علوم و تحقیقات بذر ایران
سال دوازدهم/ شماره اول/ ۱۴۰۴ (۱۵ - ۱)
مقاله پژوهشی
DOI: 10.22124/jms.2025.8801

اثر تیمار بذر با عصاره‌های جلبک سبز *Ulva lactuca* و جلبک سبز-آبی *Nostoc commune* روی شاخص‌های فیزیولوژیکی گیاهچه‌های ذرت

سید محسن دریاباری[۱]، احسان نظیفی[۲*]، باقر سیدعلیپور[۳]، صدیقه کلیج[۴]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۰/۲۹ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۱/۲۴

چکیده

جلبک‌ها به عنوان منابع غنی از ترکیبات زیست فعال برای بهبود رشد گیاه مورد توجه قرار گرفته‌اند. پژوهش حاضر در سال ۱۴۰۱ با هدف بررسی تاثیر تیمار بذرهای ذرت با عصاره‌های آبی *Ulva lactuca* و *Nostoc commune* روی شاخص‌های رشد، میزان رنگدانه‌های فتوسنتزی و ترکیبات فنولیک گیاهچه‌های حاصل انجام شد. آزمایش در قالب طرح کاملاً تصادفی در شش سطح غلظت ۰، ۱۲/۵، ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد از عصاره‌ها اجرا شد. در تیمار با *N. commune*، بیش‌ترین ارتفاع ساقه‌چه در تیمار با غلظت ۵۰ درصد عصاره با ۹/۳۰ درصد افزایش، بیش‌ترین طول ریشه‌چه در تیمار با غلظت ۷۵ درصد عصاره با ۴/۰۱ درصد افزایش، بیش‌ترین وزن گیاهچه در تیمار با غلظت ۲۵ درصد عصاره با ۳۱/۸۶ درصد افزایش، بیش‌ترین میزان کلروفیل b در تیمار با غلظت ۷۵ درصد عصاره با ۳۱/۸۷ درصد افزایش و بیش‌ترین میزان کاروتنوئید در تیمار با غلظت ۷۵ درصد عصاره با ۳۳/۳۴ درصد افزایش نسبت به شاهد حاصل شد. در تیمار با *U. lactuca*، بیش‌ترین میزان کلروفیل a در تیمار با غلظت ۱۰۰ درصد عصاره با ۶۴/۷۹ درصد افزایش، بیش‌ترین میزان فنل در تیمار با غلظت ۷۵ درصد عصاره با ۴۴/۸۳ درصد افزایش و بیش‌ترین میزان فلاونوئید در تیمار با غلظت ۱۰۰ درصد عصاره با ۴۲/۰۳ درصد افزایش نسبت به شاهد حاصل شد. نتایج پیشنهاد می‌کند که عصاره‌های این جلبک‌ها می‌توانند به عنوان محرک زیستی و کود زیستی در بهبود شاخص‌های فیزیولوژیکی گیاهچه‌های ذرت موثر باشد.

واژه‌های کلیدی: ترکیبات فنولیک، رنگدانه‌های فتوسنتزی، عصاره جلبک، کود زیستی، محرک رشد

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد فیزیولوژی گیاهی، گروه علوم گیاهی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه مازندران، بابلسر، ایران. mdaryabari7@gmail.com
۲- استادیار، گروه علوم گیاهی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه مازندران، بابلسر، ایران. e.nazifi@umz.ac.ir
۳- دانشیار، گروه سلولی و مولکولی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه مازندران، بابلسر، ایران. b.alipour81@gmail.com
۴- استادیار، گروه علوم گیاهی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه مازندران، بابلسر، ایران. s.kelij@umz.ac.ir
*نویسنده مسئول: e.nazifi@umz.ac.ir

مقدمه

محصولات مبتنی بر مواد شیمیایی به‌طور گسترده به عنوان محرک رشد گیاه و به عنوان محافظت از گیاهان در برابر شرایط مختلف تنش در کشاورزی مورد استفاده قرار گرفته‌اند. اما اغلب این ترکیبات سمی هستند و تجمع آنها در گیاهان و خاک می‌تواند تهدیدی برای انسان و محیط زیست باشد. در جست‌وجوی راه‌حل‌های پایدارتر و سازگار با محیط‌زیست برای بهبود بهره‌وری کشاورزی، محققان توجه خود را روی محصولات زیستی، مانند جلبک‌های دارای پتانسیل کود زیستی و تحریک زیستی، به عنوان منبعی ارزشمند برای تولید و حفاظت از محصولات گیاهی متمرکز کرده‌اند (Chiaiese *et al*., 2018; Pathak *et al*., 2018; Sigh *et al*., 2017).

استفاده از جلبک در کشاورزی سابقه بسیار طولانی دارد؛ اما از قرن بیستم، محصولات به دست آمده از عصاره جلبک توجه کشاورزان را در سراسر جهان به خود جلب کرده است. در واقع، طیف گسترده‌ای از ترکیبات فعال زیستی استخراج شده از جلبک‌ها اثرات امیدوارکننده‌ای در تولید محصولات زراعی داشته‌اند (Ronga *et al*., 2019; Pan *et al*., 2019; Górka *et al*., 2018; Win *et al*., 2018). مطالعات زیادی نشان داده است که انواع جلبک‌ها می‌توانند به عنوان کودهای زیستی و محرک‌های زیستی مورد استفاده قرار گیرند (Braun and Colla, 2023; Santini *et al*., 2022; Kapoore *et al*., 2021; Dineshkumar *et al*., 2020). همچنین این میکروارگانیسم‌ها حاوی ترکیباتی هستند که علاوه بر تاثیر بر رشد گیاه، مقاومت گیاه را در برابر تنش‌های غیرزیستی و زیستی بهبود می‌بخشند (Righini and Roberti, 2019; Han *et al*., 2018; Dmytryk and Chojnacka, 2018).

عصاره جلبک‌های دریایی از مخلوطی از مواد فعال بیولوژیکی مفید مانند پلی‌فنل‌ها، پلی‌ساکاریدها، آلژینات‌ها، پلی‌آمین‌ها، رنگدانه‌ها، اسیدهای چرب ضروری، اسیدهای آمینه آزاد، بتائین‌ها، ویتامین‌ها، عناصر معدنی کم‌مصرف و پرمصرف و فیتوهورمون‌های طبیعی تشکیل شده است. اثر تحریکی جلبک دریایی ممکن است مربوط به همه این مواد مختلف موجود در عصاره آنها باشد که ممکن است بر فرآیندهای متابولیسم سلولی گیاهان تیمار شده تأثیر بگذارد و در نتیجه منجر به اثرات مفید شناخته شده عصاره جلبک دریایی شود (Chaturvedi *et al*., 2022; Battah *et al*., 2021; Khan *et al*., 2009). گزارش‌های آزمایشگاهی و تجاری در مورد استفاده‌های کشاورزی از عصاره جلبک دریایی نشان‌دهنده افزایش جوانه‌زنی و جذب مواد مغذی، افزایش رشد ریشه و استقرار گیاهچه، افزایش تشکیل میوه، بهبود عملکرد، کیفیت و عمر مفید محصولات گیاهی می‌باشد (Patel *et al*., 2022; Battacharyya *et al*., 2015; Khan *et al*., 2009). جلبک دریایی از طریق افزایش خواص آنتی اکسیدانی نیز باعث تحریک رشد و عملکرد گیاهان، بهبود مقاومت در برابر آفات و بیماری‌ها و بهبود مقاومت در برابر تنش‌های غیرزیستی مانند خشکی، شوری، دمای شدید می‌شود (Kumar *et al*., 2024; Raja and Vidya, 2023; Hernández-Herrera *et al*., 2022; Mukherjee *et al*., 2020). بررسی عصاره جلبک سبز *Ulva fasciata* روی گیاه کنجد بهبود صفات مورفولوژیکی از قبیل طول ساقه‌چه، طول ریشه‌چه، طول ساقه، قطر ساقه و سطح برگ و افزایش میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی، قند محلول و فنل کل را نشان داد (Moradi *et al*., 2019). جلبک‌های جنس *Ulva* که به کاهوی دریایی معروف‌اند، از دیرباز به عنوان یک منبع غنی از مواد مغذی در کاربردهای مختلف مانند خوراک دام، پزشکی، آرایشی و بهداشتی یا کودهای کشاورزی مورد استفاده قرار گرفته‌اند (Khan *et al*., 2024; Madhusudan and Baskaran, 2023; Kim *et al*., 2011).

استفاده از عصاره جلبک سبز-آبی به عنوان منبع نیتروژن موجب صرفه‌جویی در نیازهای نیتروژن معدنی در اکثر محصولات زراعی می‌شود. اخیرا، توجه زیادی به ایجاد رابطه جدید بین گیاهان حیاتی زراعی مانند گندم، ذرت و میکروارگانیسم‌های تثبیت کننده نیتروژن از جمله جلبک سبز-آبی شده است (Shridhar, 2012; Rohela and Saini, 2022). محلول پاشی عصاره جلبک سبز-آبی برای افزایش جذب مواد مغذی و هورمون‌های محرک رشد، رشد محصول، زیست توده کل، عملکرد و کیفیت محصول و مقاومت در برابر شرایط تنش مورد توجه قرار گرفته است (Rady *et al*., 2018; Singh, 2014; Ghalab and Salem, 2001). علاوه بر این، افزایش محتوای کلروفیل، محتوای کربوهیدرات کل، اسیدهای آمینه و پروتئین در تیمار با جلبک‌های سبز-آبی گزارش شده است (Ismail and Abo-Hamad, 2017; Osman *et al*., 2010). بررسی اثر سیانوباکتری‌های *Anabaena vaginicola*، *Nostoc* sp.

و *Nodularia harveyana* روی خیار، گوجه‌فرنگی و کدو نشان داد که عصاره‌های آنها می‌تواند جوانه‌زنی بذر، ارتفاع بوته، طول ریشه، تعداد برگ، وزن تر و خشک ریشه، برگ و ساقه گیاه را افزایش دهد (Shariatmadari *et al*., 2011). جنس *Nostoc* از جلبک‌های سبز-آبی رشته‌ای غیر منشعب هتروسیست‌دار است. جنس *Nostoc*، نیتروژن اتمسفر را به صورت آمونیاک تثبیت می‌کند و آن را به شکلی تبدیل می‌کند که مناسب برای رشد گیاه باشد. تحقیقات نشان داده که *Nostoc* باعث افزایش ارتفاع بوته، تعداد برگ گیاهان و بهبود فسفر، پتاسیم، کلسیم، منیزیم، منگنز و روی در خاک می‌شود و می‌توان از آن به عنوان یک کود و محرک زیستی پایدار استفاده نمود (Esch, 2014).

ذرت (*Zea mays* L.) از خانواده Poaceae، گیاهی یک ساله و یکی از محصولات مهم غلات در مناطق گرمسیر و معتدل جهان است (Osaki, 1995). از نظر تولید جهانی، ذرت بالاترین تولید را در سال ۲۰۲۳ و سریع‌ترین رشد را از سال ۲۰۱۰ در مقایسه با سایر غلات برتر ثبت کرده زیرا به طور گسترده در بخش‌هایی غیر از مواد غذایی مانند سوخت‌های زیستی یا خوراک حیوانات استفاده می‌شود (FAO, 2024). استفاده از جلبک‌ها و سیانوباکتری‌ها به عنوان کودهای زیستی علاوه بر کاهش مصرف کودهای شیمیایی می‌تواند اثر رضایت بخشی در تولید محصولات زراعی ایجاد نماید. از این رو در این پژوهش، عصاره جلبک سبز *Ulva lactuca* و جلبک سبز-آبی *Nostoc commune* به عنوان کود و محرک زیستی روی مرحله جوانه‌زنی و رشد گیاهچه‌های ذرت مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی اثر تیمار بذر با عصاره‌های جلبک سبز *Ulva lactuca* و جلبک سبز-آبی *Nostoc commune* روی شاخص‌های فیزیولوژیکی گیاهچه‌های ذرت، آزمایشی در قالب طرح کاملاً تصادفی با شش سطح از غلظت‌های هر عصاره (۰، ۱۲/۵، ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد) در دانشگاه مازندران در سال ۱۴۰۱ انجام شد.

تهیه بذر و جلبک

بذرها و نمونه‌های جلبکی در بهار ۱۴۰۱ تهیه شدند. بذرهای ذرت رقم سینگل کراس ۷۰۴ از مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان مازندران تهیه شد. جلبک سبز گونه *U. lactuca* به صورت خشک شده از شرکت توسعه ذخایر زیستی جلبک‌های فارس (بانک جلبک) تهیه شد. جلبک سبز-آبی گونه *N. commune* از رویشگاه‌های طبیعی آن در دانشگاه مازندران جمع‌آوری و پس از شستشو با آب شهری و آب مقطر در محیط آزمایشگاه و در شرایط سایه خشک شدند. سپس نمونه‌های جلبکی توسط آسیاب الکتریکی پودر شده و برای انجام مراحل بعدی در یخچال نگه‌داری شدند.

عصاره‌گیری

مقدار یک گرم از پودر *U. lactuca* به ۱۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر اضافه و به مدت ۶۰ دقیقه در دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد. مقدار ۰/۵ گرم از پودر *N. commune* با ۱۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر مخلوط شد و به مدت ۲۴ ساعت روی دستگاه شیکر با سرعت ۱۰۰ دور بر دقیقه قرار گرفت. سپس هر دو عصاره به مدت ۵ دقیقه با سرعت ۴۰۰۰ دور بر دقیقه سانتریفیوژ شدند. مایع شفاف رویی جداسازی و با کاغذ صافی دو لایه صاف شدند. غلظت‌های ۱۲/۵، ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد از عصاره اولیه تهیه شد و جهت انجام مراحل بعدی مورد استفاده قرار گرفت.

شرایط کشت و تیمار بذر

بذرها به مدت ۵ دقیقه با محلول هیپوکلریت سدیم ۳ درصد ضدعفونی و سپس با آب مقطر شسته شدند. تعداد ۱۰ عدد بذر در ظروف پتری حاوی کاغذ صافی استریل قرار داده شد. تیمارها شامل غلظت‌های ۰، ۱۲/۵، ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد از هر عصاره بود که به حجم ۵ میلی‌لیتر به ظروف پتری اضافه شدند. غلظت صفر به عنوان شاهد در نظر گرفته شد که حاوی ۵ میلی‌لیتر آب مقطر بود. هر تیمار دارای سه تکرار بود. نمونه‌ها در قفسه کشت و در دمای ۲۵±۲ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند و در شرایط نوری ۱۶ ساعت روشنایی و ۸ ساعت تاریکی با لامپ‌های فلورسنت نوردهی شدند. نمونه‌ها پس از ۷ روز برداشت شدند و شاخص‌های رشد شامل ارتفاع ساقه‌چه، طول ریشه‌چه و وزن کل گیاهچه و همچنین متابولیت‌های گیاهی اندام هوایی شامل کلروفیل a، کلروفیل b، کارتنوئید، فنل و فلاونوئید سنجش شدند.

سنجش شاخص‌های رشد

گیاهچه‌ها روی کاغذهای مدرج قرار گرفته و از فواصل ثابت عکس‌برداری صورت گرفت. سپس ارتفاع ساقه‌چه و

طول ریشه‌چه توسط نرم افزار Digimizer (نسخه ۵،۴،۹) اندازه‌گیری شدند. وزن کل گیاهچه نیز توسط ترازو دیجیتال با دقت ۰/۰۰۱ اندازه‌گیری شد.

سنجش رنگدانه‌های فتوسنتزی

در هاون چینی مقدار ۰/۵۰ گرم از اندام هوایی گیاه با ۵ میلی‌لیتر استون ۸۰ درصد سائیده شد. مخلوط حاصل به مدت ۱۰ دقیقه در دستگاه التراسونیک قرار گرفت و سپس به مدت ۵ دقیقه و با سرعت ۴۰۰۰ دور بر دقیقه سانتریفیوژ شد. محلول‌رویی جداسازی و جذب آن توسط دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج‌های ۶۴۵، ۶۶۳ و ۴۷۰ نانومتر اندازه‌گیری شد. میزان رنگدانه‌ها با استفاده از روابط زیر محاسبه و بر حسب میلی‌گرم بر گرم وزن تازه ($mg\ g^{-1}$ FW) گردید (Arnon, 1949).

رابطه (۱) $Chl\ a = (12.7 \times A663) - (2.69 \times A645)$

رابطه (۲) $Chl\ b = (22.9 \times A645) - (4.68 \times A663)$

رابطه (۳) $Carotenoids = ((1000 \times A470) - (1.82 \times Chl\ a) - (85.02 \times Chl\ b))/198$

سنجش ترکیبات فنولیک

برای عصاره‌گیری، حجم ۵ میلی‌لیتر از متانول ۸۰ درصد با ۰/۱۰ گرم از اندام هوایی در هاون سائیده شد. مخلوط حاصل به مدت ۱۰ دقیقه در دستگاه اولتراسونیک قرار گرفت. سپس به مدت ۵ دقیقه با سرعت ۴۰۰۰ دور بر دقیقه سانتریفیوژ شد. در نهایت محلول رویی جداسازی و جهت سنجش فنل و فلاونوئید مورد استفاده قرار گرفت.

سنجش فنل با روش رنگ‌سنجی Folin-Ciocalteu انجام شد. ابتدا مقدار ۱۰۰۰ میکرولیتر معرف فولین ۱۰ درصد با ۲۰۰ میکرولیتر از عصاره مخلوط و پس از پنج دقیقه، ۸۰۰ میکرولیتر کربنات سدیم ۷/۵ درصد به آن اضافه شد. پس از ۶۰ دقیقه توقف در شرایط تاریکی، جذب نمونه‌ها توسط دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۷۶۵ نانومتر خوانده شد. سپس با استفاده از نمودار استاندارد اسید گالیک (شکل ۲-۱)، میزان فنل کل محاسبه و در نهایت بر حسب میلی‌گرم بر گرم وزن تر ($mg\ g^{-1}$ FW) معادل اسید گالیک بیان شد (Ainsworth and Gillespie, 2007).

سنجش فلاونوئید با استفاده از روش رنگ‌سنجی کلریدآلومینیوم انجام شد. برای این منظور به ۲۰۰ میکرولیتر از عصاره، ۴۰ میکرولیتر کلرید آلومینیوم ۱۰ درصد، ۴۰ میکرولیتر استات پتاسیم یک مولار، ۶۰۰ میکرولیتر متانول ۸۰ درصد و ۱۱۲۰ میکرولیتر آب مقطر اضافه شد. بعد از گذشت ۳۰ دقیقه جذب نمونه‌ها در طول موج ۴۱۵ نانومتر توسط دستگاه اسپکتروفتومتر اندازه‌گیری شد. سپس با استفاده از نمودار استاندار روتین (شکل ۲-۲)، میزان فلاونوئید محاسبه و در نهایت بر حسب میلی‌گرم بر گرم وزن تر ($mg\ g^{-1}$ FW) معادل روتین بیان شد (Akkol *et al.*, 2008).

رسم شکل‌ها با استفاده از نرم‌افزار Microsoft 2013 Excel و با استفاده از میانگین و انحراف معیار تیمارها انجام شد. تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها نیز با روش تجزیه واریانس یک طرفه (One-Way ANOVA) و آزمون چند دامنه‌ای دانکن (Duncan) در سطح معنی‌داری ۵ درصد با استفاده از نرم‌افزار SPSS 20 انجام شد. حروف متفاوت در شکل‌ها نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار و وجود حداقل یک حرف مشابه نشان دهنده عدم تفاوت معنی‌دار تیمارها با یکدیگر می‌باشد.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر تیمار بذر ذرت با عصاره‌های *Ulva lactuca* (جدول ۱) و *Nostoc commune* (جدول ۲) بر شاخص‌های رشد شامل ارتفاع ساقه‌چه، طول ریشه‌چه و وزن گیاهچه و محتوای متابولیت‌های گیاهی شامل کلروفیل a، کلروفیل b، کاروتنوئید، فنل و فلاونوئید معنی‌دار بود ($P<0.05$).

ارتفاع ساقه‌چه

در تیمار با عصاره‌ی *U. lactuca*، ارتفاع ساقه‌چه در غلظت‌های ۱۲/۵ و ۲۵ درصد عصاره نسبت به شاهد افزایش معنی‌دار و در غلظت‌های ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد عصاره نسبت به شاهد کاهش یافت ($P<0.05$). بر اساس مقایسه میانگین، بیش‌ترین ارتفاع ساقه‌چه در تیمار با غلظت ۱۲/۵ درصد عصاره مشاهده شد که ۷/۴۴ درصد نسبت به شاهد بیش‌تر بود (شکل ۱).

در تیمار با عصاره‌ی *N. commune*، ارتفاع ساقه‌چه در غلظت ۱۲/۵ درصد عصاره تفاوت معنی‌داری با شاهد نداشت اما در سایر غلظت‌های عصاره در مقایسه با شاهد افزایش یافت ($P<0.05$). بر اساس مقایسه میانگین، بیش‌ترین ارتفاع ساقه‌چه در تیمار با غلظت ۵۰ درصد عصاره مشاهده شد که ۹/۳۰ درصد نسبت به شاهد بیش‌تر بود (شکل ۱).

جدول ۱- تجزیه واریانس شاخص‌های رشد و محتوای متابولیت‌های گیاهچه‌های ذرت در تیمار با عصاره *U. lactuca*
Table 1. Analysis of variance (ANOVA) of growth indices and metabolite content of corn seedlings in the treatment with *U. lactuca* extract

		مجموع مربعات Sum of Squares	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean Square	آماره فیشر F	*مقدار معنی‌داری Sig.
ارتفاع ساقه‌چه Hypocotyl Height	بین گروه‌ها (Between Groups)	151.630	5	30.326	232.416	.000
	درون گروه‌ها (Within Groups)	7.046	54	.130		
	کل (Total)	158.676	59			
طول ریشه‌چه Radicle Length	بین گروه‌ها (Between Groups)	255.162	5	51.032	103.467	.000
	درون گروه‌ها (Within Groups)	26.634	54	.493		
	کل (Total)	281.796	59			
وزن گیاهچه Seedling Weight	بین گروه‌ها (Between Groups)	.325	5	.065	131.181	.000
	درون گروه‌ها (Within Groups)	.027	54	.000		
	کل (Total)	.352	59			
کلروفیل a Chlorophyll a	بین گروه‌ها (Between Groups)	.012	5	.002	156.276	.000
	درون گروه‌ها (Within Groups)	.000	12	.000		
	کل (Total)	.012	17			
کلروفیل b Chlorophyll b	بین گروه‌ها (Between Groups)	.017	5	.003	39.479	.000
	درون گروه‌ها (Within Groups)	.001	12	.000		
	کل (Total)	.018	17			
کاروتنوئید Carotenoids	بین گروه‌ها (Between Groups)	.001	5	.000	15.302	.000
	درون گروه‌ها (Within Groups)	.000	12	.000		
	کل (Total)	.001	17			
فنل Phenol	بین گروه‌ها (Between Groups)	1.556	5	.311	16.320	.000
	درون گروه‌ها (Within Groups)	.229	12	.019		
	کل (Total)	1.785	17			
فلاونوئید Flavonoid	بین گروه‌ها (Between Groups)	.518	5	.104	11.783	.000
	درون گروه‌ها (Within Groups)	.106	12	.009		
	کل (Total)	.624	17			

* Significant at 5% probability level

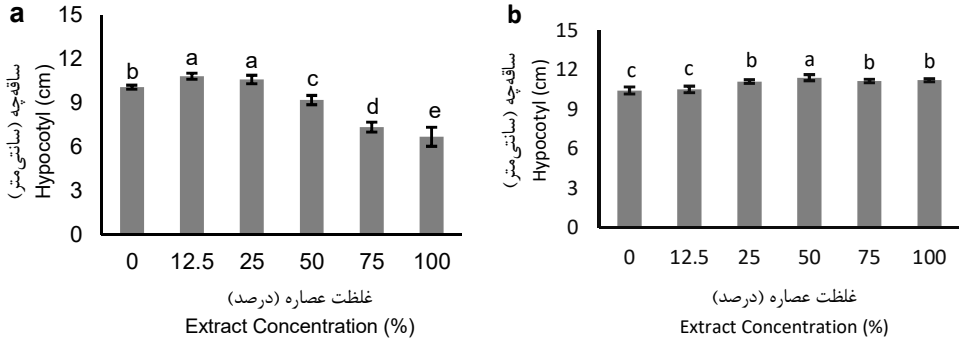
* معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد

جدول ۲- تجزیه واریانس شاخص‌های رشد و محتوای متابولیت‌های گیاهچه‌های ذرت در تیمار با عصاره *N. commune*
Table 2. Analysis of variance (ANOVA) of growth indices and metabolite content of corn seedlings in the treatment with *N. commune* extract

		مجموع مربعات Sum of Squares	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean Square	آماره فیشر F	*مقدار معنی‌داری Sig.
ارتفاع ساقه‌چه Hypocotyl Height	بین گروه‌ها (Between Groups)	7.949	5	1.590	37.589	.000
	درون گروه‌ها (Within Groups)	2.284	54	.042		
	کل (Total)	10.233	59			
طول ریشه‌چه Radicle Length	بین گروه‌ها (Between Groups)	42.445	5	8.489	27.149	.000
	درون گروه‌ها (Within Groups)	16.885	54	.313		
	کل (Total)	59.330	59			
وزن گیاهچه Seedling Weight	بین گروه‌ها (Between Groups)	.147	5	.029	64.809	.000
	درون گروه‌ها (Within Groups)	.025	54	.000		
	کل (Total)	.172	59			
کلروفیل a Chlorophyll a	بین گروه‌ها (Between Groups)	.019	5	.004	13.542	.000
	درون گروه‌ها (Within Groups)	.003	12	.000		
	کل (Total)	.022	17			
کلروفیل b Chlorophyll b	بین گروه‌ها (Between Groups)	.004	5	.001	16.527	.000
	درون گروه‌ها (Within Groups)	.001	12	.000		
	کل (Total)	.005	17			
کاروتنوئید Carotenoids	بین گروه‌ها (Between Groups)	.003	5	.001	15.851	.000
	درون گروه‌ها (Within Groups)	.000	12	.000		
	کل (Total)	.004	17			
فنل Phenol	بین گروه‌ها (Between Groups)	.846	5	.169	16.066	.000
	درون گروه‌ها (Within Groups)	.126	12	.011		
	کل (Total)	.973	17			
فلاونوئید Flavonoid	بین گروه‌ها (Between Groups)	1.302	5	.260	7.360	.002
	درون گروه‌ها (Within Groups)	.425	12	.035		
	کل (Total)	1.727	17			

* Significant at 5% probability level

* معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد

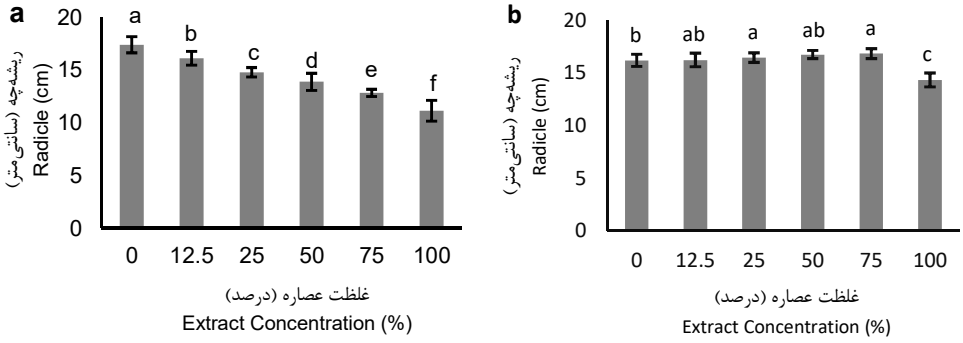


شکل ۱- ارتفاع ساقه‌چه در تیمار با غلظت‌های مختلف عصاره *U. lactuca* (a) و *N. commune* (b)

Figure 1. Hypocotyl height in treatments with different concentrations of *U. lactuca* (a) and *N. commune* (b) extracts

طول ریشه‌چه

طول ریشه‌چه در تیمار با همه غلظت‌های عصاره‌ی *U. lactuca* نسبت به شاهد کاهش یافت؛ به طوری که طول ریشه‌چه با افزایش غلظت عصاره کوتاه‌تر شد ($P<0.05$) (شکل ۲).



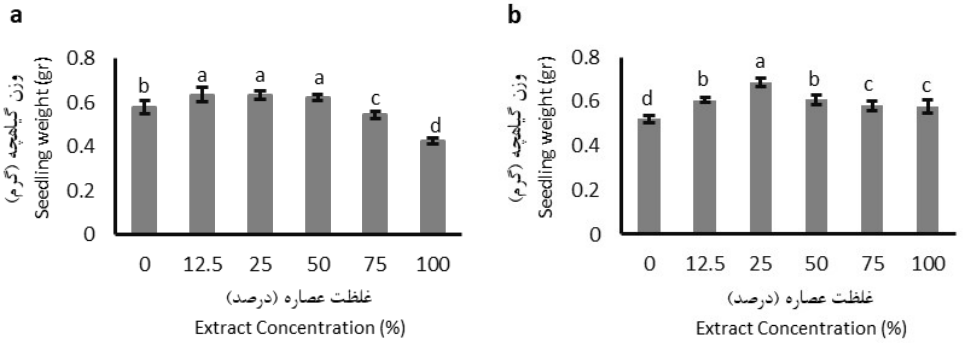
شکل ۲- طول ریشه‌چه در تیمار با غلظت‌های مختلف عصاره *U. lactuca* (a) و *N. commune* (b)

Figure 2. Radicle length in treatments with different concentrations of *U. lactuca* (a) and *N. commune* (b) extracts

در تیمار با عصاره‌ی *N. commune*، طول ریشه‌چه تنها در غلظت ۷۵ درصد عصاره افزایش معنی‌داری نسبت به شاهد داشت. طول ریشه‌چه در تیمار با غلظت ۱۰۰ درصد عصاره کاهش معنی‌داری نسبت به شاهد نشان داد. طول ریشه‌چه در سایر تیمارها تفاوت معنی‌داری با شاهد نداشت ($P<0.05$). بر اساس مقایسه میانگین، بیش‌ترین طول ریشه‌چه در تیمار با غلظت ۷۵ درصد عصاره مشاهده شد که ۴/۰۱ درصد نسبت به شاهد بیش‌تر بود (شکل ۲).

وزن گیاهچه

در تیمار با عصاره‌ی *U. lactuca*، وزن گیاهچه در غلظت‌های ۱۲/۵، ۲۵ و۵۰ درصد عصاره افزایش و در غلظت‌های ۷۵ و ۱۰۰ درصد عصاره کاهش معنی‌داری



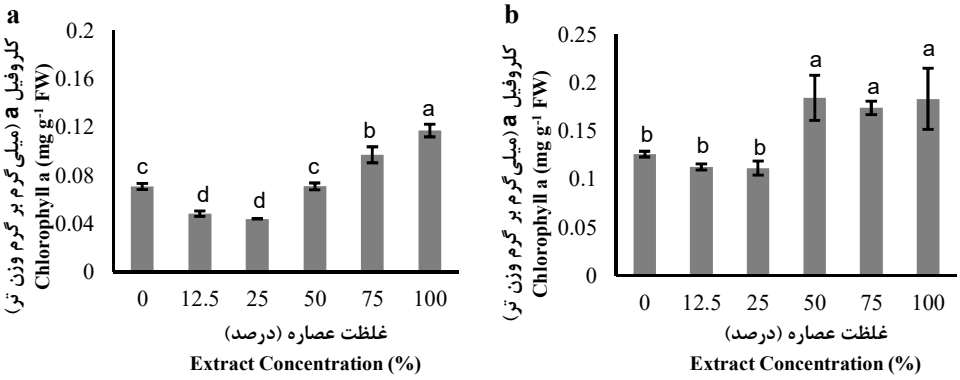
شکل ۳- وزن گیاهچه در تیمار با غلظت‌های مختلف عصاره *U. lactuca* (a) و *N. commune* (b)

Figure 3. Seedling weight in treatments with different concentrations of *U. lactuca* (a) and *N. commune* (b) extracts

نسبت به شاهد داشت ($P<0.05$). بر اساس مقایسه میانگین، بیش‌ترین وزن گیاهچه در تیمار با غلظت ۱۲/۵ درصد عصاره مشاهده شد که ۹/۸۴ درصد نسبت به شاهد بیش‌تر بود (شکل ۳).

در تیمار با عصاره‌ی *N. commune*، وزن گیاهچه در همه غلظت‌های عصاره افزایش معنی‌داری را نسبت به شاهد نشان داد ($P<0.05$). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیش‌ترین وزن گیاهچه در تیمار با غلظت ۲۵ درصد عصاره بود که ۳۱/۸۶ درصد بیش‌تر از شاهد بود (شکل ۳).

کلروفیل a: در تیمار با عصاره‌ی *U. lactuca*، میزان کلروفیل a در غلظت‌های ۷۵ و ۱۰۰ درصد عصاره نسبت به شاهد افزایش یافت. میزان کلروفیل a در تیمار با غلظت ۵۰ درصد عصاره تفاوت معنی‌داری با شاهد نداشت و در تیمار با غلظت‌های ۱۲/۵ و ۲۵ درصد عصاره کم‌تر از شاهد بود ($P<0.05$). بر اساس مقایسه میانگین، بیش‌ترین میزان کلروفیل a در تیمار با غلظت ۱۰۰ درصد عصاره مشاهده شد که به میزان ۶۴/۷۹ درصد نسبت به شاهد بیش‌تر بود (شکل ۴).

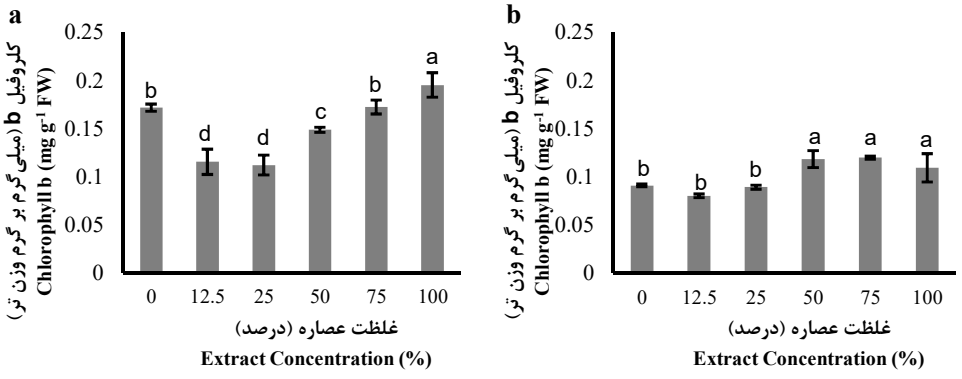


شکل ۴- میزان کلروفیل a در تیمار با غلظت‌های مختلف عصاره *U. lactuca* (a) و *N. commune* (b)

Figure 4. Chlorophyll a content in treatments with different concentrations of *U. lactuca* (a) and *N. commune* (b) extracts

در تیمار با عصاره‌ی *N. commune*، میزان کلروفیل a در غلظت‌های ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد عصاره نسبت به شاهد افزایش یافت و در غلظت‌های ۱۲/۵ و ۲۵ درصد عصاره تفاوت معنی‌داری با شاهد نداشت ($P<0.05$). بر اساس مقایسه میانگین، بیش‌ترین میزان کلروفیل a در تیمار با غلظت ۵۰ درصد عصاره مشاهده شد که ۴۶/۰۳ درصد نسبت به شاهد بیش‌تر بود (شکل ۴).

کلروفیل b: در تیمار با عصاره‌ی *U. lactuca*، میزان کلروفیل b تنها در غلظت ۱۰۰ درصد عصاره نسبت به شاهد افزایش یافت که ۱۳/۳۷ درصد بیش‌تر از شاهد بود. میزان کلروفیل b در تیمار با غلظت ۷۵ درصد عصاره تفاوت معنی‌داری با شاهد نداشت و در سایر تیمارها کاهش معنی‌داری را نسبت به شاهد نشان داد ($P<0.05$) (شکل ۵).



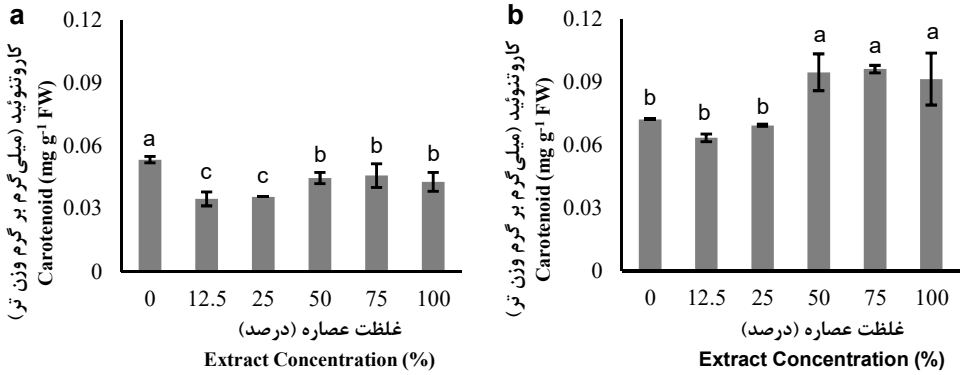
شکل ۵- میزان کلروفیل b در تیمار با غلظت‌های مختلف عصاره *U. lactuca* (a) و *N. commune* (b)

Figure 5- Chlorophyll b content in treatments with different concentrations of *U. lactuca* (a) and *N. commune* (b) extracts

در تیمار با عصاره‌ی *N. commune*، میزان کلروفیل b در غلظت‌های ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد عصاره نسبت به شاهد افزایش یافت و در غلظت‌های ۱۲/۵ و ۲۵ درصد عصاره تفاوت معنی‌داری با شاهد نداشت ($P<0.05$). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیش‌ترین میزان کلروفیل b در تیمار با غلظت ۷۵ درصد عصاره بود که ۳۱/۸۷ درصد بیش‌تر از شاهد بود (شکل ۵).

کاروتنوئید

میزان کاروتنوئید در تیمار با غلظت‌های ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد عصاره‌ی *U. lactuca* نسبت به تیمار با غلظت‌های ۱۲/۵ و ۲۵ درصد عصاره بیش‌تر بود؛ با این وجود، میزان کاروتنوئید در همه تیمارها کاهش معنی‌داری نسبت به شاهد داشت ($P<0.05$) (شکل ۶).

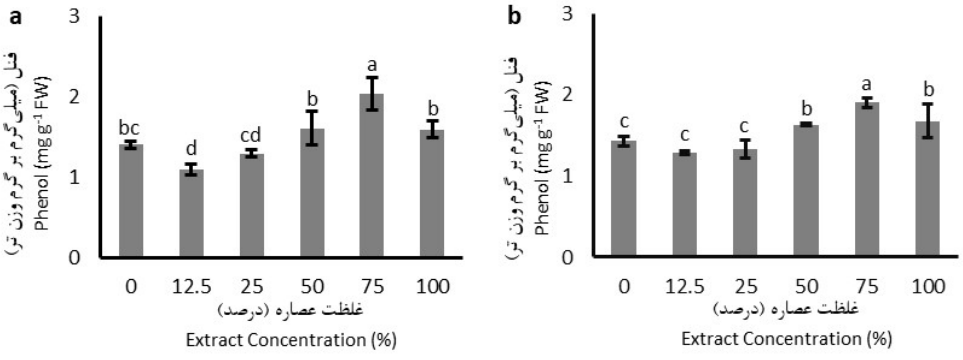


شکل ۶- میزان کارتنوئیدها در تیمار با غلظت‌های مختلف عصاره *U. lactuca* (a) و *N. commune* (b)

Figure 6. Carotenoids content in treatments with different concentrations of *U. lactuca* (a) and *N. commune* (b) extracts

میزان کاروتنوئید در تیمار با غلظت‌های ۱۲/۵ و ۲۵ درصد عصاره‌ی *N. commune* تفاوت معنی‌داری با شاهد نداشت اما در تیمار با غلظت‌های ۵۰ ، ۷۵ و ۱۰۰ درصد عصاره افزایش معنی‌داری را نسبت به شاهد نشان داد ($P<0.05$). بر اساس مقایسه میانگین، بیش‌ترین میزان کاروتنوئید در تیمار با غلظت ۷۵ درصد عصاره مشاهده شد که ۳۳/۳۴ درصد نسبت به شاهد بیش‌تر بود (شکل ۶).

فنل کل: میزان فنل در تیمار با عصاره‌ی *U. lactuca*، تنها در غلظت ۷۵ درصد عصاره افزایش معنی‌داری را نسبت به شاهد نشان داد که ۴۴/۸۳ درصد بیش‌تر از شاهد بود. میزان کلروفیل b در تیمار با غلظت‌های ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ درصد عصاره تفاوت معنی‌داری با شاهد نداشت و در تیمار با غلظت ۱۲/۵ درصد عصاره کم‌تر از شاهد بود ($P<0.05$) (شکل ۷).



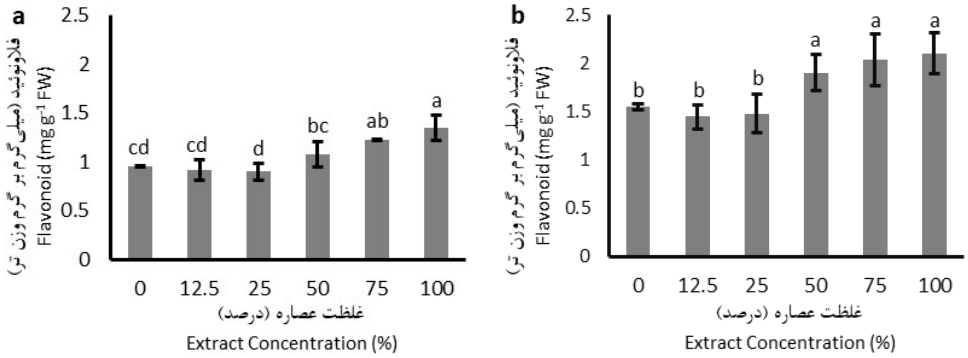
شکل ۷- میزان فنل در تیمار با غلظت‌های مختلف عصاره *U. lactuca* (a) و *N. commune* (b)

Figure 7- Phenol content in treatments with different concentrations of *U. lactuca* (a) and *N. commune* (b) extracts

در تیمار با عصاره‌ی *N. commune*، میزان فنل در غلظت‌های ۱۲/۵ و ۲۵ درصد عصاره تفاوت معنی‌داری با شاهد نداشت ولی در تیمار با غلظت‌های ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد عصاره نسبت به شاهد افزایش یافت ($P<0.05$). بر اساس مقایسه میانگین، بیش‌ترین میزان فنل در تیمار با غلظت ۷۵ درصد عصاره مشاهده شد که ۳۳/۳۴ درصد بیش‌تر از شاهد بود (شکل ۷).

فلاونوئید

در تیمار با عصاره‌ی *U. lactuca*، میزان فلاونوئید در غلظت‌های ۷۵ و ۱۰۰ درصد عصاره نسبت به شاهد افزایش یافت و در سایر غلظت‌ها تفاوت معنی‌داری با شاهد نداشت ($P<0.05$). بر اساس مقایسه میانگین، بیش‌ترین میزان فلاونوئید در تیمار با غلظت ۱۰۰ درصد عصاره مشاهده شد که ۴۲٫۰۳ درصد بیش‌تر از شاهد بود (شکل ۸).



شکل ۸- میزان فلاونوئید در تیمار با غلظت‌های مختلف عصاره *U. lactuca* (a) و *N. commune* (b)

Figure 8- Flavonoid content in treatments with different concentrations of *U. lactuca* (a) and *N. commune* (b) extracts

میزان فلاونوئید در تیمار با غلظت‌های ۱۲٫۵ و ۲۵ درصد عصاره‌ی *N. commune* تفاوت معنی‌داری با شاهد نداشت اما در تیمار با غلظت‌های ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد عصاره نسبت به شاهد افزایش یافت ($P<0.05$). بر اساس مقایسه میانگین، بیش‌ترین میزان فلاونوئید در تیمار با غلظت ۱۰۰ درصد عصاره مشاهده شد که ۳۵٫۲۲ درصد نسبت به شاهد بیش‌تر بود (شکل ۸).

در پژوهش حاضر بذرهای ذرت رقم سینگل کراس ۷۰۴ با عصاره‌های جلبک سبز *Ulva lactuca* و جلبک سبز-آبی *Nostoc commune* به‌طور جداگانه تیمار شدند و رشد گیاهچه‌های حاصل مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که عصاره‌های این جلبک‌ها موجب بهبود شاخص‌های رشد و محتوای متابولیت‌های گیاهچه‌های ذرت شدند.

در مطالعه‌ای، اثر عصاره جلبک‌های *Ulva lactuca*، *Caulerpa sertularioides*، *Padina gymnospora* و *Sargassum liebmannii* به عنوان محرک‌های زیستی روی جوانه‌زنی و رشد گوجه فرنگی (*Solanum lycopersicum* L.) نشان داد که بذرهای تیمار شده با *U. lactuca* و *P. gymnospora* در غلظت‌های پایین (۰٫۲ درصد) منجر به افزایش جوانه‌زنی، طول ساقه‌چه، ریشه‌چه، ریشه، اندام هوایی و وزن شد. نتایج نشان داد که *U. lactuca* و *P. gymnospora* محرک‌های زیستی بهتر و موثرتری جهت بهبود رشد گیاهان گوجه فرنگی بودند (Hernández-Herrera *et al*., 2014). در پژوهشی دیگر، بررسی اثر جلبک‌های سبز-آبی *Nostoc entophytum* و *Oscillatoria angustissima* به عنوان کود زیستی روی گیاه نخود (*Pisum sativa*) و مقایسه با کودهای شیمیایی متداول نشان داد که این جلبک‌ها باعث افزایش جوانه‌زنی بذر و تحریک شاخص‌های رشد در نخود شد (Osman *et al*., 2010). در این پژوهش نتایج نشان داد که تیمار بذر با عصاره *U. lactuca* در غلظت‌های ۱۲٫۵ و ۲۵ درصد منجر به افزایش ارتفاع ساقه‌چه و در غلظت‌های ۱۲٫۵ تا ۵۰ درصد منجر به افزایش وزن گیاهچه شد. در غلظت‌های بالاتر عصاره ارتفاع ساقه‌چه و وزن گیاهچه و در همه غلظت‌های عصاره طول ریشه‌چه کاهش یافت. تیمار بذر با عصاره *N. commune* نیز نشان داد که ارتفاع ساقه‌چه و وزن گیاهچه در اغلب غلظت‌های عصاره افزایش یافت و طول ریشه‌چه فقط در غلظت ۷۵ درصد افزایش را نشان داد (شکل‌های ۱-۳). تاثیر مثبت کودها و محرک‌های زیستی روی شاخص‌های رشد عمدتاً با محتوای بالای عناصر کمیاب و مواد تنظیم کننده رشد توضیح داده می‌شود (Blunden and Wildgoose, 1977). وزن گیاه تحت تأثیر غلظت مواد مغذی است. هورمون‌های رشد موجود در عصاره جلبک‌ها در جذب و حرکت عناصر غذایی در گیاه دخالت داشته که نتیجه آن افزایش وزن گیاه می‌باشد. گونه‌های مختلف جلبک‌های دریایی که در طبیعت یافت می‌شوند یا به صورت تجاری کشت می‌شوند، حاوی ترکیبات آلی هستند که فعالیت آنها شبیه به فعالیت

سیتوکینین، اکسین و جیبرلین است. این ترکیبات قادر به تحریک شاخص‌های رشدی و در نتیجه تقسیم سلولی هستند (Crouch and Van Staden, 1993). بهبود شاخص‌های رشد گیاهچه‌های ذرت در تیمار با عصاره‌های *N. commune* و *U. lactuca* می‌تواند رشد بهتر گیاه و افزایش تولید محصول را تضمین نماید. از طرفی دیگر این عصاره‌ها می‌توانند با نقش‌های کود زیستی و محرک زیستی برای سایر محصولات کشاورزی نیز پیشنهاد گردند؛ اگرچه نیاز به مطالعات بیش‌تر و بررسی ترکیبات موثر موجود در این عصاره‌ها است.

کیفیت محصول و میزان بهره‌وری از آن به طور مستقیم با کلروفیل‌های گیاه در ارتباط است و کشاورزان، به طور معمول، رنگ برگ را به عنوان یک معیار مناسب برای تشخیص سلامت گیاه در نظر می‌گیرند. مقدار کلروفیل به عنوان یک شاخص مهم در تشخیص بیماری‌ها، بررسی وضعیت مواد مغذی و نیتروژن و همچنین بررسی میزان دسترسی گیاه به آب شناخته می‌شود (Dey *et al*., 2016). مخلوطی با نسبت مساوی از جلبک‌های سبز-آبی *Anabaena* sp. و *Nostoc* sp. به همراه مخلوطی از سه باکتری تثبیت کننده ازت (*Azotobacter chroococcum*، *Azospirillum brasilense* و *Rhizobium* sp.) منجر به افزایش رشد رویشی و زایشی، افزایش میزان کلروفیل‌ها و کاروتنوئیدها و افزایش عناصر معدنی ازت، فسفر و پتاسیم در گیاه *Matthiola Incana* شد (Shanan and Higazy, 2009). در پژوهشی دیگر، بررسی اثر جلبک‌های سبز-آبی *Nostoc entophytum* و *Oscillatoria angustissima* به عنوان کود زیستی روی گیاه نخود (*Pisum sativa*) باعث افزایش میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی شد (Osman *et al*., 2010). همچنین، افزایش مقدار کلروفیل‌ها و کاروتنوئیدهای برگ‌های گیاه شنبلیه (Mafakheri, 2017)، زعفران (Khandan Deh-Arbab *et al*., 2020) و بامیه (Thirumaran *et al*., 2009) در نتیجه استفاده از عصاره جلبک گزارش شده است. در پژوهش حاضر نیز نشان داده شد که تیمار بذر با غلظت‌های ۷۵ و ۱۰۰ درصد عصاره *U. lactuca* منجر به افزایش کلروفیل‌ها و غلظت‌های ۵۰ تا ۱۰۰ درصد عصاره *N. commune* باعث افزایش میزان کلروفیل‌ها و کاروتنوئیدها شده است (شکل‌های ۴-۶). احتمالاً وجود عناصر معدنی منیزیم و آهن در عصاره جلبک، تأثیر مثبتی در سنتز کلروفیل و در نتیجه در افزایش فتوسنتز دارد. به علاوه، با توجه به وجود نیتروژن در ساختار اکثر رنگدانه‌های فتوسنتزی، لذا حضور اسیدهای آمینه در عصاره جلبک، بواسطه افزایش رنگ‌دانه‌های فتوسنتزی می‌تواند سبب افزایش فتوسنتز و نهایتاً افزایش رشد گیاه گردد (Asadi *et al*., 2022; Mutale-Joan *et al*., 2020; Górka *et al*., 2018; Pise and Sabale, 2010). به نظر می‌رسد افزایش میزان رنگدانه‌های فتوسنتزی گیاهچه‌های ذرت در تیمار با عصاره‌های *U. lactuca* و *N. commune*، بتواند میزان محصولات فتوسنتزی نظیر کربوهیدرات‌ها و سایر ترکیبات آلی مانند پروتئین‌ها را افزایش داده و احتمالا رشد گیاه، میزان و کیفیت محصول بهبود یابد.

تجمع ترکیبات فنولیکی در کرک‌ها، واکوئل و دیواره سلول‌های اپیدرمی از آسیب سلول‌های مزوفیلی زیرین جلوگیری می‌کند. این ترکیبات با قابلیت آنتی‌اکسیدانی و سمیت‌زدایی رادیکال‌های اکسیژن باعث افزایش مقاومت گیاهان می‌شوند (Allen and Ort, 2001). نتایج برخی تحقیقات نشان داده است که کاربرد ترکیبات زیستی و برخی تنظیم‌کننده‌های رشد می‌تواند میزان ترکیبات فنولیک را تا حد قابل توجهی در گیاه افزایش دهد (Wu and Ng, 2008). افزایش ترکیبات فنولیکی گیاه اسفناج تیمار با عصاره جلبک‌ها نیز گزارش شده است (Fan *et al*., 2011). در پژوهشی دیگر نیز کودهای زیستی میزان ترکیبات فنولیک در گیاه دارویی سرخار گل را افزایش داد (Agha Alikhani *et al*., 2013). در پژوهش حاضر، تیمار بذر ذرت با عصاره *U. lactuca* در غلظت ۷۵ درصد منجر به افزایش فنل و در غلظت‌های ۷۵ و ۱۰۰ درصد عصاره منجر به افزایش فلاونوئید در اندام هوایی گیاهچه‌ها شد. تیمار بذر با عصاره *N. commune* نیز نشان داد که غلظت‌های ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد عصاره باعث افزایش میزان فنل و فلاونوئید شد (شکل‌های ۷-۸). دلیل افزایش محتوای فنل گیاه در شرایط مصرف عصاره جلبک ممکن است به وجود برخی هورمون‌های رشد و عناصر غذایی در عصارهٔ جلبک مرتبط باشد که تولید ترکیبات قندی و در نهایت ترکیبات کیفی مانند فنل را تحریک می‌کنند (Khandan Deh-Arbab *et al*., 2020). عصاره جلبک دریایی با تحریک مسیر فلاونوئید، منجر به تجمع فلاونوئیدها و بالا بردن ظرفیت ضد رادیکالی در گیاهان

می‌گردد و از بافت گیاه و غشای سلولی در برابر گونه‌های فعال اکسیژن و فروپاشی آنها جلوگیری می‌کند (Nair *et al*., 2012). افزایش میزان ترکیبات فنولیک در پاسخ به تیمار با عصاره‌های *U. lactuca* و *N. commune* به این نکته اشاره دارد که این عصاره‌ها می‌توانند علاوه بر افزایش مقاومت گیاهان در مقابله با آفات و تنش‌های محیطی، در بهبود ارزش داروئی و تغذیه‌ای گیاهان نیز موثر باشند.

نتیجه‌گیری کلی

به‌طور کلی نتایج حاضر نشان داد که شاخص‌های رشد گیاهچه‌های ذرت در تیمار با غلظت‌های کم تا متوسط و متابولیت‌های گیاهی آنها شامل رنگدانه‌های فتوسنتزی و ترکیبات فنولیک در تیمار با غلظت‌های متوسط تا زیاد عصاره‌های هر دو جلبک بیش‌ترین افزایش را نسبت به نمونه شاهد داشتند. شاخص‌های رشد، میزان کلروفیل b و کاروتنوئید در تیمار با عصاره *N. commune* و میزان کلروفیل a، فنل و فلاونوئید در تیمار با عصاره *U. lactuca* بیش‌ترین درصد افزایش را نسبت به شاهد نشان دادند. نتایج حاضر پیشنهاد می‌کند که عصاره هر دو جلبک سبز *U. lactuca* و جلبک سبز-آبی *N. commune* می‌توانند به عنوان محرک زیستی و کود زیستی در بهبود شاخص‌های رشد و متابولیت‌های گیاه ذرت موثر باشند.

تشکر و قدردانی

بدینوسیله نویسندگان مراتب سپاس خود را از معاونت پژوهش و فناوری دانشگاه مازندران اعلام می‌دارند.

منابع

AghaAlikhani, M., Iranpour, A. and Naghdi Badi, H. 2013. Changes in agronomical and phytochemical yield of purple coneflower (*Echinacea purpurea* (L.) moench) under urea and three biofertilizers application. Journal of Medicinal Plants, 12 (46): 121-136. DOI: 20.1001.1.2717204.2013.12.46.12.5. (In Persian) **(Journal)**

Ainsworth, E. A. and Gillespie, K. M. 2007. Estimation of total phenolic content and other oxidation substrates in plant tissues using Folin–Ciocalteu reagent. Nature Protocols, 2 (4): 875-877. DOI: 10.1038/nprot.2007.102. **(Journal)**

Akkol, E. K., Göger, F., Koşar, M. and Başer, K. H. C. 2008. Phenolic composition and biological activities of *Salvia halophila* and *Salvia virgata* from Turkey. Food Chemistry, 108 (3): 942-949. DOI: 10.1016/j.foodchem.2007.11.071. **(Journal)**

Allen, D. J. and Ort, D. R. 2001. Impacts of chilling temperatures on photosynthesis in warm-climate plants. Trends in Plant Science, 6 (1): 36-42. **(Journal)**

Arnon, D. I. 1949. Copper enzymes in isolated chloroplasts. Polyphenoloxidase in *Beta vulgaris*. Plant Physiology, 24 (1): 1. DOI: https://doi.org/10.1104/pp.24.1.1. **(Journal)**

Asadi, M., Rasouli, F., Amini, T., Hassanpouraghdam, M. B., Souri, S., Skrovankova, S., Mlcek, J. and Ercisli, S. 2022. Improvement of photosynthetic pigment characteristics, mineral content, and antioxidant activity of lettuce (*Lactuca sativa* L.) by arbuscular mycorrhizal fungus and seaweed extract foliar application. Agronomy, 12 (8): 1943. DOI: 10.3390/agronomy12081943. **(Journal)**

Battacharyya, D., Babgohari, M. Z., Rathor, P. and Prithiviraj, B. 2015. Seaweed extracts as biostimulants in horticulture. Scientia Horticulturae, 196: 39-48. DOI: 10.1016/j.scienta.2015.09.012 **(Journal)**

Battah, M. G., Mostfa, M. A., Eladel, H. M., Soror, A. S. and Tantawy, M. M. 2021. Physiological response of fenugreek (*Trigonella foenum-graecum* L.) plant treated by farmyard manure and two selected seaweeds as biofertilizers. Benha Journal of Applied Sciences, 6 (2): 115-124. DOI: 10.21608/bjas.2021.168294. **(Journal)**

Blunden, G. and Wildgoose, P. B. 1977. The effects of aqueous seaweed extract and kinetin on potato yields. Journal of the Science of Food and Agriculture, 28 (2): 121-125. DOI: 10.1002/jsfa.2740280203. **(Journal)**

Braun, J. C. and Colla, L. M. 2023. Use of microalgae for the development of biofertilizers and biostimulants. BioEnergy Research, 16 (1): 289-310. DOI: 10.1007/s12155-022-10456-8. **(Journal)**

Chaturvedi, S., Kulshrestha, S. and Bhardwaj, K. 2022. Role of seaweeds in plant growth promotion and disease management. In: Singh, H. B. and Vaishnav, A. (Eds.) New and Future Developments

in Microbial Biotechnology and Bioengineering. Elsevier. pp: 217-238. DOI: 10.1016/B978-0-323-85579-2.00007-1.

Chiaiese, P., Corrado, G., Colla, G., Kyriacou, M.C. and Rouphael, Y. 2018. Renewable sources of plant biostimulation: microalgae as a sustainable means to improve crop performance. Frontiers in Plant Science, 9: 1782. DOI: 10.3389/fpls.2018.01782. **(Journal)**

Crouch, I. J. and Van Staden, J. 1993. Evidence for the presence of plant growth regulators in commercial seaweed products. Plant Growth Regulation, 13: 21-29. DOI: 10.1007/BF00207588. **(Journal)**

Dey, A. K., Sharma, M. and Meshram, M. R. 2016. An analysis of leaf chlorophyll measurement method using chlorophyll meter and image processing technique. Procedia Computer Science, 85: 286-292. DOI: 10.1016/j.procs.2016.05.235. **(Journal)**

Dineshkumar, R., Duraimurugan, M., Sharmiladevi, N., Lakshmi, L. P., Rasheeq, A. A., Arumugam, A. and Sampathkumar, P. 2020. Microalgal liquid biofertilizer and biostimulant effect on green gram (*Vigna radiata* L.) an experimental cultivation. Biomass Conversion and Biorefinery, 1-21. DOI: 10.1007/s13399-020-00857-0. **(Journal)**

Dmytryk, A. and Chojnacka, K. 2018. Algae as fertilizers, biostimulants, and regulators of plant growth. In: Chojnacka, K., Wieczorek, P., Schroeder, G. and Michalak, I. (Eds.) Algae Biomass: Characteristics and Applications. Developments in Applied Phycology, vol 8. Springer, Cham. pp: 115-122. DOI: 10.1007/978-3-319-74703-3_10.

Esch, C. 2014. A Native Cyanobacteria, *Nostoc*, as a Biofertilizer. Thesis Projects for the Degree Bachelor of Science, Western Kentucky University, United States. **(Thesis)**

Fan, D., Hodges, D. M., Zhang, J., Kirby, C. W., Ji, X., Locke, S. J., Critchley, A. T. and Prithiviraj, B. 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 Chemistry, 124 (1): 195-202. DOI: 10.1016/j.foodchem.2010.06.008. **(Journal)**

Food and Agriculture Organization. 2024. Agricultural production statistics 2010–2023. FAOSTAT Analytical Briefs, No. 96. Rome. Retrieved December 17, 2024. from https://openknowledge.fao.org/handle/20.500.14283/cd3755en

Ghalab, A.M. and Salem, S.A. 2001. Effect of bio-fertilizer treatments on growth, chemical composition and productivity of wheat grown under different levels of NPK fertilization. Annals of Agricultural Science Cairo, 46: 485-509. **(Journal)**

Górka, B., Korzeniowska, K., Lipok, J. and Wieczorek, P. P. 2018. The Biomass of algae and algal extracts in agricultural production. In: Chojnacka, K., Wieczorek, P., Schroeder, G. and Michalak, I. (Eds.) Algae Biomass: Characteristics and Applications. Developments in Applied Phycology, vol 8. Springer, Cham. pp: 103-114. DOI: 10.1007/978-3-319-74703-3_9

Han, X., Zeng, H., Bartocci, P., Fantozzi, F. and Yan, Y. 2018. Phytohormones and effects on growth and metabolites of microalgae: a review. Fermentation, 4 (2): 25. DOI: 10.3390/fermentation4020025. **(Journal)**

Hernández-Herrera, R. M., Sánchez-Hernández, C. V., Palmeros-Suárez, P. A., Ocampo-Alvarez, H., Santacruz-Ruvalcaba, F., Meza-Canales, I. D. and Becerril-Espinosa, A. 2022. Seaweed extract improves growth and productivity of tomato plants under salinity stress. Agronomy, 12 (10): 2495. DOI: 10.3390/agronomy12102495. **(Journal)**

Hernández-Herrera, R. M., Santacruz-Ruvalcaba, F., Ruiz-López, M. A., Norrie, J. and Hernández-Carmona, G. 2014. Effect of liquid seaweed extracts on growth of tomato seedlings (*Solanum lycopersicum* L.). Journal of Applied Phycology, 26: 619-628. DOI: 10.1007/s10811-013-0078-4. **(Journal)**

Ismail, G. and Abo-Hamad, S. 2017. Effect of different *Anabaena variabilis* (Kütz) treatments on some growth parameters and physiological aspects of *Hordeum vulgare* L. and *Trigonella foenum-graecum* L. Egyptian Journal of Botany, 57 (3): 507-516. DOI: 10.21608/ejbo.2017.774.1046. **(Journal)**

Kapoore, R. V., Wood, E. E. and Llewellyn, C. A. 2021. Algae biostimulants: a critical look at microalgal biostimulants for sustainable agricultural practices. Biotechnology Advances, 49: 107754. DOI: 10.1016/j.biotechadv.2021.107754. **(Journal)**

Khan, N., Sudhakar, K. and Mamat, R. 2024. Eco-friendly nutrient from Ocean: exploring *Ulva* seaweed potential as a sustainable food source. Journal of Agriculture and Food Research, 17: 101239. DOI: 10.1016/j.jafr.2024.101239. **(Journal)**

Khan, W., Rayirath, U. P., Subramanian, S., Jithesh, M. N., Rayorath, P., Hodges, D. M., Critchley, A. T., Craigie, J. S., Norrie, J. and Prithiviraj, B. 2009. Seaweed extracts as biostimulants of plant growth and development. Journal of Plant Growth Regulation, 28: 386-399. DOI: 10.1007/s00344-009-9103-x. **(Journal)**

Khandan Deh-Arbab, S., Aminifard, M. H., Fallahi, H. R. and Kaveh, H. 2020. Evaluating the effects of growth promoting fertilizer containing seaweed extract and mother corm weight on antioxidant activity and stigma quality of saffron. Plant Productions, 43 (2): 213-226. DOI: 20.1001.1.2588543.1399.43.2.5.2. (In Persian)**(Journal)**

Kim, S. K., Pangestuti, R. and Rahmadi, P. 2011. Sea lettuces: culinary uses and nutritional value. Advances in food and nutrition research, 64: 57-70. DOI: 10.1016/B978-0-12-387669-0.00005-3. **(Journal)**

Kumar, G., Nanda, S., Singh, S. K., Kumar, S., Singh, D., Singh, B. N. and Mukherjee, A. 2024. Seaweed extracts: enhancing plant resilience to biotic and abiotic stresses. Frontiers in Marine Science, 11: 1457500. DOI: 10.3389/fmars.2024.1457500. **(Journal)**

Madhusudan, S. and Baskaran, R. 2023. The sea lettuce *Ulva* sensu lato: Future food with health-promoting bioactives. Algal Research, 71: 103069. DOI: 10.1016/j.algal.2023.103069. **(Journal)**

Mafakheri, S. 2017. Effect of some organic and chemical fertilizers on morphological and biochemical factors of fenugreek (*Trigonella foenum-graecum* L.). Plant Productions, 40 (3): 27-40. DOI: 10.22055/ppd.2017.19128.1378. (In Persian) **(Journal)**

Moradi, F., Najafi, S., Esmaeilzadeh Bahabadi S. 2019. The effect of green algae (*Ulva fasciata* L.) extract on growth and physiological parameters of *Sesamum indicum*. Plant Process and Function, 8 (33): 1-14. DOI: 20.1001.1.23222727.1398.8.33.6.6. (In Persian) **(Journal)**

Mukherjee, A. and Patel, J. S. 2020. Seaweed extract: biostimulator of plant defense and plant productivity. International Journal of Environmental Science and Technology, 17 (1): 553-558. DOI: 10.1007/s13762-019-02442-z. **(Journal)**

Mutale-Joan, C., Redouane, B., Najib, E., Yassine, K., Lyamlouli, K., Laila, S., Zeroual, Y. and Hicham, E. A. 2020. Screening of microalgae liquid extracts for their bio stimulant properties on plant growth, nutrient uptake and metabolite profile of *Solanum lycopersicum* L. Scientific Reports, 10 (1): 2820. DOI: 10.1038/s41598-020-59840-4. **(Journal)**

Nair, P., Kandasamy, S., Zhang, J., Ji, X., Kirby, C., Benkel, B., Hodges, M. D., Critchley, A., Hiltz, D. and Prithiviraj, B. 2012. Transcriptional and metabolomic analysis of *Ascophyllum nodosum* mediated freezing tolerance in Arabidopsis thaliana. BMC Genomics, 13: 1-23. DOI: 10.1186/1471-2164-13-643. **(Journal)**

Osaki, M. 1995. Comparison of productivity between tropical and temperate maize: I. Leaf senescence and productivity in relation to nitrogen nutrition. Soil Science and Plant Nutrition, 41 (3): 439-450. DOI: 10.1080/00380768.1995.10419606. **(Journal)**

Osman, M. E. H., El-Sheekh, M. M., El-Naggar, A. H. and Gheda, S. F. 2010. Effect of two species of cyanobacteria as biofertilizers on some metabolic activities, growth, and yield of pea plant. Biology and Fertility of Soils, 46: 861-875. DOI: 10.1007/s00374-010-0491-7. **(Journal)**

Pan, S., Jeevanandam, J. and Danquah, M. K. 2019. Benefits of algal extracts in sustainable agriculture. In: Hallmann, A. and Rampelotto, P. (Eds.) Grand Challenges in Algae Biotechnology. Springer, Cham. pp: 501-534. DOI: 10.1007/978-3-030-25233-5_14.

Patel, J. J., Mangroliya, R. M. and Patel, N. A. 2022. Effect of seaweed extracts on growth, yield, and quality of fruit crops: a review. International Journal of Environment and Climate Change, 12 (11): 2001-2009. DOI: 10.9734/IJECC/2022/v12i1131189. **(Journal)**

Pathak, J., Maurya, P.K., Singh, S.P., Häder, D.P. and Sinha, R.P. 2018. Cyanobacterial farming for environment friendly sustainable agriculture practices: innovations and perspectives. Frontiers in Environmental Science, 6: 7-19. DOI: 10.3389/fenvs.2018.00007. **(Journal)**

Pise, N. M. and Sabale, A. B. 2010. Effect of seaweed concentrates on the growth and biochemical constituents of *Trigonella foenum-graecum* L. Journal of Phytology, 2 (4): 50-56. Retrieved January 01, 210. https://updatepublishing.com/journal/index.php/jp/article/view/2125.

Rady, M. M., Taha, S. S. and Kusvuran, S. 2018. Integrative application of cyanobacteria and antioxidants improves common bean performance under saline conditions. Scientia Horticulturae, 233: 61-69. DOI: 10.1016/j.scienta.2018.01.047. **(Journal)**

Raja, B. and Vidya, R. 2023. Application of seaweed extracts to mitigate biotic and abiotic stresses in plants. Physiology and Molecular Biology of Plants, 29 (5): 641-661. DOI: 10.1007/s12298-023-01313-9. **(Journal)**

Righini, H. and Roberti, R. 2019. Algae and Cyanobacteria as Biocontrol Agents of Fungal Plant Pathogens. In: Varma, A., Tripathi, S. and Prasad, R. (Eds.) Plant Microbe Interface. Springer, Cham. pp: 219-238. DOI: 10.1007/978-3-030-19831-2_9.

Rohela, G. K. and Saini, P. 2022. Nitrogen-fixing biofertilizers and biostimulants. In: Inamuddin, , Adetunji, C. O., Ahamed, M. I. and Altalhi, T. (Eds.) Microbial biostimulants for sustainable agriculture and environmental bioremediation. CRC Press. pp: 83-100. DOI: 10.1201/9781003188032

Ronga, D., Biazzi, E., Parati, K., Carminati, D., Carminati, E. and Tava, A. 2019. Microalgal biostimulants and biofertilisers in crop productions. Agronomy, 9 (4): 192. DOI: 10.3390/agronomy9040192. **(Journal)**

Santini, G., Rodolfi, L., Biondi, N., Sampietro, G. and Tredici, M. R. 2022. Effects of cyanobacterial-based biostimulants on plant growth and development: a case study on basil (*Ocimum basilicum* L.). Journal of Applied Phycology, 34 (4): 2063-2073. DOI: 10.1007/s10811-022-02781-4. **(Journal)**

Shanan, N. T. and Higazy, A. M. 2009. Integrated biofertilization management and cyanobacteria application to improve growth and flower quality of *Matthiola incana*. Research Journal of Agriculture and Biological Sciences, 5 (6): 1162-1168. **(Journal)**

Shariatmadari, Z., Riahi, H. and Shokravi, S. 2011. Study of soil blue-green algae and their effect on seed germination and plant growth of vegetable crops. Rostaniha, 12 (2): 101-110. DOI: 10.22092/botany.2012.101404. **(Journal)**

Shridhar, B. S. 2012. Nitrogen fixing microorganisms. International Journal of Microbiology Research, 3 (1): 46-52. DOI: 10.5829/idosi.ijmr.2012.3.1.61103. **(Journal)**

Singh, R., Parihar, P., Singh, M., Bajguz, A., Kumar, J., Singh, S., Singh, V. and Prasad, S. M. 2017. Uncovering potential applications of cyanobacteria and algal metabolites in biology, agriculture and medicine: current status and future prospects. Frontiers in Microbiology, 8: 515. DOI: 10.3389/fmicb.2017.00515. **(Journal)**

Singh, S. 2014. A review on possible elicitor molecules of cyanobacteria: their role in improving plant growth and providing tolerance against biotic or abiotic stress. Journal of Applied Microbiology, 117 (5): 1221-1244. DOI: 10.1111/jam.12612. **(Journal)**

Thirumaran, G., Arumugam, M., Arumugam, R. and Anantharaman, P. 2009) Effect of seaweed liquid fertilizer on growth and pigment concentration of *Abelmoschus esculentus* (l) medikus. American-Eurasian Journal of Agronomy 2: 57-66. **(Journal)**

Win, T.T., Barone, G.D., Secundo, F. and Fu, P. 2018. Algal biofertilizers and plant growth stimulants for sustainable agriculture. Industrial Biotechnology, 14 (4): 203-211. DOI: 10.1089/ind.2018.0010. **(Journal)**

Wu, S. J. and Ng, L. T. 2008. Antioxidant and free radical scavenging activities of wild bitter melon (*Momordica charantia* Linn. var. *abbreviata* Ser.) in Taiwan. LWT-Food Science and Technology, 41 (2): 323-330. DOI: 10.1016/j.lwt.2007.03.003. **(Journal)**

The effect of seed treatment with extracts of the green algae Ulva lactuca and the blue-green algae Nostoc commune on physiological indices of corn seedlings

Seyed Mohsen Daryabari[1], Ehsan Nazifi[*2], Bagher Seyed Alipour[3], Sedigheh Kelij[4]

Received: January 18, 2025 Accepted: April 13, 2025

Abstract

Algae have been considered as rich sources of bioactive compounds to improve plant growth. The present study was conducted in 2022 with the aim of investigating the effect of treating corn seeds with aqueous extracts of Ulva lactuca and Nostoc commune on growth indices, photosynthetic pigments and phenolic compounds levels of the resulting seedlings. The experiment was conducted in a completely randomized design at six concentration levels of 0, 12.5, 25, 50, 75, and 100% of the extracts. In the treatment with N. commune, the highest hypocotyl height in the treatment with 50% extract concentration with a 30.9% increase, the highest radicle length in the treatment with 75% extract concentration with a 4.01% increase, the highest seedling weight in the treatment with 25% extract concentration with a 31.86% increase, the highest chlorophyll b content in the treatment with 75% extract concentration with a 31.87% increase, and the highest carotenoid content in the treatment with 75% extract concentration with a 33.34% increase were obtained vs. the control. In the treatment with U. lactuca, the highest chlorophyll a content in the treatment with 100% extract concentration with a 64.79% increase, the highest phenol content in the treatment with 75% extract concentration with a 44.83% increase, and the highest flavonoid content in the treatment with 100% extract concentration with a 42.03% increase were obtained vs. the control. The results suggest that the extracts of these algae can be effective as biostimulants and biofertilizers in improving the physiological indices of corn seedlings.

Keywords: Algae extract; Biofertilizer; Growth stimulant; Phenolic compounds; Photosynthetic pigments

How to cite this article

Daryabari, S.M., Nazifi, E., Seyed Alipour, B. and Kelij, S. 2025. The effect of seed treatment with extracts of the green algae Ulva lactuca and the blue-green algae Nostoc commune on physiological indices of corn seedlings. Iranian Journal of Seed Science and Research, 12(1): 1-15. (In Persian)**(Journal)**

DOI: 10.22124/jms.2025.8801

COPYRIGHTS

Copyrights for this article are retained by the author(s) with publishing rights granted to the Iranian Journal of Seed Science and Research

The content of this article is distributed under Iranian Journal of Seed Science and Research open access policy and the terms and conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 International (CC-BY4.0) License. For more information, please visit http://jms.guilan.ac.ir/

1. MSc graduate in Plant Physiology, Department of Plant Sciences, Faculty of Basic Sciences, University of Mazandaran, Babolsar, Iran. mdaryabari7@gmail.com
2. Assistant Professor, Department of Plant Sciences, Faculty of Basic Sciences, University of Mazandaran, Babolsar, Iran. e.nazifi@umz.ac.ir
3. Associate Professor, Department of Cell and Molecular Biology, Faculty of Basic Sciences, University of Mazandaran, Babolsar, Iran. b.alipour81@gmail.com
4. Assistant Professor, Department of Plant Sciences, Faculty of Basic Sciences, University of Mazandaran, Babolsar, Iran. s.kelij@umz.ac.ir

*Corresponding author: e.nazifi@umz.ac.ir