تحقیقات علوم زراعی در مناطق خشک/ جلد ششم، شماره سوم، پاییز ۱۴۰۳، ص ۷۰-۵۳

مقاله پژوهشی

اثر مصرف برخی منابع تغذیه‌ای ارگانیک بر عملکرد کمی و کیفی گیاه دارویی اسفرزه (*Plantago ovata* Forsk) تحت سطوح مختلف فراهمی آب

محمدحسین امینی فرد[۱]، علی نوکی[۲]، حمیدرضا فلاحی[۳*]، علی آذری نصرآباد[۴]

۱-گروه علوم و مهندسی باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران
۲- مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان خراسان جنوبی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، بیرجند، ایران
۳- گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی (گروه پژوهشی گیاه و تنش‌های محیطی)، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران
۴- بخش تحقیقات زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان خراسان جنوبی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، بیرجند، ایران
* مسئول مکاتبه: hamidreza.fallahi@birjand.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۸/۲۱ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۱/۲۷ **DOI: 10.22034/CSRAR.2024.424888.1379**

چکیده

مدیریت مصرف آب و عناصر غذایی از مهم‌ترین عوامل اثرگذار بر رشد و عملکرد کمی و کیفی گیاهان دارویی از جمله اسفرزه می‌باشند. در این آزمایش اثر سطوح مختلف فراهمی آب (انجام آبیاری پس از تبخیر ۱۰۰، ۱۵۰ و ۲۰۰ میلی‌متر از تشتک تبخیر) و منابع تغذیه‌ای ارگانیک (اسید هیومیک، اسید فولویک و عصاره جلبک دریایی، به همراه عدم مصرف کود به‌عنوان تیمار شاهد) بر رشد و عملکرد بذر و موسیلاژ اسفرزه مورد بررسی قرار گرفت. آزمایش بصورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح پایهٔ بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. مصرف تمامی منابع تغذیه‌ای به‌خصوص جلبک دریایی رشد رویشی گیاه را بهبود بخشید. تعداد دانه در سنبله در تیمارهای مصرف جلبک دریایی، اسید هیومیک، اسید فولویک و شاهد به‌ترتیب ۴۵/۱، ۴۴/۳، ۴۴/۹ و ۲۹/۰ عدد و وزن هزاردانه به‌ترتیب برابر با ۱/۶۳، ۱/۶۰، ۱/۶۲ و ۱/۵۵ گرم بود. بیشترین و کمترین عملکرد بیولوژیک (به‌ترتیب ۱۹۴۲/۲ و ۱۲۲۵/۷ کیلوگرم در هکتار) و عملکرد دانه (به‌ترتیب ۷۶۳/۴ و ۴۵۶/۱ کیلوگرم در هکتار) به‌ترتیب از تیمارهای کاربرد عصارهٔ جلبک دریایی و شاهد (عدم مصرف کود) به دست آمد که به‌ترتیب نشان‌دهندهٔ اختلاف ۵۸/۴ و ۶۷/۳ درصدی می‌باشد. عملکرد موسیلاژ در اثر مصرف عصاره جلبک، اسید هیومیک و اسید فولویک به‌ترتیب ۵۶/۴، ۳۱/۴ و ۲۳/۰ درصد در مقایسه با تیمار شاهد افزایش معنی‌دار یافت. در مجموع، مصرف تمامی منابع تغذیه‌ای رشد و نیز عملکرد بذر و موسیلاژ اسفرزه را بهبود بخشید و کاهش فراهمی آب اثری بر رشد و عملکرد گیاه نداشت که بیانگر سازگاری مناسب اسفرزه با مناطق نیمه‌خشک می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: اسیدفولویک، اسید هیومیک، تنش خشکی، جلبک دریایی، موسیلاژ، وزن دانه

مقدمه

گیاهان دارویی بخش مهمی از تنوع زیستی موجود در بسیاری از کشورهای جهان را شامل می‌شوند. بخش زیادی از داروهای تجویز شده در دنیا به ترکیبات فعال بیولوژیکی حاصل از گیاهان مربوط می‌شود (Aali *et al.*, 2017). در بین گیاهان دارویی، اسفرزه، به دلیل داشتن موسیلاژ از اهمیت خاصی برخوردار است (Roumani *et al.*, 2020a). اسفرزه با نام علمی *Plantago ovata* Forssk. گیاهی یک‌ساله از خانواده بارهنگ است (Mozaffarian, 2015)، که رویشگاه آن به طور عمده در مناطق گرمسیری می‌باشد (Manish *et al.*, 2018). دو گونه مهم این جنس *Plantago psyllium* L و *Plantago ovata* Forsk در ایران تحت نام اسفرزه شناخته می‌شوند. این دو گونه مصارف گسترده‌ای در صنعت و داروسازی دارند. قسمت مورد استفاده در گیاه اسفرزه دانه است که دارای ۲۰ تا ۳۰ درصد موسیلاژ و نیز مقادیری روغن و پروتئین می‌باشد (Shamloo *et al.*, 2018).

افزایش بی‌رویه مصرف کودها و مواد شیمیایی در تولید محصولات کشاورزی، سلامت خاک، آب، هوا و همچنین محصولات تولیدی را به خطر انداخته و نگرانی‌های روزافزونی را برای محیط‌زیست و سلامت بشر به وجود آورده است. در همین راستا، بحث کشاورزی ارگانیک و توسعه کشاورزی پایدار و بوم‌سازگار جهت مقابله با معضلات مذکور در سراسر جهان

مطرح شده و اهمیت فزآینده‌ای یافته است (Fallahi *et al.*, 2021). مدیریت مصرف کود یک عامل مهم در موفقیت کشت گیاهان می‌باشد و در این بین، شناسایی و مصرف کودهای آلی و بیولوژیک سازگار با طبیعت مانند عصارهٔ جلبک دریایی، اسید هیومیک و اسید فولویک می‌تواند اثرات مطلوبی بر شاخص‌های کمی و کیفی گیاهان داشته باشد (Khandan Deh-Arbab, 2017).

عصاره جلبک دریایی یکی از منابع تجدیدپذیر اکوسیستم‌های آبی جهان است که حاوی عناصر نیتروژن، فسفر، پتاسیم و برخی عناصر ریزمغذی (آهن، مس، روی، کبالت، مولیبدن و منگنز)، هورمون‌های رشد (اکسین و سیتوکنین)، ویتامین‌ها و اسیدهای آمینه می‌باشد (Elumalai and Rengasamy, 2012; Shahbazi *et al.*, 2015). از این زیست‌محرک‌ها می‌توان برای افزایش رشد و عملکرد گیاهان در بوم‌نظام‌های کشاورزی استفاده نمود (Khandan Deh-Arbab, 2017). این ترکیبات موجب تقویت رشد ریشه‌ها، افزایش سطح فتوسنتزکننده و بهبود محتوای کلروفیل برگ می‌شوند (Khan *et al.*, 2009). اسید هیومیک یکی از ترکیبات آلی هوموسی است که در اثر تجزیه مواد آلی به‌ویژه با منشأ گیاهی بوجود می‌آید (Ahmadi and Aminifard, 2018). این ترکیب از منابع مختلفی مانند هوموس، پیت و لیگنیت اکسید شده استخراج می‌شود که در اندازه مولکولی و ساختار شیمیایی متفاوت‌اند (Narimani *et al.*, 2019). مهمترین اثرات کاربرد اسیدهیومیک شامل افزایش زیست‌تودهٔ گیاهان، تحریک جذب و تجمع عناصر غذایی و بهبود خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک است. این ترکیب بر میزان قند و اسید آمینه، پایداری غشای سلول، جذب اکسیژن و فرایند تنفس و فتوسنتز در گیاهان مؤثر است (Fallahi *et al.*, 2016; Shahsavari *et al.*, 2019). فولویک اسید نیز از ترکیبات هوموسی است که به دلیل کلات کردن عناصر ضروری موجب افزایش جذب عناصر و حاصلخیزی خاک می‌شود (Poudineh *et al.*, 2015). این ترکیب در منابع متعددی مانند خاک، کمپوست، ورمی‌کمپوست، پیت و زغال‌سنگ نارس وجود دارد (Ghosh et al., 2012). اسید فولویک به عنوان فعال‌ترین ترکیب هیومیکی از طریق کلات‌کنندگی عناصر غذایی و با قدرت تبادل یونی بالا، جذب عناصر معدنی را در گیاهان افزایش می‌دهد و از این طریق سبب افزایش کمیت و کیفیت محصول می‌گردد (Saffar Sabzevar and Jami Moeini, 2015).

در پژوهشی بر روی شمعدانی (*Plargonium* spp.) اثر مصرف اسید هیومیک جهت بهبود رشد و عملکرد گیاه مثبت گزارش شد (Aabaszadeh Faruji *et al.*, 2018). اثرات مصرف عصارهٔ جلبک دریایی بر بهبود عملکرد کمی و کیفی زعفران نیز مفید ارزیابی شده است (Khandan Deh-Arbab *et al.*, 2020). در تحقیقی تأثیر کاربرد انواع حاصل‌خیزکننده‌های خاک شامل سطوح مختلف ورمی‌کمپوست، کود گاوی و اسید هیومیک بر رشد و عملکرد اسفرزه مورد ارزیابی قرار گرفت که نتایج حاکی از کم‌توقع بودن اسفرزه از نظر نیاز غذایی بود. نتایج آزمایش مذکور نشان داد که مصرف کود گاوی و اسید هیومیک به طور نسبی شاخص تورم بذر اسفرزه را بهبود بخشید و بیشترین عملکرد بذر نیز در تیمار مصرف ۲ کیلوگرم در هکتار اسید هیومیک به دست آمد (Fallahi *et al.*, 2018). در پژوهش دیگری بر روی اسفرزه گزارش شد مصرف منابع کودی میزان عملکرد بذر اسفرزه را افزایش نداد. با این وجود، به دلیل افزایش نسبیِ درصد موسیلاژ، میزان عملکرد موسیلاژ در تیمار مصرف هم زمان ۴۰ کیلوگرم در هکتار کود شیمیایی + ۲۰ تن در هکتار کود گاوی حدود ۱۵ درصد بیش‌تر از تیمار عدم مصرف کود بود (Khavari *et al.*, 2018). محققان دیگری نیز اثر تیمارهای مختلف حاصلخیزی خاک شامل کودهای شیمیایی، کود دامی و زیستی را بر ویژگی‌های اگرومورفولوژیک و محتوای موسیلاژ دانه اسفرزه، بررسی و گزارش کردند منابع تغذیه‌ای در مقایسه با تیمار شاهد از عملکرد، اجزای عملکرد و موسیلاژ بالاتری برخوردار بودند (Pouryousef *et al.*, 2010).

انتخاب محصولات زراعی مناسب برای الگوی کاشت مناطق خشک و نیمه‌خشک مانند گیاهان مقاوم به خشکی که مواد شیمیایی با ارزشی را برای نیازهای انسان تأمین می‌کنند، از اهمیت بالایی برخوردار است. اسفرزه به عنوان گیاهی موسیلاژدار دارای نیاز رطوبتی کم و مقاوم به خشکی است که می‌تواند جهت تولید محصول در مناطق کم‌آب مورد توجه قرار گیرد (Fallahi *et al.*, 2018). در همین ارتباط، در پژوهشی گزارش شد بیش‌ترین تعداد دانه در سنبله و عملکرد دانهٔ اسفرزه از تیمار تأمین رطوبت به میزان ۸۰ درصد ظرفیت زراعی توأم با مصرف کود زیستی نیتروکسین و کم‌ترین مقدار آن‌ها از تیمار فراهمی رطوبت

به میزان ۴۰ درصد ظرفیت زراعی و عدم مصرف کود زیستی به دست آمد که به‌ترتیب ۴۷ و ۵۴ درصد تفاوت داشتند (Ramroudi *et al.*, 2018). در تحقیق دیگری مشاهده شد که بیشترین مقادیر ارتفاع بوته، سطح برگ، تعداد پنجه در بوته و میزان سبزینگی اسفرزه در تیمار فراهمی آب به میزان ۷۵ درصد ظرفیت زراعی بدست آمد (Shamloo *et al.*, 2018). در پژوهشی تأثیر فراهمی آب (۱۰۰۰، ۲۰۰۰، ۳۰۰۰ و ۴۰۰۰ مترمکعب آب در هکتار) بر روی عملکرد، اجزای عملکرد و ویژگی‌های کیفی دو گونه دارویی اسفرزه و پسیلیوم، بررسی شد. بیشترین عملکرد کاه و کلش و عملکرد دانه در اسفرزه به ترتیب در تیمار آبی ۴۰۰۰ و ۳۰۰۰ مترمکعب در هکتار و در پسیلیوم به ترتیب در تیمار آبی ۳۰۰۰ و ۴۰۰۰ مترمکعب در هکتار بدست آمد. بیشترین مقادیر موسیلاژ و شاخص تورم در هر دو گونه در تیمار آبی ۲۰۰۰ مترمکعب در هکتار مشاهده شد. همچنین بالاترین میزان تورم در هر گرم موسیلاژ در تیمار آبی ۱۰۰۰ مترمکعب در هکتار به دست آمد (Koocheki *et al.*, 2011).

با توجه به اینکه ایران جزو کشورهای خشک و نیمه‌خشک دنیا می‌باشد و در سال‌های اخیر نیز با خشکسالی‌های پی‌درپی مواجه بوده است، استفاده بهینه از منابع آبی بایستی در اولویت قرار گیرد. در این خصوص، معرفی گیاهان دارای نیاز آبی کم مانند اسفرزه دارای اهمیت است. از آنجا که اسفرزه یک گیاه دارویی است، موضوع تغذیهٔ این گیاه با استفاده از منابع کودی بیولوژیک و آلی نیز مهم تلقی می‌شود. بنابراین، در آزمایش کنونی اثر رژیم‌های مختلف آبیاری تحت تأثیر منابع مختلف کودهای زیستی بر رشد و عملکرد اسفرزه مورد مطالعه قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

محل اجرای تحقیق

این آزمایش در سال زراعی ۱۴۰۰-۱۳۹۹ در مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان خراسان جنوبی (بیرجند) با طول جغرافیایی ۵۹ درجه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۲ درجه شمالی و با ارتفاع ۱۴۱۰ متر از سطح دریا انجام گرفت. محل اجرای تحقیق دارای آب و هوای نیمه بیابانی با زمستان‌های سرد و تابستان‌های گرم و خشک با میانگین دمای سالانه ۲۶/۴ درجهٔ سانتی‌گراد و متوسط بارش سالانه حدود ۱۲۰ میلی‌متر می‌باشد. شرایط اقلیمی محل اجرای آزمایش در طی دورهٔ تحقیق در جدول ۱ ارایه شده است. همچنین برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده برای کشت گیاه در جدول ۲ قابل مشاهده است.

جدول ۱- مهم‌ترین پارامترهای اقلیمی محل اجرای آزمایش در طی دوره رشد اسفرزه در سال ۱۴۰۰

Table 1- The most important climatic parameters of the experimental site during the growth period of Isabgol in the year 2021

ماه Month	میانگین دمای حداقل Mean of minimum temperature (ºC)	میانگین دمای حداکثر Mean of maximum temperature (ºC)	میانگین دمای ماهانه Mean of month temperature (ºC)	مجموع ساعات آفتابی Total sunny hours	میزان بارندگی ماهانه Month precipitation (mm)
فروردین April	12.81	29.58	22.71	250	2.5
اردیبهشت May	16.43	30.72	24.89	280	47.5
خرداد June	21.43	37.78	31.40	330	0
تیر July	23.57	38.37	32.44	360	0

جدول ۲- برخی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل اجرای آزمایش

Table 2- Some physical and chemical characteristics of the soil used for the expriment

رس Clay (%)	سیلت Silt (%)	شن Sand (%)	بافت خاک Soil texture	ازت کل Total nitrogen (%)	پتاسیم قابل جذب Available potassium (ppm)	فسفر قابل جذب Available phosphorus (ppm)	مواد آلی Organic matter (%)	هدایت الکتریکی EC (dS/m)	شاخص واکنش pH
19.7	20.1	60.2	لومی شنی Sandy loam	0.045	264.1	7.8	0.32	6.92	8.06

تیمارها و طرح آزمایش

آزمایش بصورت کرت‌های خرد شده (اسپلیت‌پلات) در قالب طرح پایهٔ بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار به انجام رسید. سطوح فراهمی آب و منابع مختلف تغذیه‌ای ارگانیک فاکتورهای مورد مطالعه بودند. سطوح فراهمی آب در کرت‌های اصلی و تیمارهای تغذیه‌ای در کرت‌های فرعی قرار گرفتند. کودهای مصرفی شامل اسید هیومیک، اسید فولویک و عصاره جلبک دریایی به همراه یک تیمار شاهد (عدم مصرف کود) و سطوح فراهمی آب شامل انجام آبیاری پس از تبخیر ۱۰۰، ۱۵۰ و ۲۰۰ میلی‌متر از تشتک تبخیر (با ابعاد ۲۵/۴ × ۱۲۰/۶ سانتی‌متر) بودند. سطوح آبیاری بر اساس تجربیات و تحقیقات قبلی محققان و نیز بررسی برخی منابع علمی (Ghasemi Siani *et al.*, 2011; Koocheki *et al.*, 2011) انتخاب شدند.

درصد اشباع خاک (SP) محل اجرای تحقیق ۴۵ بود. میزان مصرف اسید هیومیک، اسید فولویک و عصاره جلبک دریایی مطابق با توصیه شرکت‌های سازنده، به‌ترتیب ۴، ۴ و ۱/۵ کیلوگرم در هکتار بود که در دو مقدار مساوی در زمان کاشت و اوایل تشکیل سنبله به صورت همراه با آب آبیاری مصرف شد. کود اسید هیومیک مصرفی با نام هایپرهیوم کنسانتره از معادن لئوناردیت آمریکای شمالی تولید شده و توسط شرکت صنایع شیمیایی سبزگل استان مرکزی به بازار عرضه می‌شود. این کود محتوی پتاسیم هیومات است که شامل ۱۲ درصد پتاسیم محلول و ۶۰ درصد اسید هیومیک می‌باشد. اسید فولیک مصرفی از شرکت آریا شیمی سبز زاهدان تهیه شد که محتویات آن در جدول ۳ ارایه شده است. عصاره جلبک دریایی نیز از شرکت آریا شیمی سبز زاهدان تهیه شد و ترکیبات آن در جدول ۴ قابل مشاهده است.

جدول ۳- محتویات اسید فولویک مورد استفاده در آزمایش

Table 3- The content of fulvic acid used in the experiment

فسفر Phosphorous (%)	نیتروژن Nitrogen (%)	پتاسیم Potassium (%)	آمینو اسید Amino acid (%)	اسید فولویک Fulvic acid (%)
0.5	3	10	2	50

جدول ۴- محتویات عصاره جلبک دریایی مورد استفاده در آزمایش

Table 4- The content of seaweed extract used in the experiment

پتاسیم محلول در آب Water soluble potassium	فسفر قابل استفاده Available phosphorous (%)	نیتروژن کل Total nitrogen (%)	هیدرات کربن Carbohydrate (%)	مواد آلی Organic matter (%)	عصاره جلبک دریایی Seaweed extract (%)
1.5	1	1	1.8	4.9	26
منگنز Mn (mg L^{-1})	**روی Zn (mg L^{-1})**	**آهن Fe (mg L^{-1})**	**مس Cu (mg L^{-1})**	**بور B (mg L^{-1})**	**اسید آلی Organic acid**
80	50	160	30	11	0.7
سیتوکینین فعال Active cytokinin (mg L^{-1})		**جیبرلین فعال Active gibberellin (mg L^{-1})**		**اکسین فعال Active auxin (mg L^{-1})**	**آمینو اسید Amino acid (mg L^{-1})**
11		107		15	52

عملیات زراعی

کشت گیاه در تاریخ ۱۲ فروردین سال ۱۴۰۰ با استفاده از بذور محلی اسفرزهٔ گونهٔ اواتا (*Plabtago ovata*) در کرت‌هایی با ابعاد ۲/۵×۲/۵ متر (۶/۲۵ مترمربع) صورت گرفت. فاصلهٔ بین تکرارها (بلوک‌ها) ۲/۵ متر، فاصلهٔ بین کرت‌های اصلی یک متر و فاصلهٔ بین کرت‌های فرعی ۰/۵ متر در نظر گرفته شد. قبل از کاشت در درون هر کرت تعداد پنج جوی‌پشته ایجاد شد (فاصلهٔ پشته‌های مجاور از یکدیگر ۰/۵ متر بود) و سپس کاشت گیاه در دو طرف هر پشته بصورت ردیفی انجام شد (۱۰ ردیف کاشت در هر کرت). تراکم کاشت ۶۵ بوته در مترمربع در نظر گرفته شد، بر این اساس فواصل بین و روی ردیفی به‌ترتیب ۲۵ و ۶/۱ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. کاشت بذر در درون شیارهایی به

عمق ۰/۵ سانتی‌متر صورت گرفت. اولین آبیاری تمام کرت‌ها بلافاصله پس از کاشت صورت گرفت و به دلیل عدم کفایت بارندگی و کاهش رطوبت خاک، جهت کمک به سبز شدن بوته‌ها دو آبیاری دیگر نیز با فاصله حدود ۵ روز صورت گرفت. پس از این مرحله تیمارهای فراهمی آب اعمال شد. مقدار آب مصرفی در هر نوبت آبیاری ۵۰۰ مترمکعب در هکتار تنظیم شد. بر این اساس، حجم آب مصرفی برای هر کرت ۳۱۲ لیتر بود که با استفاده از کنتور حجمی در اختیار گیاه قرار گرفت. جزییات مربوط به زمان، تعداد و حجم آبیاری در جدول شماره ۵ ارایه شده است. وجین دستی علف‌های هرز در یک نوبت در دهم اردیبهشت‌ماه صورت گرفت.

جدول ۵- زمان و تعداد دفعات آبیاری در تیمارهای مختلف فراهمی آب

Table 5- The time and the number of irrigations in three different water availability treatments

سطوح آبیاری (میلی‌متر تبخیر از تشتک) Irrigation levels (mm of evaporation from the pan)	تعداد دفعات آبیاری Number of irrigation	تاریخ انجام آبیاری Dates of irrigations	حجم آب مصرفی در هر نوبت Consumed water per irrigation (m^3 ha^{-1})	حجم کل آب مصرفی Total consumed water (m^3 ha^{-1})
100	11	۳، ۱۳ و ۲۳ اردیبهشت، ۲، ۹، ۱۶، ۲۳ و ۳۰ خرداد، ۶، ۱۲ و ۱۹ تیر 23 April, 3, 13, 23 & 30 May; 6, 13, 20 & 27 June, 3 & 10 July	500	5500
150	8	۳ و ۱۸ اردیبهشت؛ ۲، ۱۲ و ۲۲ خرداد؛ ۱، ۱۲ و ۲۱ تیر 23 April, 8 & 23 May, 2, 12 & 22 June, 3 & 12 July	500	4000
200	6	۳ و ۲۳ اردیبهشت؛ ۱۱ و ۲۵ خرداد؛ ۷ و ۲۰ تیر 23 April, 13 May, 1, 15 & 28 June, 11 July	500	3000

از زمان کاشت (۱۱ فروردین) تا پس از سبز شدن کامل (شروع اعمال تیمارهای آبیاری در سوم اردیبهشت) در تمامی کرت‌ها بصورت برابر تعداد ۳ مرتبه آبیاری سبک (۲۰۰ مترمکعب در هر نوبت) صورت گرفت.

From the planting date (31, March) until full emergence (the start of irrigation treatments on the 23th April), all the plots were lightly irrigated three times (200 m^3 ha^{-1} each time).

صفات مورد مطالعه

جهت انجام نمونه‌برداری، هر کرت آزمایشی پس از حذف اثرات حاشیه‌ای (دو ردیف حاشیه‌ای و ۲۵ سانتی‌متر از ابتدا و انتهای هر کرت) به دو قسمت مساوی تقسیم شد. کل سطح نمونه‌برداری ۴ مترمربع بود که به دو قسمت مساوی تقسیم شد. یک قسمت برای نمونه‌برداری صفات رشدی و اجزای عملکرد و قسمت دوم برای اندازه‌گیری عملکرد کمی و کیفی در نظر گرفته شد. در زمان گلدهی گیاه، در دو مترمربع از سطح نمونه‌برداری تعداد پنج بوته به‌طور تصادفی انتخاب و ارتفاع بوته، تعداد برگ و تعداد پنجه در بوته اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری ارتفاع، فاصلهٔ بین طوقه تا انتهای بلندترین سنبله تعیین شد. همچنین در این قسمت از کرت تعداد پنج بوته به طور تصادفی انتخاب شده و پس از قطع بوته‌ها از سطح خاک (نمونه‌برداری تخریبی)، وزن تر و خشک بوته اندازه‌گیری شد. اندازه‌گیری وزن خشک پس از قرار گرفتن نمونه‌های تر در آون به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد صورت گرفت. در انتهای فصل رشد و پس از رسیدگی بوته‌ها (۲۸ تیرماه)، از همین بخش از هر کرت تعداد پنج بوته انتخاب شده و در آزمایشگاه اجزاء عملکرد شامل تعداد سنبله در بوته، تعداد دانه در سنبله و وزن هزار دانه تعیین شد. برای تعیین وزن هزار دانه، تعداد ۱۰۰۰ عدد بذر توسط دستگاه بذرشمار مورد شمارش قرار گرفت و با ترازوی دیجیتالی با دقت ۰/۰۰۱ گرم توزین شد. در دو مترمربعِ باقی‌مانده از هر کرت، در پایان مرحلهٔ رسیدگیِ گیاه عملکرد بذر و عملکرد بیولوژیک تعیین شد. برای تعیین درصد موسیلاژ بذر از روش استخراج گرم جهت استخراج موسیلاژ دانه استفاده شد (Kalyanasundaram et al., 1984). با استفاده از معادلهٔ ۱ عملکرد موسیلاژ بر حسب کیلوگرم در هکتار تعیین شد.

(۱) عملکرد دانه × درصد موسیلاژ = عملکرد موسیلاژ

تجزیه و تحلیل آماری

داده‌های مربوط به صفات اندازه‌گیری شده جهت مرتب کردن به نرم‌افزار Excel وارد شد. محاسبات آماری با استفاده از نرم‌افزار SAS نسخه ۹/۴ انجام گرفت و میانگین‌ها به روش آزمون LSD محافظت شده در سطح احتمال پنج درصد مقایسه شدند.

نتایج و بحث

ارتفاع بوته

نتایج نشان داد که اثر اصلی مصرف منابع تغذیه‌ای ارگانیک بر ارتفاع بوته گیاه اسفرزه معنی‌دار بود، ولی اثر اصلی فراهمی آب و اثر متقابل فاکتورهای آزمایشی بر این صفت معنی‌دار نبود (جدول ۶). بیشترین و کمترین میزان ارتفاع بوته به‌ترتیب از تیمارهای مصرف عصارهٔ جلبک دریایی و شاهد (عدم مصرف کود) به دست آمد که حدود ۳۱/۳ درصد تفاوت داشت. از حیث این صفت بین تیمارهای کاربرد اسید هیومیک و اسید فولویک تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۷). افزایش رشد گیاه در اثر مصرف عصاره جلبک دریایی به وجود عناصر غذایی و هورمون‌ها در این منبع تغذیه‌ای مربوط است. اثر مثبت ریز مغذی‌ها در کنار حضور تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی به‌ویژه سیتوکینین در این نهادهٔ آلی باعث افزایش رشد رویشی گیاه می‌شود (Aminifard *et al.*, 2022). در پژوهشی اثر مثبت مصرف اسید هیومیک بر طول گیاهچه اسفرزه مثبت ارزیابی شد (Ebrahimi and Miri Karbasak, 2016). اثر مثبت مصرف اسید هیومیک و اسید فولویک بر ارتفاع گیاه در تحقیق دیگری نیز گزارش شده و دلیل آن به افزایش محتوای نیتروژن گیاه و کمک به کلات نمودن و جذب عناصر غذایی نسبت داده شده است (Abaszadeh Faruji *et al.*, 2018). محققان دیگری نیز گزارش کردند مصرف اسید فولویک و اسید هیومیک ارتفاع گیاه را افزایش می‌دهد (Pourmorad *et al.*, 2018).

کاهش فراهمی آب اثری بر ارتفاع بوته اسفرزه نداشت (جدول ۸). این موضوع نشان می‌دهد اسفرزه سازگاری مناسبی با شرایط اقلیمی مناطق نیمه‌خشک دارد. در پژوهش دیگری نیز ارتفاع بوته اسفرزه در دورهای آبیاری ۷ و ۱۴ روز به‌ترتیب ۱۷/۵ و ۱۶/۸ سانتی‌متر گزارش گردید که فاقد اختلاف معنی‌دار بود (Khazaei *et al.*, 2007). نتایج مشابهی نیز توسط سایر محققان در پژوهش بر روی اسفرزه مشاهده گردید و با افزایش فواصل آبیاری، ارتفاع گیاه تغییر معنی‌داری نشان نداد (Ghasemi Siani *et al.*, 2011).

جدول ۶- نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات) مربوط به اثر سطوح مختلف فراهمی آب و مصرف منابع تغذیه‌ای ارگانیک بر شاخص‌های رشد رویشی گیاه اسفرزه

Table 6- The results of analysis of variance (mean square) for the effect of different levels of water availability and consumption of organic fertilizers on the morphological characteristics of Isabgol

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	ارتفاع گیاه Plant height	تعداد برگ در بوته Leaves number per plant	تعداد پنجه Number of tiller per plant	وزن تر بوته Plant fresh weight	وزن خشک بوته Plant dry weight
تکرار Replication	2	41.69^{ns}	63.64^{ns}	1.99^{ns}	13.90^{ns}	3.17^{ns}
سطوح آبیاری Irrigation (A)	2	1.09^{ns}	8.90*	1.23^{ns}	8.04^{ns}	9.45^{ns}
خطای اول Error A	4	0.40^{ns}	0.66^{ns}	1.26^{ns}	4.71^{ns}	7.13^{ns}
نوع کود Fertilizer (B)	3	38.61**	23.80**	2.97**	28.11**	1.54^{ns}
آبیاری×کود A×B	6	4.24^{ns}	5.12^{ns}	0.83^{ns}	9.17^{ns}	6.61^{ns}
خطای دوم Error B	18	4.19^{ns}	1.89^{ns}	0.60^{ns}	4.39^{ns}	6.34^{ns}
ضریب تغییرات C.V. (%)	-	10.89	9.31	18.26	27.20	7.87

* و ** به ترتیب بیانگر وجود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد و ns نشان دهنده عدم وجود اختلاف معنی‌دار می‌باشد.

* and ** indicate a significant difference at the probability level of 5 and 1%, respectively, and ns indicates the no-significant difference.

جدول ۷- اثر نوع منبع تغذیه‌ای ارگانیک بر شاخص‌های رشد رویشی اسفرزه

Table 7- The effect of organic fertilizer type on the vegetative growth indices of Isabgol

تیمارها (نوع کود ارگانیک) Treatments (Organic fertilizer type)	ارتفاع بوته Plant height (cm)	تعداد برگ در هر بوته Number of leaves per plant	تعداد پنجه در گیاه Number of tiller per plant	وزن تر بوته Plant fresh weight (g)	وزن خشک بوته Plant dry weight (g)
شاهد Control	16.04^{c}	12.38^{c}	3.47^{c}	5.41^{c}	3.05^{a}
اسید فولویک Fulvic acid	19.16^{b}	15.44^{b}	4.15^{b}	8.25^{b}	3.38^{a}
اسید هیومیک Humic acid	18.87^{b}	15.28^{b}	4.46^{b}	7.50^{b}	2.71^{a}
جلبک دریایی Seaweed extract	21.06^{a}	16.01^{a}	4.83^{a}	9.64^{a}	3.66^{a}

در هر ستون حروف متفاوت نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد با استفاده از آزمون LSD می‌باشد.

In each column, different letters indicate a significant difference at the 5% probability level using the LSD test

جدول ۸- اثر سطوح مختلف فراهمی آب بر شاخص‌های رشد رویشی اسفرزه

Table 8- The effect of different levels of water availability on the vegetative growth indices of Isabgol

سطوح آبیاری (میلی‌متر تبخیر از تشتک) Irrigation levels (mm of evaporation from the pan)	ارتفاع بوته Plant height (cm)	تعداد برگ در هر بوته Number of leaves per plant	تعداد پنجه در گیاه Number of tiller per plant	وزن تر بوته Plant fresh weight (g)	وزن خشک بوته Plant dry weight (g)
100	19.12^{a}	15.74^{a}	4.60^{a}	6.83^{a}	2.42^{a}
150	18.73^{a}	14.08^{b}	4.09^{a}	7.82^{a}	3.03^{a}
200	18.53^{a}	14.53^{b}	4.01^{a}	8.46^{a}	4.17^{a}

در هر ستون حروف متفاوت نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد با استفاده از آزمون LSD می‌باشد.

In each column, different letters indicate a significant difference at the 5% probability level using the LSD test

تعداد برگ

اثر اصلی کاربرد منابع تغذیه‌ای بر صفت تعداد برگ در گیاه معنی‌دار شد (جدول ۶). بیشترین تعداد برگ از تیمار مصرف عصارهٔ جلبک و کمترین میزان آن از تیمار شاهد (عدم مصرف کود) حاصل شد. از نظر این صفت بین سه نوع کود مصرفی تفاوت معنی‌داری وجود نداشت، ولی منابع تغذیه‌ای در مقایسه با تیمار شاهد دارای برتری بودند. بیشترین تعداد برگ (۱۶/۰۱ برگ در بوته) از تیمار مصرف عصارهٔ جلبک به‌دست آمد که ۲۹/۳ درصد بیشتر از تعداد برگ در تیمار شاهد بود (جدول ۷). در تحقیقی بر روی گل حنا (*Impatiens walleriana* L) کاربرد هم زمان اسید هیومیک و اسید فولویک باعث بهبود صفات رشدی گیاه نسبت به تیمار شاهد گردید که با نتایج این آزمایش همخوانی دارد (Esringü *et al.*, 2015). تغذیه گیاه با اسید هیومیک می‌تواند سبب بهبود فتوسنتز و افزایش تحمل به تنش‌های زیستی و غیرزیستی شده و با تقویت سیستم دفاعی گیاه از طریق تولید آنتی اکسیدان‌های طبیعی و اسید فنولیک، منجر به بهبود رشد رویشی گیاه می‌شود (Khandan Deh-Arbab, 2017). اسید فولویک ظرفیت تبادل کاتیونی را به شدت افزایش می‌دهد و بدین ترتیب گیاه می‌تواند مقدار عناصر غذایی بیشتری را جذب کند که در اثر آن رشد رویشی گیاه افزایش می‌یابد. این ترکیب نقش مهمی در افزایش تکثیر و رشد سلول‌ها و در نتیجه افزایش رشد گیاه دارد (Abaszadeh Faruji *et al.*, 2018). محققان دیگری نیز گزارش کردند مصرف عصارهٔ جلبک دریایی سطح برگ گیاه را افزایش می‌دهد (Ghfarizadeh *et al.*, 2016). در پژوهش بر روی گیاه همیشه‌بهار، مصرف جلبک دریایی باعث افزایش تعداد برگ در گیاه شد (Heydari *et al.*, 2017). جلبک دریایی دارای طیف وسیعی از عناصر غذایی است و با افزایش محتوای عناصر غذایی مانند نیتروژن، فسفر، پتاسیم، روی و بور در اندام هوایی گیاه به بهبود فتوسنتز و در نهایت افزایش رشد رویشی گیاه کمک

می‌نماید (Ahmadi, 2022).

اثر اصلی فراهمی آب بر صفت تعداد برگ در هر گیاه معنی‌دار شد (جدول ۶). بیشترین تعداد برگ از تیمار انجام آبیاری پس از ۱۰۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر کلاس A به دست آمد که به‌ترتیب ۱۱/۸ و ۸/۳ درصد بیشتر از مقادیر این صفت در تیمارهای ۱۵۰ و ۲۰۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک بود. از نظر این شاخص بین سطوح ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌متر تبخیر تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۸). کاهش رشد گیاه در شرایط تنش خشکی یک حالت سازگارکننده برای زنده ماندن گیاه در شرایط تنش است، به این دلیل که گیاه، مواد غذایی و انرژی را به جای استفاده برای رشد شاخساره، به سمت مولکول‌های نگهداری کننده در برابر تنش، هدایت می‌کند (Hosseinian *et al.*, 2019). با این وجود، در آزمایش کنونی کاهش ۵۰ درصدی فراهمی آب فقط حدود ۱۱ درصد تولید برگ در اسفرزه را کاهش داد که حاکی از تحمل نسبتاً مناسب این گیاه به کمبود آب می‌باشد.

تعداد پنجه

اثر اصلی کاربرد منابع تغذیه‌ای بر صفت تعداد پنجه در گیاه معنی‌دار شد (جدول ۶). مصرف منابع مختلف تغذیه‌ای (اسید هیومیک، اسید فولویک و عصاره جلبک) مقدار این صفت را در مقایسه با تیمار شاهد افزایش داد. بیشترین تعداد پنجه (۴/۸۳ عدد در بوته) از تیمار مصرف عصارهٔ جلبک دریایی حاصل شد. مقدار این شاخص در تیمار مذکور ۳۹/۲ درصد بیشتر از تیمار عدم مصرف کود (شاهد) بود. (جدول ۷). در پژوهشی بر روی اسفرزه گزارش شد که مصرف دو کیلوگرم در هکتار اسید هیومیک تعداد پنجه در گیاه را ۳۲ درصد افزایش داد و از ۳/۸ به ۵/۶ پنجه در هر گیاه رساند (Fallahi *et al.*, 2018). در پژوهش دیگری نیز اثر فراهمی مطلوب عناصر غذایی به‌خصوص نیتروژن بر خصوصیات مرفولوژیک گیاه اسفرزه مانند ارتفاع بوته و تعداد پنجه در بوته مثبت گزارش شد (Shamloo *et al.*, 2018) که با نتایج این آزمایش همخوانی دارد. در تحقیقی نقش اسید هیومیک در پنجه‌زنی گیاه مثبت ارزیابی شد و این موضوع به فراهمی عناصر به‌خصوص نیتروژن در شرایط مصرف این اسید آلی نسبت داده شد (Pazoki, 2016). کاربرد عصاره جلبک می‌تواند باعث افزایش حجم ریشه و بهبود جذب عناصر غذایی توسط گیاه شود. عصاره جلبک در افزایش تولید و انتقال سیتوکنین‌ها از ریشه به سایر اندام‌های گیاه دارای نقش است. در این عصاره مقادیر بالایی از مواد معدنیِ محلول در آب وجود دارد که به‌راحتی توسط گیاه جذب می‌شوند و باعث بهبود رشد رویشی گیاه می‌شوند (Ahmadi, 2022; Aminifard *et al.*, 2022).

وزن تر و خشک بوته

نتایج بیان‌گر معنی‌دار نشدن اثر اصلی و متقابل فاکتورهای آزمایشی (منابع تغذیه‌ای و میزان فراهمی آب) بر وزن خشک بوته اسفرزه بود (جدول ۶). مصرف اسید فولویک و عصاره جلبک دریایی به‌طور غیرمعنی‌داری باعث بهبود مقدار این صفت شد (جدول ۷). کاهش فراهمی آب نیز باعث کاهش وزن خشک بوته نشد (جدول ۸) که می‌تواند نشان‌دهندهٔ تحمل تنش توسط این گیاه باشد. اثر اصلی نوع منبع تغذیه‌ای بر وزن تر بوته معنی‌دار شد (جدول ۶). تمامی تیمارهای تغذیه‌ای مقدار این صفت را در مقایسه با تیمار شاهد بهبود بخشیدند و از این نظر برتری به‌ترتیب با تیمارهای کاربرد عصارهٔ جلبک، اسید فولویک و اسید هیومیک بود؛ به‌طوری‌که تیمارهای مذکور در مقایسه با تیمار شاهد مقدار وزن تر بوته را به‌ترتیب ۷۸/۵، ۵۲/۷ و ۳۸/۸ درصد بهبود بخشیدند (جدول ۷).

در پژوهشی مصرف اسید هیومیک باعث توسعهٔ اندام زیرزمینی گیاه و تسریع در فرآیندجوانه‌زنی اسفرزه شد (Ebrahimi and Miri Karbasak, 2016). تسریع در جوانه‌زنی باعث می‌شود استقرار گیاه و فرآیند توسعهٔ اندام فتوسنتزکننده زودتر آغاز شود و توسعهٔ ریشه نیز به جذب آب و عناصر غذایی کمک می‌کند و پیامد نهایی آن می‌تواند افزایش وزن گیاه باشد (Sibi *et al.*, 2016). محققان اثر مصرف عصارهٔ جلبک دریایی را بر افزایش وزن اندام هوایی و زیرزمینی در گیاه همیشه بهار مثبت ارزیابی کردند (Heydari *et al.*, 2017). محقق دیگری گزارش نمود که عصارهٔ جلبک دریایی حاوی عناصر پرمصرف، کم‌مصرف و هورمون‌های رشد گیاهی (اکسین، جیبرلین و سیتوکینین) و نیز کربوهیدرات‌ها و اسید آمینه‌های آزاد می‌باشد و از این‌رو مصرف آن می‌تواند سبب توسعهٔ اندام رویشی و افزایش وزن گیاه شود (Ahmadi, 2022). عصاره جلبک دریایی دارای کربوهیدرات و سایر ترکیبات آلی است که

باعث بهبود خصوصیات خاک و ظرفیت نگهداری آب در خاک می‌شود (Khandan Deh-Arbab, 2017) و از این رو می‌تواند تحمل گیاه به کم‌آبی را بهبود بخشد. نتایج تحقیق دیگری نیز نشان داد کاربرد اسید هیومیک با تولید تنظیم‌کننده‌های اسمزی مانند پرولین، اثرات منفی کم‌آبی را جبران نموده و سبب افزایش زیست‌تودهٔ گیاه می‌شود (Gorgini *et al.*, 2018).

تعداد سنبله

از بین اثرات اصلی و متقابل فاکتورهای آزمایشی، تنها اثر اصلی کاربرد منابع تغذیه‌ای بر صفت تعداد سنبله در بوته معنی‌دار گردید (جدول ۹). نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیشترین تعداد سنبله در بوته از تیمار مصرف اسید هیومیک (۱۶/۸۲ عدد سنبله) به‌دست آمد که تفاوت معنی‌داری با تیمارهای کاربرد جلبک و اسید فولویک نداشت. کمترین تعداد سنبله در بوته نیز از تیمار شاهد (عدم مصرف کود) با ۸/۶۸ سنبله حاصل گردید. تیمارهای مصرف اسید هیومیک، جلبک دریایی و اسید فولویک به‌ترتیب موجب افزایش ۹۴/۰، ۸۰/۱ و ۶۴/۰ درصدی تعداد سنبله در مقایسه با تیمار عدم مصرف کود شدند (جدول ۱۰). در پژوهشی مشابه بر روی اسفرزه کاربرد یک و دو کیلوگرم در هکتار اسید هیومیک، صفت تعداد سنبله در گیاه را در مقایسه با تیمار شاهد به ترتیب ۲۲ و ۳۵ درصد افزایش داد (Fallahi *et al.*, 2018). اسید هیومیک از یک‌سو با توسعهٔ اندام زیرزمینی گیاهان و نیز اصلاح خصوصیات خاک، موجب تسهیل جذب آب و مواد غذایی می‌شود و از طرفی محتوای هورمون‌های محرک رشد را در گیاهان بیشتر می‌کند. این رخدادها توسعهٔ رشد رویشی و زایشی گیاه را در پی دارد (Mirzaee *et al.*, 2020). تعداد سنبله در اسفرزه ارتباط نزدیکی با صفت تعداد پنجه دارد. با توجه به اینکه مصرف تمامی منابع تغذیه‌ای، پنجه‌زنی گیاه را تحریک نمود (جدول ۷)، تعداد سنبله در گیاه نیز در شرایط اعمال تیمارهای تغذیه‌ای افزایش یافت (جدول ۱۰). عدم تأثیر معنی‌دار سطوح فراهمی آب بر صفت تعداد سنبله (جدول ۹) و کاهش نیافتن مقدار این صفت در شرایط کاهش فراهمی آب، حاکی از تحمل مناسب اسفرزه به کم‌آبی است.

جدول ۹- نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات) مربوط به اثر سطوح مختلف فراهمی آب و کاربرد منابع تغذیه‌ای ارگانیک بر عملکرد و اجزای عملکرد و محتوای موسیلاژ اسفرزه

Table 9- The results of analysis of variance (mean square) for the effect of different levels of water availability and consumption of organic fertilizers on the yield, yield components and mucilage content of Isabgol

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	تعداد سنبله Number of spike per plant	دانه در سنبله Seed number per spike	وزن هزار دانه 1000-seed weight	عملکرد بیولوژیک Biological yield	عملکرد دانه Seed yield	شاخص برداشت Harvest index	درصد موسیلاژ Mucilage percentage	عملکرد موسیلاژ Mucilage yield
تکرار Replication	2	2.57^{ns}	8.51^{ns}	0.01^{ns}	147835.0^{ns}	3304.3^{ns}	0.004^{ns}	0.0001^{ns}	4.47^{ns}
سطوح آبیاری Irrigation (A)	2	12.32^{ns}	43.83^{ns}	0.09^{ns}	105519.1^{ns}	9630.7^{ns}	0.00003^{ns}	0.002^{ns}	39.79^{ns}
خطای اول Error A	4	9.65^{ns}	36.07^{n}	0.07^{ns}	156968.0^{ns}	28444.4^{ns}	0.009^{ns}	0.0006^{ns}	7.5^{ns}
نوع کود Fertilizer (B)	3	116**	559**	0.50**	95334.3**	169147.8**	0.003^{ns}	0.002^{ns}	117**
آبیاری×کود A×B	6	6.78^{ns}	39.41^{n}	0.04^{ns}	48827.9^{ns}	13693.8^{ns}	0.003^{ns}	0.0005^{ns}	30.33^{ns}
خطای دوم Error B	18	13.11^{ns}	53.61^{n}	0.04^{ns}	85417.0^{ns}	9619.8^{ns}	0.002^{ns}	0.0007^{ns}	21.58^{ns}
ضریب تغییرات C.V. (%)	-	16.17	17.92	13.40	17.55	15.25	11.63	17.09	23.31

* و ** به ترتیب بیانگر وجود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد و ns نشان دهنده عدم وجود اختلاف معنی‌دار می‌باشد.

* and ** indicate a significant difference at the probability level of 5 and 1%, respectively, and ns indicates the no-significant difference.

جدول ۱۰- اثر نوع منبع تغذیه‌ای بر عملکرد، اجزای عملکرد و محتوای موسیلاژ اسفرزه

Table 10- The effect of nutritional source type on the yield, yield components and mucilage content of Isabgol

تیمارها (نوع کود مصرفی) Treatments (organic fertilizer type)	تعداد سنبله در بوته Number of spikes per plant	تعداد دانه در سنبله Number of seeds per spike	وزن هزار دانه 1000-seeds weight (g)	عملکرد بذر Seed yield (kg ha^{-1})	عملکرد بیولوژیک Biological yield (kg ha^{-1})	درصد موسیلاژ بذر Seed mucilage content (%)	عملکرد موسیلاژ Mucilage yield (kg ha^{-1})
شاهد Control	8.67^{b}	29.04^{b}	1.15^{b}	456.16^{c}	1225.73^{c}	3.42^{a}	15.64^{c}
اسید فولویک Fulvic acid	14.22^{a}	44.93^{a}	1.62^{a}	627.81^{b}	1614.28^{b}	3.05^{a}	19.19^{bc}
اسید هیومیک Humic acid	16.82^{a}	44.31^{a}	1.60^{a}	725.03^{a}	1878.01^{ab}	2.83^{a}	20.48^{ab}
جلبک دریایی Seaweed	15.62^{a}	45.13^{a}	1.63^{a}	763.47^{a}	1942.27^{a}	2.21^{a}	24.40^{a}

در هر ستون حروف متفاوت نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد با استفاده از آزمون LSD می‌باشد.

In each column, different letters indicate a significant difference at the 5% probability level using the LSD test.

تعداد دانه در سنبله

نتایج نشان داد که تنها اثر اصلی استفاده از منابع تغذیه‌ای بر صفت تعداد دانه اسفرزه در سنبله معنی‌دار شد (جدول ۹). مقایسه میانگین داده‌های آزمایش نشان داد که بیشترین تعداد دانه در سنبله (۴۵/۱۳ عدد) از تیمار مصرف جلبک دریایی حاصل گردید که تفاوت معنی‌داری با تیمارهای مصرف اسید هیومیک و اسید فولویک نداشت. کمترین تعداد دانه در سنبله (۲۹/۰۴ عدد) نیز از تیمار شاهد به‌دست آمد. تعداد دانه در سنبله در شرایط مصرف عصاره جلبک، اسید فولویک و اسید هیومیک در مقایسه با تیمار عدم مصرف کود به‌ترتیب ۵۵/۴، ۵۴/۶ و ۵۲/۵ درصد افزایش پیدا کرد (جدول ۱۰). فراهمی مطلوب عناصر غذایی در اوایل مرحلهٔ زایشی گیاه سبب افزایش آغازه‌های گلچه در سنبله شده و تعداد دانه در سنبله را افزایش می‌دهد (Pazoki, 2016). عدم تأثیر معنی‌دار آبیاری بر صفت تعداد دانه در سنبله (جدول ۹) نشان می‌دهد در شرایط کاهش فراهمی آب گیاه تحمل خوبی داشته و تعداد دلنه آن کاهش معنی‌داری پیدا نکرده است. در پژوهش دیگری نیز اثر افزایش فواصل آبیاری بر صفت تعداد دانه در اسفرزه معنی‌دار نبود (Ghasemi Siani *et al.*, 2011).

وزن هزار دانه

اثر اصلی مصرف منابع تغذیه‌ای بر صفت وزن هزار دانه در گیاه اسفرزه معنی‌دار بود (جدول ۹). بیشترین وزن هزار دانه از تیمار مصرف جلبک دریایی با ۱/۶۴ گرم به‌دست آمد که از لحاظ آماری با تیمارهای کاربرد اسید هیومیک و اسید فولویک در یک گروه آماری قرار گرفت. کمترین وزن هزار دلنه از تیمار شاهد با ۱/۱۶ گرم حاصل گردید. مقدار وزن هزار دانه در تیمارهای استفاده از جلبک دریایی، اسید فولویک و اسید هیومیک در مقایسه با تیمار شاهد (عدم مصرف کود) به‌ترتیب ۴۱/۷، ۴۰/۹ و ۳۹/۱ درصد بیشتر بود (جدول ۱۰). در پژوهشی اثر مصرف اسید هیومیک و اسید فولویک بر وزن هزار دانه در گیاه گندم مثبت ارزیابی شد (Pourmorad *et al.*, 2018). محققان دیگری نیز گزارش کردند که مصرف اسید فولویک و عصاره جلبک دریایی تا حدودی وزن هزار دانه گندم را افزایش داد (Rafie *et al.*, 2020). پُر شدن مناسب دانه‌ها نیازمند توسعهٔ مناسب اندام فتوسنتزکنندهٔ گیاه است. با توجه به اینکه مصرف منابع کودی تعداد برگ در بوته را افزایش داد، احتمالاً با جذب بیشتر نور و تولید مواد فتوسنزی کافی موجب افزایش وزن دانه‌ها شده است. افزون بر این، مصرف منابع کودی مانند عصارهٔ جلبک دریایی باعث تحریک رشد ریشه شده (Sibi *et al.*, 2016) و با جذب مقادیر کافی آب و عناصر غذایی شرایط را برای پُر شدن دلنه‌ها فراهم می‌نماید. میزان فراهمی آب اثر معنی‌داری بر وزن هزار دانه نداشت (جدول ۹). کاهش فراهمی آب (آبیاری پس از تبخیر ۲۰۰ میلی‌متر از تشتک) کاهش بسیار

جزئی و غیرمعنی‌دار در مقدار این شاخص را سبب شد که بیانگر تحمل مناسب گیاه به کم‌آبی می‌باشد.

عملکرد بیولوژیک و عملکرد دانه

نتایج نشان داد که عملکرد بیولوژیک و عملکرد دانه اسفرزه از مصرف منابع تغذیه‌ای اثر معنی‌دار پذیرفتند، ولی اثر میزان فراهمی آب و اثر متقابل فاکتورهای آزمایشی بر این صفات معنی‌دار نبود (جدول ۹). بر اساس نتایج مقایسهٔ میانگین‌ها، بیشترین عملکرد دانه با ۷۶۳/۴ کیلوگرم در هکتار از تیمار مصرف عصارهٔ جلبک به دست آمد که تفاوت معنی‌داری از نظر آماری با تیمار مصرف اسید هیومیک نداشت. کمترین عملکرد دانه نیز از تیمار شاهد به میزان ۴۵۶/۱ کیلوگرم در هکتار به‌دست آمد. تیمارهای مصرف جلبک دریایی، اسید هیومیک و اسید فولویک به‌ترتیب به میزان ۶۷/۳، ۵۹/۰ و ۳۷/۶ درصد عملکرد بذر اسفرزه را در مقایسه با تیمار عدم مصرف کود افزایش دادند (جدول ۱۰). در مورد عملکرد بیولوژیک نیز روند مشابهی مشاهده شد، به‌طوری‌که تمامی منابع تغذیه‌ای به خصوص مصرف عصارهٔ جلبک دریایی موجب افزایش میزان این شاخص در مقایسه با تیمار عدم مصرف کود شدند (جدول ۱۰).

در پژوهش مشابهی بر روی اسفرزه مصرف دو کیلوگرم در هکتار اسید هیومیک مقدار عملکرد بذر را ۱۰ درصد افزایش داد (Fallahi *et al.*, 2018). اثر مثبت اسید هیومیک و اسید فولویک بر افزایش عملکرد بذر در گاوزبان ایرانی (Amiri et al., 2017) و گندم (Pourmorad *et al.*, 2018; Pazoki, 2016) نیز گزارش شده است. نتایج محققان دیگری حاکی از بهبود معنی‌دار عملکرد بذر گندم در شرایط مصرف اسیدهای آلی فولویک و هیومیک و نیز عصارهٔ جلبک دریایی می‌باشد. آنها این رخداد را به نقش این ترکیبات در کاهش اثر تنش‌های محیطی بر گیاه و نیز بهبود رشد رویشی و فراهمی مطلوب عناصر غذایی و تنظیم‌کننده‌های رشد مرتبط دانستند (Rafie *et al.*, 2020).

عملکرد دانه بستگی زیاد به وضعیت رشد رویشی گیاه دارد. هر چقدر توسعهٔ اندام هوایی مناسب‌تر باشد، میزان جذب نور و فتوسنتز گیاه بیشتر شده و در نتیجه عملکرد بذر بیشتر خواهد بود. نتایج نشان داد که مصرف تمامی منابع تغذیه‌ای به‌خصوص عصارهٔ جلبک دریایی باعث افزایش ارتفاع، تعداد برگ، تعداد پنجه و وزن خشک اسفرزه شد (جدول ۶) که نتیجه آن افزایش تولیدات فتوسنتزی و در نتیجه افزایش عملکرد بذر می‌باشد (جدول ۱۰). از طرفی دیگر عملکرد گیاه ارتباط نزدیکی به اجزای عملکرد دارد (Rafie *et al.*, 2020). بر اساس نتایج آزمایش، تعداد سنبله در بوته، تعداد دانه در سنبله و وزن هزار دانه از مصرف منابع تغذیه‌ای به خصوص عصارهٔ جلبک اثر مثبت و معنی‌داری پذیرفت که پیامد نهایی آن افزایش عملکرد بذر اسفرزه بود (جدول ۱۰).

عدم تأثیر معنی‌دار میزان فراهمی آب بر عملکرد بذر (جدول ۹) و ثبات عملکرد گیاه در شرایط کاهش میزان فراهمی آب، نشان می‌دهد که اسفرزه سازگاری مناسبی با کم‌آبی دارد. در پژوهشی بر روی اسفرزه در شرایط اقلیمی خراسان جنوبی گزارش شد که حتی با سه مرتبه آبیاری نیز این گیاه محصول مناسبی تولید می‌کند و از این رو در مناطق خشک و نیمه‌خشک که با کمبود منابع آب مواجه هستند، اسفرزه می‌تواند به عنوان یک گیاه جهت معرفی به الگوی کاشت مورد بررسی و توجه قرار گیرد (Fallahi *et al.*, 2018). با این وجود، جهت ارایه توصیه کاربردی لازم است نیاز آبی گیاه در مطالعات آتی به‌صورت دقیق تعیین شود. در پژوهش دیگری نیز میزان عملکرد بذر اسفرزه در شرایط آبیاری پس از تبخیر ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌متر از تشتک تبخیر به‌ترتیب ۴۸۷ و ۴۶۳ کیلوگرم در هکتار گزارش شد (Jamshidi *et al.*, 2017). محققان دیگری نیز مشاهده کردند تیمار قطع آبیاری اسفرزه در مرحله دانه بستن در مقایسه با تیمار آبیاری کامل عملکرد نسبتاً برابری تولید نمود (Roumani *et al.*, 2020b).

درصد و عملکرد موسیلاژ

اثر اصلی مصرف منابع تغذیه‌ای بر درصد موسیلاژ بذر در گیاه اسفرزه معنی‌دار نبود (جدول ۹). در پژوهش مشابهی نیز مقدار فاکتور تورم بذر اسفرزه در سطوح مصرف صفر، ۱ و ۲ کیلوگرم در هکتار اسید هیومیک به‌ترتیب ۱/۳، ۱/۵ و ۱/۷ میلی‌لیتر بود که البته از نظر آماری دارای تفاوت معنی‌داری نبود (Fallahi *et al.*, 2018). در پژوهش کنونی کاهش فراهمی آب نیز اثر معنی‌داری بر درصد موسیلاژ اسفرزه نداشت (جدول ۹). در پژوهشی بر روی اسفرزه گزارش شد که یک شکل ویژه از ذخیره آب، پیوند یافتن آب با کربوهیدرات‌های آب‌دوست

مانند موسیلاژهای موجود در سلول‌ها، بافت هادی و فضای بین سلولی و سطح بذر برخی گونه‌ها می‌باشد و توانایی آن‌ها را در حفظ پتانسیل آب درون سلولی افزایش می‌دهد و بر این اساس میزان موسیلاژ گیاه اسفرزه در شرایط کاهش فراهمی آب کاهش پیدا نکرده و حتی می‌تواند افزایش یابد (Rahimi *et al.*, 2014).

اثر اصلی مصرف منابع تغذیه‌ای بر عملکرد موسیلاژ اسفرزه معنی‌دار شد (جدول ۹). مقایسه بین میانگین‌ها نشان داد بیشترین عملکرد موسیلاژ دانه از تیمار مصرف کود جلبک با ۲۴/۴۱ کیلوگرم در هکتار و کمترین میزان آن از تیمار شاهد (عدم مصرف کود) به مقدار ۱۵/۶۵ کیلوگرم در هکتار به‌دست آمد که ۵۶/۰ درصد تفاوت را نشان می‌دهد. تیمارهای کاربرد اسید هیومیک و اسید فولویک نیز به‌ترتیب به میزان ۳۰/۹ و ۲۲/۷ درصد عملکرد موسیلاژ بیشتری را در مقایسه با تیمار شاهد تولید نمودند (جدول ۱۰). با توجه به عدم تأثیر معنی‌دار کاربرد منابع کودی بر درصد موسیلاژ بذر، بالاتر بودن عملکرد موسیلاژ در تیمارهای تغذیه‌ای ناشی از افزایش عملکرد بذر در این تیمارها می‌باشد.

نتیجه‌گیری کلی

رشد رویشی اسفرزه در اثر مصرف اسید هیومیک، اسید فولویک و عصارهٔ جلبک دریایی افزایش یافت، ولی کاهش فراهمی آب اثر کاهنده‌ای بر رشد گیاه اعمال نکرد. مصرف عصاره جلبک دریایی بیشترین مقادیر ارتفاع، تعداد برگ، تعداد پنجه و وزن خشک بوته را سبب گردید. رشد زایشی گیاه به مصرف تمامی منابع تغذیه‌ای پاسخ مثبت نشان داد و کاهش فراهمی آب باعث کاهش عملکرد گیاه نشد. بیشترین تعداد سنبله از کاربرد اسید هیومیک به‌دست آمد و بیشترین تعداد دانه در سنبله از تیمار مصرف عصارهٔ جلبک حاصل گردید. وزن هزار دانه در تمامی تیمارهای تغذیه‌ای بیشتر از تیمار عدم مصرف کود بود. تمامی تیمارهای تغذیه‌ای در مقایسه با تیمار شاهد موجب افزایش عملکرد بیولوژیک شدند. تیمارهای مصرف عصارهٔ جلبک دریایی، اسید هیومیک و اسید فولویک به‌ترتیب به میزان ۶۷/۴، ۵۹/۰ و ۳۷/۰ درصد عملکرد بذر اسفرزه را در مقایسه با تیمار عدم مصرف کود افزایش دادند. همچنین، هیچ‌کدام از فاکتورهای آزمایشی بر درصد موسیلاژ بذر تأثیر معنی‌داری نداشتند، ولی عملکرد موسیلاژ بواسطهٔ افزایش عملکرد بذر در اثر مصرف منابع تغذیه‌ای افزایش پیدا کرد. در مجموع، مصرف تمامی منابع تغذیه‌ای مورد مطالعه به خصوص عصارهٔ جلبک دریایی برای بهبود رشد رویشی و زایشی اسفرزه توصیه می‌شود. همچنین، با توجه به عدم کاهش عملکرد بذر گیاه در اثر کاهش فراهمی آب، انجام آبیاری پس از تبخیر ۲۰۰ میلی‌متر از تشتک تبخیر قابل توصیه است.

سپاسگزاری

این تحقیق در قالب طرح پژوهشی (پایان‌نامهٔ کارشناسی ارشد) به شماره ابلاغیه ۸۱۲۶ مورخ۱۴۰۰/۷/۱۲ و با استفاده از اعتبارات پژوهشی دانشگاه بیرجند انجام شده است که بدین‌وسیله تشکر و قدردانی می‌شود.

References

Aali, E., Mahmoudi, R., Kazeminia, M., Hazrati, R. and Azarpey, F., 2017. Essential oils as natural medicinal substances: review article. *Tehran University Medical Journal, 75*(7), pp.480-489. [In Persian].

Abaszadeh Faruji, R., Shoor, M., Tehrani Far, A., Abedy, B. and Safari, N., 2018. Effects of humic acid and fulvic acid on some morphological characteristics of Geranium. *Journal of Horticultural Science, 32*(1), pp.35-50. [In Persian]. **doi: 10.22067/jhorts4.v31i3.57849**

Ahmadi, A., 2022. Evaluation of the quantitative and qualitative response of saffron to foliar nutrition of food elements. Master's thesis, Torbat-Haydaria University. [In Persian].

Ahmadi, F. and Aminifard, M.H., 2018. Effects of foliar spraying humic acid on some morphological characteristics and flower yield of saffron (*Crocus sativus* L.). *Journal of Saffron Research, 6*(1), pp.17-26.

[In Persian]. **doi: 10.22077/jsr.2017.540.1021**

Aminifard, M.H., Khandan Deh-Arbab, S., Fallahi, H.R. and Kaveh, H., 2022. Effects of different levels of algae extract and mother corm weight on photosynthetic pigment content, growth and yield of saffron. *Journal of Saffron Research, 9*(2), pp.296-309. [In Persian]. **doi: 10.22077/jsr.2018.1663.1063**

Amiri, M.B., Rezvani Moghaddam, P. and Jahan, M., 2017. The effects of soil amendments and bio-fertilizers inoculation on morphological characteristics and yield of *Echium amoenum. Journal of Horticultural Science, 31*(1), pp.25-39. [In Persian]. **doi: 10.22067/jhorts4.v0i0.34660**

Ebrahimi, M. and Miri Karbasak, E., 2016. Investigation effect of humic acid on germination, seedling growth and photosynthesis pigments of medicinal plant isabgol (*Plantago ovata* Forssk). *Iranian Journal of Seed Sciences and Research, 3*(3), pp.35-46. [In Persian]. **dor: 20.1001.1.24763780.1395.3.3.4.2**

Elumalai, L.K. and Rengasamy, R., 2012. Synergistic effect of seaweed manure and *Bacillus* sp. on growth and biochemical constituents of *Vigna radiata* L. *Biofertil Biopestici, 3*(121), pp.2-7. **doi: 10.4172/2155-6202.1000121**

Esringü, A., Sezen, I., Aytatli, B. and Ercişli, S., 2015. Effect of humic and fulvic acid application on growth parameters in *Impatiens walleriana* L. *Akademik Ziraat Dergisi, 4*(1), pp.37-42 .

Fallahi, H.R., Ghorbani, M., Aghhavani Shajari, M., Asadian, A.H. and Samadzadeh, A., 2016. The effect of mycorrhizal inoculation and humic acid on the growth and yield of roselle medicinal plant and its mycorrhizal symbiosis indicators under drought stress conditions. Final Report of Research Project, University of Birjand. [In Persian].

Fallahi, H.R., TaherPour Kalantari, R., Asadian, A.H., Aghhavani-Shajari, M. and Ramazani, H.R., 2018. Effect of different soil fertilizing agents on growth and yield of isabgol and black seed as two medicinal plants. *Iranian Journal of Field Crop Science, 49*(3), pp.1-11. [In Persian]. **doi: 10.22059/ijfcs.2017.211513.654152**

Fallahi, H.R., Behdani, M.A., Rezvani Moghaddam, P. and Jami Al-Ahmadi, M., 2021. Principles of standardization for organic saffron production in Iran. *Saffron Agronomy and Technology, 9*(1), pp.43-79. [In Persian]. **doi: 10.22048/jsat.2020.236760.1402**

Ghasemi Siani, E., Fallah, S. and Tadayyon, A., 2011. Study on yield and seed quality of *Plantago ovata* Forssk., under different nitrogen treatments and deficit irrigation. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research, 27*(3), pp.517-528. [In Persian]. **doi: 10.22092/ijmapr.2011.6392**

Ghfarizadeh, A., Seyyed Nejad, S.M. and Abdolali Gilani, A., 2016. The effect of foliar spray of brown seaweed water extract and different levels of nitrogen on some physiological, biochemical, parameters and yield of wheat. *Journal of Plant Environmental Physiology, 11*(41), pp.13-25. [In Persian]. **dor: 20.1001.1.76712423.1395.11.41.2.5**

Ghosh, K., Das, I., Das, D. and Sanyal, S., 2012. Evaluation of humic and fulvic acid extracts of compost, oilcake, and soils on complex formation with arsenic. *Soil Research, 50*(3), pp.239-248. **doi: 10.1071/SR12037**

Gorgini, H., Khorasaninejad, S., Abbasi, M. and Tabasi, A., 2018. The effects of irrigation period and humic acid on morpho-physiological and biochemical traits of thyme (*Thymus vulgaris*). *Journal of Plant Environmental*

Physiology, 51, pp.67-82. [In Persian]. **dor: 20.1001.1.76712423.1397.13.51.5.2**

Heydari, M., Daneshian Moghaddam, A.M. and Nourafcan, H., 2017. Effect of vermicompost and liquid seaweed fertilizer on morpho-physiological properties of marigold (*Calendula officinalis* L.). *Journal of Crop Ecophysiology, 10*(4), pp.891-906. [In Persian].

Hosseinian, S.H., Ebrahimipak, N., Yusefi, A. and Egdarnzhad, A., 2019. Effect of water stress and humic acid foliar application on morpho-physiological characteristics of *Satureja hortensis*. *Journal of Water and Soil Conservation, 26*(1), pp.219-232. [In Persian]. **doi: 10.22069/jwsc.2019.15481.3071**

Jamshidi, M., Moradi, P. and Khomri, A., 2017. Investigating the effect of potassium fertilizer on the quantitative and qualitative characteristics of the Isabgol medicinal plant under drought stress conditions. The second international Conference on Applied Research in Agricultural Sciences, Natural Resources and Environment, May 6, Hamedan, Iran. [In Persian].

Kalyanasundaram, N., Sriram, S., Patel, B., Pat, R., Patel, D., Dalal, K. and Gupta, R., 1984. Psyllium-a monopoly of Gujarat, India. *Indian Horticulture, 28*, pp.35-37.

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*, pp.386-399. **doi: 10.1007/s00344-009-9103-x**

Khandan Deh-Arbab, S., 2017. Effect of amino acid, algae extract and corm weight on quantitative and qualitative traits of saffron. Master's thesis. University of Birjand. [In Persian].

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), pp.213-226. [In Persian]. **doi: 10.22055/ppd.2019.26492.1630**

Khavari, M., Behdani, M.A. and Fallahi, H.R., 2018. Influence of plant density, single and combined application of cow manure and chemical fertilizer on seed and mucilage yields in Isabgol (*Plantago ovata* Forssk.). *Journal of Agroecology*, *11*(3), pp.1139-1150. [In Persian]. **doi: 10.22067/jag.v11i3.72846**

Khazaei, H.R., Sabet Teimouri, M. and Najafi, F., 2007. Investigation on yield and quality of Isabgol (*Plantago ovata* L.) under different irrigation regimes and seeding rates. *Iranian Journal of Field Crops Research, 5*(1), pp.77-84. [In Persian]. **doi: 10.22067/gsc.v5i1.898**

Koocheki, A., Mokhtari, V., Taherabadi, S. and Kalantari, S., 2011. The effect of water stress on yield, yield components and quality characteristics of *Plantago Ovata* and *Plantago Psyillium*. *Journal of Water and Soil*, *25*(3), pp.656-664. [In Persian]. **doi: 10.22067/jsw.v0i0.9700**

Manish, K., Bhakti, T. andAvinash, M., 2018. Physicochemical characterization, antioxidant and anti-proliferative activities of a polysaccharide extracted from psyllium (*Plantago ovata*) leaves. *International Journal of Biological Macromolecules, 118*, pp.976-987. **doi: 10.1016/j.ijbiomac.2018.06.139**

Mirzaee, N., Jabbarzadeh, Z. and Rasouli-Sadaghiani, M., 2020. Influence of humic acid and nano-calcium chelate application on photosynthetic pigments and nutrient uptake of *Gerbera jamesonii* cv. Dune. *Plant Process and Function*, *9*(39), pp. 61-76. [In Persian]. **dor: 20.1001.1.23222727.1399.9.39.9.8**

Mozaffarian, W., 2015. Recognition of Medicinal and Aromatic Plants of Iran: Farhang Moaser Publications. Second edition. [In Persian].

Narimani, R., Moghaddam, M., Nemati, S. and Ghasemi, P.A., 2019. Evaluation of salinity adjusted by using humic acid and ascorbic acid in medicinal plant of moldavian balm (*Dracocephalum moldavica* L.). *Journal of Plant Research, 31*(4), pp. 955-971. **dor: 20.1001.1.23832592.1397.31.4.17.9**

Pazoki, A., 2016. Effects of humic acid and plant growth promoting rhizobacteria (PGPRs) on yield and yield components of durum wheat under drought stress condition in Shahr-e-Rey region. *Cereal Research, 6*(1), pp.105-117. [In Persian]. **dor: 20.1001.1.22520163.1395.6.1.9.7**

Poudineh, Z., Moghadam, Z.G. and Mirshekari, S., 2015. Effects of humic acid and folic acid on sunflower under drought stress. *Biological Forum, An International Journal, 7*(1), pp.451-454.

Pourmorad, M., Malakouti, M.J. and Tehrani, M., 2018. Study on the effect of humic acid and fulvic acid on the wheat yield and water use efficiency under drought stress. *Water and Soil, 32*(5), pp.977-985. [In Persian]. **doi: 10.22067/jsw.v32i5.71191**

Pouryousef, M., Mazaheri, D., Chaiechi, M.R., Rahimi, A. and Tavakoli, A., 2010. Effect of different soil fertilizing treatments on some of agromorphological traits and mucilage of Isabgol (*Plantago ovata* Forsk). *Journal of Crop Production*, *3*(2), pp.193-213. **dor: 20.1001.1.2008739.1389.3.2.13.0**

Rafie, M.R., Sohi, M. and Javadzadeh, M., 2020. Study the effect of plant growth biostimulants application on quantitative and qualitative characteristics of wheat in a calcareous soil (Case study in Khuzestan). *Journal of Soil Management and Sustainable Production, 10*(2), pp.69-88. [In Persian]. **doi: 10.22069/ejsms.2020.16943.1905**

Rahimi, A., Jahansoz, M.R. and Rahimian Mashhadi, H., 2014. Effect of drought stress and plant density on quantity and quality charactristics of isabgol (*Plantago ovata*) and French Psyllium. *Journal of Crop Production and Processing*, *4*(12), pp.143-156. [In Persian]. **dor: 20.1001.1.22518517.1393.4.12.13.9**

Ramroudi, M.M., Bagheri, M. and Forouzandeh, M., 2018. Effect of application of biofertilizers and water treatments on yield, yield components and swelling index of Isabgol (*Plantago ovata* Forssk.). *Journal of Agroecology*, *11*(3), pp.1037-1048. [In Persian]. **doi: 10.22067/jag.v11i3.71316**

Roumani, A., Biabani, A., Rahemi Karizaki, A., Gholamalipour Alamdari, E. and Gholizadeh, A., 2020a. Effects of salicylic acid and spermine exogenous application on functional and physiological characteristics of isabgol (*Plantago ovata* Forssk.) under cutoff irrigation. *Journal of Plant Ecophysiology*, *12*(2), pp.53-67. [In Persian]. **dor: 20.1001.1.20085958.1399.12.41.5.2**

Roumani, A., Biabani, A., Rahemi Karizaki, A., Gholamalipour Alamdari, E. and Gholizadeh, A., 2020b. The response of quantitative and qualitative characteristics of Isabgol (*Plantago ovata* Forssk.) to foliar application of salicylic acid and spermine under drought stress conditions. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, *13*(2), pp.503-517. [In Persian]. **doi: 10.22077/escs.2019.1948.1474**

Saffar Sabzevar, M. and Jami Moeini, M., 2015. Reaction yield and yield components of Setaria italica under foliar spraying humic and fulvic acid. First National Conference on New Achievements in Life Sciences and

Agriculture, Zabol, Iran, 21 May, pp.1-8 . [In Persian].

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

Shahsavari, M., Naderi, D. and Gheisari, M., 2019. Effects of organic nano-fertilizer and humic acid on biochemical characteristics and some essential oil of domask-rose (*Rosa damascena* Mill.). *Iranian Journal of Medicinal Aromatic Plants Research, 35*(1), pp.134-144. **doi: 10.22092/ijmapr.2019.116512.2213**

Shamloo, H., Parsa, S., Mahmoodi, S. and Samadzadeh, A.R., 2018. The effect of different levels of irrigation and nitrogen fertilizer on some morphological characteristics of the Isabgol (*Plantago ovat*a L.) medicinal plant, under greenhouse conditions. The First National Conference on New Production and Employment Opportunities in the Agricultural Sector in the East of the Country. 14 th Febuary, Birjand, Iran. [In Persian].

Sibi, M., Nezami, A. and Khazaie, H.R., 2016. The effect of concentration, time and applying instruction of seaweed extract on some morphological characteristics of rooextract on some morphological characteristics of root and shoots of safflower (*Carthamus tinctorius* L.). *Crop Physiology Journal, 8*(29), pp.5-21. [In Persian]. **dor: 20.1001.1.2008403.1395.8.29.1.1**

Journal of Crop Science Research in Arid Regions/ Volume 6, Issue 3, Autumn 2024, P. 53-70

Impact of some organic fertilizers on quantitative and qualitative yields of Isabgol (*Plantago ovata* Forsk) medicinal plant, under different levels of water availability

Mohammad Hossein Aminifard[1], Ali Nooki[2], Hamid-Reza Fallahi[3*], Ali Azari Nasrabad[4]

[1] Department of Horticultural Science, Faculty of Agriculture, University of Birjand, Birjand, Iran
[2] South Khorasan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Birjand, Iran
[3] Plant and Environmental Stresses Research Group (PESRG), Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, University of Birjand, Birjand, Iran
[4] Crop and Horticultural Science Research Department, South Khorasan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Birjand, Iran
[*]Corresponding Author: hamidreza.fallahi@birjand.ac.ir

Received: 12 November 2023 Accepted: 16 February 2024 **DOI: 10.22034/CSRAR.2024.424888.1379**

Abstract

Introduction: The management of water and nutrients are among the most important factors affecting the quality and quantity of medicinal plants. Among the medicinal plants, isabgol has a particular importance due to its mucilage, which is obtained from the seeds. It is an annual plant, which is mainly distributed in dry regions of the world. Considering that Iran is one of the arid and semi-arid countries and has recently faced with consecutive droughts, the optimal use of water resources should be prioritized. In this regard, it is important to introduce plants with low water requirements, such as isabgol. Since it is a medicinal plant, its fertilization using biological and organic fertilizers is also considered important. Therefore, in this experiment, the effect of different levels of water availability and bio fertilizers was studied on the growth and yield of isbgol.

Materials and Methods: In this experiment, the effect of water availability (irrigation after evaporation of 100, 150, and 200 mm from the evaporation pan) and organic nutritional resources (humic acid, fulvic acid, and seaweed extract along with no fertilization as control treatment) was studied on the growth of and yield of Isabgol, under climatic conditions of Birjand (59 ^{o}E, 32 ^{o}N, 1410 m above sea), Iran. The experiment was conducted as split plot based on a randomized complete block design with three replications. The levels of water availability were placed in the main plots and nutritional resources in the sub-plots. The measured traits included plant height, number of leaves and number of tiller per plant, fresh and dry weight of plant, number of spikes per plant, number of seeds per spike, weight of 1000 seeds, seed yield, biological yield, percentage and yield of mucilage. Statistical analysis was performed using SAS, version 9.4 and the means were compared using the protected LSD test at the 5% probability level.

Results and Discussion: The results of analysis of variance showed a significant effect of fertilizers application on most growth and yield indices, while the effect of irrigation management (except for number of leaves per plant) and interaction of studied factors was not significant on the evaluated traits. Application of all fertilizes, especially seaweed, improved the vegetative growth of the plant. The highest plant height (21 cm), number of leaves (16 per plant), number of tillers (4.8 No. per plant) and fresh weight of the plant (9.6 g) were gained from the seaweed extract, which were 31.2, 29.2, 39.9 and 78.1%, superior to the control treatment (no fertilizer application), respectively. The highest number of spikes (13.24 No. per plant) was obtained from humic acid application, which was 2.1 times more than the control treatment. Number of seeds per spike in seaweed, humic acid, fulvic acid and control treatments were 45.1, 44.3, 44.9 and 29, respectively, and 1000-seed weight was 1.63, 1.60, 1.62 and 1.55 g, respectively. Fertilizers application improved biological yield and seed yield, but in terms of these two traits, irrigation levels were in a same statistical group. The highest and the lowest biological yield (1942.2 and 1225.7 kg ha^{-1}, respectively) and seed yield (763.4 and 456.1 kg ha^{-1}, respectively) were gained from seaweed and control treatments, respectively. The percentage of

mucilage was not affected by irrigation and nutritional managements, but the mucilage yield by the use of algae extract, humic acid and fulvic acid was increased by 56.4, 31.4 and 23.0%, respectively, compared to the control.
Conclusion: In general, consumption of all organic fertilizer types improved the growth and quantitative and qualitative yield of Isabgol, while reduced water availability had no negative effect on the plant growth and yield, which indicates that isabgol is well adapted to semi-arid regions.

Keywords: Drought stress, Fulvic acid, Grain weight, Humic acid, Mucilage, Seaweed