی^۱ و معصومه مرادی^۱

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۱۰/۲۳؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۳/۱۴)

چکیده

تنش خشکی یکی از مهم ترین عوامل محدود کننده عملکرد گیاهان در مناطق خشک و نیمه خشک است. کود جلبک دریایی به عنوان یکی از کودهای زیستی از طریق تسریع جوانه زنی، گسترش بیشتر ریشه و جذب عناصر غذایی سبب افزایش توان و مقاومت گیاهان در برابر تنش های غیرزیستی می شود. این پژوهش به منظور بررسی تأثیر عصاره جلبک دریایی بر ویژگی های فیزیولوژیک و بیوشیمیایی گیاه ریحان، توده بومی شهرری، تحت شرایط تنش خشکی، به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی، در سه تکرار انجام شد. فاکتورهای مورد آزمایش شامل تنش خشکی (شاهد (آبیاری کامل) و قطع کامل آبیاری در مرحله شروع رشد زایشی و در ۵۰٪ گل دهی) و محلول پاشی غلظت های مختلف عصاره جلبک دریایی (صفر، ۰/۵، ۱ و ۲ گرم در لیتر) بود. در تیمار شاهد، محلول پاشی برگ با آب مقطر بود. نتایج نشان داد که با افزایش شدت تنش خشکی، صفات مورفولوژیک شامل تعداد انشعابات جانبی، وزن تازه و خشک تک بوته، تعداد برگ، سطح برگ، وزن خشک ریشه و صفات بیوشیمیایی شامل کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل، کاروتنوئید و محتوای نسبی آب برگ کاهش یافت و میزان نشت الکترولیت و محتوای پرولین برگ افزایش یافت. محلول پاشی با غلظت ۲ گرم در لیتر عصاره جلبک دریایی به طور معنی داری در سطح احتمال ۱٪ باعث کاهش آثار تنش خشکی بر ریحان شد. به طور کلی، نتایج این پژوهش نشان داد که کاربرد عصاره جلبک دریایی، با افزایش میزان پرولین، ایجاد تنظیم اسمزی، کاهش تجزیه کلروفیل و کاهش نشت غشاء، سبب بهبود رشد ریحان در شرایط تنش خشکی شد.

واژه های کلیدی: تنش خشکی، پرولین، ریحان، کلروفیل، عصاره جلبک دریایی، نشت الکترولیت

مقدمه

دارویی، ادویه ای و همچنین سبزی تازه مورد استفاده قرار می

گیرد (۸).

به طور کلی، تنش خشکی زمانی ایجاد می شود که مقدار آب خاک کاهش پیدا کند و شرایط محیطی نیز از طریق

ریحان (*Ocimum basilicum* L.) گیاهی یک ساله، متعلق به تیره نعناعیان (Lamiaceae) و بومی مناطق گرمسیری و نیمه گرمسیری آسیا، آفریقا و آمریکای جنوبی است که به عنوان گیاه

۱. گروه علوم باغبانی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل

*مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: behsmail@yahoo.com

عصاره جلبک دریایی در سال‌های اخیر تا حدودی به‌عنوان جایگزین کودهای شیمیایی در کشاورزی به‌کار می‌رود (۴۸). از جمله سودمندی‌های حاصل از استفاده از کود جلبک دریایی در کشاورزی می‌توان به رشد و گسترش بیشتر ریشه‌ها، جوانه‌زنی بهتر و سریع‌تر بذرها، به تأخیر انداختن پیری میوه‌ها، افزایش عمر پس از برداشت محصولات، افزایش توان و مقاومت گیاهان در برابر تنش‌های زنده و غیرزنده و افزایش کمیّت و کیفیت میوه‌ها اشاره کرد (۲۰). جلبک‌های قهوه‌ای، اسمولیت‌هایی مانند مانتول، به‌عنوان یک ترکیب محافظ مهم در پاسخ به تنش‌های غیرزیستی هستند (۲۷). جلبک‌ها باعث افزایش تخلخل خاک، به‌علت داشتن ساختار رشته‌ای و تولید مواد چسبنده، افزایش گنجایش نگهداری آب خاک به‌دلیل ساختار ژله‌ای و کاهش شوری خاک می‌شوند (۴۳). نتایج پژوهش‌های مختلف، آثار مثبت عصاره جلبک دریایی را بر گیاهانی مانند انگور (۳۲)، خیار (۴۰)، توت‌فرنگی (۱)، اسفناج (۱۳)، زیتون (۱۰)، گوجه‌فرنگی (۲۰) و کلم بروکلی (۲۸) به اثبات رسانده است. محلول‌پاشی برگی کود جلبک دریایی طی رشد رویشی گیاه گوجه‌فرنگی (۱۱) و فلفل (۵) باعث افزایش اندازه، وزن و عملکرد میوه می‌شود و این افزایش به حضور تنظیم‌کننده‌های رشدی همچون استیک اسید (اکسین)، جیبرلین، کیتین و زاتین در عصاره جلبک دریایی نسبت داده شده است (۳۵). نتایج بررسی روش‌های مختلف کاربرد عصاره جلبک دریایی بر فیزیولوژی و کیفیت غذایی اسفناج در شرایط تنش خشکی نشان داد که کاربرد عصاره جلبک دریایی در تیمار آبیاری کامل تأثیری بر رشد اسفناج نداشت. ولی این ماده با بهبود روابط آبی و کاهش محدودیت بازشدن روزه‌ای گیاه سبب بهبود رشد اسفناج در شرایط تنش خشکی ملایم شد (۴۷). عصاره جلبک دریایی به‌دلیل داشتن هورمون‌های رشد مانند اکسین و سیتوکینین، عناصری همچون نیتروژن، آهن، روی، مس، کبالت، مولیبدن، منگنز، منیزیم و نیکل، ویتامین‌ها و اسیدهای آمینه، تأثیر مفیدی بر رشد گیاهان و ایجاد مقاومت در برابر تنش‌های غیرزیستی مانند شوری، خشکی و دما دارد (۱۸). استفاده از کودهای زیستی مانند عصاره جلبک دریایی که باعث افزایش مقاومت گیاه و جلوگیری

تبخیر و تعرق باعث تداوم هدرروی آب شود (۲۶). رشد سلولی، یکی از فرایندهای حساس به خشکی است، زیرا که تحت تنش کم‌آبی فشار آماس کاهش می‌یابد (۴۴). در شرایط تنش، کاهش ماده خشک می‌تواند به‌دلیل فشار آماس سلول ناشی از کاهش سطح برگ گیاه و همچنین کاهش نرخ فتوسنتزی به‌دلیل محدودیت‌های بیوشیمیایی ناشی از کمبود آب مانند کاهش رنگدانه‌های فتوسنتزی، به‌ویژه کلروفیل‌ها، باشد (۲۳). قرار گرفتن گیاهان در برابر تنش‌هایی مانند تنش خشکی منجر به تولید گونه‌های فعال اکسیژن (ROS) می‌شود. گونه‌های فعال اکسیژن در سلول با پروتئین‌ها، لیپیدها و دئوکسی‌ریبونوکلوئوتیدها واکنش می‌دهند و باعث اختلال در عملکرد نرمال سلول‌ها می‌شوند (۱۴). طی تنظیم اسمزی، پتانسیل اسمزی بافت‌های تحت تنش در اثر انباشت یک سری مواد اسمزی در سلول‌ها کاهش می‌یابد و بنابراین فشار آماس سلول‌ها در حد مطلوبی نگهداری می‌شود. این مواد اسمزی عمدتاً شامل برخی عناصر غذایی (مانند پتاسیم، سدیم و کلسیم)، برخی متابولیت‌ها مانند قندها، و به‌ویژه منوساکاریدها، اسیدهای آمینه (به‌ویژه پرولین)، گلايسین بتائین و اسیدهای آلی هستند (۴۱).

کودهای زیستی به مجموعه مواد نگهدارنده با تعداد زیادی از ریزجانداران مفید و یا فرآورده‌های متابولیک آنها گفته می‌شود که بیشتر به‌منظور تأمین عناصر غذایی مورد نیاز گیاه و ایجاد شرایط فیزیکی و شیمیایی مناسب خاک برای رشد و نمو آن استفاده می‌شوند. یکی از این کودهای بیولوژیک، جلبک دریایی است. جلبک‌های دریایی قهوه‌ای (فتوفیت‌ها، *Ascophyllum nodosum*) بر اساس فراوانی و پراکنش، رایج‌ترین جلبک مورد استفاده برای تولید تجاری عصاره‌ها برای استفاده در کشاورزی و باغبانی هستند. عصاره جلبک قهوه‌ای حاوی مقادیر مختلفی از متابولیت‌های ثانویه فعال زیستی، ویتامین‌ها، ترکیبات تیمولیک و پیش‌سازهای ویتامین و آمینواسیدها هستند (۲۷). عصاره جلبک دریایی شامل تعدادی از فیتوهورمون‌ها مانند اکسین‌ها، سیتوکینین‌ها، جیبرلین‌ها، آبسزیک اسید و براسینواستروئیدهاست.

جدول ۱. برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد آزمایش

بافت خاک	درصد رس	درصد شن	درصد سیلت	درصد ماده آلی	pH عصاره اشباع	EC عصاره اشباع (dS/m)
لوم شنی	۱۶	۶۴	۲۰	۰/۹۱	۸	۰/۱۶

از کاهش رشد گیاهان دارویی در شرایط تنش خشکی می‌شود، می‌تواند به‌عنوان یک راهکار کارآمد برای بهبود عملکرد گیاهان دارویی تحت شرایط تنش‌های غیرزیستی، به‌ویژه تنش خشکی، استفاده شود. هدف از انجام این آزمایش، بررسی تأثیر عصاره جلبک دریایی به‌عنوان یک کود زیستی برای ایجاد مقاومت و جلوگیری از کاهش رشد ناشی از تنش کم‌آبی در گیاه ریحان است.

مواد و روش‌ها

این آزمایش فاکتوریل، در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار، در سال ۱۳۹۶ به‌صورت گلدانی در گلخانه پژوهشی دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، با دمای روز و شب به ترتیب در محدوده 27 ± 2 و 20 ± 2 درجه سلسیوس اجرا شد. فاکتورهای آزمایشی شامل تنش خشکی (آبیاری کامل و قطع آبیاری در مرحله شروع رشد زایشی و ۵۰٪ گل‌دهی) و محلول پاشی غلظت‌های مختلف عصاره جلبک دریایی (صفر، ۰/۵، ۱ و ۲ گرم در لیتر) بودند. برای انجام این آزمایش، بذر ریحان بومی شهری، از شرکت پاکان بذر اصفهان و عصاره جلبک دریایی از شرکت همیار دشت آبرون مشهد تهیه شد. بذر ریحان بومی شهری دارای رنگ سیاه و وزن هزار دانه $1/8-1/5$ گرم است و به دماهای بین ۱۵ تا ۲۰ درجه سلسیوس مقاومت نسبی داشته و فصل رشد طولانی (۹۰-۸۰ روز) دارد. مایع عصاره جلبک دریایی با دارا بودن ۴۵٪ ماده مؤثره، به رنگ قهوه‌ای سیاه و حلالیت ۹۹٪ در آب، دارای ۲۰ گرم در لیتر اسید آلژینیک، ۱۰۰ گرم ماده آلی، چگالی $1/10-1$ ، ۵ گرم در لیتر نیتروژن، ۰/۵ گرم در لیتر فسفر و ۲۰ گرم در لیتر پتاسیم بود.

بستر کشت شامل مخلوط دو قسمت خاک و یک قسمت ماسه و یک قسمت کود دامی پوسیده بود، که در گلدان‌هایی در اندازه 30×40 و با ارتفاع ۳۵ سانتی‌متر ریخته شد. بافت خاک مورد

استفاده در این آزمایش، لوم شنی بود. برخی ویژگی‌های خاک مورد استفاده در این آزمایش در جدول (۱) آمده است. تنش خشکی به‌صورت قطع آبیاری انجام شد. بدین ترتیب که تا مرحله شروع رشد زایشی، ریحان به‌صورت کامل آبیاری شد. سپس، در دو مرحله، ابتدای رشد زایشی و ۵۰٪ گل‌دهی، آبیاری آن قطع شد و برای تیمار شاهد نیز آبیاری تا آخرین مراحل رشد ادامه یافت. برای تیمار جلبک دریایی در هر دوره محلول‌پاشی غلظت‌های صفر، ۰/۵، ۱ و ۲ گرم در لیتر از کود اندازه‌گیری شده و در آب مقطر حل شده و به‌صورت محلول‌پاشی به برگ‌ها اعمال شد. گیاهان شاهد توسط آب مقطر محلول‌پاشی شدند و محلول‌پاشی آنها به تعداد چهار دفعه با فواصل دو هفته در فصل رشد صورت گرفت. در پایان فصل رشد گیاه و ۹۰ روز پس از کاشت، گیاهان برداشت شدند و صفاتی مانند ارتفاع بوته، سطح برگ به‌وسیله دستگاه سطح‌سنج مدل ADC Bioscientific Ltd ساخت کشور انگلستان و وزن خشک ریشه و ساقه پس از خشک‌کردن در آن در دمای ۷۸ درجه سلسیوس به‌مدت ۴۸ ساعت و توزین قسمت‌های خشک‌شده با ترازویی با دقت یک‌هزارم گرم اندازه‌گیری شد. اندازه‌گیری شاخص‌های فیزیولوژیک گیاه مانند رنگیزه‌های فتوسنتزی، میزان پایداری غشای سلولی و محتوای نسبی آب برگ نیز پیش از برداشت انجام شد.

اندازه‌گیری رنگیزه‌های فتوسنتزی (کلروفیل و کاروتنوئید) بر اساس روش پیشنهادی آرنون (۴) انجام شد. در این روش، رنگیزه‌ها با استفاده از استون ۸۰٪ استخراج شدند و عصاره حاصل با محلول رویی در طول موج‌های ۴۷۰، ۶۴۶/۸ و ۶۶۳/۲ توسط اسپکتروفتومتر قرائت شده و غلظت آنها براساس روابط زیر محاسبه شد. نتایج حاصل از اندازه‌گیری مقدار رنگیزه‌های فتوسنتزی برحسب میلی‌گرم بر گرم وزن تازه محاسبه و ارائه شد:

گیاهان به گیره‌های مخصوص دستگاه متصل شده و به مدت ۱۵ دقیقه در تاریکی قرار گرفتند و سپس اعداد مربوطه از دستگاه قرائت و ثبت شد. داده‌های حاصل از این آزمایش با نرم‌افزار آماری SAS 9.2 مورد تجزیه قرار گرفت و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال ۵٪ انجام شد.

نتایج و بحث

نتایج نشان داد که اثر تنش خشکی و اثر محلول‌پاشی با عصاره جلبک دریایی بر ارتفاع بوته، تعداد شاخه‌های جانبی، وزن خشک برگ و ریشه، سطح برگ ریحان، کلروفیل *a*، کلروفیل *b*، کلروفیل کل، کاروتنوئید، محتوی نسبی آب برگ، کلروفیل فلورسانس، نشت یونی غشاء و پرولین در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. ولی اثر برهم‌کنش تنش خشکی و محلول‌پاشی عصاره جلبک دریایی تنها بر وزن خشک برگ و ریشه، سطح برگ بوته، محتوی نسبی آب برگ و کاروتنوئید معنی‌دار نبود. نتایج حاصل از مقایسه میانگین اثر برهم‌کنش تنش خشکی و محلول‌پاشی با محرک زیستی عصاره جلبک دریایی بر ارتفاع بوته ریحان (جدول ۲) نشان داد که با افزایش شدت تنش خشکی از رشد گیاه ریحان کاسته شده و بیشترین تعداد شاخه جانبی و وزن خشک بوته مربوط به گیاهان محلول‌پاشی‌شده با غلظت ۱ و ۲ گرم در لیتر از عصاره جلبک دریایی در شرایط آبیاری کامل گیاهان بود. کمترین مقدار این صفات نیز در گیاهان محلول‌پاشی‌نشده در تیمار تنش خشکی شدید یا قطع آبیاری در ابتدای گل‌دهی حاصل شد (جدول ۲).

نتایج مقایسه میانگین آثار تنش خشکی و محلول‌پاشی با عصاره جلبک دریایی (جدول ۳) نشان داد که با افزایش تنش خشکی، وزن خشک ریشه، برگ و سطح برگ ریحان کاهش یافت به طوری که بیشترین وزن خشک ریشه (۲/۳۷ گرم در گلدان) و برگ (۳/۹۷ گرم در گلدان) و بیشترین سطح برگ (۱۴۰۷/۵ میلی‌متر مربع در گلدان) در گیاهان تحت تیمار آبیاری کامل و کمترین مقدار آن در گیاهان تحت تنش قطع آبیاری در ابتدای رشد زایشی تولید شد. همچنین، بیشترین مقدار برای

$$\text{Chla} = (0/0127)(A_{663/2}) - (0/00269)(A_{666/8}) \quad [1]$$

$$\text{Chlb} = (0/0229)(A_{666/8}) - (0/00468)(A_{663/2}) \quad [2]$$

$$\text{ChlT} = \text{Chlb} + \text{Chla} \quad [3]$$

$$\text{Car} = (1000A_{470} - 1/8 \text{Chla} - 85/02 \text{Chlb}) / 198 \quad [4]$$

برای اندازه‌گیری شاخص پایداری غشاء (SI) از برگ کاملاً توسعه‌یافته دیسک‌هایی تهیه شده و سه بار با آب دیونیزه شسته شدند. نمونه‌ها در ظرف سر بسته حاوی ۱۰ میلی‌لیتر آب دیونیزه قرار گرفت و به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۲۵ درجه سلسیوس روی شیکر تکان داده شد. سپس، EC نمونه‌ها اندازه‌گیری شد (Lt). سپس، نمونه و محلول در اتوکلاو قرار داده شد و مجدداً EC اندازه‌گیری شد (LO). برای محاسبه شاخص پایداری غشاء از فرمول زیر استفاده شد (۳۷):

$$\text{SI} = \frac{\text{Lt}}{\text{L}_0} \times 100 \quad [5]$$

برای اندازه‌گیری محتوی نسبی آب برگ (RWC)، ۵/۰ گرم از جوان‌ترین برگ توسعه‌یافته هر گیاه (FW) جدا کرده و سپس نمونه‌ها به مدت ۲۴ ساعت در آب مقطر شناور شدند. پس از گذشت این مدت، وزن آماس برگ (TW) اندازه‌گیری شد. سپس برگ‌ها به مدت ۲۴ ساعت در آون در دمای ۷۰ درجه سلسیوس قرار گرفت و پس از گذشت این مدت، وزن خشک آنها (DW) اندازه گرفته شد (۳۸):

$$\% \text{RWC} = \frac{\text{FW} - \text{DW}}{\text{TW} - \text{DW}} \quad [6]$$

اندازه‌گیری مقدار پرولین با استفاده از معرف ناین هیدرین بر اساس روش پیشنهادی بیتس و همکاران (۷) انجام گرفت. در این روش، از معرف ناین هیدرین و اسید استیک گلاسیال برای اندازه‌گیری پرولین استفاده شد و نتایج بر حسب میکرومول بر گرم وزن تازه گزارش شد.

برای اندازه‌گیری میزان کلروفیل فلورسانس Fv/Fm (عملکرد کوانتومی فتوشیمیایی) از دستگاه کلروفیل فلورومتر مدل OS-30p ساخت کشور آمریکا استفاده شد. برای این منظور در اواخر مرحله رشد از هر تیمار سه گیاه به صورت تصادفی انتخاب شده و برگ‌های کاملاً رشد کرده و جوان آن

جدول ۲. مقایسه میانگین اثر برهم‌کنش عصاره جلبک دریایی و تنش خشکی بر صفات مورفوفیزیولوژیک ریحان

Fv/Fm	نشت یونی (%)	پرولین (میکروگرم بر گرم وزن تازه)	کلروفیل کل			تعداد شاخه‌های جانبی	جلبک دریایی	تنش
			a	b	کلروفیل کل			
۰/۸ ^{b-f}	۲۱/۹ ^{o-f}	۰/۴۱ ^f	۷/۸۳ ^d	۱/۸۲ ^c	۶/۱۱ ^{de}	۱۰/۸۰ ^{c-i}	S _۱	I _۱
۰/۸۱ ^{a-e}	۲۰/۶۱ ^f	۰/۵۶ ^f	۹/۳۵ ^b	۲/۰۶ ^c	۷/۲۹ ^b	۱۲/۳۳ ^{a-e}	S _۲	I _۱
۰/۸۳ ^{ab}	۱۸/۹۴ ^{fg}	۰/۷۲ ^e	۱۰/۴۳ ^{ab}	۲/۶۱ ^a	۷/۸۳ ^a	۱۲/۳۳ ^{a-e}	S _۳	I _۱
۰/۸۲ ^{abc}	۱۷/۷۷ ^g	۰/۶۵ ^e	۱۱/۰۳ ^a	۲/۷۴ ^a	۸/۲۹ ^a	۱۰/۶۶ ^{d-h}	S _۲	I _۱
۰/۷۵ ^{jk}	۲۸/۳۳ ^{de}	۰/۹۲ ^{de}	۶/۶۹ ^{de}	۱/۲۶ ^{de}	۵/۴۳ ^{ef}	۸/۵۰ ^k	S _۱	I _۲
۰/۷۷ ^{f-i}	۲۶/۳۴ ^d	۱/۰۵ ^d	۷/۶۹ ^{cd}	۱/۶۳ ^{cd}	۶/۰۳ ^{de}	۱۱/۶۶ ^{b-f}	S _۲	I _۲
۰/۷۸ ^{e-i}	۲۳/۴۸ ^e	۱/۳۶ ^c	۸/۹۳ ^c	۲/۰۹ ^{bc}	۶/۸۴ ^c	۱۱/۴۱ ^{b-f}	S _۳	I _۲
۰/۷۹ ^{d-i}	۲۱/۳۲ ^f	۱/۴۷ ^c	۹/۹۴ ^b	۲/۳۷ ^b	۷/۵۷ ^b	۱۱/۱۶ ^{f-i}	S _۲	I _۲
۰/۶۹ ^l	۳۷/۵۶ ^a	۱/۴۲ ^c	۵/۴۷ ^e	۰/۹۹ ^f	۴/۴۸ ^{fg}	۶/۵۰ ^k	S _۱	I _۲
۰/۷۳ ^k	۳۴/۳۹	۱/۹۳ ^c	۵/۹۴ ^d	۱/۱۳ ^e	۴/۸۱ ^f	۱۰/۳۳ ^{f-i}	S _۲	I _۲
۰/۷۵ ^{jk}	۲۹/۹۰ ^{cd}	۲/۵۲ ^{ab}	۸/۳۶ ^{cd}	۱/۴۱ ^{cd}	۵/۷۵ ^e	۹/۹۵ ^{g-i}	S _۳	I _۲
۰/۷۶ ^{ij}	۲۵/۸۰ ^{de}	۲/۸۲ ^a	۸/۲۰ ^{cd}	۱/۶۷ ^{cd}	۶/۵۳ ^d	۹/۵۷ ^{h-j}	S _۲	I _۲

=S_۲ = آبیاری کامل، I_۲ = قطع آبیاری پس از ۵۰٪ گل‌دهی، I_۳ = قطع آبیاری در ابتدای گل‌دهی، S_۱ = محلول‌پاشی با آب مقطر، S_۳ = محلول‌پاشی با عصاره جلبک دریایی ۰/۵ گرم در لیتر، S_۲ = محلول‌پاشی با عصاره جلبک دریایی ۱ گرم در لیتر، S_۴ = محلول‌پاشی با عصاره جلبک دریایی ۲ گرم در لیتر، در هر ستون، میانگین‌های با حداقل یک حرف مشترک، اختلاف معنی‌داری در سطح ۵٪ ندارند.

جدول ۳. مقایسه میانگین اثر تنش خشکی بر صفات مورفوفیزیولوژیک ریحان

تنش خشکی	وزن خشک ریشه (گرم در گلدان)	وزن خشک برگ (گرم در گلدان)	کاروتنوئید برگ		محتوای نسبی آب برگ (%)
			سطح برگ (میلی‌متر مربع در گلدان)	کارتوتنوئید برگ (میلی‌گرم بر گرم وزن تازه)	
آبیاری کامل	۲/۳۷ ^a	۳/۹۷ ^a	۱۴۰۷ ^a	۰/۴۰ ^a	۹۳ ^a
قطع آبیاری در ۵۰٪ گل‌دهی	۱/۹۱ ^b	۳/۳۹ ^b	۱۲۶۹ ^b	۰/۳۵ ^b	۷۸ ^b
قطع آبیاری در ابتدای گل‌دهی	۱/۸۱ ^c	۲/۸۸ ^c	۱۱۱۹ ^c	۰/۲۴ ^c	۵۸ ^c

در هر ستون، میانگین‌های با حداقل یک حرف مشترک، اختلاف معنی‌داری در سطح ۵٪ ندارند.

کاهش در رشد گیاه در شرایط تنش خشکی شدید و قطع آبیاری در مرحله رشد زایشی حاصل شد. در طول دوره تنش، سطح کل برگ برای هر گیاه به‌طور معنی‌داری کاهش می‌یابد و کاهش سطح برگ در اثر تنش آبی، دلیل اصلی کاهش عملکرد است. اثر تنش خشکی بر کاهش ماده خشک، کلروفیل a و b

صفات ذکر شده در محلول‌پاشی گیاهان ریحان با غلظت ۲ گرم در لیتر عصاره جلبک دریایی و کمترین مقدار در گیاهان محلول‌پاشی نشده به‌دست آمد (جدول ۳). نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که با افزایش تنش خشکی کلیه صفات رویشی روند کاهشی داشتند و بیشترین

قندهای محلول، پرولین، محتوای نسبی آب برگ نعنای فلفلی (۲۲) و بادرنجبویه (۳) نیز گزارش شده است.

در اثر تنش خشکی، شاخص‌های رشد رویشی در ریحان کاهش یافت زیرا تنش خشکی باعث اختلال در تقسیم میتوزی در سلول‌های گیاهی می‌شود. از سوی دیگر، کاهش در فشار آماس باعث کاهش رشد، توسعه و طول شدن سلول و کاهش در ارتفاع گیاه، سطح برگ و رشد محصول می‌شود (۲، ۱۹ و ۲۱). کاهش مقدار آب آبیاری و تنش ناشی از آن موجب کاهش پتانسیل آب بافت‌های مریستمی در طول روز شده که موجب کاهش پتانسیل فشاری به‌حدی کمتر از میزان لازم برای بزرگ شدن سلول‌ها شده و سبب کاهش رشد می‌شود (۱۴ و ۳۰). همچنین، کاهش در توسعه برگ در اثر تنش خشکی سبب کاهش فتوسنتز می‌شود. صدمه به دستگاه فتوسنتزی پیری برگ‌ها را به جلو می‌اندازد و باعث ریزش آنها می‌شود که در نتیجه باعث کاهش عملکرد گیاه می‌شود (۲۳). محلول‌پاشی عصاره جلبک دریایی باعث بهبود رشد گیاهان ریحان در شرایط تنش خشکی شد که این را می‌توان به افزایش توان گیاه برای مقابله با تنش از طریق افزایش رشد ریشه، افزایش میزان فتوسنتز جذب بیشتر عناصر غذایی مانند پتاسیم و فسفر و همچنین افزایش عناصر ریزمغذی و هورمون‌های گیاهی مانند اکسین، سیتوکینین و اسید آبسازیک نسبت داد (۱۸).

با افزایش شدت تنش خشکی، از میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی ریحان کاسته شد (جدول ۲) و بیشترین مقدار کلروفیل *a*، کلروفیل *b* و کلروفیل کل در گیاهان در شرایط بدون تنش و محلول‌پاشی شده با غلظت ۲ گرم در لیتر از عصاره جلبک دریایی حاصل شد و کمترین مقدار آنها نیز در گیاهان شاهد در تیمار تنش قطع آبیاری در ابتدای رشد زایشی به‌دست آمد. اثر تنش خشکی در کاهش میزان کلروفیل در ریحان (۱۹)، بادرنجبویه (۳۹) و نعنای (۲۹) نیز گزارش شده است. تنش منجر به افزایش غلظت تنظیم‌کننده‌های رشد مانند اسید آبسازیک و اتیلن می‌شود که تحریک‌کننده آنزیم کلروفیل‌لاز هستند و به این

ترتیب کلروفیل تحت تأثیر این آنزیم تجزیه می‌شود (۳۳). علاوه بر این، تنش خشکی باعث ایجاد تغییرات در رنگ‌دانه‌های فتوسنتزی (۲)، تخریب سیستم فتوسنتزی (۱۵) و کاهش فعالیت آنزیم‌های چرخه کلورین می‌شود که عوامل مهمی در کاهش عملکرد محصولات هستند (۲۵). محلول‌پاشی عصاره جلبک دریایی باعث جلوگیری از کاهش شدید رنگیزه‌های فتوسنتزی مانند کلروفیل *a*، کلروفیل *b* و کلروفیل کل در گیاه ریحان در اثر تنش خشکی شد و اثر این کود زیستی در شرایط تنش شدید، یعنی قطع آبیاری در ابتدای گل‌دهی، چشمگیرتر بود. استفاده از عصاره جلبک دریایی *A. nodosum* در گوجه‌فرنگی در شرایط تنش خشکی باعث افزایش کلروفیل کل شد (۱۶). این کود زیستی، با افزایش رشد ریشه و تداوم جذب آب مانع از کاهش بیش از حد رشد و کاهش سطح برگ شده و این امر سبب تداوم فتوسنتز گیاه ریحان شد. افزایش هورمون‌های رشد گیاهی مانند سیتوکینین و جلوگیری از تجزیه کلروفیل از طریق کاهش فعالیت آنزیم کلروفیل‌لاز را می‌توان به استفاده از این کود زیستی نسبت داد (۴۵ و ۴۶). اثر جلبک دریایی در افزایش رشد و به‌ویژه در شرایط تنش‌های محیطی، را به محرک‌های رشد موجود در جلبک دریایی شامل سایتوکینین‌های ترانس زاتین، مواد اکسینی (۱۱)، افزایش میزان کلروفیل توسط بتائین و مواد شبه‌بتائین (۹) یا ممانعت از تخریب کلروفیل (۴۵ و ۴۶) نسبت داده‌اند.

با افزایش تنش خشکی، میزان نشت الکترولیت از غشاءهای سلولی ریحان افزایش یافت. با افزایش شدت تنش خشکی، نشت مواد الکترولیتی از غشای سلولی افزایش یافت و بیشترین مقدار آن (۳۷/۶ درصد) در گیاهان محلول‌پاشی نشده در شرایط تنش آبی در مرحله ابتدایی رشد زایشی و کمترین میزان نشت مواد از غشای سلولی (۱۷/۷ درصد) نیز در گیاهان محلول‌پاشی شده با غلظت ۲ گرم در لیتر از عصاره جلبک دریایی در تیمار آبیاری کامل به‌دست آمد. گونه‌های فعال اکسیژن به‌شدت واکنش‌پذیر بوده و برعکس اکسیژن اتمسفری می‌تواند ترکیبات سلولی مانند پروتئین‌ها، لیپیدها، DNA و

پروکلین در شرایط تنش خشکی منجر به کاهش سنتز کلروفیل می‌شود (۲۹). تجمع پروکلین در اثر تنش خشکی در نتیجه سنتز پروکلین در بافت‌های مختلف، ممانعت از اکسیداسیون پروکلین و جلوگیری از شرکت پروکلین در ساخت پروتئین‌ها است (۴۷). با افزایش شدت تنش خشکی، از میزان رنگیزه کاروتنوئید کاسته شده، به طوری که بیشترین میزان کاروتنوئید (۰/۴۰ میلی‌گرم بر گرم وزن تازه) در گیاهان ریحان پرورش‌یافته در شرایط آبیاری کامل حاصل شد و کمترین مقدار این صفت (۰/۲۴ میلی‌گرم بر گرم وزن تازه) در گیاهانی حاصل شد که از ابتدای دوره رشد زایشی آبیاری آنها قطع شده بود (جدول ۳). تیمار با عصاره جلبک دریایی نیز به طور معنی‌داری میزان کاروتنوئید را در برگ‌های ریحان افزایش داد و بیشترین میزان کاروتنوئید (۵/۰۸ میلی‌گرم بر گرم وزن تازه) در گیاهان محلول‌پاشی‌شده با غلظت ۲ گرم در لیتر از عصاره جلبک دریایی تولید شد که پس از گیاهان تحت تیمار با غلظت ۱ میلی‌مولار از این ماده با تولید ۴/۱ میلی‌گرم بر گرم وزن تازه کاروتنوئید قرار داشتند و گیاهان محلول‌پاشی‌نشده کمترین مقدار (۲/۱ میلی‌گرم بر گرم وزن تازه) کاروتنوئید را در خود سنتز کردند (جدول ۴).

نتایج این پژوهش نشان داد که با افزایش تنش خشکی، محتوای نسبی آب برگ گیاهان ریحان کاهش یافت. به طوری که بیشترین محتوای نسبی آب برگ (۹۳٪) در گیاهان شاهد و کمترین مقدار آن (۵۸٪) در گیاهان تحت تنش قطع آبیاری در ابتدای رشد زایشی اندازه‌گیری شد. کاهش سرعت فتوسنتز برگ‌ها با کاهش محتوای نسبی آب و پتانسیل آبی برگ همراه است (۲۲). از آنجایی که برای انجام فتوسنتز، توسعه سطح برگ و تبادلات گازی، باز بودن روزنه‌ها ضروری است، بنابراین در اثر کمبود آب و بسته‌شدن روزنه‌ها تبادلات گازی کاهش یافته، دی‌اکسید کربن کمتری در دسترس گیاهان قرار می‌گیرد و شدت فتوسنتز کاهش می‌یابد. کاهش فتوسنتز منجر به کاهش رشد و عملکرد تولیدی گیاهان خواهد شد (۳۵). محلول‌پاشی گیاهان ریحان با غلظت ۲ گرم در لیتر عصاره

RNA را اکسید کنند. تجمع گونه‌های فعال اکسیژن باعث کاهش دفاع آنتی‌اکسیداتیو و بروز تنش اکسیداتیو در پروتئین‌ها، لیپیدهای غشاء و سایر اجزای سلول می‌شود (۳۶). پایداری غشای سلولی تحت تنش خشکی به‌منزله یک شاخص مهم تحمل به خشکی ذکر شده است. در حقیقت، نشت الکترولیت نیز می‌تواند به‌منزله یک شاخص مناسب دیگر از چگونگی آسیب‌های وارده به غشای سلولی یاخته‌های برگ طی دوره تنش خشکی مطرح باشد (۶). محلول‌پاشی عصاره جلبک دریایی باعث کاهش نشت یونی از غشای سلولی در شرایط تنش خشکی شد. عصاره جلبک دریایی با حفظ محتوای نسبی آب در گیاه از تغییرات آب سلول‌های گیاهی جلوگیری کرده و بر این اساس غشاءهای سلولی کمتر در معرض آسیب‌های تنش اکسیداتیو ناشی از تنش کم‌آبی قرار گرفته و تمامیت غشای سلولی محافظت می‌شود (۴۵). استفاده از عصاره جلبک دریایی در شرایط تنش خشکی باعث تقویت سیستم آنتی‌اکسیدانی گیاه و کاهش پراکسیداسیون غشاء نسبت به حالت شاهد می‌شود (۱۲).

با افزایش شدت تنش خشکی، میزان پروکلین افزایش یافته و بیشترین مقدار آن (۸/۶۳ میکروگرم بر گرم وزن تازه) در گیاهان محلول‌پاشی‌شده با غلظت ۲ میلی‌مولار عصاره جلبک دریایی در شرایط تنش آبی در مرحله ابتدای رشد زایشی حاصل شد و کمترین مقدار پروکلین (۰/۹۸ میکروگرم بر گرم وزن تازه) نیز در گیاهان محلول‌پاشی‌نشده در تیمار آبیاری کامل حاصل شد. افزایش میزان پروکلین در گیاهان ریحان یکی از سازوکارهای تنظیم اسمزی برای کاهش آثار زیان‌بار تنش خشکی است (۳۱). تنظیم اسمزی آسیب‌دهیدراتیو در محیط‌هایی با محدودیت آب را از طریق فرایندهای فیزیولوژیک و حفظ مستمر آماس سلول به تأخیر می‌اندازد (۲۳ و ۳۴). از بین املاح سازگار، تجمع آزاد پروکلین پاسخ متداول گیاهان عالی، جلبک‌ها، جانوران و باکتری‌ها به پتانسیل آب کم است. از آنجایی که کلروفیل و پروکلین هر دو از پیش‌ماده متحرکی به‌نام گلوتامات سنتز می‌شوند، بنابراین می‌توان گفت که افزایش سنتز

جدول ۴. مقایسه میانگین اثر عصاره جلبک دریایی بر صفات مورفوفیزیولوژیک ریحان

عصاره جلبک دریایی	وزن خشک ریشه (گرم در گلدان)	وزن خشک برگ (گرم در گلدان)	سطح برگ (میلی‌متر مربع در گلدان)	کاروتنوئید برگ (میلی‌گرم بر گرم وزن تازه)	محتوای نسبی آب برگ (%)
شاهد	۱/۷۶ ^d	۲/۸۹ ^{cd}	۱۲۴۴ ^d	۲/۱۰ ^d	۵۵ ^d
۰/۵ گرم در لیتر	۲/۰۳ ^c	۳/۰۳ ^c	۱۳۴۴ ^c	۳/۲۰ ^{cd}	۶۱ ^c
۱ گرم در لیتر	۲/۳۷ ^{ab}	۳/۴۷ ^{ab}	۱۴۰۰ ^{ab}	۴/۱۷ ^{bcd}	۷۲ ^b
۲ گرم در لیتر	۳/۴۷ ^a	۳/۷۳ ^a	۱۴۲۹ ^a	۵/۰۸ ^a	۸۴ ^a

در هر ستون، میانگین‌های با حداقل یک حرف مشترک، اختلاف معنی‌داری در سطح ۵٪ ندارند.

نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از این آزمایش بیانگر آثار نامطلوب تنش خشکی در کاهش شاخص‌های رشد و محتوای رنگیزه‌های فتوسنتزی، ایجاد تنش اکسایشی، تخریب غشای سلولی و کاهش محتوای نسبی آب در گیاه ریحان بود و محلول‌پاشی با عصاره جلبک دریایی با بهبود روابط آبی، جلوگیری از تجزیه کلروفیل، حفظ آماس برگ، حفظ پایداری غشا و کاهش نشت یونی سبب افزایش رشد گیاهان ریحان در شرایط تنش خشکی شدید شد.

جلبک دریایی به‌ترتیب با مقدار RWC برابر ۸۴٪ بیشترین و گیاهان محلول‌پاشی‌نشده با RWC برابر ۵۵٪ کمترین محتوای نسبی آب برگ را داشتند (جدول ۴). نتایج برخی پژوهش‌ها نشان داده که کاربرد عصاره جلبک دریایی در شرایط تنش‌های محیطی اثربخشی بیشتری نسبت به شرایط بدون تنش برای گیاهان دارد (۱۷، ۴۲ و ۴۳). کاربرد عصاره جلبک دریایی در گیاهانی مانند کاهو، فلفل، کرفس، خربزه، مریم‌گلی و گوجه‌فرنگی نیز محتوای نسبی آب برگ و میزان فتوسنتز را به‌طور معنی‌داری افزایش داده است (۲۴، ۳۱ و ۴۶). استفاده از عصاره جلبک دریایی *A. nodosum* در گوجه‌فرنگی، در شرایط تنش خشکی، باعث افزایش کلروفیل کل شد (۱۶).

منابع مورد استفاده

1. Alam, M.Z., G. Braun, J. Norrie and D.M. Hodges. 2013. Effect of *Ascophyllum* extract application on plant growth, fruit yield and soil microbial communities of strawberry. *Can. J. Plant Sci.* 93: 23–36.
2. Anjum, F., M. Yaseen, E. Rasul, A. Wahid and S. Anjum. 2003. Water stress in barley (*Hordeum vulgare* L.). I. Effect on chemical composition and chlorophyll contents. *Pak. J. Agric. Sci.* 40: 45–49.
3. Ardekani, M., B. Abbaszadeh, A. Sharifi Ashorabadi, M. Lebaschi, P. Moaveni and F. Mohabbati. 2010. Influence of drought tension on growth indices of Lemon balm (*Melissa officinalis* L.). *Plant Ecosys.* 6: 47–58.
4. Arnon, D.I. 1949. Physiological principles of dry land crop production. PP. 3–14. In: Gupta, U. S. (Ed.), *Physiological Aspects of Dry Land Farming*, Oxford Press.
5. Arthur G.D., W.A. Stirk and J.V. Staden. 2003. Effect of a seaweed concentrate on the growth and yield of three varieties of *Capsicum annum*. *South Afr. J. Bot.* 69: 207–211.
6. Bajji, M., J. Kinet and S. Lutts. 2002. The use of the electrolyte leakage method for assessing cell membrane stability as a water stress tolerance test in durum wheat. *Plant Growth Regul.* 36: 61–70.
7. Bates, I., R. Waldern and I. Tear. 1973. Rapid determination of free proline for water stress studies. *Plant Soil* 93: 205–207.
8. Bilal, A., N. Jahan, A. Ahme. S. Bilal, S.H. Habib and S. Hajra. 2012. Phytochemical and pharmacological studies on *Ocimum basilicum* - A review. *Int. J. Curr. Res. Rev.* 4: 73–83.
9. Blunden, G., T. Jenkins and Y. Liu. 1996. Enhanced leaf chlorophyll levels in plants treated with seaweed extract. *J. Appl. Phycol.* 8: 535–543.

10. Chouliaras, V., M. Tasioula, C. Chatzissavvidis, I. Theriosa and E. Tsabolatidou. 2009. The effects of a seaweed extract in addition to nitrogen and boron fertilization on productivity, fruit maturation, leaf nutritional status and oil quality of the olive (*Olea europaea* L.) cultivar Koroneiki. J. Food Sci. Agric. 89: 984–988.
11. Crouch, I. and J. Van Staden. 1993. Evidence for the presence of plant growth regulators in commercial seaweed products. Plant Growth Regul. 13: 21–29.
12. ElAnsary, H.O., K. Skalicka-Woźniak and I.W. King. 2016. Enhancing stress growth traits as well as phytochemical and antioxidant contents of *Spiraea* and *Pittosporum* under seaweed extract treatments. Plant Physiol. Biochem., 5: 310–320.
13. Fan, D., M. Hodges, J. Zhang, C.W. Kirby, X. Ji, S.J. Locke, A.T. Critchley and B. Prithiviraj. 2011. Commercial extract of the brown seaweed *Ascophyllum nodosum* enhances phenolic antioxidant content of spinach (*Spinacia oleracea* L.) which protects *Caenorhabditis elegans* against oxidative and thermal stress. Food Chem. 124: 195–202.
14. Farooq, M., S.M.A. Basra, A. Wahid and H. Rehman. 2009. Exogenously applied nitric oxide enhances the drought tolerance in fine grain aromatic rice. J. Agron. Crop Sci. 195: 254–261.
15. Fu, J. and B. Huang. 2001. Involvement of antioxidants and lipid peroxidation in the adaptation of two cool-season grasses to localized drought stress. Environ. Exp. Bot. 45: 105–114.
16. Goñi, O., A. Fort, P. Quille, P.C. McKeown, C. Spillane and S. O'Connell. 2016. Comparative transcriptome analysis of two *Ascophyllum nodosum* extract biostimulants: Same seaweed but different. J. Agric. Food Chem. 64: 2980–2989.
17. Guinan, K.J., N. Sujeeth, R.B. Copeland, P.W. Jones, N.M. O'Brien, H.S.S. Sharma, P.J.F. Prouteau and J.T. O'Sullivan. 2013. Discrete roles for extracts of *Ascophyllum nodosum* in enhancing plant growth and tolerance to abiotic and biotic stress. Acta Hort. 1009: 127–135.
18. Haghparast, M., S. Maleki-Farahani, J.M. Sinaki and G. Zarei. 2012. Mitigation of drought stress in chickpea through application of humic acid and seaweed extract. Crop Prod. Environ. Stress 4: 59–71.
19. Hassani, A. and R. Omidbaigi. 2002. Effect of water stress on some morphological, physiological and metabolic characteristics of basil. Agric. Sci. 12: 47–99. (In Persian)
20. Hernández-Herrera, R.M., F. Santacruz-Ruvalcaba, M.A. Ruiz-López, J. Norrie and G. Hernández-Carmona. 2014. Effect of liquid seaweed extracts on growth of tomato seedlings (*Solanum lycopersicum* L.). J. Appl. Phycol. 26: 619–628.
21. Hussain, M., M.A. Malik, M. Farooq, M.Y. Ashraf and M.A. Cheema. 2008. Improving drought tolerance by exogenous application of glycinebetaine and salicylic acid in sunflower. J. Agron. Crop Sci. 194: 193–199.
22. Izadi, Z., M. Asnaashari and G. Ahmadvand. 2009. Influence of drought stress on yield, proline content, soluble sugars, chlorophyll, relative water content and essential oil in peppermint (*Mentha piperita* L.). Iran. J. Hort. Sci. 10: 223–234. (In Persian)
23. Jaleel, C.A., P. Manivannan and A. Wahid. 2009. Drought stress in plants: A review on morphological characteristics and pigments composition. Int. J. Agric. Biol. 11: 100–105.
24. Kumari, R., I. Kaur and A.K. Bhatnagar. 2011. Effect of aqueous extract of *Sargassum Johnstonii* Setchell & Gardner on growth, yield and quality of *Lycopersicon esculentum* Mill. J. Appl. Phycol. 23: 623–633.
25. Ladjal, M., D. Epron and M. Ducrey. 2000. Effects of drought preconditioning on thermo tolerance of photosystem II and susceptibility of photosynthesis to heat stress in cedar seedlings. Tree Physiol. 20: 1235–1241.
26. Lawlor, D. and G. Cornic. 2002. Photosynthetic carbon assimilation and associated metabolism in relation to water deficits in higher plants. Plant Cell Environ. 25: 275–294.
27. MacKinnon, S.A., C.A. Craft, D. Hiltz and R. Ugarte. 2010. Improved methods of analysis for betaines in *Ascophyllum nodosum* and its commercial seaweed extracts. J. Appl. Phycol. 22: 489–494.
28. Mattner, S.W., D. Wite, D.A. Riches, I.J. Porter and T. Arioli. 2013. The effect of kelp extract on seedling establishment of broccoli on contrasting soil types in southern Victoria, Australia. Biol. Agric. Hort. 29: 258–270.
29. Mishra, A.K. and V.P. Singh. 2010. A review of drought concepts. J. Hydrol. 391(1): 202–216.
30. Mizanzadeh, H. and Y. Imam. 2010. Investigation of indices of leaf area, height, photosynthetic rate, stomatal conductance of four species of wheat under the drought stress Ecophysiol. Agric. Plants 2: 111–121.
31. Neily, W., L. Shishkov, S. Nickerson, D. Titus and J. Norrie. 2010. Commercial extracts from the brown seaweed *Ascophyllum nodosum* (Acadian) improves early establishment and helps resist water stress in vegetable and flower seedlings. HortSci. 45: 234–240.
32. Norrie, J. and J. Keathley. 2006. Benefits of *Ascophyllum nodosum* marine-plant extract applications to 'Thompson seedless' grape production. Acta Hort. 727: 243–245.
33. Orabi, S.A., S.R. Salman and M.A. Shalaby. 2010. Increasing resistance to oxidative damage in cucumber (*Cucumis sativus* L.) plants by exogenous application of salicylic acid and paclobutrazol. J. Agric. Sci. 6: 252–259.
34. Perez, J.G., J.P. Syvertsen, P. Botia and F. Garcia-Sanchez. 2007. Leaf water relations and net gas exchange

- responses and salinized zocarricitrage seedlings during drought stress and recovery. *Ann. Bot.* 100: 335–345.
35. Prasad, K., M.D. Das, H. Oza, A.K. Brahmabhatt, R. Siddhanta, K. Meena, M.R. Eswaran, A. Rajyaguru and P.K. Ghosh. 2010. Detection and quantification of some plant growth regulators in a seaweed-based foliar spray employing a mass spectrometric technique sans chromatographic separation. *J. Agric. Food Chem.* 58: 4594–4601.
36. Reddy, A.R., K.V. Chaitanya and M. Vivekanandan. 2004. Drought-induced responses of photosynthesis and antioxidant metabolism in higher plants. *J. Plant Physiol.* 161: 1189–1202.
37. Redman, R., J. Haraldson and L. Gusta. 1986. Leakage of UV-absorbing substances as a measure of salt injury in leaf tissue of woody species. *Physiol. Plant.* 67: 87–91.
38. Ritchie, S. and H. Nguyen. 1990. Leaf water content and gas exchange parameters of two wheat genotypes differing in drought resistance. *Crop Sci.* 30: 105–111.
39. Safikhani, F. 2006. Investigation of physiological aspects of drought resistance in Dragonhead (*Dracocephalum moldavica* L.). PhD Thesis, Ramin Higher Education Agriculture and Natural Resources, Shahid Chamran University, Ahvaz. (In Persian)
40. Sarhan, T.Z., S.T. Ali and S.M.S. Rasheed. 2011. Effect of bread yeast application and seaweed extract on cucumber (*Cucumis sativus* L.) plant growth, yield and fruit quality. *J. Agric.* 39: 26–34.
41. Serraj, R. and T.R. Sinclair. 2002. Osmolyte accumulation: Can it really help increase crop yield under drought conditions? *Plant Cell Environ.* 25: 333–341.
42. Spann, T.M. and H.A. Little. 2011. Applications of a commercial extract of the brown seaweed *Ascophyllum nodosum* increases drought tolerance in container-grown 'Hamlin' sweet orange nursery trees. *HortSci.* 46: 577–582.
43. Sridhar, S. and R. Rengasamy. 2011. Potential of seaweed liquid fertilizers (SLFS) on some agricultural crop with special reference to protein profile of seedlings. *Int. J. Dev. Res.* 7: 55–57.
44. Taiz, L. and E. Zeiger. 2006. *Plant Physiology*. 4th Ed., Sinauer Associates Inc. Publishers, Massachusetts.
45. Whapham, C., G. Blunden, T. Jenkins and S. Hankins. 1993. Significance of betaines in the increased chlorophyll content of plants treated with seaweed extract. *J. Appl. Phycol.* 5: 231–234.
46. Xu, C. and D. Leskovar. 2015. Effects of *A. nodosum* seaweed extracts on spinach growth, physiology and nutrition valued under drought stress. *Sci. Hort.* 183: 39–47.
47. Zhou, Y., H.M. Lam and J. Zhang. 2007. Inhibition of photosynthesis and energy dissipation induced by water and high light stresses in rice. *J. Exp. Bot.* 58: 1207–1217.
48. Zodape, S.T., S. Mukhopadhyay, K. Eswaran, M.P. Reddy and J. Chikara. 2010. Enhanced yield and nutritional quality in green gram (*Phaseolus radiata* L.) treated with seaweed (*Kappaphycus alvarezii*) extract. *J. Sci. Indus. Res.* 69: 468–471.

Effects of Seaweed Extract on Physiological and Biochemical Characteristics of Basil (*Ocimum basilicum* L.) under Water-Deficit Stress Conditions

B. Esmailpour^{1*}, H. Fatemi¹ and M. Moradi¹

(Received: 13 January 2019; Accepted: 4 June 2019)

Abstract

Drought stress is one of the most important restricting factors for plant yield in arid and semi-arid regions. Seaweed extract, as a biofertilizer, enhances plant resistance against abiotic stresses *via* accelerating seed germination, root growth enhancement and uptake of plant nutrients. The present research was carried out to investigate the effects of foliar spraying of *Ascophyllum nodosum* seaweed extract on physiological and biochemical characteristics of basil (*Ocimum basilicum* L.), Shahre-ray local cultivar, under drought-stress conditions, as a factorial experiment, based on completely randomized design with three replications. Experimental factors included drought stress (full irrigation (control), irrigation holding at first stage of flowering, irrigation holding at 50% of flowering) and foliar spraying of different concentrations of seaweed extract (0, 0.5, 1 and 2 g/L). Control plants were sprayed with distilled water. Results indicated that as drought-stress intensity was increased, morphological traits such as number of lateral shoots, fresh and dry weights of plant, number of leaves, leaf area, root dry weight and biochemical parameters such as chlorophyll *a*, chlorophyll *b*, total chlorophyll, carotenoid content and relative water content of leaves were reduced, while free proline content of leaves and electrolyte leakage from cell membranes were increased. Foliar spraying of 2 g/L seaweed extract significantly reduced the effects of drought stress on basil plants. In general, the results of this research indicated that exogenous application of seaweed extract enhanced basil plant growth under drought-stress conditions *via* increasing proline content, osmotic adjustment, inhibition of chlorophyll degradation and decreasing the electrolyte leakage.

Keywords: Drought stress, Proline, Basil, Chlorophyll, Seaweed extract, Electrolyte leakage.

1. Dept. of Hort. Sci., Univ. of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.

* Corresponding Author, Email: behsmaiel@yahoo.com