گل و گیاهان زینتی (۱۴۰۳)، ۹(۲): ۳۷۵-۳۹۶

مقاله پژوهشی

اثرهای جلبک اسپیرولینا و جلبک قهوه‌ای بر تحمل به تنش شوری کلم زینتی رقم Kamome (*Brassica oleraceae* L.)

سجاد راشیدی کردکندی، میترا اعلائی*، زهرا قهرمانی، فهیمه صالحی

گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان، زنجان

maelaei@znu.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۶/۲۴، تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۱۱/۲۰، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۱/۲۳

چکیده

کلم زینتی (*Brassica oleraceae* L.) از تیره Brassicaceae می‌باشد. افزایش بیش از اندازه نمک‌ها یکی از مهم‌ترین تنش‌های محیطی است که بر رشد و نمو گیاهان اثر می‌گذارد. بنابراین یافتن راهی برای کاهش این تنش و امکان کشت در این نوع خاک‌ها ضروری است. بدین منظور جهت بررسی اثر عصاره جلبک اسپیرولینا (*Arthrospira platensis*) و جلبک قهوه‌ای (*Polycladia indica*) بر کاهش اثر تنش شوری در گیاه کلم زینتی، پژوهشی در گلخانه دانشکده کشاورزی زنجان به صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی انجام گرفت. فاکتور اول تنش شوری آب در دو سطح (چهار و هشت دسی-زیمنس بر متر) به همراه عدم تنش شوری و فاکتور دوم شامل عدم کاربرد جلبک، جلبک قهوه‌ای و جلبک اسپیرولینا به میزان دو درصد در چهار تکرار انجام شد. صفات مورفوفیزیولوژیک شامل: تعداد برگ، شاخص سطح برگ، وزن تر و خشک ریشه، وزن تر بوته، کلروفیل کل، آنتی‌اکسیدان، فنول کل، درصد نشت یونی، پرولین، آنزیم پراکسیداز، درصد سدیم و پتاسیم اندازه‌گیری شد. نتایج این پژوهش نشان داد که اثر اصلی تنش شوری و جلبک بر تمامی صفات و برهمکنش شوری و جلبک نیز در برخی صفات نظیر تعداد برگ، وزن تر و خشک ریشه، فنول کل، میزان سدیم و پتاسیم معنی‌دار شد. براساس نتایج مقایسه میانگین طی تیمار جلبک شاخص سطح برگ با میانگین ۴۲/۵۲ سانتی‌متر و وزن تر بوته با میانگین ۱۵۳/۳۳ گرم در بوته و وزن تر و خشک ریشه به ترتیب با میانگین‌های ۱۷/۴۲ و ۶/۴۴ گرم در بوته بیش‌ترین میزان را نسبت به تیمار شاهد نشان دادند. همچنین در شرایطی که گیاه تحت تنش شوری قرار گرفت، میزان سدیم اندام هوایی افزایش یافت ولی با کاربرد جلبک اثرات تجمع سدیم در گیاه تعدیل و غلظت این عنصر تا حدی کاهش یافت. این در حالی بود که در همین سطح شوری، کاربرد جلبک اسپرولینا و قهوه‌ای به طور معنی‌داری میزان سدیم اندام هوایی را کاهش داد. نتایج این پژوهش نشان داد که شوری موجب القای اثرات منفی بر خصوصیات مورفوفیزیولوژیکی در کلم زینتی شد. در بین دو نوع جلبک، جلبک اسپیرولینا واکنش بهتری در کلم زینتی نشان داد و اثر تنش شوری را کاهش داد. به عبارتی در سطوح بالای تنش شوری می‌توان با کاربرد جلبک از خسارت ناشی از تنش شوری جلوگیری کرد.

واژه‌های کلیدی: اسپرولینا، پراکسیداز، تنش شوری، جلبک، کلم‌زینتی.

[DOI: 10.61882/flowerjournal.9.2.377]

مقدمه

اعضای جنس کلم[۱] که شامل بسیاری از گونه‌های گیاهی مهم اقتصادی است امروزه مصارف گسترده‌ای در زمینه‌های مختلف دارند (Warwik, 2011). یکی از گونه‌های این جنس کلم زینتی با نام علمی *Brassica oleracea* L.، گیاهی دو ساله است که در ایران طی سالیان اخیر به دلیل داشتن اندام‌های هوایی رنگی و دوام بالا و مقاومت خوب به شرایط بد محیطی به ویژه سرما به منزله‌ی یک گیاه زینتی در فضای سبز بیشتر شهرها مورد توجه زیادی قرار گرفته است (Taqi Zedah & Solgi, 2014; Mortazavi *et al*., 2015).

یکی از گسترده‌ترین تهدیدات محیطی و از مهم‌ترین مشکلات زیست محیطی قرن بیست و یکم شوری خاک است. با توجه به افزایش جمعیت و به دنبال آن افزایش نیاز غذایی و از طرفی کافی نبودن زمین‌های کشاورزی، این تنش جزء موارد حائز اهمیت می‌باشد که باید مورد بررسی قرار گیرد (Sharma, 2023; Arora, 2019) که اثرات زیانباری بر عملکرد گیاه و کیفیت محصول دارد. تنش شوری می‌تواند فشار اسمزی داخل یاخته را افزایش داده و باعث تجمع سدیم تا حد سمی گردد و همچنین باعث عدم تعادل تغذیه‌ای و هورمونی در گیاه شود (Zhao *et al*., 2021; Hasanuzzaman & Fujita, 2022). در حال حاضر دو روش برای کاهش شوری خاک وجود دارد: استفاد از مواد افزودنی و کودهای زیستی به منظور ترمیم خاک و استفاده از بیوتکنولوژی برای رشد انواع گیاهان مقاوم به شوری (Sharma, 2023). براساس آمار، امروزه یک پنجم مناطق کشاورزی تحت تاثیر شوری خاک قرار دارند. تقریباً ۸۳۱ میلیون هکتومتر مربع خاک در سراسر جهان در معرض خطر شوری قرار دارد (Ding *et al*., 2023). اثرات منفی عمده شوری که باعث انواع تغییرات فیزیولوژیک و متابولیک در گیاهان می‌گردد شامل اختلال در جوانه‌زنی، مهار فرآیندهای نورساخت، کمبود آب و در نهایت کاهش رشد و نمو گیاه می‌باشد (Hawrylak-Nowak *et al*., 2021; Munns, 2011).

طی پژوهشی مشاهده شد که پس از تیمار گیاه کلم زینتی با سطوح شوری (چهار و هشت دسی‌زیمنس بر متر)، ارتفاع بوته، تعداد برگ، وزن تر و خشک بوته و ریشه به طور معنی‌داری کاهش یافت (Aelaei *et al*., 2021). از این رو به کارگیری روش‌های افزایش تحمل گیاهان به اثرات ناشی از تنش شوری، می‌تواند در دستیابی به تولید پایدار در کشاورزی موثر باشد (Jayakannan *et al*., 2015).

جلبک‌ها به عنوان یک کود بیولوژیکی می‌توانند به منظور افزایش عملکرد و بهره‌برداری در کشاورزی مورد استفاده قرار گیرند (Prakash *et al*., 2014). در کشاورزی مدرن کاربرد محرک‌های زیستی مانند عصاره جلبک دریایی قهوه‌ای[۲] سبب کاهش تاثیرات تنش‌های زیستی غیرزنده به گیاه می‌شود (Stirk *et al*., 2020). این جلبک دارای اسمولیت‌هایی مانند مانیتول است که به عنوان یک ترکیب محافظ مهم در پاسخ به تنش‌های غیرزیستی است (MacKinnon *et al*., 2010). عصاره جلبک، ترکیبی پیچیده از هورمون‌های گیاهی، برازینواستروئیدها، بتائین، پلی آمین،عناصر غذایی کم مصرف و پرمصرف می‌باشد. وجود ترکیبات متنوع شیمیایی در عصاره جلبک موجب بهبود رشد گیاه و عملکرد آن می‌گردد (Stirk *et al*., 2020). اسپیرولینا[۳]، یک ریزجلبک چند یاخته ای و رشته‌ای سبز-آبی است که تحت شوری و سطح کربنات بالا نیز می‌تواند رشد کند (Abu-Taweel *et al*.,

۱- *Brassica* ۲- *Polycladia indica* ۳- *Arthrospira platensis*

[DOI: 10.61882/flowerjournal.9.2.377]

2019). این جلبک متشکل از ۷۰-۶۰٪ پروتئین، کربوهیدرات (۳۰ ٪)، چربی (هشت درصد)، منبع غنی از ویتامین‌ها به ویژه ویتامین B_{12}، مواد معدنی (آهن، روی، سلنیوم، منیزیوم، کروم، مس، فسفر، منگنز و سدیم) و همچنین دارای γ لینولیک اسید (GLA) است (Zanganeh *et al*., 2020). این جلبک در آب و هوای گرم و دریاچه‌های آتشفشانی قلیایی وجود دارد و توانایی رشد در خاک‌های غیرقابل استفاده و غیرقابل کشت را دارد (Bajji *et al*., 2002). جلبک‌ها ، به علت داشتن ساختار رشته‌ای باعث افزایش تخلخل خاک و به دلیل ساختار ژله‌ای سبب تولید مواد چسبنده، افزایش گنجایش نگهداری آب خاک و کاهش شوری خاک می‌شوند (Sridhar & Rengasamy., 2011). نتایج پژوهش‌های مختلف نشان داد که کاربرد عصاره جلبک در گیاه رازک (Afonso *et al*., 2021) و گیاه سورگوم (Sofy *et al*., 2017) باعث افزایش عملکرد گیاهان شد. در واقع جلبک‌های دریایی به دلیل داشتن هورمون‌های رشدی مانند اکسین، سیتوکینین، اتیلن و جیبرلین و همچنین عناصر غذایی متفاوت، تاثیرات مفید بسیاری روی گیاهان دارند و باعث بهبود مقاومت به تنش‌های محیطی از قبیل خشکی، شوری و تنش گرمایی می‌شوند (Sayari zahan *et al*., 2022). با توجه به افزایش تخریب اراضی در اثر شور شدن، در مناطق خشک و نیمه خشک، هدف از انجام این پژوهش تاثیر دو نوع جلبک بر کاهش تنش شوری در رشد و نمو گیاه کلم زینتی بود، بنابراین در این مطالعه سعی شد تا واکنش این گیاه به نوع جلبک در شرایط تنش شوری مورد مقایسه قرار گیرد و تاثیر جلبک‌ها در کاهش اثرات تنش شوری در این گیاه بررسی شود.

مواد و روش‌ها

این پژوهش به منظور مطالعه تأثیر جلبک‌ها بر صفات مورفوفیزیولوژیکی کلم زینتی رقم Kamome (پیچ‌دار) تحت تیمار تنش شوری (سدیم کلراید) به صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با چهار تکرار در گلخانه قله‌ای (شیروانی) پژوهشی گروه علوم باغبانی دانشکده کشاورزی دانشگاه زنجان انجام شد. فاکتور اول شامل دو سطح شوری آب (چهار و هشت دسی‌زیمنس بر متر) و عدم تنش شوری و فاکتور دوم شامل سه سطح از جلبک (عدم کاربرد جلبک، جلبک قهوه‌ای و جلبک اسپیرولینا به میزان ۲ ٪ بود. از ترکیب خاک، کوکوپیت، پرلیت به نسبت یکسان به منظور کشت بذر گیاه کلم در سینی‌های کشت استفاده شد. آبیاری سینی‌های کشت روزی یک بار صورت گرفت. شرایط محیطی مناسب جهت جوانه‌زنی و رشد و نمو این گیاه شامل تهویه مناسب، دمای بین ۲۰-۱۵ درجه سلسیوس، رطوبت نسبی بالا و نور کامل حدود شش تا هشت ساعت می‌باشد. پس از ظهور برگ‌های سوم و چهارم، دانهال‌ها در خاک باغچه، خاک برگ و کود دامی (به نسبت‌های مساوی) درون گلدان‌هایی با قطر ۱۵ سانتی‌متر و ارتفاع ۱۳ سانتی‌متر مستقر شدند. قبل از اعمال تیمار، خاک گلدان و آب آبیاری تجزیه و آنالیز شد (جدول ۱ و ۲). چهار هفته بعد از استقرار، تیمارهای شوری (سدیم کلراید) از طریق آب آبیاری در غلظت‌های چهار و هشت دسی‌زیمنس بر متر به همراه عدم تیمار شوری به عنوان تیمار شاهد، سه بار در هفته اعمال گردید. لازم به ذکر است که برای جلوگیری از تجمع نمک و افزایش بیش از حد EC گلدان‌ها، هر هفته یکبار میزان EC خاک اندازه‌گیری شد و در صورت تجمع نمک، آبشویی (با آب معمولی آبیاری) صورت گرفت. با گذشت یک هفته از اعمال تنش شوری، تیمار دوم که شامل استفاده از جلبک می‌باشد به میزان دو درصد به خاک گلدان‌ها اضافه شد. برای تهیه عصاره جلبکی ۵۰۰ گرم از پودر جلبک خریداری شده از بانک جلبک ایران (شرکت توسعه ذخایر زیستی جلبک‌های فارس)، با ۵۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر به مدت ۶۰ دقیقه در دمای ۱۰۰ درجه جوشانده شد و در نهایت بعد از جوشاندن، حجم عصاره به میزان ۵۰۰ میلی‌لیتر تعیین شد. پس

[DOI: 10.61882/flowerjournal.9.2.377]

از عبور از صافی عصاره حاصل به عنوان ۱۰۰ ٪ در نظر گرفته شد (Tavallali *et al*., 2009). پس از گذشت دوره رشدی گیاه، ویژگی‌های مورفوفیزیولوژیکی آن شامل: تعداد برگ در هر بوته، شاخص سطح برگ، وزن تر بوته، وزن تر و خشک ریشه، سبزینه کل، درصد نشت یونی، فنول کل، میزان آنتی‌اکسیدان برگ، آنزیم پراکسیداز، پرولین، میزان سدیم و پتاسیم مورد اندازه‌گیری قرار گرفت. در این راستا به‌منظور اندازه‌گیری تعداد برگ‌های هر بوته، تعداد برگ توسعه یافته در هر بوته تا زمان اتمام رشد، شمارش شد. به منظور اندازه‌گیری سطح برگ، ابتدا سه برگ از قسمت‌های مختلف گیاه (از قسمت مرکزی بالای گیاه، وسط بوته و نزدیک به طوقه) انتخاب و جداسازی شد. سپس با استفاده از اسکنر (مدل CanoScan Lide 120) برگ‌ها را اسکن نموده و به کمک نرم افزار Digimizer سطح برگ محاسبه و میانگین‌گیری شد. برای تعیین وزن تر بوته و همچنین وزن تر و خشک ریشه‌ها، بعد از جدا کردن اندام هوایی، ریشه‌های هر بوته را به طور مجزا کامل شسته و وزن تر اندام هوایی و همچنین وزن تر هر ریشه توسط ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۰۱ گرم قرائت شد. سپس برای اندازه‌گیری وزن خشک ریشه، نمونه‌ها را در آون به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۵۰ درجه سلسیوس خشک و سپس وزن آن‌ها به کمک ترازو قرائت شد (Ashraf & McNeilly, 2004). میزان سبزینه با استفاده از روش Arnon (1949) اندازه‌گیری شد. به منظور اندازه‌گیری فنول و آنتی‌اکسیدان عصاره گیری به روش Bedreag و همکاران (2014) صورت گرفت و اندازه‌گیری فنول کل به روش فولین سیو-کالچو (Meda *et al*., 2005) و آنتی‌اکسیدان به روش DPPH (Ozen *et al*., 2012) محاسبه شد. میزان درصد نشت یونی نیز به روش Ben Hamed و همکاران (2007) و میزان سدیم و پتاسیم نیز به روش Chapman & Pratt (1982) اندازه‌گیری شد.

جدول ۱- ویژگی های خاک گلدان‌های مورد استفاده در آزمایش پیش از کاربرد تیمار.

Table 1- Soil characteristics of the pots used in the experiment before treatment.

شن(sand) (٪)	سیلت (Silt) (٪)	رس (Clay) (٪)	کربن آلی (Organic carbon)(٪)	نیتروژن (N) (٪)	هدایت الکتریکی (EC) (dSm^{-1})	pH	فسفر (p) ($mgkg^{-1}$)	پتاسیم (K) ($mgkg^{-1}$)
39	21	12	1.6	0.19	1.12	7.1	10.7	11

جدول ۲- نتایج تجزیه آب آبیاری مورد استفاده در آزمایش قبل از کاربرد تیمار.

Table 2- Characteristics of the irrigation water used in the experiment before treatment.

pH	هدایت الکتریکی EC(dSm^{-1})	کل جامدات محلول TDS (mgL^{-1})	جامدات معلق TSS (mgL^{-1})	نسبت جذب سدیم SAR $(mmolL^{-1})^{0.5}$
7.2	0.2	35	0	0.10

اندازه‌گیری پرولین

برای اندازه‌گیری پرولین از روش Bates و همکاران (1973) و با اندکی تغییر استفاده شد. مقدار ۰/۱ گرم نمونه تازه از برگ کلم زینتی با استفاده از نیتروژن مایع خرد شده و با دو میلی‌لیتر سولفوسالیسیلیک سه درصد همگن گردید. پس از ۲۰ دقیقه با سرعت ۲۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ گردید. ۰/۵ میلی‌لیتر از روشناور به همراه دو میلی‌متر اسید نین هیدرین و دو میلی‌لیتر اسید استیک به مدت یک ساعت در حمام آب گرم ۱۰۰ درجه سلسیوس قرار داده شد و واکنش در داخل یخ به پایان رسید.

[DOI: 10.61882/flowerjournal.9.2.377]

سپس با اضافه کردن دو میلی‌لیتر تولوئن جذب مایع رنگی حاوی پرولین در طول موج ۵۲۰ نانومتر با دستگاه اسپکتروفتومتر اندازه‌گیری شد و میزان پرولین با استفاده از منحنی‌های استاندارد پرولین محاسبه شد.

$$\text{Prolin (µmol/g fw)} = \frac{prolin\left(\frac{\mu g}{ml}\right)\times Toluene\ (ml)/115.5}{gr\ sample/5} \quad (۱)$$

فعالیت آنزیم پراکسیداز

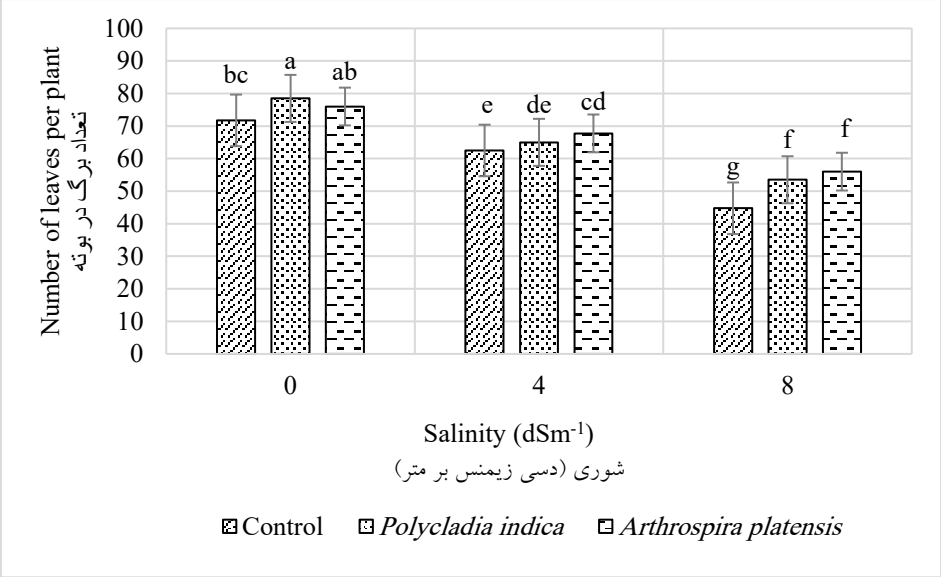
جهت اندازه‌گیری آنزیم پروکسیداز، یک گرم از نمونه برگ گیاه کلم زینتی را به کمک نیتروژن مایع به همراه سه میلی‌لیتر بافر استخراج فسفات پتاسیم (pH= ۷) با غلظت ۲۰۰ میلی‌مولار در هاون سابیده و عصاره‌ی حاصله، به مدت ۳۰ دقیقه با دور ۱۵۰۰۰ دور در دقیقه و در دمای چهار درجه سلسیوس سانتریفیوژ گردید. از پیش‌ماده گایاکول برای سنجش فعالیت آنزیم پروکسیداز استفاده شد. در این روش ۱۳۰ میکرولیتر بافر استخراج، ۲۸۰ میکرولیتر گایاکول ۴۵ میلی‌مولار، ۲۸۰ میکرولیتر پراکسید هیدروژن ۰/۲۲۵ و ۱۰ میکرولیتر از عصاره آنزیمی در کوت ریخته شد و کوت درون اسپکتروفتومتر قرار داده شد و منحنی تغییرات جذب در طول موج ۴۷۰ نانومتر هر ۱۰ ثانیه یک بار به مدت ۱۸۰ ثانیه به روش طیف سنجی نوری (اسپکتروفتومتری JENWAY مدل UV-6505) در دمای آزمایشگاه (۲۵ درجه سلسیوس) قرائت شد (Dhindsa *et al*., 1981). تجزیه و تحلیل آماری داده‌های حاصل از این پژوهش، با استفاده از نرم‌افزار SAS 9.1.4 انجام شد و جهت مقایسه میانگین‌ها، آزمون دانکن در سطح احتمال یک و پنج درصد مورد استفاده قرار گرفت. رسم نمودار به کمک نرم‌افزار Excel انجام شد.

بحث و نتایج

تعداد برگ‌های هر بوته

بررسی‌ها نشان داد که اثر اصلی و متقابل تنش شوری و کاربرد جلبک بر تعداد برگ در کلم زینتی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین برهمکنش نشان داد که بیشترین تعداد برگ با میانگین ۷۸/۵ مربوط به کاربرد جلبک قهوه‌ای در تیمار عدم تنش شوری بود یعنی با حضور جلبک میزان رشد گیاه و تعداد برگ آن نسبت به شاهد افزایش یافت از طرفی کمترین میزان نیز با میانگین ۴۴/۷۵ مربوط به تیمار عدم کاربرد جلبک در تنش شوری ۸ دسی زیمنس بر متر بود که نشان‌دهنده اثر سوء شوری بر رشد و نمو گیاه است (شکل ۱). در واقع زمانی که گیاه تحت تنش شوری قرار می‌گیرد شرایطی همانند خشکی فیزیولوژیک در گیاه رخ می‌دهد که این امر منجر به عدم جذب آب و عناصر غذایی شده و در نهایت رشد و تولید برگ را کاهش می‌دهد به طوری که اولین پاسخ گیاهان در برابر کاهش آب در گیاهچه در اثر خشکی طبیعی و چه در اثر خشکی فیزیولوژیکی که در اثر افزایش پتانسیل اسمزی محلول خاک رخ می‌دهد، کاهش رشد در اندام‌های گیاهی و بخصوص در تعداد و سطح برگ است (Fahimi, 2016). اما با استفاده از جلبک دریایی به منظور تقویت گیاه به دلیل خاصیت جلبک در فراهمی و جذب بیشتر عناصر غذایی، منجر به تعدیل این اثرات سوء می‌گردد. مشابه نتایج این پژوهش طی پژوهش صورت گرفته بر روی گیاه مریم گلی تحت تیمار عصاره جلبکی، میزان رشد رویشی این گیاه افزایش یافت (El Kaoaua *et al*., 2013).

[DOI: 10.61882/flowerjournal.9.2.377]



شکل ۱- برهمکنش تنش شوری و جلبک بر تعداد برگ در کلم زینتی. میانگین‌های دارای حرف مشترک در سطح احتمال ۱٪ آزمون دانکن تفاوت معنی‌داری ندارند.

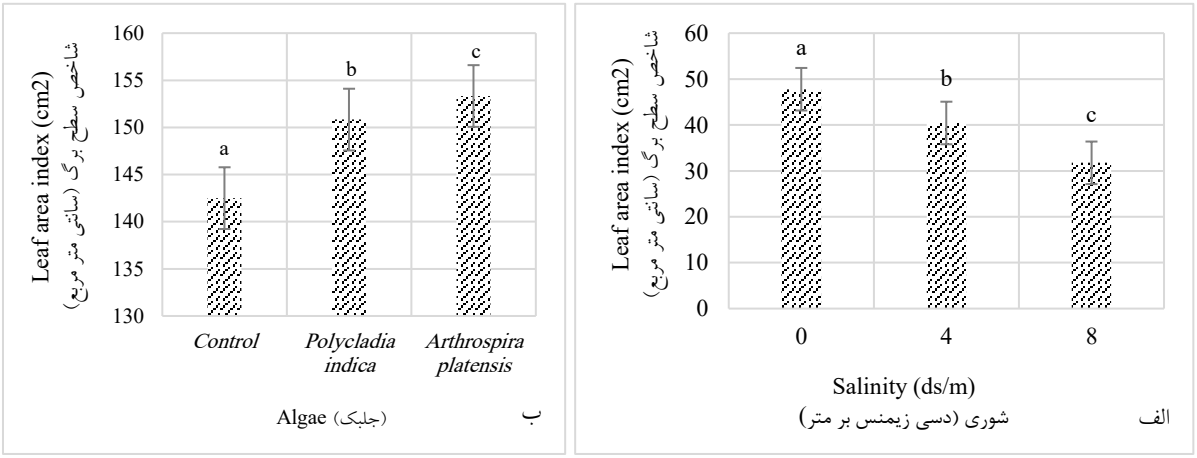
Figure 1- Interaction effect of salinity stress and algae on the number of leaves in ornamental cabbage, means with least one letter in common are not significantly different at Duncan's 1% probability level.

شاخص سطح برگ

نتایج تجزیه واریانس ارائه شده در جدول سه نشان داد که اثر اصلی شوری و کاربرد جلبک بر سطح برگ گیاه کلم زینتی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد. نتایج مقایسه میانگین اثر اصلی تنش شوری نشان داد که بالاترین میزان سطح برگ با میانگین ۴۱/۷۸ سانتی‌متر مربع مربوط به تیمار عدم تنش شوری بود که نسبت به تیمار شوری هشت دسی‌زیمنس بر متر برتری معنی‌داری داشت (شکل ۳). در مورد اثر اصلی کاربرد جلبک نیز بالاترین میزان سطح برگ با میانگین۴۲/۵۲ سانتی متر مربع مربوط به تیمار جلبک قهوه‌ای بود که نسبت به تیمار کنترل، جلبک قهوه‌ای توانست اختلاف معنی‌داری را در میزان سطح برگ نشان دهد (شکل ۳). سطح برگ یکی از شاخص‌های مهم در بسیاری از مطالعات زراعی، اکولوژیکی و فیزیولوژیکی است که نشان دهنده سطح نورساخت کننده، تجمع ماده خشک و انتقال انرژی توسط پوشش گیاهی است (Selvam and Sivakumar, 2013; Thambiraj *et al*., 2012). سطح برگ گیاهان به عنوان یک عامل اساسی در فرآیندهای مهم رشد و نمو گیاه به تنش‌های محیطی پاسخ می‌دهند (Azmat *et al*., 2009). طی پژوهشی صورت گرفته مشاهده شد که میزان توسعه سطح برگ تحت تاثیر غلظت یون‌های سدیم و کلر قرار می‌گیرند (Bohnert & Jensen, 1996). در واقع کاهش سرعت رشد برگ‌ها بعد از اعمال شوری عمدتاً به علت اثر اسمزی نمک در اطراف ریشه می‌باشد که باعث از دست دادن آب برگ‌ها می‌شود و در نتیجه با گذشت زمان، سرعت تقسیم و طویل شدن یاخته‌ها کاهش یافته و نهایتاً این تغییرات منجر به کوچک‌تر شدن اندازه نهایی برگ می‌گردد (Munns & Gilliham, 2015). در همین راستا Laiq و همکاران (2018) گزارش نمودند که در کشت هیدروپونیک گوجه فرنگی اثر شوری محلول غذایی، به صورت کاهش سطح برگ ظاهر شده است. همانطور که در این پژوهش مشاهده شد تنش شوری تا حد زیادی سبب کاهش شاخص سطح برگ شد اما با محلول‌پاشی عصاره‌های جلبکی اثرات منفی جبران و

[DOI: 10.61882/flowerjournal.9.2.377]

شاخص سطح برگ افزایش یافت. در پژوهشی اثر عصاره جلبک بر روی بادام زمینی مورد بررسی قرار گرفت و مشاهده شد که عصاره جلبک دریایی همانند نتایج این پژوهش موجب افزایش سطح برگ در مقایسه با تیمار شاهد شد (Selvam & Sivakumar, 2013). همچنین Shahbazi و همکاران (2015) نیز بیان نمودند که در گیاه گندم میزان سطح برگ با اعمال عصاره جلبک[1] در غلظت ۲/۵ ٪ نسبت به گیاه شاهد رشد چشم‌گیری داشته است که با نتایج پژوهش ما همخوانی دارد.



شکل۲- اثرهای تنش شوری (الف) و جلبک (ب) بر شاخص سطح برگ در کلم زینتی. میانگین‌های دارای حرف مشترک در سطح احتمال ۱٪ آزمون دانکن تفاوت معنی‌داری ندارند.

Figure 2- The effects of salinity stress (A) and algae (B) on the amount of leaf area index of ornamental cabbage. means with least one letter in common are not significantly different at Duncan's 1% probability level.

جدول ۳- تجزیه واریانس اثر تنش شوری و جلبک بر صفات مورفوفیزیولوژیکی کلم زینتی.

Table 3- Analysis of variance effect of salinity stress and algae on morphophysiological traits of Ornamental Cabbage.

سبزینه کل Total chlorophyll	وزن خشک ریشه Dry weight of root	وزن تر ریشه Wet weight of root	وزن تر بوته Wet weight of plant	شاخص سطح برگ Leaf area index	تعداد برگ هر بوته Number of leaves per plant	درجه آزادی df	منابع تغییرات S.O.V
0.003**	55.08**	59.70**	3563.19**	772.26**	1739.11**	2	شوری Salinity
0.005**	4.73**	29.27**	386.11**	190.38**	169.36**	2	جلبک Algae
0.0005^{ns}	0.35**	0.97**	29.86^{ns}	15.35^{ns}	22.19*	4	شوری×جلبک Salinity × Algae
0.007	0/50	1.88	56.94	16.36	13.08	27	خطا Error

۱- *Ulva fasciata* L.

[DOI: 10.61882/flowerjournal.9.2.377]

ضریب تغییرات (٪) C.V (%)	8.9	10.7	5.83	5.06	10.11	5.65	-

ns، ** و * به ترتیب بدون معنی، معنی دار در سطح احتمال یک و پنج درصد می‌باشد.

ns, ** and *: non-significant, significant at $p\leq0.01$ and $p\leq0.05$, respectively.

وزن تر بوته

نتایج تجزیه واریانس ارائه شده در جدول سه نشان داد که اثر اصلی شوری و کاربرد جلبک بر وزن تر بوته گیاه کلم زینتی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد. نتایج مقایسه میانگین اثر اصلی تنش شوری نشان داد که بالاترین وزن تر بوته با میانگین ۱۶۳/۷۵ گرم در بوته مربوط به تیمار عدم تنش شوری و کمترین میزان نیز با میانگین ۱۳۰/۰۰ گرم در بوته مربوط به تیمار تنش شوری هشت دسی‌زیمنس بر متر بود (شکل ۳). در مورد اثر اصلی کاربرد جلبک نیز بالاترین میزان وزن تر بوته با میانگین ۱۵۳/۳۳ گرم در بوته مربوط به تیمار جلبک اسپرولینا و کمترین میزان نیز با میانگین ۱۴۲/۵۰ گرم در بوته مربوط به تیمار شاهد بود (شکل ۳). با اعمال تنش شوری به‌دلیل خاصیت اسمزی و عدم جذب آب و عناصر غذایی میزان نورساخت کاهش می‌یابد در نتیجه به دنبال آن رشد گیاه نیز کمتر می‌گردد (Parihar *et al*., 2015). در واقع زمانی که گیاه در معرض تنش شوری قرار می‌گیرد تمامی مکانیسم‌های رشدی گیاه دچار اختلال شده و فشار اسمزی افزایش یافته و کمبود مواد مغذی صورت می‌گیرد و در نتیجه سیستم گسترش اندام‌هوایی گیاه نیز به دنبال آن کاهش می‌یابد (Alqarawi *et al*., 2014). طی پژوهشی که بر روی گیاه کلم زینتی صورت گرفت تنش شوری سبب کاهش وزن تر بوته شد که با نتایج این پژوهش همخوانی داشت (Aelaei *et al*., 2021). بررسی نتایج مربوط به تاثیر غلظت‌های مختلف عصاره جلبک بر روی گیاه کارلا[1] نشان از تاثیر معنی‌داری آن بر وزن بوته و تعداد شاخه‌های جانبی در این گیاه بود (Amini Fard & Khandan, 2017). همچنین پژوهشی که بر روی گیاه ارزن[2] تحت تاثیر عصاره جلبک قرمز[3] صورت گرفت نشان داد که غلظت‌های مختلف این جلبک (۲/۵، ۵، ۷/۵ و ۱۰ ٪) موجب افزایش وزن تر و خشک در گیاه شد (Shridevi & Paul, 2014). محلول‌پاشی عصاره جلبک دریایی باعث بهبود رشد گیاهان ریحان در شرایط تنش شد که این را می‌توان به افزایش توان گیاه برای مقابله با تنش از طریق افزایش رشد ریشه، افزایش میزان نورساخت و جذب بیشتر عناصر غذایی مانند پتاسیم و فسفر و همچنین افزایش عناصر ریزمغذی و هورمون‌های گیاهی مانند اکسین، سیتوکینین و اسید آبسیزیک نسبت داد (Haghparast *et al*., 2012). مطالعات مختلف علمی ثابت کرد که کارایی فرآورده‌های حاصل از جلبک‌های دریایی به‌طور گسترده‌ای باعث افزایش تولید محصول در واحد سطح گردیده است (Sunarpi *et al*., 2010). در مطالعه‌ای روی خیار، اثر عصاره جلبک‌دریایی بررسی شد و نتایج نشان داد که استفاده از عصاره‌های جلبک دریایی با کمپوست، رشد رویشی و عملکرد خیار را بهبود بخشید (Ahmad & Shlaby, 2012).

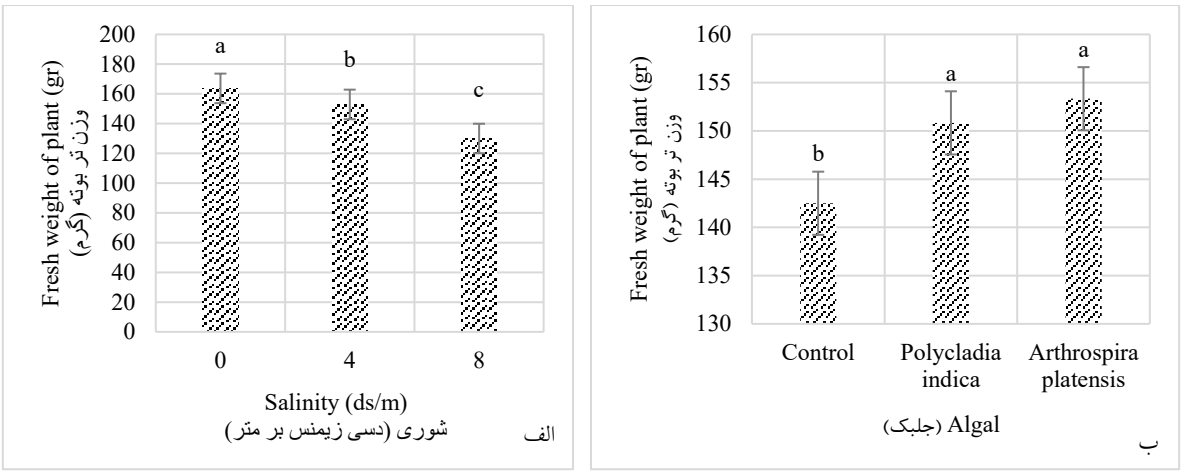
وزن تر و خشک ریشه

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر اصلی شوری و کاربرد جلبک بر وزن تر و خشک ریشه گیاه کلم زینتی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین اثر اصلی تنش شوری نشان داد که بالاترین وزن تر و خشک ریشه به ترتیب با میانگین ۱۸/۴۳ و ۸/۳۵ گرم در بوته مربوط به تیمار عدم تنش شوری و کمترین میزان نیز به ترتیب با میانگین

۱- *Momordica charantia* ۲- *Pennisetum glaucum* ۳- *Gracilaria dura*

[DOI: 10.61882/flowerjournal.9.2.377]

۱۴/۰۰ و ۴/۱۰ گرم در بوته مربوط به تیمار تنش شوری هشت دسی زیمنس بر متر بود (جدول ۵). نتایج مقایسه میانگین اثر اصلی کاربرد جلبک نیز نشان داد که بیشترین وزن تر و خشک ریشه به ترتیب با میانگین ۱۷/۴۲ و ۶/۴۴ گرم در بوته مربوط به کاربرد جلبک اسپرولینا و کمترین میزان نیز با میانگین ۱۴/۳۶ و ۵/۳۴ گرم در بوته مربوط به تیمار عدم کاربرد جلبک بود (جدول ۵).



شکل۳- اثرهای تنش شوری (الف) و جلبک (ب) بر وزن تر بوته در کلم زینتی. میانگین‌های دارای حرف مشترک در سطح احتمال ۱٪ آزمون دانکن تفاوت معنی‌داری ندارند.

Figure 3- The effects of salinity stress (A) and algae (B) on the amount of fresh weight of ornamental cabbage. means with least one letter in common are not significantly different at Duncan's 1% probability level.

ریشه‌ها به عنوان سطوح جذب‌کننده‌ی آب و مواد غذایی تأثیر بسیار زیادی در جذب آب و املاح گوناگون دارند و عوامل مختلف محیطی از طریق تأثیر بر ریشه بر رشد گیاه نیز اثر می‌گذارند. عدم توسعه و گسترش مناسب سیستم ریشه‌ای باعث کاهش سطوح جذب‌کننده مواد غذایی، تغییر در ساختار غشاء یاخته ای و کاهش جذب و محتوای آب می‌شود که این امر به فرآیندهای فیزیولوژیکی مانند تعرق، تنفس و نورساخت اثر گذاشته و در پایان موجب کاهش رشد سایر قسمت‌های گیاه از جمله زیست توده و سطح برگ می‌شود (Sharma & Dubey, 2005). در مورد اثر تنش شوری بر گیاه کلم[۱] گزارش شده که در این شرایط طول اندام هوایی و ریشه، وزن تر و خشک ریشه کاهش پیدا کرده است (Sing & Sing, 2014). آزمایش‌های مختلف ثابت کرده که عصاره جلبک دریایی، زمانی که به خاک اضافه گردد و یا زمانی که به صورت افشانه برگی در بسیاری از گیاهان مانند غلات، حبوبات، گیاهان دارویی و درختان میوه مورد استفاده قرار گیرد، موجب بهبود عملکرد کلی در محصول می‌گردد (Anisimov *et al*,.2013; Paul & Shridevi, 2014). عصاره جلبک دریایی حاوی میزان زیادی پروتئین و اسید آمینه می‌باشد (Anantharaj & Venkatesalu, 2001). و این اسیدهای آمینه به طور مستقیم و غیرمستقیم بر فعالیت‌های فیزیولوژیک، رشد و نمو گیاه موثر واقع می‌گردند (Faten *et al*., 2010). طی بررسی‌های صورت گرفته روی فرآیند ریشه‌زایی در گیاه کلم زینتی مشاهده شد که استفاده از عصاره جلبک دریایی موجب افزایش معنی‌دار در رشد ریشه شد (Hooshmand *et al*., 2022).

۱- *Brassica oleracea* var. Capitata

[DOI: 10.61882/flowerjournal.9.2.377]

جدول ۴- تجزیه واریانس اثر تنش شوری و جلبک بر صفات فیزیولوژیک کلم زینتی.

Table 4- Analysis of variance effect of salinity stress and algae on physiologic traits of ornamental cabbage.

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	درصد نشت یونی Ion leakage percentage	فنول کل Total phenol	آنتی‌اکسیدان Antioxidants	آنزیم پروکسیداز Peroxidase	پرولین Proline	سدیم Na	پتاسیم K
شوری Salinity	2	2427.64**	0.002**	750.94**	0.004**	76261.44**	0.18**	2294.70**
جلبک Algae	2	69.48*	0.0004**	128.15**	0.0003*	7498.36**	0.04*	298.84**
شوری×جلبک Salinity × Algae	4	16.07ns	0.0001**	4.42ns	0.00001ns	864.94ns	0.004**	22.34**
خطا error	27	18.4	0.0002	6.54	0.00002	646.00	0.0007	24.04
ضریب تغییرات C.V (%)	-	10.2	9.25	5.71	10.17	24.87	6.34	7.62

ns، ** و * به ترتیب بدون معنی، معنی‌دار در سطح احتمال یک و پنج درصد می‌باشد.

ns, ** and *: non-significant, significant at $p\leq0.01$ and $p\leq0.05$, respectively

جدول ۵- اثر تنش شوری و جلبک بر صفات مورفوفیزیولوژیک کلم زینتی.

Table 5. The effect of salinity stress and algae on morphophysiological traits of ornamental cabbage.

تیمارها Treatments	وزن تر ریشه Wet weight of root (g)	وزن خشک ریشه Dry weight of root (g)	سبزینه کل Total chlorophyll (mg/g fw)	درصد نشت یونی Ion leakage percentage (%)	آنتی‌اکسیدان Antioxidant (µmol/g fw)	آنزیم پراکسیداز Peroxidase enzyme (µmol/g fw)
شوری (دسی‌زیمنس بر متر) Salinity						
0	18.43a	8.35a	0.035a	28.23c	36.68c	0.02c
4	15.77b	5.75b	0.029b	42.26b	45.10b	0.04b
8	14.00c	4.10c	0.025c	56.67a	52.49a	0.06a
جلبک Algae						
شاهد Control	14.36b	5.34b	0.023b	45.14a	48.53a	0.05a
جلبک قهوه‌ای *Polycladia indica*	16.42a	6.42a	0.031a	40.68b	42.89b	004b
جلبک اسپیرولینا *Arthrospira platensis*	17.42a	6.44a	0.034a	41.33b	42.84b	0.04b

حروف مشابه در هر ستون نشان‌گر عدم تفاوت معنای‌دار در سطح احتمال یک درصد براساس آزمون دانکن می‌باشد.

In each column, similar letters indicate no significant difference at Duncan's 1% probability level.

[DOI: 10.61882/flowerjournal.9.2.377]

درصد نشت یونی

بررسی‌ها نشان داد که اثر اصلی تنش شوری و کاربرد جلبک بر نشت یونی معنی‌دار شد (جدول ۴). نتایج مقایسه میانگین اثر اصلی تنش شوری نشان داد که میزان درصد نشت یونی در هر دو تنش شوری افزایش می‌یابد ولی بیشترین میزان با میانگین ۵۶/۶۷ ٪ مربوط به تیمار تنش شوری هشت دسی‌زینمس بر متر بود (جدول ۴). نتایج مقایسه میانگین اثر اصلی کاربرد جلبک نشان داد که بیشترین میزان درصد نشت یونی با میانگین ۴۵/۱۴ ٪ مربوط به تیمار عدم کاربرد جلبک و کمترین میزان با میانگین ۴۰/۶۸ ٪ مربوط به کاربرد جلبک قهوه‌ای بود (جدول ۵). در تنش‌هایی نظیر شوری، خشکی، دمای بالا و پایین، گونه‌های فعال اکسیژن تولید شده و سبب القای تنش اکسیداتیو می‌گردند که به دلیل اثرات مخربشان روی اجزای یاخته ای و متابولیسم گیاهی مضر هستند. گونه‌های فعال اکسیژن موجب آسیب به لیپیدهای غشایی و تغییر در نفوذپذیری آن‌ها شده و باعث افزایش نشت مواد از عرض غشاهای زیستی می‌گردند، بنابراین حفظ همبستگی غشا در افزایش مقاومت به تنش نقش مهمی دارد (Sudhakar *et al.,* 2001; Shim *et al*., 2003). لذا، اندازه‌گیری آلدئیدهای تولید شده در طی پراکسیداسیون لیپیدها و اندازه‌گیری میزان نشت یونی شاخص خوبی برای اندازه‌گیری میزان آسیب اکسیداتیو وارد شده به غشا می‌باشد (Bandeoglu *et al.,* 2004). افزایش نشت یونی در نتیجه افزایش سطوح شوری در اسفناج (Kaya *et al*, 2001) و کلم (Jamil *et al*., 2006) گزارش شده است. عصاره جلبک دریایی سبب حفظ محتوای نسبی آب در گیاه می‌گردد و از تغییرات آب یاخته‌های گیاهی جلوگیری می‌کند در نتیجه سبب جلوگیری از آسیب به غشای یاخته ای در اثر تنش می‌گردد و بنابراین از تمامیت غشای یاخته ای محافظت می‌کند (Vohjodi Mehrabani & Valizadeh Kamran., 2021). نتایج برخی از پژوهش‌ها نشان داده که کاربرد عصاره جلبک دریایی در شرایط تنش‌های محیطی اثر بخشی بیشتری نسبت به شرایط بدون تنش برای گیاهان دارد (Spann & Little, 2011; Sridhar & Rengasamy, 2011).

سبزینه کل

در بررسی صورت گرفته، تغییرات سبزینه کل تحت تاثیر اثرات اصلی تنش شوری و کاربرد جلبک در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۴). نتایج مقایسه میانگین اثر اصلی تنش شوری نشان داد که بالاترین میزان برای سبزینه کل با میانگین ۰/۰۳۵ میلی‌گرم بر گرم وزن تر مربوط به تیمار عدم تنش شوری و کمترین میزان برای این صفت نیز با میانگین ۰/۰۲۵ میلی‌گرم بر گرم وزن تر مربوط به تیمار تنش شوری هشت دسی زیمنس بر متر بود (جدول ۵). نتایج مقایسه میانگین اثر اصلی کاربرد جلبک نشان داد که بالاترین میزان با میانگین ۰/۰۳۴ میلی‌گرم بر گرم وزن تر مربوط به تیمار کاربرد جلبک اسپرولینا و کمترین میزان نیز با میانگین ۰/۰۲۳ میلی‌گرم بر گرم وزن تر مربوط به تیمار شاهد بود (جدول ۵). طی پژوهش های صورت گرفته گزارش شد در اثر تنش شوری به دلیل افزایش مقدار اتیلن و در نتیجه افزایش فعالیت آنزیم سبزینهاز میزان سبزینه کاهش چشمگیری پیدا کرد. در واقع هورمون اتیلن، باعث تجزیه سبزینه و کلروپلاست می‌گردد به عبارتی باعث باز شدن حلقه‌های پورفیرینی سبزینه شده و مواد سمی حاصل از این تجزیه به واکوئل منتقل و باعث از بین رفتن رنگ سبز برگ می‌گردد (Parida *et al*; 2004). در یک بررسی در ارتباط با کاربرد عصاره جلبک دریایی بر مقدار سبزینه برگ گیاه *Swainsona formosa* نشان داده شد که این عصاره از طریق حفظ پایداری غشا سبب افزایش مقدار سبزینه برگ گردید (Shen & Jensen, 2008). به نظر می‌رسد که مصرف عصاره‌ی جلبک دریایی از طریق افزایش غلظت عناصر ماکرو مانند نیتروژن باعث افزایش شاخص سبزینه

[DOI: 10.61882/flowerjournal.9.2.377]

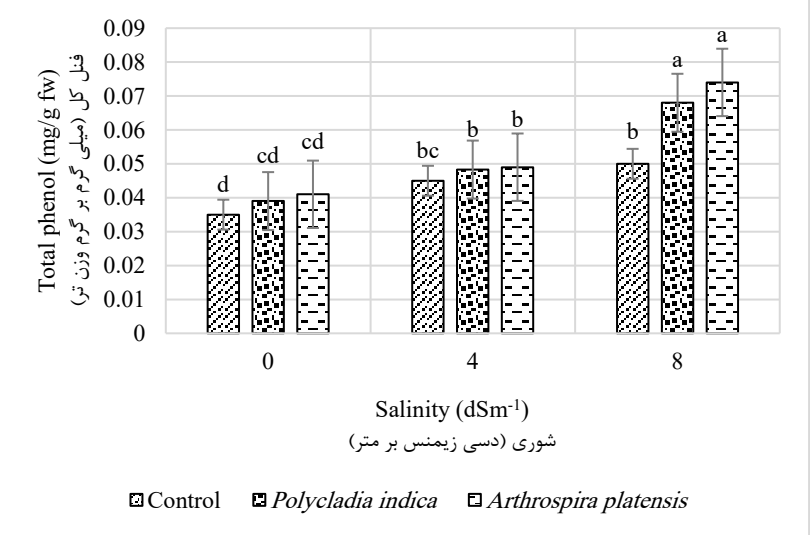
برگ شده است (Rathore *et al*., 2009). از آن‌جایی که بین سرعت نورساخت و غلظت سبزینه و همچنین بین سرعت نورساخت و رشد گیاه ارتباط مستقیمی وجود دارد. بنابراین با افزایش غلظت سبزینه، محصولات نورساختی افزایش می‌یابند و در نتیجه رشد گیاه در حضور عصاره جلبک دریایی بهبود می‌یابد (Chango & McVetty, 2001). همچنین پژوهش انجام شده بر روی ارقام مختلف گندم طی تیمار با عصاره جلبک قهوه‌ای نشان داد که میزان کلروفیل کل و محتوای کاروتنوئید نسبت به تیمار شاهد افزایش یافت (Ghafarizadeh *et al*., 2015). طبق پژوهش های گوناگون جلبک دریایی به عنوان یک کود زیستی به دلیل وجود نیتروژن، فسفر، پتاسیم و همچنین وجود عناصر کمیاب و متابولیت‌های متفاوت ارزشمند است و سبب افزایش رشد گیاهان می‌گردد (Gandhiyappan & Perumal, 2001). به طور کلی می‌توان اثر جلبک دریایی در افزایش رشد و به ویژه در شرایط تنش‌های محیطی، را به محرک‌های رشد موجود در جلبک شامل سایتوکینین‌های ترانس زآتین، مواد اکسینی (Crouch & Van Staden, 1993)، افزایش میزان سبزینه توسط بتائین و مواد شبه بتائین (Blunden *et al*., 1996) یا ممانعت از تخریب سبزینه نسبت داد (Xu & Leskovar, 2015). در واقع تجمع گلایسین بتائین در گیاه سبب انسجام غشاء تیلاکوئیدی و غشاءپلاسمایی شده و ساختار پروتئین‌های فتوسیستم II را تثبیت می‌کند (Siddiqui *et al*., 2017). براساس نتایج پژوهش صورت گرفته، استفاده از عصاره جلبک دریایی به دلیل وجود آمینوبوتیرات، گلایسین بتائین و بتائین موجب تحریک نورساخت و تولید بهتر قند و نشاسته و درنهایت سبب افزایش میزان سبزینه برگ و سبزینه گیاه می‌شود که با نتایج این پژوهش مطابقت دارد (Sunarpi *et al*., 2010). طی پژوهشی که روی گیاه کارلا (*Momordica charantia*) تحت تیمار عصاره جلبکی صورت گرفت مشاهده شد که این عصاره بر روی رنگیزه‌های نورساختی از جمله سبزینه a، b، سبزینه کل و کارتنوئید تاثیر معنی‌داری داشته است (Amini Fard & Khandan, 2017). محلول‌پاشی عصاره جلبک باعث جلوگیری از کاهش شدید رنگیزه‌های نورساختی مانند سبزینه a، b و سبزینه کل در گیاه ریحان در اثر تنش شد و اثر این کود زیستی در شرایط تنش شدید، چشمگیرتر بود (Goñi *et al*., 2016). پژوهش های صورت گرفته در گیاهانی مانند کاهو، فلفل، کرفس، خربزه، مریم‌گلی و گوجه‌فرنگی، تحت تاثیر عصاره جلبک افزایش معنی‌داری در محتوای نسبی آب برگ، میزان سبزینه و در نهایت میزان نورساخت را نشان داد (Kumari *et al*., 2011; Neily *et al*., 2010; Xu & Leskovar, 2015).

محتوای فنول کل

نتایج تجزیه واریانس صفت فنول کل نشان داد که اثر اصلی و متقابل تنش شوری و کاربرد جلبک بر محتوای فنول کل در کلم زینتی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۴). نتایج مقایسه میانگین برهمکنش تنش شوری در جلبک نشان داد که میزان فنول کل با افزایش تنش شوری و کاربرد جلبک افزایش یافت به طوری که بیشترین فنول کل با میانگین ۰/۰۷۴ میلی‌گرم بر گرم وزن تر مربوط به کاربرد جلبک اسپرولینا در تیمار هشت دسی‌زیمنس، تنش شوری بود (شکل ۴). ترکیباتی مانند فنول‌ها جزو ترکیبات ثانویه هستند که گیاهان در شرایط مواجهه با تنش‌های محیطی از خود سنتز و به مقدار زیاد در لایه اپیدرمی تجمع می‌یابند و یک مسیر دفاعی برای گیاه به حساب می‌آید. این ترکیبات با قابلیت آنتی‌اکسیدانی و سمیت‌زدایی رادیکال‌های اکسیژن باعث افزایش مقاومت گیاهان می‌شوند (Sabura *et al*., 2013). ساخته شدن ترکیبات فنولی در گیاهان از

[DOI: 10.61882/flowerjournal.9.2.377]

طریق جدا شدن عامل آمینی از فنیل‌آلانین توسط آنزیم فنیل‌آلانین آمونیلاز (PAL[1]) صورت می‌گیرد. آنزیم PAL به صورت غیرمستقیم در ساختن چندین ترکیب فنولی، از جمله پلیمرهای سازنده دیواره یاخته ای دخالت دارد (Parr & Bolwell, 2000)، گیاهان ترکیبات فنولی را در پاسخ به برخی ترکیبات پیام رسان آزاد می‌سازند که نقش دفاعی مهمی دارند (Bais *et al*., 2004). همچنین محققان افزایش میزان ظرفیت آنتی‌اکسیدانی و میزان فنول‌ها و فلاونوئیدها را در اثر کاربرد عصاره جلبک قهوه‌ای مشاهده کردند (Fan *et al*., 2013). طی پژوهش صورت گرفته بر روی گیاه همیشه بهار[2] تحت تاثیر کودهای آلی و خاکپوش و محلول‌پاشی با عصاره جلبک دریایی مشاهده شد که بیشترین میزان فنول کل در ترکیب کود دامی و مالچ سیاه به همراه محلول پاشی جلبک حاصل شد (Vjoudi Mehrabani *et al*., 2017). بررسی انجام شده توسط Lola-Luz و همکاران (2015) در کلم بروکلی نشان داد که استفاده از عصاره جلبک دریایی موجب افزایش در محتوای ترکیبات فنولی و فلاونوئیدی در گیاهان به دلیل افزایش دسترسی به واسطه‌های مورد نیاز به منظور بیوسنتز ترکیبات فنولی و افزایش فعالیت آنزیم‌های درگیر در این امر (فنیل آلانین آمونیالاز و چالکون سنتاز) شد.



شکل ۴- برهمکنش تنش شوری و جلبک بر فنول کل در کلم زینتی. میانگین‌های دارای حرف مشترک در سطح احتمال ۱٪ آزمون دانکن تفاوت معنی‌داری ندارند.

Figure 4- Interaction effect of salinity stress and algae on the total phenol in ornamental cabbage. means with least one letter in common are not significantly different at Duncan's 1% probability level.

آنتی‌اکسیدانت و آنزیم پراکسیداز

اثرات اصلی تنش شوری و کاربرد جلبک بر میزان آنزیم پراکسیداز و آنتی‌اکسیدان در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۴). نتایج مقایسه میانگین‌ها تحت اثر اصلی شوری نشان داد که بیشترین مقادیر برای این دو ترکیب به ترتیب با میانگین ۰/۰۶ و ۵۲/۴۹ میکرومول بر گرم وزن تر مربوط به تنش شوری هشت دسی زیمنس بر متر و کمترین میزان نیز با میانگین ۰/۰۲ و ۳۶/۶۸ میکرومول بر گرم وزن تر مربوط به عدم تنش شوری بود (جدول ۵). همچنین نتایج مقایسه میانگین اثر کاربرد جلبک

۱- Phenyl alanine ammonialase

۲- *Calendula officinalis* L.

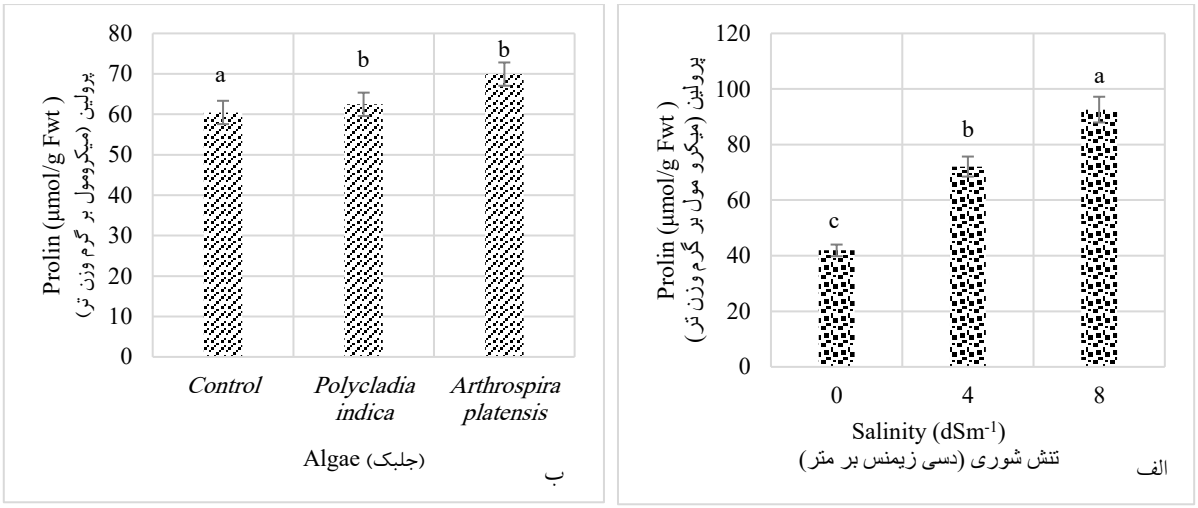
[DOI: 10.61882/flowerjournal.9.2.377]

بر این دو ترکیب نشان داد که بالاترین مقادیر به ترتیب با میانگین ۰/۰۵ و ۴۸/۵۳ میکرومول بر گرم وزن تر مربوط به تیمار عدم مصرف جلبک و کمترین میزان به ترتیب با میانگین ۰/۰۴ و ۴۲/۸۴ میکرومول بر گرم وزن تر مربوط به تیمار کاربرد جلبک اسپرولینا بود (جدول ۵). مطالعات روی گیاه اسفناج و گیاه *Cassia angustifola* نیز نشان داد که شوری موجب افزایش تنش اکسیداتیو و مقدار پراکسید هیدروژن و افزایش فعالیت آنزیم‌های سوپراکسید دیسموتاز، آسکوربات پراکسیداز و کاتالاز گردید (Agarwal & Pandey, 2004). همچنین در بررسی تاثیر تنش شوری بر خصوصیات فیزیولوژیکی شوید افزایش میزان فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی گزارش شد (Noorani Azad & Haji Bagheri, 2017). تنش شوری از طریق تأثیر بر چند مکانیسم گیاهی مانند نورساخت، هدایت روزنه‌ای، تنظیم فشار اسمزی و فعالیت آنزیم‌ها، رشد گیاه را کاهش می‌دهد (Ashraf, 2001). افزایش فعالیت پراکسیداز تحت تنش شوری در بسیاری از دیگر گیاهان از جمله لوبیا گزارش شده است (Jebara *et al*., 2005). از طرفی برخی از گزارش‌ها، افزایش خواص آنتی‌اکسیدانی را با استفاده از جلبک دریایی نشان می‌دهند که به دلیل حضور طیف گسترده‌ای از ترکیبات فعال بیولوژیکی از قبیل استرول‌ها، فنول‌ها و اسیدهای چرب می‌باشد. مطالعات در طول چند سال گذشته نشان می‌دهد که پلی‌ساکاریدهای سولفاته مانند سولفات گالاکتاز در جلبک‌های دریایی قابلیت آنتی‌اکسیدانی قابل ملاحظه‌ای دارند که باعث القاء پاسخ‌های دفاعی در گیاهان می‌شوند (Zodap, 2001).

میزان پرولین

براساس نتایج تجزیه واریانس ارائه شده در جدول ۴، اثرات اصلی تنش شوری و کاربرد جلبک بر میزان پرولین معنی‌دار بود. نتایج مقایسه میانگین اثر اصلی تنش شوری نشان داد که بیشترین مقدار پرولین با میانگین ۹۲/۵۸ میلی‌گرم بر گرم وزن تر مربوط به تنش شوری هشت دسی زیمنس بر متر و کمترین میزان نیز با میانگین ۴۱/۹۲ میلی‌گرم بر گرم وزن تر مربوط به عدم تنش شوری بود (شکل ۵). همچنین نتایج مقایسه میانگین اثر کاربرد جلبک نشان داد که بالاترین مقدار با میانگین ۱۱۷/۰۰ میلی‌گرم بر گرم وزن تر مربوط به تیمار عدم مصرف جلبک و کمترین میزان با میانگین ۷۳/۳۳ میلی‌گرم بر گرم وزن تر مربوط به تیمار کاربرد جلبک اسپرولینا بود (شکل ۵). پرولین یکی از رایج‌ترین محافظ‌های اسمزی است که در طی تنش شوری در گیاهان تجمع می‌یابد و در نتیجه اثرات منفی شوری را بهبود می‌بخشد. نحوه عمل پرولین برای محافظت از دیواره‌های یاخته ای تحت تنش اسمزی، به صورت محافظت از یکپارچگی پروتئین و افزایش فعالیت آنزیمی با عمل به صورت یک همراه مولکولی می‌باشد. پرولین همچنین در حذف گونه‌های اکسیژن فعال نقش دارد (Gupta *et al*., 2021). افزایش مقدار پرولین در بافت‌های گیاهی تحت تنش احتمالاً نتیجه کاهش تجزیه پرولین، افزایش بیوسنتز آن، تولید رادیکال‌های آزاد و اشکال مختلف اکسیژن فعال، استفاده کمتر از آن در سنتز پروتئین و افزایش هیدرولیز پروتئین‌ها می‌باشد. به این ترتیب از جمله پاسخ‌های گیاهان در برابر تنش، افزایش سطح پرولین و القای فعالیت آنزیم‌های ضد اکسیداسیون است (Su *et al*., 2004; Parida & Das, 2005). نتایج پژوهشگران نشان داد محلول‌پاشی عصاره جلبک دریایی موجب کاهش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان کاتالاز و افزایش تجمع پرولین در شرایط تنش می‌گردد (Taqdesi & colleagues, 2013).

[DOI: 10.61882/flowerjournal.9.2.377]



شکل ۵- اثرهای تنش شوری (الف) و جلبک (ب) بر میزان پرولین در کلم زینتی. میانگین‌های دارای حرف مشترک در سطح احتمال ۱٪ آزمون دانکن تفاوت معنی‌داری ندارند.

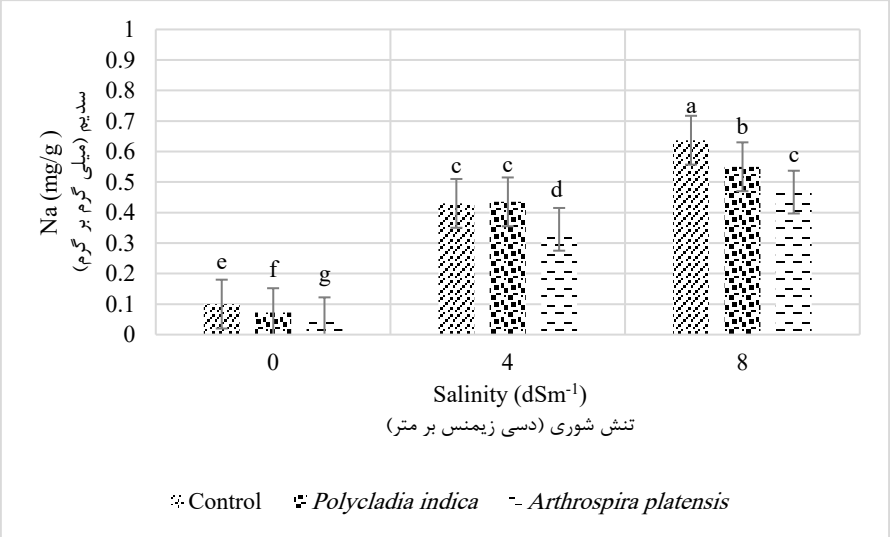
Figure 5- The effects of salinity stress (A) and algae (B) on the amount of proline of ornamental cabbage. means with least one letter in common are not significantly different at Duncan's 1% probability level.

سدیم و پتاسیم

بررسی‌ها نشان داد که در مورد عناصر سدیم و پتاسیم در اندام هوایی کلم زینتی، اثر اصلی تنش شوری و جلبک و همچنین برهمکنش این دو تیمار در عنصر سدیم در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۴). نتایج مقایسه میانگین‌ها در شکل شش نشان می‌دهد که در شرایطی که گیاه تحت تنش شوری قرار می‌گیرد میزان سدیم اندام هوایی افزایش می‌یابد ولی با کاربرد جلبک می‌توان اثرات تجمع سدیم را در گیاه تعدیل نموده و غلظت این عنصر را نیز تا حدی کاهش داد. به طوری که بالاترین سدیم در اندام هوایی با میانگین ۰/۶۳ میلی‌گرم بر گرم مربوط به تیمار تنش شوری هشت دسی‌زیمنس بر متر و عدم مصرف جلبک بود. این در حالی بود که در همین سطح شوری کاربرد جلبک اسپرولینا و قهوه‌ای به طور معنی‌داری میزان سدیم اندام هوایی را کاهش داد و اما کمترین مقدار سدیم در بین تیمارها نیز با میانگین ۰/۰۵۲ میلی‌گرم بر گرم مربوط به تیمار عدم تنش شوری و کاربرد جلبک اسپرولینا بود (شکل ۶). نتایج مقایسه میانگین اثر اصلی تنش شوری نشان داد که بالاترین میزان پتاسیم با میانگین ۷۷/۳۶ میلی‌گرم بر گرم در تیمار عدم تنش شوری و کمترین میزان با میانگین ۴۹/۸۱ میلی‌گرم بر گرم مربوط به تیمار تنش شوری هشت دسی زیمنس بر متر بود (شکل ۷). در مورد اثر اصلی کاربرد جلبک نیز بالاترین میزان با میانگین ۶۹/۹۳ میلی‌گرم بر گرم در تیمار جلبک اسپیرولینا و کمترین میزان نیز با میانگین ۶۰/۴۵ میلی‌گرم بر گرم در شاهد حاصل شد (شکل ۷). در زمان تنش شوری، گیاهان با جذب و توزیع پایدار پتاسیم می‌توانند باعث کنترل هومئوستازی یونی و متعادل نمودن اثر سمی تجمع سدیم شوند (Brini *et al.*, 2007). این امر تاثیر رقابتی بین سدیم و پتاسیم در گیاه را نشان می‌دهد، به طوری که در حضور سدیم، میزان پتاسیم کاهش می‌یابد و با افزایش تنش شوری این امر به وضوح قابل رویت است و اما در شرایطی که جلبک استفاده شد به دلیل شرایط رشدی بهتر میزان پتاسیم در اندام هوایی تیمار شده با جلبک افزایش یافت. غلظت بالای سدیم در محلول خاک از جذب سایر عناصر مغذی با دخالت در کار انتقال‌دهنده‌های مختلف در غشای پلاسمایی ریشه و کانال‌های یونی انتخابی پتاسیم جلوگیری می‌کند و با اثرات مخرب روی ساختار خاک از رشد ریشه جلوگیری می‌کند. در

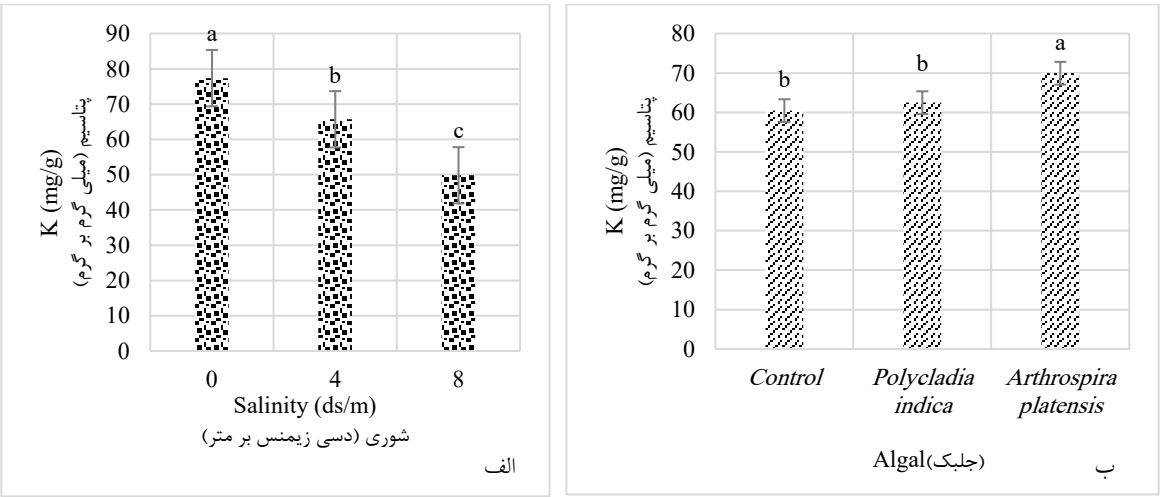
[DOI: 10.61882/flowerjournal.9.2.377]

شرایط شوری، میزان پتاسیم به‌عنوان یک آنتاگونیست سدیم، کاهش می‌یابد. با توجه به این‌که سدیم و پتاسیم دارای خصوصیات فیزیولوژیکی مشابهی می‌باشند سدیم سیتوپلاسمی برای سایت‌های اتصالی مشابه رقابت می‌کند و از فرآیندهای متابولیکی وابسته به پتاسیم جلوگیری می‌کند (Porcel *et al.*, 2016).



شکل ۶- برهمکنش تنش شوری و جلبک بر میزان جذب سدیم در کلم زینتی. میانگین‌های دارای حرف مشترک در سطح احتمال ۱٪ آزمون دانکن تفاوت معنی‌داری ندارند.

Figure 6- Interaction effect of salinity stress and algae on the sodium absorption in ornamental cabbage. means with least one letter in common are not significantly different at Duncan's 1% probability level.



شکل ۷- اثر تنش شوری بر میزان پتاسیم در کلم زینتی (الف) و اثر جلبک بر میزان پتاسیم در کلم زینتی (ب). میانگین‌های دارای حرف مشترک در سطح احتمال ۱٪ آزمون دانکن تفاوت معنی‌داری ندارند.

Figure 7- Effect of salinity stress on the K content of ornamental cabbage (A) and the effect of algal on the K content of ornamental cabbage (B). means with least one letter in common are not significantly different at Duncan's 1% probability level.

نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشان داد که شوری (سدیم کلراید) موجب القای اثر منفی بر خصوصیات موفوفیزیولوژیکی گیاه کلم زینتی شد. با توجه به نتایج می‌توان دریافت که جلبک‌ها تاثیر متفاوتی در خصوصیات رشدی گیاه کلم زینتی می‌گذارد. در واقع آن‌ها

[DOI: 10.61882/flowerjournal.9.2.377]

به وسیله مکانیسم‌های مستقیم و غیرمستقیم سبب کاهش اثرات منفی تنش شوری شدند. در مطالعه حاضر جلبک‌های دریایی باعث افزایش میزان درصد نشت یونی، فعالیت آنتی‌اکسیدانی، میزان فنول کل و آنزیم پراکسیداز نسبت به تیمارشاهد (عدم کاربرد جلبک) شده و رشد گیاه کلم زینتی را تحت تنش شوری بهبود بخشیدند. به طوری که در سطح شوری هشت دسی‌زیمنس بر متر به صورت کاملاً معنی‌داری میزان پرولین و نشت یونی را در مقایسه با تیمار شاهد (عدم کاربرد جلبک) افزایش یافت که باعث مقاومت گیاه در برابر تنش شد. همچنین نتایج بیانگر کارایی بالاتر جلبک اسپیرولینا در کاهش صدمات ناشی از تنش شوری و افزایش پارامترهای رویشی بود. بدین صورت که کاربرد جلبک اسپیرولینا موجب بهبود صفات میزان فنول کل، وزن تر و خشک ریشه، وزن تر بوته و میزان سبزینه کل در گیاه کلم زینتی گردید.

منابع

Abu-Taweel, G.M., Mohsen, A.M., Antonisamy, P., Arokiyaraj, S., Kim, H.J., Kim, S.J., Park, K.H., Kim, Y.O. (2019). Spirulina consumption effectively reduces anti-inflammatory and pain related infectious diseases. *Journal of Infection and Public Health*, *12*(6), 777-782.

Aelaei, M., Salehi, F., Bahrami, M., Sanikjani, M. (2021). Effects of plant growth promoting rhizobacteria on salinity tolerance of ornamental cabbage (*Brassica oleraceae* L. cv. Kamome), *Iranian Journal of Horticultural Science*, *53*(20), 423-438. (In Persian).

Agarwal, S., Pandey, V. (2004). Antioxidant Enzyme Responses to NaCl Stress in *Cassia angustifolia*. *Biologia Plantarum, 48*, 555-560.

Afonso, S., Arrobas, M., Angelo Rodrigues, M. (2021). Response of hops to algae-based and nutrient-rich foliar sprays. *Agriculture*, *11*, 798. doi.org/10.3390/agriculture11080798.

Ahmad, Y.M., Shalaby, E. (2012). Effect of different seaweed extracts and compost on vegetative growth, yield and fruit quality of cucumber, *Journal of Horticultural Science & Ornamental Plants*, *4*(3), 235-240.

Ahmadpour, R., Salimi, A., Zeidi, H., Armand, N., Hosseinzadeh, S.R. (2019). Effect of seaweed extract (*Ascophyllum nodosum*) on the stimulation of germination indices of chickpea (*Cicer arietinum* L.) under drought stress. *Nova Biologica Reperta*, *6*(2), 206-216. (In Persian).

Alqarawi, A.A., Abd Allah, E.F., Hashem, A. (2014). Alleviation of salt-induced adverse impact via mycorrhizal fungi in Ephedra aphylla Forssk. *Journal of Plant Interactions*, *9*(1), 802-810.

Amini Fard, M.H., Khandan, S. (2017). Investigating the effect of different concentrations of seaweed extract (*Ascophyllum nodosum*) on the growth, yield and biochemical traits of bitter gourd (*Momordica charantia* L.), *Journal of Plant Environmental Physiology*, *13*(52), 56-66. (In Persian).

Anantharaj, M., Venkatesalu, V. (2001). Effect of seaweed liquid fertilizer on *Vigna calajung*. *Seaweed Research Utiln*, *23*, 33-39.

Anisimov, M.M., Skriptsova, A.V., Chaikina, E.L., Klykov, A.G. (2013). Effect of water extracts of seaweeds on the growth of seedling roots of buckwheat (*Fagopyrum esculentum Moench*). *International Journal of Research and Reviews in Applied Sciences*, *16*(2), 282-287.

Arnon, D.I. (1949). Copper enzymes in isolated chloroplasts. Polyphenol oxidases in Beta vulgaris. *Plant Physiology*, *24*, 1-15.

Arora, N.K. (2019). Impact of climate change on agriculture production and its sustainable solutions. *Environmental Sustainability*, *2*, 95–96.

Ashraf, M. (2009). Biotechnological approach of improving plant salt tolerance using antioxidants as markers, *Biotechnology Advances*, *27*(1), 84-93.

Ashraf, M., McNeilly, T. (2004). Salinity tolerance in Brassica oilseeds. *Critical Reviews in Plant Sciences*, *23*(2), 157-174.

Azmat, R., Haider, S., Hajra, N., Farha, A. (2009). A viable alternative mechanism in adapting the plants to heavy metal environment. *Pakistan Journal of Botany*, *41*(6), 2729-2738.

[DOI: 10.61882/flowerjournal.9.2.377]

Bajji, M., Kinet, J., Lutts, S. (2002). The use of the electrolyte leakage method for assessing cell membrane stability as a water stress tolerance test in durum wheat. *Plant Growth Regulation, 36*, 61-70.

Bandeoğlu, E., Eyidogan, F., Yücel, M., Oktem, H. (2004). Antioxidant responses of shoots and roots of lentil to NaCl-salinity stress, *Plant Growth Regulation*, *42*(1), 69-77. DOI: 10.1023/B:GROW.0000014891.35427.7b.

Bates, L.S., Waldren, R.P., Teare, I.D. (1973). Rapid determination of free proline for water-stress studies. *Plant and Soil*, *39*(1), 205-207.

Bais, H.P., Fall, R., Vivanco J.M. (2004). Biocontrol of *Bacillus subtilis* against infection of Arabidopsis roots by Pseudomonas syringae is facilitated by biofilm formation and surfactin production, *Plant Physiol*ogy, *134*(1), 307-319.

Bedreag, C.F.G., Trifan, A., Bucur, L.A., Arcus, M., Tebrencu, C., Miron, A., Costache, I.I. (2014). Chemical and antioxidant studies on Crataegus pentagyna leaves and flowers. *Romanian Biotechnological Letters*, *19*(6), 98-59.

Ben Hamed, K.B., Castagna, A., Salem, E., Ranieri, A., Abdelly, C. (2007). Sea fennel (*Crithmum maritimum* L.) under salinity conditions: a comparison of leaf and root antioxidant responses. *Plant Growth Regulation*, *53*(3), 185-194.

Blunden, G., Jenkins, T., Liu, Y. (1996). Enhanced leaf chlorophyll levels in plants treated with seaweed extract. *Journal of Applied Phycology*, *8*, 535-543.

Bohnert, H.J., Jensen. R.G. (1996). Strategies for engineering water-stress tolerance in plants. *Trends in Biotechnology*, *14*(3), 89-97.

Chango, G., McVetty, P.B.E. (2001). Relationship of physiological characters to yield parameters in oilseed rape. *Canadian Journal of Plant Science*, *81*,1-6.

Chapman, H.D., Pratt, F.P. (1982). Determination of minerals by titration method. Methods of Analysis for Soils, Plants and Water. Ph.D. Thiesis. Oakland, CA: Agriculture Division, California University.

Craigie, J.S. (2011). Seaweed extracts stimuli in plant science and agriculture. *Journal of Applied Phycology*, *23*, 371-393.

Crouch, I., Van Staden, J. (1993). Evidence for the presence of plant growth regulators in commercial seaweed products. *Plant Growth Regulation*, *13*, 21-29.

Dhindsa, R.S., Plumb-Dhindsa, P., Thorpe, T.A. (1981). Leaf senescence: correlated with increased levels of member permeability and peroxidation, and decreased levels of superoxide dismutase and catalase. *Journal of Experimental Botany*, *32*(1), 93-101.

Ding, Y., Liu, Y., Zhao, L., Zhou, M., Zhang, L., Wang, G., Jia, J. (2023). Effects of salt stress on nutritional quality of orange-heading Chinese cabbage seedlings. *Pakistan Journal of Botany*, *55*(3), 837-841.

El kaoaua, M., Chernane, H., Benaliat, A., Neamallah, L. (2013). Seaweed liquid extracts effect on *Salvia officinalis* growth, biochemical compounds and water deficit tolerance. *African Journal of Biotechnology*, *72*(28), 4481-4589.

Fahimi, H. (2016). Plant growth regulators. Tehran University Publications. 172 Pp. (In Persian).

Fan, D., Hodges, D.M., Critchley, A.T., Prithiviraj. B. (2013). A commercial extract of Brown Macroalgae (*Ascophyllum nodosum*) affects yield and the nutritional quality of spinach in vitro. *Communication in Soil Science Plant Analysis, 44*, 1873-1884.

Faten, S.A., Shaheen, A.M., Ahmed, A.A., Mahmoud, A.R. (2010). Effect of foliar application of amino acids as antioxidants on growth, yield and characteristics of Squash. *Research Journal of Agriculture and Biological Science*, *6*(5), 583-588.

Gandhiyappan, K., Perumal, P. (2001). Growth promoting effect of seaweed liquid fertilizer (*Enteromorpha intestinalis*) on the sesame crop plant. *Seaweed Res. Utiln. 23*(1&2), 23-25.

Ghafarizadeh, A, Seyednejad, S.M., Gilani, A. 2015. Effect of foliar spray of aqueous extract of brown algae (*Nizamuddinia zanardinii*) at different levels of nitrogen on some physiological, biochemical traits and yield of wheat. *Journal of Plant Environmental Physiology*, *11*(41), 13-25.

[DOI: 10.61882/flowerjournal.9.2.377]

Goñi, O., Fort, A., Quille, P., McKeown, P.C., Spillane, C., O'Connell. S. (2016). Comparative transcriptome analysis of two *Ascophyllum nodosum* extract biostimulants: Same seaweed but different, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *64*, 2980-2989.

Guinan, K.J., Sujeeth, N., Copeland, R.B., Jones, P.W., O'Brien, N.M., Sharma, H.S.S., Prouteau, P.J.F., O'Sullivan, J.T. (2013). Discrete roles for extracts of *Ascophyllum nodosum* in enhancing plant growth and tolerance to abiotic and biotic stress. *Acta Horticulturae*, *1009*, 127-135.

Gupta, S., Schillaci, M., Walker, R., Smith, P., Watt, M., Roessner, U. 2021. Alleviation of salinity stress in plants by endophytic plant-fungal symbiosis: Current knowledge, perspectives and future directions. *Plant and Soil, 461*(1), 44-219.

Haghparast, M., Maleki-Farahani, S., Sinaki, J.M., Zarei, G. (2012). Mitigation of drought stress in chickpea through application of humic acid and seaweed extract. *Crop Production in Environmental Stress*, *4*, 59-71.

Hasanuzzaman, M., Fujita, M, (2022). Plant Responses and Tolerance to Salt Stress: Physiological and Molecular Interventions, *Molecular Science*, *23*, 4810.

Hawrylak-Nowak, B., Dresler, S., Stasinska-Jakubas, M., Wojciak, M., Sowa, I., Matraszek-Gawron, R. (2021). NaCl-Induced Elicitation Alters Physiology and Increases Accumulation of Phenolic Compounds in *Melissa officinalis* L. *International Journal of Molecular Sciences, 22* (13), 6844.

Hooshmand. A., Aelaei, M., Arghavani, M., Salehi, F. (2022). Effect of Spirulina and Brown Algae and Lead Levels on some Morphophysiological Characteristics of Ornamental Cabbage. *Journal of Horticultural Science*, *37*(1), 245-259. (In Persian).

Jamil, M., Lee, D.B., Jung, K.Y., Ashraf, M., Lee, S.C., Rha, E.S. (2006). Effect of salt (NaCl) stress on germination and early seedling growth of four vegetable species. *Journal of Central European Agriculture, 7*, 273-282.

Jebara, S., Jebara, M., Limam, F., Aouani, M.E. 2005. Changes in ascorbate peroxidase, catalase, guaiacol peroxidase and superoxide dismutase activities in common bean (*Phaseolus vulgaris*) nodules under salt stress. *Journal of Plant Physiology*, *162*(8):36- 929.

Kaya, C., Higges, D., Kirnak, H. (2001). The effects of high salinity (NaCl) and supplementary phosphorus and potassium on physiology and nutrition development of spinach. Bulgican. *Journal of Plant Physiology*, *27*, 47-59.

Khalid, K.A., Da Silva, J.A.T. (2010). Yield, essential oil and pigment content of *Calendula officinalis* L. flower heads cultivated under salt stress conditions. *Scientia Horticulturae*, *126* (2), 297-305.

Koyro, H.W. (2006). Effect of salinity on growth, photosynthesis, water relations and solute composition of the potential cash crop halophyte *Plantago coronopus* (L.). *Environmental and Experimental Botany*, *56*, 136-146.

Kumari, R., Kaur, I., Bhatnagar, A.K. (2011). Effect of aqueous extract of *Sargassum* John-stonii Setchell & Gardner on growth, yield and quality of *Lycopersicon esculentum* Mill. *Journal Applied Phycology*, *23*, 623-633.

Laiq, M., Pioust, G.A., Samizadeh, H.A., Khasousi, M. (2018). Effect of saline solution on growth, action Quality characteristics of tomato in soilless cultivation system, *Iranian Journal of Horticultural Sciences*, *40*(4), 21. (In Persian).

Lola-Luz, T., Hennequart, F., Gaffney. M. (2014). Effects on yield, total phenolic, total flavonoids and total isothiocyanate content of two broccoli cultivars (*Brassica oleraceae*) following the application of a commercial brown seaweed extracts (*Ascophyllum nodosum*). *Agricultural and Food Science, 23*, 28-37.

MacKinnon, S.A., Craft. C.A., Hiltz, D., Ugarte, R. (2010). Improved methods of analysis for betaines in *Ascophyllum nodosum* and its commercial seaweed extracts. *Journal of Applied Phycology*, *22*, 489-494.

Meda, A., Lamien, C. E., Romito, M., Millogo, J., Nacoulma, O.G. (2005). Determination of the total phenolic, flavonoid and proline contents in Burkina Fasan honey, as well as their radical scavenging activity. *Food Chemistry*, *91*(3), 571-577.

[DOI: 10.61882/flowerjournal.9.2.377]

Mortazavi, N., KhodabandehLu, F., Azimi, M.H. (2015). The effect of different concentrations of cyclocel and salicylic acid on the morphophysiological traits of ornamental cabbage, *Journal of Gardening Sciences (Agricultural Sciences and Industries)*, *30*(4), 590-596. (In Persian).

Munns, R., Gilliham, M. (2015). Salinity tolerance of crops–what is the cost? *New Phytologist*, *208*(3), 668-673.

Munns, R. (2011). Plant adaptations to salt and water stress: Differences and commonalities. *Advances in Botanical Research*, *57*, 1–32.

Neily, W., Shishkov, L., Nickerson, S., Titus, D., Norrie, J. (2010). Commercial extracts from the brown seaweed Ascophyllum nodosum (Acadian) improves early establishment and helps resist water stress in vegetable and flower seedlings. *HortScience*, *45*, 234-240.

Noorani Azad, H., Haji Bagheri, M.R. (2017). The effect of salinity stress on some physiological characteristics of dill (*Anethum graveolens* L). *Journal of Modern Agricultural Science*, *4*(12), 93-100. (In Persian).

Ozen, T., Demirtas, I., Aksit, H. (2011). Determination of antioxidant activities of various extracts and essential oil compositions of Thymus praecox subsp. skorpilii var. skorpilii. *Food Chemistry*, *124*(1), 58-64.

Parida, A.K., Das, A.B., Mittra, B., Mohanty, P. (2004). Salt-stress induced alterations in protein profile and protease activity in the mangrove *Bruguiera parviflora*. *Zeitschrift für Naturforschung C*, *59*(5-6), 408-414.

Parida, A.K., and Das, A.B. 2005. Salt tolerance and salinity effects on plants: a review. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, *60*, 324-349.

Parihar, P., Singh, S., Singh, R., Singh, V.P., Prasad, S.M. (2015). Effect of salinity stress on plants and its tolerance strategies: a review. *Environmental Science and Pollution Research*, *22*(6), 4056-4075.

Parr, A.J., Bolwell, G.P. (2000) Phenols in the plant and in man. The potential for possible nutritional enhancement of the diet by modifying the phenols content or profile. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, *80*, 985-1012.

Paul, J., Shridevi, S.D.K. (2014). Effect of seaweed liquid fertilizer of *Gracilaria dura* (AG.) J. AG. (*Red seaweed*) on *Pennisetum glaucum* (L.) R.Br., in Thoothukudi, Tamil Nadu, India. *Indo American Journal of Pharmaceutical Research*, *4*(4), 2231-6876.

Porcel, R., Aroca, R., Azcon, R., Ruiz-Lozano, J.M. (2016). Regulation of cation transporter genes by the arbuscular mycorrhizal symbiosis in rice plants subjected to salinity suggests improved salt tolerance due to reduced Na^+ root-to-shoot distribution. *Mycorrhiza*, *26*, 673-684.

Prakash, P.S., Medhi, S., Saikia, G., Narendrakumar, A., Thirugnanasambandam, L., Abraham, S. (2014). Production, formulation and application of seaweed liquid fertilizer using humic acid on growth of *Arachis hypogaea*. *Biosciences Biotechnology Research Asia*, *11*(3), 1515-1519.

Rathore, S.S., Chaudhary, D.R., Boricha, G.N., Ghosh, A., Bhatt, B.P., Zodape, S.T., Patolia, J.S. (2009). Effect of seaweed extract on the growth, yield and nutrient uptake of soybean (Glycine max) under rainfed conditions. *South African Journal of Botany*, *75*(2), 351-355.

Sabura, A., Ahmadi, A., Zinali, A., Parsa, M. 2013. Comparison of the content of phenolic compounds, flavonoids and antioxidant activity of aerial parts of two populations of *Scutellaria pinnatifida* in Northern Iran. *Journal of Rafsanjan University of Medical Sciences*, *13*(3), 120-134. (In Persian).

Sayari zahan, M.H., Sayadi Anari, M.H., Zamani, GH., Mahmodi, S., Gholestanifar, F. (2022). The effect of two types of algae on the growth characteristics of wheat and basil plants under salinity stress conditions. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, *15*(3), 731-740.

Selvam, G.G., Sivakumar, K. (2013). Effect of foliar spray from seaweed liquid fertilizer of Ulva reticulata (Forsk.) on *Vigna mungo* L. and their elemental composition using SEM- energy dispersive spectroscopic analysis, *Asian Pacific Journal of Reproduction*, *2*(2), 119-125.

Shahbazi, F., Seyyed nejad, M., Salimi, A., Gilani, A. (2015). Effect of seaweed extracts on the growth and biochemical constituents of wheat. *International Journal of Agriculture and Crop Sciences*, *8*(3), 283-287.

Sharma, P., Dubey, R.S. (2005). Lead toxicity in plants. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, *17*(1), 35-52.

Sharma, M.K. (2023). Plant stress: Salt stress and mechanisms of stress tolerance. *Current Agriculture Research Journal*, *11*(2), 380-400.

[DOI: 10.61882/flowerjournal.9.2.377]

Shen, Q., Jensen, R. (2008), Approximation-based feature selection and application for algae population estimation, *Applied Intelligence*, *28*, 167-181.

Shim, I.S., Momose, Y., Yamamoto, A., Kim, D.W., Usui, K. (2003). Inhibition of catalase activity by oxidative stress and its relationship to salicylic acid accumulation in plants. *Plant Growth Regulation*, *39*, 285-92.

Singh, S., Singh, N.B. (2014). Effect of salicylic acid on cabbage (*Brassica oleracea* var. Capitata) grown under salinity stress. *Iranian Journal of Plant Physiology*, *4*(4), 1109-1118.

Siddiqui, Md.N., Mostofa, M.G., Akter, M.M., Srivastava, A., Abu Sayed, MD, Hasan, S., Tran, L.S. (2017). Impact of salt-induced toxicity on growth and yield-potential of local wheat cultivars: Oxidative stress and ion toxicity are among the major determinants of salt-tolerant capacity. *Chemosphere*, *187*, 385-394.

Spann, T.M., Little, H.A. (2011). Applications of a commercial extract of the brown seaweed *Ascophyllum nodosum* increase drought tolerance in container-grown 'Hamlin' sweet orange nursery trees. *HortScience*. *46*, 577-582.

Sridhar, S., Rengasamy. R. (2011). Potential of seaweed liquid fertilizers (SLFS) on some agricultural crop with special reference to protein profile of seedlings. *International Journal of Development Research, 7*, 55-57.

Sofy, M.R., Elmone, M., Sharaf, M.A., Osman, S., Sofy, A.R. (2017). Physiological changes, antioxidant activity, lipid peroxidation and yield characters of salt stressed barely plant in response to treatment with Sargassum extract. *International Journal of Advanced Research in Biological Sciences*, *4*(2), 90-109.

Stirk, W.A., Rengasamy, K.R.R., Kulkarni, M.G., Van Staden, J. (2020). Plant Biostimulants from Seaweed. In: The Chemical Biology of Plant Biostimulants; John Wiley & Sons: Hoboken, NJ, USA,31–55 Pp.

Su, J., Wu, R. (2004). Stress-inducible synthesis of proline in transgenic rice confers faster growth under stress conditions than that with constitutive synthesis. *Plant Science*, *166*(4), 8-941.

Suárez, N., Medina, E. (2008). Salinity effects on leaf ion composition and salt secretion rate in *Avicennia germinans* (L.). *Brazilian Journal of Plant Physiology*, 20, 131-140.

Sudhakar, C., Lakshmi, A., Giridarakumar, S. (2001). Changes in the antioxidant enzyme efficacy in two high yielding genotypes of mulberry (*Morus alba* L.) under NaCl salinity. *Plant Science*, *161*(3), 613-619.

Sunarpi., P., Jupri, A., Kurnianingsih, R., Julisaniah, N.I. Nikmatullah, A. 2010. Effect of seaweed extracts on growth and yield of rice plants. *Nusantara Bioscience*, *2*(2): 73-77.

Sunarpi., Jupri, A., Kurnianingsih, R., Julisaniah, N.I., Nikmatullah, A. 2010. Effect of seaweed extracts on growth and yield of rice plants. *Nusantara Bioscience*, *2*(2), 73-77.

Taghi zadeh, M., Solgi, M. (2014). Introduction of commercial protocol for *in vitro* propagation of ornamental cabbage (*Brassica oleraceae* L.). *Horticultural Sciences*, *45*(4), 484-475. (In Persian).

Taqdesi, M., Hassani, N., Masoudsinki, J. (2013). The stress of irrigation and spraying with humic acid and algae extract on the level of antioxidant enzymes and proline in forage sorghum. *Journal of Agricultural Plant Production under Environmental Stress Conditions*, *4*, 12-1.

Tavallali, V., Rahemi, M., Maftoun, M., Panahi, B., Karimi, S., Ramezanian, A., Vaezpour, M. (2009). Zinc influence and salt stress on photosynthesis, water relations, and carbonic anhydrase activity in pistachio. *Scientia Horticulturae*, *123*(2), 272-279.

Thambiraj, J., Lingakumar, K., Paulsamy, S. (2012). Effect of seaweed liquid fertilizer (SLF) prepared from Sargassum wightii and Hypnea musciformis on the growth and biochemical constituents of the pulse, *Cyamopsis tetragonoloba* (L). *Journal of Research in Agriculture*, *1*(1), 65-70.

Vojodi Mehrabani, L., Valizadeh Kamran, R. (2021), In-soil organic fertilizer and foliar use of salicylic acid and sea algae extract (*Ascophyllum nodosum*) on the growth and yield of two native pumpkin clones (*Cucurbita pepo*)**.** *Scientific Research Journal of Agricultural Knowledge and Sustainable Production*, *32*(3), 115-132.

Vjoudi Mehrabani, L., Hasanpour Aghdam, M.B., Ebrahimzadeh, A., Valizadeh Kamran, R. (2017). The effects of organic fertilizers and cover beds on yield and some physiological traits of *Calendula officinalis* L. treated with brown algae extract foliar application*, Journal of Plant Ecophysiology*, *10*(35), 212-220.

Warwick, S.I. (2011). Brassicaceae in Agriculture. In: R. Schmidt & I. Bancroft (Eds). Genetics and Genomics of the Brassicaceae. (9, 33-66). Springer Verlag, New York.

[DOI: 10.61882/flowerjournal.9.2.377]

Xu, C., Leskovar. D. (2015). Effects of *A. nodosum* seaweed extracts on spinach growth, physiology and nutrition valued under drought stress. *Scientia Horticulturae*, *183*, 39-47.

Zanganeh, N., Barzegar, H., Alizadeh Behbahani, B., Mehrnia, M.A. (2020). Investigation of the effect of different *Spirulina platensis* levels on nutritional, physicochemical and sensory properties of sponge cake. *Iranian Food Science and Technology Research Journal, 16* (2), 207-220. (In Persian).

Zhao, S.; Zhang, Q.; Liu, M.; Zhou, H.; Ma, C. (2021). Wang, P. Regulation of plant responses to salt stress. *International Journal of Molecular Sciences*, *22*, 4609.

Zodape, S.T. (2001). Seaweed as A biofertilizer. *Journal of Scientific and Industrial Research*, *60*, 378-382.

[DOI: 10.61882/flowerjournal.9.2.377]

Flower and Ornamental Plants (2024), 9(2): 375-396
Research article

Effect of spirulina and brown algae on salinity tolerance of ornamental cabbage (*Brassica oleraceae* L. cv. Kamome)

Sajad Rashidi Kurdkandi, Mitra Aelaei*, Zahra Ghahramani, Fahimeh Salehi

Department of Horticultural Science, Faculty of Agriculture, University of Zanjan, Zanjan
maelaei@znu.ac.ir

Received: 2023/09/15, Revised: 2024/02/09, Accepted: 2024/02/12

Abstract

Ornamental cabbage (*Brassica oleraceae* L.), a member of the *Brassicaceae* family, is adversely affected by excessive salt accumulation, which is one of the most significant environmental stresses impacting plant growth and development. Therefore, identifying strategies to mitigate salinity stress and enable cultivation in saline soils is essential. To investigate the effect of *Spirulina* (*Arthrospira platensis*) and brown algae (*Polycladia indica*) extracts on reducing the impact of salinity stress in ornamental cabbage, a factorial experiment was conducted in a randomized complete design with four replications in the greenhouse of the Faculty of Agriculture, University of Zanjan. The first factor included salinity levels of irrigation water (4 and 8 dS/m), along with a control (non-saline condition). The second factor included the application of 2% brown algae, 2% *Spirulina* algae, and a control (no algae). Morphophysiological traits such as leaf number, leaf area index, fresh and dry root weight, fresh shoot weight, total chlorophyll, antioxidant activity, total phenols, electrolyte leakage, proline content, peroxidase enzyme activity, and sodium and potassium concentrations were measured. The results indicated that both salinity stress and algae application had significant effects on all traits, and the interaction between salinity and algae was significant for traits such as leaf number, root fresh and dry weight, total phenols, and sodium and potassium content. According to the mean comparisons, algae treatments resulted in the highest values for leaf area index (42.52 cm^2), shoot fresh weight (153.33 g/plant), and root fresh and dry weights (17.42 g and 6.44 g/plant, respectively), compared to the control. Furthermore, under salinity stress, sodium concentration in the aerial parts of the plant increased, but the application of algae moderated this effect and reduced sodium accumulation. Both *Spirulina* and brown algae significantly decreased sodium content in the aerial parts at higher salinity levels. Overall, salinity stress negatively affected the morphophysiological traits of ornamental cabbage. Among the two algae, *Spirulina* showed a better response and effectively alleviated the adverse effects of salinity stress. In other words, algae application at higher salinity levels reduced damage caused by salt stress.

Keywords: Algae, Ornamental cabbage, Peroxidase, Salt stress, Spirulina.

[DOI: 10.61882/flowerjournal.9.2.377]