Investigating The Effect of Humic Acid and Gibberellic Acid Foliar Spraying on The Yield and Essential Oil Content and Some Characteristics of Peppermint (*Mentha piperita* L.)

Pages 59-71

A. Hamid

Senior expert of Khorramshahr Agricultural Jihad Institute, Khorramshahr, Iran.

*Corresponding author: **alialihamid93@gmail.com**

Received date: 2023.02.14 **Accepted date: 2023.04.11**

Abstract

Peppermint is one of the most important essential oil-bearing plants with various applications. This experiment was conducted as a split-plot design within a randomized complete block design with three replications during the 2013-2014 agricultural year at the research farm of the Khuzestan Agricultural Sciences and Natural Resources University. The experimental treatments included humic acid granules from the Super Humate source at four levels: no application, 8, 16, and 24 kg/ha as the main factor, and gibberellic acid foliar spray at four levels: no application, 100, 200, and 300 mg/L as the sub-factor. The results showed that the interaction effect of humic acid and gibberellic acid was significant for all traits except for essential oil percentage. Application of gibberellic acid resulted in an increase in dry stem weight and a decrease in harvest index and the ratio of dry leaf weight to dry stem weight. The highest dry stolon weight (892 kg per hectare) was observed with the application of 16 kg/ha of humic acid and 300 mg/L of gibberellic acid foliar spray. The highest fresh weight (20,945 kg/ha), highest dry matter (7,316 kg/ha), and highest essential oil yield (96 L/ha) were obtained with the application of 16 kg/ha of humic acid along with 200 mg/L of gibberellic acid. Only humic acid had a significant effect on the essential oil percentage, increasing it. Economically, the application of 16 kg/ha of humic acid combined with 200 mg/L of gibberellic acid was the best treatment combination.

Keywords: Essential oil, Foliar spray, Growth regulator and Hormone.

بررسی اثر اسید هومیک و محلول‌پاشی اسید جیبرلیک بر عملکرد و محتوای اسانس و برخی ویژگی‌های گیاه دارویی نعناع فلفلی (*Mentha piperita* L.)

شماره صفحات
۷۱-۵۹

علی حمید

کارشناس ارشد موسسه جهاد کشاورزی خرمشهر، خرمشهر، ایران.

* ایمیل نویسنده مسئول: **alialihamid93@gmail.com**

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۱/۲۵ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۱/۲۲

چکیده

نعناع فلفلی یکی از مهم‌ترین گیاهان اسانس‌دار با کاربردهای گوناگون است. این آزمایش به‌صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در سال ۹۳-۱۳۹۲ در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان اجرا گردید. تیمارهای آزمایش شامل گرانول اسید هیومیک از منبع سوپر هیومات در چهار سطح عدم کاربرد، ۸، ۱۶ و ۲۴ کیلوگرم در هکتار به‌عنوان عامل اصلی و محلول‌پاشی اسید جیبرلیک در چهار سطح عدم کاربرد ، ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتربه عنوان عامل فرعی بود. نتایج نشان داد اثر متقابل اسید هیومیک و اسید جیبرلیک در همه صفات بجز درصد اسانس معنی‌دار شد. کاربرد اسید جیبرلیک سبب افزایش وزن خشک ساقه و کاهش شاخص برداشت و نسبت وزن خشک برگ به وزن خشک ساقه شد. بالاترین وزن خشک استولون (۸۹۲ کیلوگرم در هکتار) از کاربرد ۱۶ کیلوگرم در هکتار اسید هیومیک و محلول‌پاشی ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر اسید جیبرلیک مشاهده شد. بالاترین وزن تر (۲۰۹۴۵ کیلوگرم در هکتار)، بیشترین ماده خشک (۷۳۱۶ کیلوگرم در هکتار) و بیشترین عملکرد اسانس (۹۶ لیتر در هکتار) از کاربرد ۱۶ کیلوگرم در هکتار اسید هیومیک به‌همراه ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر اسید جیبرلیک بدست آمد. فقط اسید هیومیک بر درصد اسانس اثر معنی‌دار داشت و باعث افزایش درصد اسانس شد. از نظر اقتصادی کاربرد ۱۶ کیلوگرم در هکتار اسید هیومیک همراه با ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر اسید جیبرلیک بهترین ترکیب تیماری بود.

واژه‌های کلیدی: اسانس، محلول‌پاشی و تنظیم کننده رشد و هورمون .

مقدمه

کشت و پرورش گیاهان دارویی نوعی زراعت مواد متابولیک است که حاصل آن برداشت مواد مؤثر دارویی است. نعناع فلفلی (*Mentha piperita* L.) یکی از پر مصرف‌ترین گیاهان دارویی است که به دلیل عطر و طعم متمایز آن مورد توجه صنایع غذایی و دارویی است (Jamshed & Jabeen, 2022). نعناع فلفلی گیاهی خزنده و چندساله است که اسانس آن به صورت عمده در برگ‌ها ذخیره می‌شود. ایجاد شرایط تغذیه‌ای و فیزیکی مناسب در خاک نقش مهم در بهبود رشد گیاه دارد. اسیدهای هیومیک مولکول‌های آلی هستند که در بهبود خواص خاک، رشد گیاه و پارامترهای زراعی نقش اساسی دارند. محصولات مبتنی بر اسید هیومیک در سال‌های اخیر برای تضمین پایداری تولید کشاورزی در تولید محصولات کشاورزی استفاده شده‌اند. آزمایشات متعدد نشان داده‌اند که اسیدهای هیویک می‌توانند بر ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیک خاک از جمله بافت، ساختمان، ظرفیت نگهداری آب، ظرفیت تبادل کاتیونی، pH، کربن خاک، آنزیم‌ها، چرخه نیتروژن و در دسترس بودن مواد مغذی تأثیر مثبت بگذارند (Ampong, *et al.*, 2022).

استفاده مناسب از تنظیم کننده‌های رشد می‌تواند منجر به بهبود عملکرد کمی و کیفی گیاه شود. اسید جیبرلیک یک هورمون یا تنظیم کننده رشد گیاهی است که بر فرآیندهای مختلف از جمله رشد ساقه، جوانه‌زنی، خواب، گل‌دهی، القای آنزیم و پیری برگ و میوه تأثیر می‌گذارد. از این هورمون برای بهبود رشد و عملکرد گیاهان استفاده می‌شود. (Campbell, *et al.*, 2013). در آزمایشی کاربرد اسید جیبرلیک در کشت هیدروپونیک باعث بالارفتن تعداد و سطح برگ و کیفیت کاهو شد و همچنین کارایی مصرف آب (WUE) و نیتروژن (NUE) بهبود یافت (Alessandro, *et al.*, 2019). نتایج آزمایشی نشان داد که ترکیب تیمار اسید جیبرلیک و کودهای ریز مغذی می‌تواند باعث رشد و افزایش عملکرد گوجه فرنگی شود (Le & Bui, 2019). کاربرد اسید جیبرلیک از طریق افزایش تقسیم سلولی می‌تواند منجر به ایجاد شاخه‌ها و برگ‌های بزرگ‌تر در بسیاری از گیاهان شود (Campbell, *et al.*, 2013). در آزمایشی کاربرد اسید جیبرلیک باعث بهبود رشد، کاهش استرس اکسیداتیو و افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی، بیان ژن‌های آنتی اکسیدانی و غلظت یون K^+ در ذرت تحت تنش شوری شد و در مقایسه با شاهد افزایش طول ریشه و ساقه، وزن تر و خشک ریشه، وزن تر و خشک شاخه، کل پروتئین محلول، غلظت K^+ و محتوای کلروفیل و کاهش Na^+ و H_2O_2 گردید (Shahzad, *et al.*, 2021). در آزمایشی محلول‌پاشی اسید جیبرلیک در مرحله خوشه دهی ۱۰ تا ۳۰ درصد عملکرد دانه برنج را به‌صورت معنی‌داری افزایش داد (Iffah Haifaa & Moses, 2022). در این آزمایش تلاش شد تا اثر کاربرد اسید هیومیک و اسید جیبرلیک بر برخصی خصوصیات کمی و کیفی نعناع فلفلی مورد بررسی قرار گیرد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در سال زراعی ۱۳۹۳-۱۳۹۲ در مزرعه‌ی پژوهشی دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی رامین خوزستان با عرض جغرافیایی ۳۱ درجه و ۳۴ دقیقه و طول جغرافیایی ۴۸ درجه و ۵۲ دقیقه، با ارتفاع ۲۳ متر از سطح دریا اجرا گردید. بر اساس آمار هواشناسی بلند مدت ۳۰ ساله، محل اجرای آزمایش با داشتن دمای متوسط حداقل ۱۴/۶، متوسط حداکثر ۳۱/۸، میانگین درجه حرارت ۲۳/۳ درجه سانتی‌گراد و متوسط بارندگی سالیانه ۲۷۰ میلی‌متر، از نظر شرایط اقلیمی جزء مناطق خشک و نیمه‌خشک است. آمار برخی پارامترهای هواشناسی منطقه دوره رشد گیاه برای سال زراعی ۹۳-۱۳۹۲ در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۱- برخی از آمارهواشناسی مزرعه پژوهشی طی مدت اجرای آزمایش (۹۳-۱۳۹۲)

بارش (میلی‌متر)	دما (سلسیوس)			ماه
	میانه	بیشینه	کمینه	
4.70	14.0	19.4	8.60	بهمن
35.3	19.8	26.2	13.4	اسفند
32.5	23.6	30.4	16.7	فروردین
0.10	31.5	38.7	24.2	اردیبهشت
0.20	35.8	43.7	27.9	خرداد
0.00	38.1	46.3	29.9	تیر
0.00	38.4	46.4	30.4	امرداد

به‌منظور بررسی خصوصیات خاک مزرعه آزمایشی، قبل از شروع آزمایش از ۵ قسمت از خاک مزرعه در دو عمق ۳۰-۰ و ۶۰-۳۰ سانتی‌متر نمونه‌برداری به عمل آمد و برای هر عمق یک نمونه مرکب تهیه شد سپس نمونه‌ها در آزمایشگاه مورد ارزیابی قرار گرفتند که نتایج آن در جدول ۲ گزارش شده است.

جدول ۲- برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه پژوهشی

عمق خاک	هدایت الکتریکی ($dS.m^{-1}$)	pH	نیتروژن کل (%)	فسفر قابل جذب ($mg.kg^{-1}$)	پتاسیم قابل جذب ($mg.kg^{-1}$)	ماده آلی (%)	وزن مخصوص ظاهری ($mg.m^{-3}$)	رس (%)	سیلت (%)	شن (%)
۳۰-۰	3.6	7.4	0.05	7.2	214	0.76	1.21	44	40	16
۶۰-۰	2.8	7.7	0.04	6.4	167	0.52	1.31	48	39	13

آزمایش به‌صورت کرت‌های یک‌بار خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. فاکتور اصلی گرانول اسید هیومیک (عدم کاربرد، ۸، ۱۶و ۲۴ کیلوگرم در هکتار) از منبع سوپر هیومات (Super humate) شرکت لانگ استار (Long star) (دارای ۸۰ درصد اسید هیومیک و ۱۲ درصد پتاس) بود که در هنگام کاشت و بلافاصله بعد از نشاء نعناع به صورت خاک کاربرد اعمال گردید. تیمار هورمون اسید جیبرلیک به عنوان فاکتور فرعی در نظر گرفته شد که شامل سطوح: عدم کاربرد ، ۱۰۰ ، ۲۰۰ و ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر از منبع قرص اسید جیبرلیک شرکت سیفو (Cifo) بود. هر قرص ۵ گرم و دارای ۱۸ درصد اسید جیبرلیک خالص و مابقی شامل مواد همراه، پخش‌کننده و رنگ دهنده بود. تیمارهای اسید جیبرلیک بر اساس اسید جیبرلیک خالص در هر قرص محاسبه و در دو مرحله (۷۰ درصد سطح سبز مزرعه و ۱۵ روز بعد از آن) و در هر مرحله ۵۰ درصد از مقادیر اسید جیبرلیک محلول‌پاشی شد. محلول‌پاشی هنگام عصر صورت گرفت تا از اثرات مضر تابش مستقیم نور خورشید در تجزیه‌ی مواد جلوگیری شود. طول هر کرت فرعی ۳ متر و عرض آن ۲ متر بود. به‌منظور جلوگیری از تأثیر تیمارها برهم، فاصله‌ی کرت‌های اصلی از یکدیگر ۱/۵ متر و فاصله‌ی کرت‌های فرعی ۱ متر در نظر گرفته شد. بین دو تکرار به وسیله‌ی نهری ۲ متری فاصله ایجاد شد. نشاءهای گیاه نعناع فلفلی به صورت استولون از شرکت پاکان بذر اصفهان تهیه گردید. هر نشاء به طول حداقل ۱۵ سانتی‌متر به عنوان یک نشاء در نظر گرفته شد به‌طوری که سعی شد که نشاءهای سالم، کامل و بدون آسیب‌دیدگی کشت گردند.

آماده‌سازی زمین شامل شخم، دیسک و تسطیح انجام گرفت. برای کشت ابتدا استولون‌ها به اندازه‌ی مورد نظر یعنی ۱۵ سانتی‌متر به‌وسیله قیچی باغبانی ضدعفونی شده قطعه، قطعه شدند. فاصله‌ی خطوط کاشت ۳۰ سانتی‌متر و فاصله‌ی بوته‌ها روی خطوط کاشت ۳۰ سانتی‌متر لحاظ شد. نشاءها در عمق ۵ تا ۱۰ سانتی‌متری خاک به صورت مسطح و با بیلچه‌ی باغبانی کشت شدند. بلافاصله بعد از کاشت،

تیمار اسید هیومیک اعمال شد و سپس آبیاری در تاریخ ۱۱ بهمن ۹۲ صورت گرفت. با توجه به تیپ رشدی نعناع فلفلی که برای گسترش سطح سبز خود همواره به محیط مرطوب در پای بوته‌ی خود نیازمند است آبیاری بر حسب نیاز گیاه به مقدار کافی صورت پذیرفت. کنترل علف‌های هرز به‌صورت وجین دستی صورت گرفت. در طول فصل رشد گیاه نعناع فلفلی هیچ‌گونه آفت و بیماری مشاهده نشد. در این آزمایش به منظور جلوگیری از تداخل اثر اسید جیبرلیک و اسید هیومیک با کودهای شیمیایی از دادن کودهای شیمیایی به گیاه خودداری شد. برداشت در ابتدای گل‌دهی مصادف با ۲ مرداد ۱۳۹۳ صورت گرفت، برای برداشت بعد از در نظر گرفتن ۰/۵ متر از بالا و پایین هر کرت به عنوان اثر حاشیه، از یک کوادرات (۰/۵× ۰/۵ متر) برای نمونه‌برداری استفاده شد. اندام هوایی به صورت دستی و به وسیله داس از سطح زمین قطع گردید و نمونه‌ها بلافاصله برای توزین، اندازه‌گیری‌ها و یادداشت‌برداری به آزمایشگاه منتقل شدند. برای بدست آوردن وزن خشک، نمونه‌ها پس از توزین به صورت مجزا در آون با دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۷۲ ساعت قرار داده شدند و وزن خشک هر یک به دست آمد برای به دست آوردن وزن خشک کل از مجموع وزن خشک برگ، ساقه و استولون استفاده شد. شاخص برداشت از تقسیم عملکرد اقتصادی بر عملکرد بیولوژیک حاصل می‌شود. در گیاه نعناع فلفلی عمده‌ی اسانس از برگ‌ها حاصل می‌شود، بنابراین عملکرد برگ خشک به‌عنوان عملکرد اقتصادی و وزن خشک کل (برگ + ساقه + استولون) به‌عنوان عملکرد بیولوژیک در نظر گرفته شد.

رابطه ۱: شاخص برداشت (٪) = (عملکرد اقتصادی/ عملکرد بیولوژیک) ×۱۰۰

به‌منظور اندازه‌گیری درصد اسانس، در مرحله‌ی ابتدای گل‌دهی و در ساعت بین ۷ تا ۸ صبح و بعد از حذف اثر حاشیه نمونه برداشت شد و سپس نمونه‌ها در سایه خشک گردیده و برای استخراج اسانس از دستگاه کلونجر (Celevenger) به روش تقطیر با آب استفاده شددر این روش ۵۰ گرم از برگ که در سایه خشک گردیده بود درون بالن مخصوص دستگاه ریخته و ۱/۵ لیتر آب مقطر به آن اضافه شد. از لحظه‌ی جوش آمدن عمل اسانس‌گیری به مدت ۳ ساعت ادامه داشت. در خلال عملیات اسانس‌گیری، اسانس گیاه به دلیل فرار بودن همراه بخار آب تقطیر شده و در لوله‌ی جمع‌آوری کننده‌ی کلونجر جمع‌آوری شد. با توجه به این‌که چگالی اسانس از چگالی آب کمتر است، بنابراین اسانس استخراج شده روی فاز آبی قرار گرفته و به‌راحتی توسط شیر تخلیه جداسازی شد. عمل آب‌گیری از اسانس توسط سولفات سدیم (Na_2So_4) صورت پذیرفت. درصد اسانس از تقسیم میزان اسانس بدست آمده بر وزن خشک برگ ضرب‌در ۱۰۰ که به صورت حجم به وزن (V/W) بود بیان شد و عملکرد اسانس از حاصل‌ضرب درصد اسانس در وزن خشک برگ تقسیم بر ۱۰۰ بدست آمد.

رابطه ۲: درصد اسانس = (وزن خشک نمونه برگ (گرم)/ اسانس به‌دست آمده (گرم)) × ۱۰۰

عملکرد اسانس = درصد اسانس × وزن خشک برگ

کلیه محاسبات آماری با استفاده از نرم‌افزار $SAS_{9.1}$ انجام گرفت و برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال پنج درصد استفاده گردید. برای تفسیر اثرات متقابل تیمارها از روش برش‌دهی استفاده شد. سپس میانگین‌ها با روش L.S.Means مقایسه گردیدند.

نتایج

وزن خشک ساقه

برش‌دهی اثر متقابل اسید هیومیک و اسید جیبرلیک برای وزن خشک ساقه در تمامی سطوح اسید هیومیک معنی‌دار شد (جدول ۴).

در تمامی سطوح کاربرد اسید هیومیک، بالاترین وزن خشک ساقه با محلول‌پاشی اسید جیبرلیک به‌دست آمد (جدول ۵). در سطح کاربرد ۸ کیلوگرم در هکتار اسید هیومیک، بالاترین (۳۲۹۸ کیلوگرم در هکتار) و کم‌ترین وزن خشک ساقه (۱۷۲۴ کیلوگرم در هکتار) به‌ترتیب با کاربرد ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر و عدم کاربرد اسید جیبرلیک به‌دست آمد که ۹۱ درصد تفاوت داشتند.

جدول ۳- تجزیه واریانس درصد و عملکرد اسانس و برخی صفات کمی در نعناع فلفلی

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات								
		وزن تر کل	وزن خشک کل	شاخص برداشت	نسبت برگ بر ساقه	درصد اسانس	عملکرد اسانس	وزن خشک استولون	وزن خشک برگ	وزن خشک ساقه
تکرار	2	1350825*	254253^{ns}	19.7 ^{ns}	0.02 ^{ns}	0.22^{ns}	427**	7924^{ns}	121091*	9483^{ns}
اسید هیومیک	3	122872314**	11178184**	158**	0.22**	0.89*	3890**	42046**	3526712**	1220220**
خطای a	6	267284	8527099	13.5	0.01	0.18	57.3	15453	50909	25657
اسید جیبرلیک	3	51755097**	3331641**	240**	0.29**	0.15^{ns}	153*	109357**	176432**	2520221**
اسید هیومیک × اسید جیبرلیک	9	7864352**	1705242**	37.1**	0.06**	0.14^{ns}	195**	63440**	231912**	682090**
خطای b	24	303149	2337693	6.64	0.009	0.07	50.8*	16183	34371	23394
ضریب تغییرات (٪)		3.75	5.90	6.52	11.7	9.09	11.7	25.0	8.90	5.66

^{ns}، *و ** به ترتیب به منزله عدم اختلاف معنی‌دار ، معنی‌دار در سطح پنج و یک درصد می‌باشد.

جدول ۴- برش‌دهی اثر متقابل اسید هیومیک و اسید جیبرلیک بر عملکرد اسانس و برخی صفات کمی در نعناع فلفلی

اسید هیومیک	درجه آزادی	میانگین مربعات							
		وزن تر کل	وزن خشک کل	شاخص برداشت	نسبت برگ بر ساقه	عملکرد اسانس	وزن خشک استولون	وزن خشک برگ	وزن خشک ساقه
عدم کاربرد	3	19112403 **	2426370 **	161**	0.21**	103 ^{ns}	16492^{ns}	300652**	1364133**
۸ کیلوگرم در هکتار	3	36093385 **	3441988 **	108**	0.10**	48 ^{ns}	156462**	64654^{ns}	1786136**
۱۶ کیلوگرم در هکتار	3	19841788 **	2504408 **	29.9*	0.05**	206*	84645**	411324**	910895**
۲۴ کیلوگرم در هکتار	3	300580 ^{ns}	76603 ^{ns}	53**	0.12**	381**	42078^{ns}	95541^{ns}	505330**

^{ns}، *و ** به ترتیب به منزله عدم اختلاف معنی‌دار ، معنی‌دار در سطح پنج و یک درصد می‌باشد.

جدول ۵- مقایسه میانگین اثر متقابل اسید هیومیک و اسید جیبرلیک بر برخی صفات نعناع فلفلی

اسید هیومیک	اسید جیبرلیک	شاخص برداشت (%)	نسبت برگ به ساقه (kg.ha^{-1})	وزن تر کل (kg.ha^{-1})	وزن خشک کل (kg.ha^{-1})	عملکرد اسانس (l.ha^{-1})	وزن خشک استولون (kg.ha^{-1})	وزن خشک برگ (kg.ha^{-1})	وزن خشک ساقه (kg.ha^{-1})
عدم کاربرد	عدم کاربرد	45.4^{a}	0.93^{b}	7973^{d}	4572^{b}	47.1^{a}	265^{a}	2080^{a}	2226^{c}
	۱۰۰ میلی‌لیتر بر لیتر	48.1^{a}	1.11^{a}	9369^{c}	2977^{c}	36.3^{a}	202^{a}	1436^{c}	1338^{d}
	۲۰۰ میلی‌لیتر بر لیتر	35.6^{b}	0.62^{c}	13486^{a}	5090^{a}	48.1^{a}	374^{a}	1805^{b}	2910^{a}
	۳۰۰ میلی‌لیتر بر لیتر	33.2^{bc}	0.55^{c}	12186^{b}	4224^{b}	38.8^{a}	238^{a}	1424^{c}	2561^{b}
۸ کیلوگرم در هکتار	عدم کاربرد	44.0^{a}	0.89^{a}	8717^{b}	3516^{b}	46.1^{a}	230^{c}	1562^{a}	1724^{b}
	۱۰۰ میلی‌لیتر بر لیتر	34.6^{b}	0.59^{b}	15198^{a}	5512^{a}	55.8^{a}	384^{bc}	1906^{a}	3221^{a}
	۲۰۰ میلی‌لیتر بر لیتر	32.5^{bc}	0.56^{b}	15540^{a}	5569^{a}	51.1^{a}	468^{b}	1824^{a}	3277^{a}
	۳۰۰ میلی‌لیتر بر لیتر	30.2^{c}	0.53^{b}	16104^{a}	5838^{a}	51.7^{a}	773^{a}	1766^{a}	3298^{a}
۱۶ کیلوگرم در هکتار	عدم کاربرد	47.0^{a}	1.14^{a}	14821^{c}	5233^{c}	78.8^{b}	616^{b}	2460^{b}	2157^{b}
	۱۰۰ میلی‌لیتر بر لیتر	44.3^{a}	0.92^{bc}	18724^{b}	6925^{ab}	81.1^{b}	525^{c}	3074^{a}	3325^{a}
	۲۰۰ میلی‌لیتر بر لیتر	44.7^{a}	1.01^{ab}	20945^{a}	7316^{a}	96.0^{a}	802^{ab}	3272^{a}	3241^{a}
	۳۰۰ میلی‌لیتر بر لیتر	39.5^{b}	0.83^{c}	19072^{b}	6758^{b}	78.4^{b}	892^{a}	2670^{b}	3196^{a}
۲۴ کیلوگرم در هکتار	عدم کاربرد	44.2^{a}	1.10^{a}	15282^{a}	5117^{a}	81.3^{a}	745^{a}	2262^{a}	2109^{c}
	۱۰۰ میلی‌لیتر بر لیتر	34.8^{bc}	0.63^{bc}	15888^{a}	5425^{a}	55.1^{b}	512^{a}	1894^{a}	3018^{a}
	۲۰۰ میلی‌لیتر بر لیتر	36.9^{b}	0.68^{b}	15405^{a}	5437^{a}	61.1^{b}	482^{a}	2021^{a}	2933^{ab}
	۳۰۰ میلی‌لیتر بر لیتر	35.9^{b}	0.69^{b}	15882^{a}	5206^{a}	62.5^{b}	609^{a}	1874^{a}	2722^{b}

در هر ستون وجود حروف مشترک به منزله عدم وجود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد است.

اثر متقابل اسید هیومیک و اسید جیبرلیک برای وزن خشک برگ در سطوح عدم کاربرد و ۱۶ کیلوگرم در هکتار اسید هیومیک معنی‌دار شد (جدول ۴). در سطح کاربرد ۱۶ کیلوگرم در هکتار اسید هیومیک، بالاترین و کم‌ترین وزن خشک برگ به ترتیب با محلول‌پاشی ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر اسید جیبرلیک (۳۲۷۲ کیلوگرم در هکتار) و عدم کاربرد اسید جیبرلیک (۲۴۶۰ کیلوگرم در هکتار) به دست آمد. در سطح عدم کاربرد اسید هیومیک، محلول‌پاشی اسید جیبرلیک باعث کاهش وزن خشک برگ شد به‌طوری‌که بالاترین وزن خشک برگ بدون محلول‌پاشی اسید جیبرلیک به دست آمد (جدول ۵).

ثر متقابل اسید هیومیک و اسید جیبرلیک برای نسبت وزن خشک برگ به ساقه در تمامی سطوح اسید هیومیک معنی‌دار شد (جدول ۴). در روندی کلی محلول‌پاشی اسید جیبرلیک باعث کاهش نسبت وزن خشک برگ به ساقه شد (جدول ۵).

اثر متقابل اسید هیومیک و اسید جیبرلیک برای شاخص برداشت در تمامی سطوح اسید هیومیک معنی‌دار شد (جدول ۴). در روندی کلی محلول‌پاشی اسید جیبرلیک باعث کاهش شاخص برداشت شد (جدول ۵).

اثر متقابل اسید هیومیک و اسید جیبرلیک برای وزن خشک استولون در سطوح هشت و ۱۶ کیلوگرم در هکتار اسید هیومیک معنی‌دار شد (جدول ۴). در سطوح هشت و ۱۶ کیلوگرم در هکتار اسید هیومیک، بالاترین وزن خشک استولون با محلول‌پاشی ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر اسید جیبرلیک به‌دست آمد (جدول ۵). در سطح هشت کیلوگرم در هکتار اسید هیومیک کم‌ترین و بالاترین وزن خشک استولون به ترتیب با عدم کاربرد و کاربرد ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر اسید جیبرلیک به دست آمد که ۲۳۶ درصد اختلاف نشان داد. بالاترین وزن خشک استولون به میزان ۸۹۲ کیلوگرم در هکتار از کاربرد ۱۶ کیلوگرم در هکتار اسید هیومیک و محلول‌پاشی ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر اسید جیبرلیک به‌دست آمد (جدول ۵).

اثر متقابل اسید هیومیک و اسید جیبرلیک برای وزن تر کل در سطوح عدم کاربرد، هشت و ۱۶ کیلوگرم در هکتار اسید هیومیک معنی‌دار شد (جدول ۴). در تمامی سطوح اسید هیومیک، عدم کاربرد اسید جیبرلیک کم‌ترین وزن تر کل را دارا بود (جدول ۵). بالاترین وزن تر کل با کاربرد ۱۶ کیلوگرم در هکتار اسید هیومیک و محلول‌پاشی ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر اسید جیبرلیک مشاهده شد. وزن خشک کل روندی مشابه وزن تر کل داشت و در تمامی سطوح اسید هیومیک، عدم کاربرد اسید جیبرلیک کم‌ترین وزن خشک کل را داشت (جدول ۵). بالاترین وزن خشک کل با کاربرد ۱۶ کیلوگرم در هکتار اسید هیومیک و محلول‌پاشی ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر اسید جیبرلیک مشاهده شد (۷۳۱۶ کیلوگرم در هکتار).

فقط اثر اصلی اسید هیومیک بر درصد اسانس اثر معنی‌دار داشت (جدول ۳). مقایسه میانگین درصد اسانس (جدول ۶) نشان داد که با افزایش غلظت اسید هیومیک درصد اسانس افزایش یافت و بیشترین درصد اسانس با کاربرد ۲۴ کیلوگرم در هکتار اسید هیومیک به‌دست آمد که نسبت به عدم کاربرد اسید هیومک ٪۲۶ بیشتر بود.

جدول ۶- مقایسه میانگین درصد اسانس در سطوح اسید هیومیک

	اسید هیومیک			
	عدم کاربرد	۸ کیلوگرم در هکتار	۱۶ کیلوگرم در هکتار	۲۴ کیلوگرم در هکتار
درصد اسانس	2.56 c	2.90 b	2.93 b	3.23 a

در ردیف وجود حروف مشترک به منزله عدم وجود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد است.

اثر متقابل اسید هیومیک و اسید جیبرلیک برای عملکرد اسانس در سطوح کاربرد ۱۶ و ۲۴ کیلوگرم در هکتار اسید هیومیک معنی‌دار شد (جدول ۴). در کل، با افزایش کاربرد اسید هیومیک عملکرد اسانس افزایش یافت و بالاترین عملکرد اسانس به ترتیب در سطوح کاربرد ۱۶ و ۲۴ کیلوگرم در هکتار اسید هیومیک به‌دست آمد (جدول ۵). در سطوح ۱۶ و ۲۴ کیلوگرم در هکتار اسید هیومیک بالاترین عملکرد اسانس به ترتیب با محلول‌پاشی ۲۰۰ میلی‌لیتر و عدم کاربرد اسید جیبرلیک به دست آمد.

بحث

افزایش وزن خشک ساقه بر اثر کاربرد اسید جیبرلیک تا حدود زیادی قابل پیش‌بینی بود زیرا اسید جیبرلیک با اثری که بر رشد و ازدیاد طول سلول دارد، رشد گیاه را تحت تأثیر قرار می‌دهد. چنین اثراتی اغلب در رشد ساقه و همچنین رشد ریشه دیده می‌شود. با کاربرد اسید جیبرلیک طول ساقه‌ها و بین گره‌ها را می‌توان افزایش داد و سیستم ریشه‌ای وسیع‌تری ایجاد کرد (Campbell, *et al.*, 2013). در ذرت کاربرد اسید جیبرلیک میزان وزن تر و خشک ساقه را افزایش داد (Shahzad, *et al.*, 2021). همچنین در آزمایشی تحت تنش شوری، کاربرد اسید هیومیک باعث افزایش وزن خشک ساقه فلفل (*Capsicum annuum*) شد (Akladious & Mohamed, 2018).

در ارتباط با وزن خشک برگ، این احتمال وجود دارد که در شرایط تغذیه‌ای نامناسب (عدم کاربرد اسید هیومیک)، محلول‌پاشی اسید جبرلیک اثر منفی بر وزن خشک برگ داشته است. در آزمایشی سطوح مختلف اسید جیبرلیک بر روی گیاه دارویی علف طلا (Tara) (*Solidago canadensis*) مورد بررسی قرار گرفت و بالاترین تعداد برگ در بوته و در واحد سطح در عدم استفاده از اسید جیبرلیک مشاهده شد (Osman & Sewedan, 2021). از سوی دیگر با توجه به به نقش مهم اسید جیبرلیک در رشد ساقه، شاید در شرایط تغذیه‌ای نامطلوب و بالا بودن غلظت اسید جیبرلیک، در رقابت برگ‌ها و ساقه‌ها برای دریافت مواد فتوسنتزی، ساقه‌ها سهم بیشتری نسبت به شرایط عادی دریافت کنند. شاید موارد فوق الذکر دلیلی بر کاهش نسبت وزن خشک برگ به ساقه باشد. به نظر می‌رسد محلول‌پاشی اسید جیبرلیک باعث گردیده است تا میزان افزایش وزن خشک ساقه نسبت به وزن خشک برگ افزایش بیشتری داشته است و این موضوع باعث گردید تا با محلول‌پاشی اسید جیبرلیک نسبت وزن خشک برگ به ساقه کاهش یابد (جدول ۵) کاهش نسبت وزن خشک برگ به ساقه از نظر اقتصادی مطلوب نیست زیرا عمده محتوای اسانس نعناع فلفلی در برگ‌ها ذخیره می‌شود. به نظر می‌رسد در مقایسه با اثر اسید هیومیک، اثر اسید جیبرلیک بر افزایش وزن خشک ساقه و وزن خشک استولون (اجزای عملکرد بیولوژیک)، نسبت به وزن خشک برگ (عملکرد اقتصادی)، بقدری بالا بوده که کاربرد آن باعث کاهش شاخص برداشت شده است. به عبارت دیگر با توجه به اینکه محلول‌پاشی اسید جیبرلیک باعث افزایش وزن خشک ساقه (محصول غیر اقتصادی) گردید این موضوع می‌تواند باعث بزرگ‌تر شدن مخرج کسر فرمول شاخص برداشت شود که نتیجه آن کاهش شاخص برداشت است. کاربرد اسید جیبرلیک بر روی ذرت باعث کاهش شاخص برداشت گردید (Hutch & Schubert, 2018). در نخود نیز با افزایش غلظت اسید جیبرلیک شاخص برداشت کاهش یافت (Ergin & Kayan, 2021). در آزمایشی بر روی گیاه آمارانت (*Amaranthus tricolor* L.) کاربرد اسید هیومیک اثر معنی‌داری بر شاخص برداشت نداشت (Lestari & Dewi, 2013). در آزمایشی بر روی نعناع (*Mentha arvensis* L.) بالاترین نسبت برگ به ساقه به ترتیب از کاربرد یک میکرومول، عدم کاربرد، ۱۰ میکرومول و ۱۰۰ میکرومول اسید جیبرلیک به‌دست آمد (Bose, *et al.*, 2013). اثر اسید هیومیک بر شاخص برداشت چندان ملموس نبود البته این واکنش بسته به نوع گیاه می‌تواند متفاوت باشد. در آزمایشی کاربرد اسید هیومیک باعث

افزایش نسبت وزن خشک برگ به ساقه در لوبیا گردید (El Sheikha, *et al.*, 2022). در آزمایشی دیگر، تحت تنش شوری، کاربرد اسید هیومیک باعث افزایش وزن خشک برگ در ماش (*Vigna radiata*) شد (Kalyoncu, *et al.*, 2017). وزن خشک استولون در سطوح کاربرد هشت و ۱۶ کیلوگرم در هکتار اسید هیومیک با افزایش غلظت اسید جیبرلیک افزایش یافت. با توجه به این که استولون از نظر گیاهشناسی ساقه محسوب می‌شود احتمال دارد همانگونه که اسید جیبرلیک باعث باالرفتن وزن خشک ساقه شد اثر افزایشی مشابه بر وزن خشک استولون و با شدت کمتر داشته است. وزن تر کل تحت تاثیر اسید جیبرلیک افزایش یافت. در بسیاری از موارد اسید جیبرلیک میزان رشد بخش‌های هوایی گیاهان را نسبت به عدم کاربرد افزایش داده است. گزارش‌های متعددی در این خصوص وجود دارد برای مثال، کاربرد اسید جیبرلیک در ذرت باعث افزایش وزن تر کل شد (Shahzad, *et al.*, 2021). از سوی دیگر احتمال دارد اسید هیومیک با اثرات تغذیه‌ای، فیزیکی و شیمیایی مفیدی که در خاک دارد، می‌تواند باعث افزایش وزن تر گردد. بنا بر گزارشی، کاربرد اسید هیومیک باعث افزایش وزن تر بخش‌های هوایی در گیاه کلزا (*Brassica napus*) شد (Hemati *et al.*, 2022).

اسید جیبرلیک به عنوان یک تنظیم کننده رشد از طرق مختلف می‌تواند باعث افزایش وزن خشک شود. برای مثال گزارش شده است که کاربرد اسید جیبرلیک می‌تواند وابستگی به اوره را کاهش دهد و عملکرد و جذب نیتروژن را با کند کردن هیدرولیز اوره در خاک‌های آهکی بهبود بخشد (Ullah *et al.*, 2022). گزارش‌هایی در خصوص اثر افزایشی اسید جیبرلیک بر وزن خشک در ذرت (Shahzad, *et al.*, 2021)، نعناع (*Mentha arvensis* L.) (Bose, *et al.*, 2013) و گیاه گشنیز (*Coriandrum sativum* L.) (Rasouli *et al.*, 2022) وجود دارد. اسید هیومیک می‌تواند به طور قابل توجهی بر افزایش جذب نیتروژن، پتاسیم، کلسیم، منیزیم و فسفر اثر بگذارد (Ali *et al.*, 2020)، بنا بر این اثرات مفید تغذیه‌ای اسید هیومیک می‌تواند یکی از دلایل احتمالی افزایش وزن خشک در نعناع فلفلی باشد.

درصد اسانس به‌عنوان یک صفت کیفی تحت تأثیر اسید هیومیک افزایش یافت. اسید هیومیک یک کود آلی سازگار با محیط زیست است که پارامترهای فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک را بهبود می‌بخشد و به دلیل ترکیبات هورمونی خود بر پارامترهای موثر بر عملکرد کمی و کیفی محصول تأثیر مثبت می‌گذارد (Liu *et al.*, 2019). شاید فراهمی عناصر غذایی توسط اسید هیومیک، نقش مهمی در افزایش محتوای اسانس داشته باشد. برای مثال، در آویشن (*Thymus vulgaris*) در مجموع، استفاده از اسید هیومیک جذب مواد مغذی و محتوای اسانس را افزایش داد (Noroozisharaf & Kaviani, 2018). در آزمایشی کاربرد اسید هیومیک هم در تک کشتی و هم در کشت مخلوط با شنبلیله (*Trigonella foenum-graecum* L.) باعث افزایش درصد اسانس در رازیانه (*Foeniculum vulgare* L.) گردید (Ghaderimokri *et al.*, 2022). در گشنیز نیز کاربرد اسید هیومیک باعث بالا رفتن درصد اسانس (Rasouli *et al.*, 2022) شد.

عملکرد اسانس نتیجه برآیند دو صفت وزن خشک برگ و درصد اسانس است، بنا بر این هر عاملی بتواند بر این دو صفت تأثیر بگذارد بر عملکرد اسانس تأثیر گذار می‌شود، بر این اساس کاربرد اسید هیومیک و اسید جیبرلیک با تاثیر بر وزن خشک برگ و درصد اسانس بر عملکرد اسانس تأثیر گذاشتند. در آزمایش کاربرد اسید جیبرلیک باعث افزایش عملکرد اسانس در نعناع (*Mentha arvensis* L.) نسبت به شاهد شد (Bose, *et al.*, 2013). از سوی دیگر در پژوهشی کاربرد اسید جیبرلیک باعث کاهش جزئی (۰/۲ ٪) در عملکرد

اسانس در ریحان افریقایی (*Ocimum gratissimum* L.) شد (Hazzoumi, *et al.*, 2013). بنا بر گزارش‌ها، کاربرد اسید هیومیک باعث افزایش عملکرد اسانس در رازیانه (Ghaderimokri *et al.*, 2022) و گشنیز (Rasouli *et al.*, 2022) شد.

نتیجه‌گیری

کاربرد اسید هیومیک باعث بالا بردن عملکرد اسانس شد. کاربرد اسید جیبرلیک در سطوح صفر، ۸ و ۱۶ کیلوگرم در هکتار اسید هیومیک باعث افزایش معنی‌دار وزن تر و وزن خشک گردید. همچنین اسید جیبرلیک به‌صورت بارزی باعث افزایش وزن خشک ساقه شد و به همین دلیل در روندی کلی، شاخص برداشت و نسبت وزن خشک برگ به وزن خشک ساقه کاهش یافت. اسید هیومیک اثر معنی‌دار بر درصد اسانس داشت و بیشترین درصد اسانس در سطوح کاربرد ۸ و ۱۶ کیلوگرم در هکتار به‌دست آمد. از نظر اقتصادی، کاربرد ۱۶ کیلوگرم در هکتار اسید هیومیک و محلول‌پاشی اسید جیبرلیک با غلظت ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر، بهترین ترکیب تیماری بود و بالاترین عملکرد اسانس، وزن تر و وزن خشک و وزن خشک برگ در آن مشاهده شد.

سپاسگزاری

از دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان به جهت مساعدت و همکاری در اجرای این پژوهش قدردانی می‌گردد.

منابع

Akladious, S.A., and Mohamed, H.I., (2018.) Ameliorative effects of calcium nitrate and humic acid on the growth, yield component and biochemical attribute of pepper (*Capsicum annuum*) plants grown under salt stress. Scientia Horticulturae, 236(1): 244-250.

Alessandro, M., Alessandra, M., Leo, S., Filippo, V., (2019.) Effect of gibberellic acid on growth, yield, and quality of leaf lettuce and rocket grown in a floating system. Agronomy, 9(7):382. https://doi.org/10.3390/agronomy9070382

Ali, A.Y., Ibrahim, M.E., Zhou, G., Nimir, N.E., Jiao, X., Zhu, G., Elsiddig, A.M., Suliman, M.S., Elradi, S.B. and Yue, W., (2020). Exogenous jasmonic acid and humic acid increased salinity tolerance of sorghum. Agronomy Journal, 112, 871-884. https://doi.org/10.1002/agj2.20072

Ampong, K., Thilakaranthna, M.S. and Gorim, L.Y., (2022). Understanding the role of humic acids on crop performance and soil health. Frontiers in Agronomy. 4:848621. https://doi.org/10.3389/fagro.2022.848621

Bose, S., Yadav, R., Mishra, S., Sangwan, R., Singh, A., Mishra, B., Srivastava, A. and Sangwan, N., (2013). Effect of gibberellic acid and calliterpenone on plant growth attributes, trichomes, essential oil biosynthesis and pathway gene expression in differential manner in *Mentha arvensis* L. Plant Physiology and Biochemistry, 66(1): 150-158. http://dx.doi.org/10.1016/j.plaphy.2013.02.011

Campbell, N., Reece, A., Jane B., Urry, L.A., Cain, M.L., Wasserman, S.A., Minorsky, P.V. and Jackson, R.B., (2013). Biology (10th Edition). Pearson, Benjamin Cummings. San Francisco (USA), 1488p.

El Sheikha, A.F., Allam, A.Y., Taha, M. and Varzakas, T., (2022). How does the addition of biostimulants affect the growth, yield, and quality parameters of the snap bean (*Phaseolus vulgaris* L.)? How is this reflected in its nutritional value? Applied Sciences, 12, 776. https://doi.org/10.3390/app12020776

Ergin, N. and Kayan, N., (2021). The effects of different gibberellic acid doses and application times on chickpea plants. Applied Ecology and Environmental Research, 19(4): 2803-2813. http://dx.doi.org/10.15666/aeer/1904_28032813

Ghaderimokri, L., Rezaei-Chiyaneh, E., Ghiyasi, M., Gheshlaghi, M.,Battaglia, M.L. and Siddique, K.H.M., (2022). Application of humic acid and biofertilizers changes oil and phenolic compounds of fennel and fenugreek in intercropping systems. Scientific Reports, 12, 5946. https://doi.org/10.1038/s41598-022-09645-4

Hazzoumi, Z., Moustakime, Y. and Amrani Joutei, K., (2014). Effect of gibberellic acid (GA), indole acetic acid (IAA) and benzylaminopurine (BAP) on the synthesis of essential oils and the isomerization of methyl chavicol and trans-anethole in *Ocimum gratissimum* L. Springerplus, 3:321. http://dx.doi.org/10.1186/2193-1801-3-321.

Hemati, A., Alikhani, H.A., Ajdanian, L., Babaei, M., Asgari Lajayer, B. and van Hullebusch, E.D., (2022). Effect of different enriched vermicomposts, humic acid extract and indole-3-acetic acid amendments on the growth of *Brassica napus*. Plants (Basel). 16;11(2):227. https://doi.org/10.3390/plants11020227

Hutsch, B.W. and Schubert, S., (2018). Maize harvest index and water use efficiency can be improved by inhibition of gibberellin biosynthesis. Journal of Agronomy and Crop Science, 204(2): 209-218. https://doi.org/10.1111/jac.12250

Iffah Haifaa, M.D. and Moses, C., (2022). Effects of foliar and Soil application of gibberellic acid (GA3) at different growth stages on agronomic traits and yield of rice (*Oryza sativa* L.). Journal of Agricultural Science, 14(6): 55-67. https://doi.org/10.5539/jas.v14n6p55

Jamshed, A. and Jabeen, Q., (2022). Pharmacological evaluation of *Mentha piperita* against urolithiasis: An in vitro and in vivo study. Dose-Response. https://doi.org/10.1177/15593258211073087

Kalyoncu, O., Akinci, S. and Bozkurt, E., (2017). The effects of humic acid on growth and ion uptake of mung bean (*Vigna radiata* (L.) Wilczek) grown under salt stress. African Journal of Agricultural Research, 12(49), 3447-3460. https://doi.org/10.5897/AJAR2017.12731

Le, V.T. and Bui, B.T., (2019). Effects of Gibberellic acid, micronutrient fertilizer and Calcium nitrate foliar fertilizer on growth and yield of tomato *Solanum lycopersicum* L. cultivated in Vietnam. RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries, 14(4):306-318. https://doi.org/10.22363/2312-797X-2019-14-4-306-318

Lestari, F. and Dewi, K., (2020). Effects of humic acid on vegetative growth, yield, oxalic acid and betacyanin content of red amaranth (*Amaranthus tricolor* L.). AIP Conference Proceedings 2260(1):030011-1. https://doi.org/10.1063/5.0015774

Liu, M., Wang, C., Wang, F. and Xie, Y., (2019). Maize (*Zea mays*) growth and nutrient uptake following integrated improvement of vermicompost and humic acid fertilizer on coastal saline soil. Applied Soil Ecology, 142, 147–154. https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2019.04.024

Osman, A.R. and Sewedan, E., (2014). Effect of planting density and gibberellic acid on quantitative and qualitative characteristics of *Solidago canadensis* "Tara" in Egypt. Asian Journal of Crop Science, 6: 89-100. https://doi.org/10.3923/ajcs.2014.89.100

Noroozisharaf, A., and Kaviani, M., (2018). Effect of soil application of humic acid on nutrients uptake, essential oil and chemical compositions of garden thyme (*Thymus vulgaris* L.) under greenhouse conditions. Physiology and molecular biology of plants: an international journal of functional plant biology, 24(3), 423–431. https://doi.org/10.1007/s12298-018-0510-y

Rasouli, F., Nasiri, Y., Asadi, M., Hassanpouraghdam, M.B., Golestaneh, S., and Pirsarandib, Y., (2022). Fertilizer type and humic acid improve the growth responses, nutrient uptake, and essential oil content on *Coriandrum sativum* L.. Scientific Reports, 12, 7437. https://doi.org/10.1038/s41598-022-11555-4

Shahzad, K., Hussain, S., Arfan M., Hussain, S., Waraich, E.A., Zamir, S., Saddique, M., Rauf, A., Kamal, K.Y., Hano, C. and El-Esawi, M.A., (2021). Exogenously applied gibberellic acid enhances growth and salinity stress tolerance of maize through modulating the morpho-physiological, biochemical and molecular attributes. Biomolecules, 11(7), 1005.

Ullah, I., Dawar, K., Tariq, M., Sharif, M., Fahad, S., Adnan, M., Ilahi, H., Nawaz, T., Alam, M., Ullah, A. and Arif, M., (2022). Gibberellic acid and urease inhibitor optimize nitrogen uptake and yield of maize at varying nitrogen levels under changing climate. Environmental Science and Pollution Research, 29(1): 6568–6577. https://doi.org/10.1007/s11356-021-16049-w.