Archive of SID

نشریه پژوهش‌های تولید گیاهی
جلد بیست و هفتم، شماره اول، ۱۳۹۹
۱۹-۳۹
http://jopp.gau.ac.ir
DOI: 10.22069/jopp.2020.14585.2309

تجزیه عاملی کارآیی مصرف آب و برخی صفات کمی و عملکرد در کنجد (*Sesamum indicum* L.) تحت‌تأثیر کاربرد نیتروژن و نهاده‌های بوم‌سازگار در شرایط تنش خشکی

محسن جهان[۱]، *محمد بهزاد امیری[۲]، نگار ناصری[۳] و میلاد صالح‌آبادی[۳]

[۱]دانشیار دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، [۲]استادیار مجتمع آموزش عالی گناباد، ایران،
[۳]دانشجوی کارشناسی مجتمع آموزش عالی گناباد، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۱۰/۲٤؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۹/۲۷

چکیده

سابقه و هدف: دسترسی ناکافی به آب در مناطق خشک و نیمه‌خشک، افزایش کارآیی مصرف آب را به‌عنوان یکی از محورهای اصلی کشاورزی پایدار در این مناطق مطرح کرده است. از این‌رو، در سال‌های اخیر تلاش‌های فراوانی به‌منظور افزایش کارایی مصرف آب صورت گرفته است که در این مسیر، بهره‌گیری از سوپرجاذب‌ها و محلول‌پاشی نهاده‌های بوم‌سازگاری مانند اسید هیومیک و اسید سالیسیلیک جهت صرفه‌جویی و استفاده بهینه آب مدنظر قرار گرفته‌اند، بنابراین این پژوهش با هدف استفاده از تجزیه و تحلیل عاملی در تعیین عوامل مؤثر بر کارآیی مصرف آب کنجد در شرایط کاربرد هم‌زمان نیتروژن و نهاده‌های بوم‌سازگار انجام شد.

مواد و روش‌ها: این پژوهش در سال زراعی ۹۵-۱۳۹٤ در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه فردوسی مشهد به‌صورت کرت‌های خردشده در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. سطوح آبیاری (۵۰ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی) در کرت‌های اصلی و تیمارهای تغذیه‌ای شامل ۱- کاربرد ۷۵ کیلوگرم در هکتار نیتروژن خالص به‌علاوه ۸۰ کیلوگرم سوپرجاذب رطوبت، ۲- کاربرد ۸۰ کیلوگرم در هکتار هیدروژل سوپرجاذب رطوبت به‌علاوه کاربرد توأم ٦ کیلوگرم در هکتار اسید هیومیک و یک میلی‌مولار اسید سالیسیلیک ۳- کاربرد توأم ٦ کیلوگرم در هکتار اسید هیومیک و یک میلی‌مولار اسید سالیسیلیک به‌علاوه کاربرد ۷۵ کیلوگرم در هکتار نیتروژن خالص ٤- کاربرد توأم ٦ کیلوگرم در هکتار اسید هیومیک و یک میلی‌مولار اسید سالیسیلیک به‌علاوه ۷۵ کیلوگرم در هکتار نیتروژن خالص به‌علاوه ۸۰ کیلوگرم سوپرجاذب رطوبت و ۵- شاهد در کرت‌های فرعی قرار گرفتند.

یافته‌ها: نتایج آزمایش نشان داد که بیش‌ترین عملکرد دانه (۱٦۷۲ کیلوگرم در هکتار) با تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی و در تیمار کاربرد هم‌زمان نیتروژن، سوپرجاذب، اسید هیومیک و اسید سالیسیلیک به‌دست آمد. نقش اسید هیومیک و اسید سالیسیلیک در بهبود بیش‌تر صفات مورد مطالعه بسیار محسوس بود، به‌طوری‌که عملکرد دانه، شاخص سطح برگ، سرعت رشد محصول و کارآیی مصرف آب به‌ترتیب ۲۲، ۳۱، ۳۰ و ۲۱ درصد در تیمارهای دارای اسید هیومیک و اسید سالیسیلیک بیش‌تر از تیمارهای بدون این دو نهاده بود. بر اساس نتایج تحلیل عاملی، متغیرها به دو عامل تجزیه شده و عامل اول ۵۹ درصد از واریانس متغیرها را تبیین کرد. عامل اول شامل متغیرهای عملکرد دانه، وزن دانه در بوته، سرعت رشد محصول، نیتروژن و فسفر خاک و کارآیی مصرف آب و عامل دوم به متغیرهای عملکرد ماده خشک، ارتفاع بوته، شاخص سطح برگ و pH خاک تعلق گرفت.

* مسئول مکاتبه: amiri@gonabad.ac.ir

www.SID.ir

Archive of SID

نتیجه‌گیری: به‌طورکلی، به‌نظر می‌رسد که کاربرد هم‌زمان نیتروژن و نهاده‌های بوم‌سازگار ضمن بهبود عملکرد و خصوصیات رشدی گیاه، می‌تواند کارآیی مصرف آب را بهبود بخشد. هم‌چنین انجام تجزیه عاملی و همبستگی بالای متغیرهای درون هر عامل با یکدیگر، بیانگر آن بود که با ایجاد هر گونه تغییر در متغیرهایی که با کارآیی مصرف آب روی یک عامل قرار گرفته‌اند، می‌توان کارآیی مصرف آب را افزایش داده و خسارات ناشی از تنش خشکی و کم‌آبی را به حداقل رساند.

واژه‌های کلیدی: اسید هیومیک، سوپرجاذب رطوبت، شاخص سطح برگ، کم‌آبیاری، نهاده بوم‌سازگار

مقدمه

تنش خشکی یکی از مهم‌ترین عوامل محدودکننده تولید به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک می‌باشد. ایران دارای اقلیم خشک و نیمه‌خشک بوده و میزان بارندگی در بیش از ۷۵ درصد مناطق کشور کم‌تر از ۲۵۰ میلی‌متر در سال است، در نتیجه، یکی از بزرگ‌ترین معضلات تولید محصولات کشاورزی در کشور کمبود آب است. در گذشته، تغییر روش آبیاری مزارع به‌عنوان کلیدی‌ترین راه‌حل مشکل کم‌آبی مدنظر بود ولی، امروزه با افزایش جمعیت میزان نیاز مردم به آب بیش‌تر شده و استفاده از روش‌های آبیاری مکانیزه نمی‌تواند تمام مشکل را حل کند (۱۵). در این شرایط به‌نظر می‌رسد استفاده از نهاده‌های بوم‌شناختی مانند سوپرجاذب‌ها و اسیدهای آلی هیومیک و سالیسیلیک که بتواند کارآیی مصرف آب محصولات را افزایش داده و خسارات ناشی ار تنش خشکی را کاهش دهد، ضروری باشد.

در کشاورزی پایدار، نوع و نحوه تغذیه گیاه از اهمیت و حساسیت ویژه‌ای برخوردار است و نهاده‌هایی بیش‌تر مدنظر هستند که آلودگی زیست‌محیطی نداشته و در عین‌حال منجر به افزایش تولیدات گیاهی شوند. بر این اساس، استفاده از مقدار کمی اسیدهای آلی مانند اسید هیومیک کمیت و کیفیت محصولات را به‌شدت تحت‌تأثیر قرار می‌دهد. اسید هیومیک نقش مهمی در حاصلخیزی خاک و تغذیه گیاه ایفا می‌کند. این اسید حاوی مقدار زیادی عناصر غذایی شامل ۵۸-٤٤ درصد کربن، ٤٦-٤۲ درصد اکسیژن، ۸-٦ درصد هیدروژن و ۵-٤ درصد نیتروژن و سایر عناصری است که رشد گیاه را افزایش می‌دهند (۳٤). اسید هیومیک از طریق بهبود رشد اندام‌های قسمت‌های مختلف گیاه به‌ویژه ریشه عملکرد گیاه را تحت‌تأثیر قرار داده و منجر به افزایش توانایی گیاه در مقابله با تنش‌های محیطی می‌شود. در یک پژوهش اثر سطوح مختلف اسید هیومیک بر خصوصیات کمی و کیفی گیاه دارویی دان‌سیاه (*Guizotia abyssinica* L.) بررسی و گزارش شد که کاربرد ٦ لیتر در هکتار اسید هیومیک منجر به تولید بیش‌ترین تعداد طبق در بوته، تعداد دانه در طبق، وزن هزاردانه، عملکرد دانه و میزان روغن و پروتئین دانه شد (۳٤). در پژوهشی دیگر، اسید هیومیک ارتفاع بوته و وزن تر و خشک بوته نخودفرنگی (*Pisum sativum* L.) را به‌ترتیب ۳٤، ۵۱ و ۳۳ درصد نسبت به کود شیمیایی و به‌ترتیب ۲٦، ۷۰ و ۵۹ درصد نسبت به شاهد افزایش داد (۱۸). اثر محلول‌پاشی اسید هیومیک در جذب عناصر غذایی گندم (*Triticum aestivum* L.) نشان داد که اسید هیومیک به‌طور معنی‌داری جذب نیتروژن، فسفر، پتاسیم، کلسیم و منیزیم را افزایش داد (۳۰).

اسید سالیسیلیک یکی از هورمون‌های گیاهی است که منشأ فنولی داشته و در گیاهان نقش بسیار مهمی در زمینه کاهش تنش‌های زنده و غیرزنده ایفا می‌کند. این اسید عمدتاً از طریق تأثیر بر جوانه‌زنی بذر،

www.SID.ir

Archive of SID

استقرار گیاهچه، رشد سلولی، تنفس سلولی، بستن روزنه‌ها، گره‌زایی بقولات و افزایش عملکرد اندام اقتصادی، مقاومت گیاهان به تنش‌های محیطی را افزایش می‌دهد (۳۲). در یک پژوهش اثر اسید سالیسیلیک بر فتوسنتز گیاه، خصوصیات رشدی و ویژگی‌های فیزیولوژیکی و زیست-شیمیایی مؤثر در تنش‌های زنده و غیرزنده مثبت ارزیابی شد، به‌طوری‌که استفاده از آن منجر به کاهش سمیت فلزات سنگین و ریزمغذی‌ها، افزایش مقاومت گیاه به عوامل بیماری‌زا و تحمل گیاه به تنش شوری شد (۳۷). در پژوهشی دیگر، بیش‌ترین شاخص سطح برگ، سرعت رشد محصول و ماده‌ی خشک کل ذرت در شرایط کابرد اسید سالیسیلیک گزارش شد (٦). برخی پژوهشگران (۱۹) اثر اسید سالیسیلیک بر رشد و عملکرد دانه ذرت در شرایط تنش خشکی را بررسی و گزارش کردند که اسید سالیسیلیک در هر دو شرایط تنش و غیرتنش منجر به افزایش عملکرد دانه شد.

با توجه به محدودیت منابع آبی کشور و ضرورت استفاده‌ی بهینه از آب و مطالعات اندکی که در زمینه نقش نهاده‌های بوم‌سازگار در افزایش کارآیی مصرف آب محصولات کشاورزی با استفاده از روش‌ها و مدل‌های آماری خاص وجود دارد، این پژوهش با هدف تجزیه عاملی کارآیی مصرف آب گیاه کنجد (*Sesamum indicum* L.) تحت‌تأثیر کاربرد نیتروژن و نهاده‌های بوم‌سازگار در شرایط تنش خشکی انجام شد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در سال زراعی ۹۵-۱۳۹٤ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد واقع در ۱۰ کیلومتری شرق مشهد (طول جغرافیایی ۲۸ ′ ۵۹ ° شرقی و عرض جغرافیایی ۱۵ ′ ۳٦ ° شمالی و ارتفاع ۹۸۵ متر از سطح دریا) در زمینی به مساحت حدود ۱۰۰۰ مترمربع به‌صورت کرت‌های خردشده در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. عامل آبیاری (عامل اصلی) در دو سطح شامل ۵۰ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی و عامل تغذیه‌ای (عامل فرعی) شامل ۱- کاربرد ۷۵ کیلوگرم در هکتار نیتروژن خالص به‌علاوه ۸۰ کیلوگرم سوپرجاذب رطوبت، ۲- کاربرد ۸۰ کیلوگرم در هکتار هیدروژل سوپرجاذب رطوبت به‌علاوه کاربرد توأم ٦ کیلوگرم در هکتار اسید هیومیک و یک میلی‌مولار اسید سالیسیلیک ۳- کاربرد توأم ٦ کیلوگرم در هکتار اسید هیومیک و یک میلی‌مولار اسید سالیسیلیک به‌علاوه کاربرد ۷۵ کیلوگرم در هکتار نیتروژن خالص ٤- کاربرد توأم ٦ کیلوگرم در هکتار اسید هیومیک و یک میلی‌مولار اسید سالیسیلیک به‌علاوه ۷۵ کیلوگرم در هکتار نیتروژن خالص به‌علاوه ۸۰ کیلوگرم سوپرجاذب رطوبت و ۵- شاهد بود. مقادیر هر یک از نهاده‌های مورد استفاده بر اساس نتایج برخی پژوهش‌های قبلی نگارندگان (۱۲، ۱۳ و ۱٤) و بررسی منابع انجام شده (٤، ۵، ۱۰ و ۲۰) انتخاب شد. ابعاد کرت‌های اصلی ۳×٦ متر و ابعاد کرت‌های فرعی ۳×۳ متر در نظر گرفته شد. جهت اجتناب از مخلوط شدن آب کرت‌ها با یکدیگر، برای هر تکرار و هر کرت لوله آبیاری جداگانه در نظر گرفته شد و حدود نیم متر بین کرت‌های فرعی فاصله مدنظر قرار گرفت.

قبل از انجام آزمایش، از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری خاک نمونه‌گیری انجام و به‌منظور تعیین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی به آزمایشگاه ارسال شد (جدول ۱).

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۱- خصوصیات خاک، سوپرجاذب، اسید هیومیک و اسید سالیسیلیک مورد استفاده.

Table 1. Characteristics of used soil, superabsorbent, humic acid and salicylic acid.

خصوصیات اسید سالیسیلیک مورد استفاده Characteristics of used salicylic acid		خصوصیات اسید هیومیک مورد استفاده Characteristics of used humic acid		خصوصیات سوپرجاذب مورد استفاده Characteristics of used polymer super absorbent		خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک Physicochemical characteristics of soil	
$C_7H_6O_3$	فرمول شیمیایی Chemical formula	پوهوموس ۸۵ درصد WGS 85%	نام تجاری Trade name	پودر سفید رنگ White powder	ظاهر Appearance	لوم سیلتی Silty loam	بافت خاک Soil texture
138	جرم مولی Molar mass	85	اسید هیومیک (درصد) Humic acid (%)	Less than 5	مقدار رطوبت (درصد) Moisture content	0.076	نیتروژن کل (درصد) Total nitrogen (%)
1.4	چگالی Density	12	اکسید پتاسیم (درصد) Potassium oxid (%)	0	بو و سمیت Odor and toxicity	11.9	فسفر قابل‌دسترس (ppm) Available phosphorus (ppm)
158	دمای ذوب Melting teperature	1	آهن (درصد) Fe (%)	0.8	چگالی توده‌ای ($g.cm^{-3}$) Mass density ($g.cm^{-3}$)	472	پتاسیم قابل‌دسترس (ppm) Available potassium (ppm)
200	دمای جوش Boiling temperature	0.8	نیتروژن آلی (درصد) Organic nitrogen (%)	9.81	پی‌اچ pH	2.3	هدایت الکتریکی ($dS.m^{-1}$) Electrical conductivity ($dS.m^{-1}$)
2.4	انحلال‌پذیری در آب Solubility in water	9-10	پی‌اچ pH			0.58	کربن آلی خاک (درصد) Soil organic carbon (%)
2.1	پی‌اچ pH					7.26	پی‌اچ pH

www.SID.ir

Archive of SID

به‌منظور محاسبه نیاز آبی کنجد در شرایط مشهد، از نرم‌افزار OPTIWAT استفاده شد (۳). با اطلاع از طول فصل رشد لوبیا، کنجد و ذرت، داده‌های مربوط به تبخیر و تعرق روزانه و فاصله‌ی آبیاری ۷ روز، حجم آب مورد نیاز در هر بار آبیاری در تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی ۲۰۰ مترمکعب در هکتار و برای ۵۰ درصد نیاز آبی ۱۰۰ مترمکعب در هکتار محاسبه شد.

آماده‌سازی زمین با تأکید بر خاک‌ورزی حداقل انجام شد. به این صورت که زمین فقط دیسک‌زده شد و پس از آن همه عملیات آماده‌سازی زمین توسط کارگر و با بیل دستی انجام گرفت. پس از آماده‌سازی زمین، مقدار سوپرجاذب برای هر یک از کرت‌های مربوطه محاسبه و به‌طور یکنواخت در سطح کرت‌های موردنظر پخش و تا عمق ۳۰ سانتی‌متری کاملاً با خاک مخلوط شدند. خصوصیات نهاده‌های مورد استفاده در آزمایش در جدول ۱ آورده شده است. نیاز کودی کنجد برای نیتروژن از منبع شیمیایی (کود اوره)، به‌طور متوسط ۷۵ کیلوگرم در هکتار تعیین شد که نیمی از این مقدار در زمان کاشت و نیم دیگر آن بعد از انجام عملیات تنک‌کردن برای کمک به استقرار و رشد سریع‌تر بوته‌ها به خاک کرت‌های مربوطه اضافه گردید.

بذرهای کنجد (توده اسفراین) در تاریخ ۲۰ اردیبهشت‌ماه ۱۳۹۵ روی ردیف‌هایی به فاصله ۵۰ سانتی‌متر از یکدیگر و با تراکم ۵۰ بوته در مترمربع کشت شد. پس از کشت، آبیاری زمین انجام شد و سطوح آبیاری، هر ۷ روز یک‌بار توسط کنتور اعمال شد. برای رسیدن به تراکم مناسب، پس از رسیدن گیاه به مرحله ٤ برگی عملیات تنک کردن انجام گرفت. اعمال سطوح مختلف اسید هیومیک و اسید سالیسیلیک در دو نوبت به‌صورت محلول‌پاشی روی برگ‌ها در مراحل ٦ تا ۷ برگی و قبل از گلدهی در کرت‌های مربوطه انجام گرفت.

به‌منظور کنترل علف‌های هرز، سه نوبت وجین دستی (۲، ٤ و ٦ هفته پس از کاشت) انجام شد. در زمان آماده‌سازی زمین و در طول دوره رشد، هیچ‌گونه علف‌کش، آفت‌کش و قارچ‌کش شیمیایی استفاده نشد. به‌منظور محاسبه تجزیه و تحلیل‌های رشد و خصوصیات رشدی، نمونه‌برداری‌های تخریبی از ۳۰ روز پس از سبز شدن، هر ۱۵ روز یک‌بار، با حذف اثرات حاشیه‌ای و به‌طور تصادفی از مساحت نیم مترمربع در هر کرت آزمایشی انجام و صفاتی چون سطح‌برگ، ارتفاع بوته و وزن خشک اندام هوایی اندازه‌گیری شد. برای تعیین شاخص سطح برگ از دستگاه اندازه‌گیری سطح برگ[1] استفاده شد. به‌منظور محاسبه سرعت رشد محصول (CGR)[2] در طول فصل رشد از رابطه ۱ استفاده شد (۱۷):

$$CGR = \frac{1}{GA} \times \frac{W_2 - W_1}{t_2 - t_1} \qquad (۱)$$

که در آن، GA سطح زمین (مترمربع)، W_1 وزن خشک اولیه گیاه (گرم در مترمربع)، t_1 زمان نمونه‌گیری اول (روز پس از سبزشدن)، W_2 وزن خشک گیاه در نوبت دوم نمونه‌گیری (گرم در مترمربع) و t_2 زمان نمونه‌گیری دوم (روز پس از سبزشدن) است. در اواخر فصل رشد، با آغاز مرحله رسیدگی و زرد شدن بوته‌ها، پس از حذف اثر حاشیه‌ای، به‌طور تصادفی بوته‌های موجود در سطح یک مترمربع از هر کرت برداشت و عملکرد دانه و عملکرد ماده خشک گیاهان مورد بررسی تعیین شد. در پایان عملیات برداشت، میزان نیتروژن، فسفر و pH خاک کرت‌های آزمایشی اندازه‌گیری شد که مقدار هر یک از این صفات در تیمارهای مختلف متفاوت بود و نتایج آن در جدول مقایسه میانگین‌ها (جدول ۲) آمده است. به‌منظور تعیین مقدار کل نیتروژن موجود در نمونه خاک (منهای نیتروژن نیتراتی)، ابتدا با استفاده از اسید سولفوریک و کاتالیزور، عمل هضم نمونه انجام

1- Leaf Area Meter, Delta T, Co. Ltd, Uk
2- Crop Growth Rate

www.SID.ir

Archive of SID

و سپس مقدار نیتروژن در عصاره حاصل توسط روش کجلدال (۷) و با استفاده از دستگاه Semi-Automated Distillation Unit انجام شد. به‌منظور تعیین مقدار فسفر قابل‌جذب در خاک، ابتدا از نمونه خاک مطابق روش اولسن و سامرز عصاره تهیه شد و سپس مقدار فسفر در عصاره حاصل به روش مورفی و رایلی (۲۲) اندازه‌گیری شد.

کارآیی مصرف آب آبیاری (WUE)[1] (kg Seed.m^3 Water^{-1}) در تیمارهای مختلف توسط رابطه ۲ محاسبه شد (۲۵):

$$WUE = \frac{Y_s}{W_I + W_P} \qquad (۲)$$

که در آن، Y_S عملکرد دانه (kg.ha^{-1})، W_I مقدار آب آبیاری (m^3.ha^{-1}) و W_P میزان بارندگی (mm) است.

تجزیه واریانس (ANOVA) و تحلیل داده‌ها، تجزیه عاملی و ترسیم نمودارها با استفاده از نرم‌افزارهای SAS Ver. 9.4، SPSS Ver. 23 و Minitab Ver. 17 انجام شد. میانگین‌ها توسط آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار و در سطح احتمال ۵ درصد مقایسه شدند.

نتایج و بحث

اثر متقابل سطوح آبیاری و تیمارهای تغذیه‌ای بر صفات مورد بررسی: همه تیمارهای تغذیه‌ای مورد مطالعه، در بهبود عملکرد دانه نسبت به شاهد مؤثر بودند (جدول ۲)، ولی بیش‌ترین عملکرد دانه (۱۶۷۲ کیلوگرم در هکتار) با تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی و در تیمار کاربرد هم‌زمان نیتروژن، سوپرجاذب، اسید هیومیک و اسید سالیسیلیک مشاهده شد (جدول ۳). کاربرد هم‌زمان نیتروژن و سوپرجاذب، کاربرد همزمان سوپرجاذب، اسید هیومیک و اسید سالیسیلیک و کاربرد هم‌زمان نیتروژن، اسید هیومیک و اسید سالیسیلیک عملکرد دانه را به‌ترتیب ۱۵، ۲۶ و ۳۲ درصد در شرایط تأمین ۵۰ درصد نیاز آبی و به‌ترتیب ۱۴، ۴۳ و ۴۰ درصد در شرایط تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی نسبت به شاهد افزایش داد (جدول ۳).

اضافه شدن نیتروژن به سوپرجاذب، اسید هیومیک و اسید سالیسیلیک در شرایط تأمین ۵۰ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی به‌ترتیب افزایش و کاهش وزن خشک اندام هوایی را در پی داشت (جدول ۳). اگرچه همه تیمارهای تغذیه‌ای منجر به بهبود خصوصیات رشدی و ویژگی‌های مرتبط با خاک شدند (جدول ۲)، ولی بیش‌ترین وزن دانه در بوته (۲۱/۲۹ گرم)، ارتفاع بوته (۱۶۶ سانتی‌متر)، شاخص سطح برگ (۷/۷۸)، سرعت رشد محصول (۷/۷۴ گرم در مترمربع در روز) و فسفر (۰/۰۱۶۴ درصد) و پی‌اچ (۱۰/۱۹) خاک در تیمار کاربرد هم‌زمان نیتروژن، سوپرجاذب، اسید هیومیک و اسید سالیسیلیک و تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی حاصل شد (جدول ۳). دستیابی به بیش‌ترین میزان نیتروژن خاک زمانی محقق شد که نیتروژن، سوپرجاذب، اسید هیومیک و اسید سالیسیلیک به‌طور هم‌زمان استفاده و تنها نیمی از نیاز آبی گیاه تأمین شد (جدول ۳).

همان‌طور که در جدول ۳ مشاهده می‌شود، در هر دو شرایط تأمین ۵۰ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی، همه تیمارهای تغذیه‌ای افزایش کارآیی مصرف آب را نسبت به شاهد در پی داشتند، ولی به‌نظر می‌رسد در تمامی تیمارها انجام آبیاری سبک (تأمین ۵۰ درصد نیاز آبی) منجر به افزایش کارآیی مصرف آب شد، به‌طوری‌که کارآیی مصرف آب در تیمارهای کاربرد هم‌زمان نیتروژن و سوپرجاذب، کاربرد هم‌زمان سوپرجاذب، اسید هیومیک و اسید سالیسیلیک، کاربرد هم‌زمان نیتروژن، اسید هیومیک و اسید سالیسیلیک و کاربرد هم‌زمان نیتروژن، سوپرجاذب، اسید هیومیک و اسید سالیسیلیک در شرایط تأمین ۵۰ درصد نیاز آبی به‌ترتیب ۲۳، ۳۹، ۳۸ و ۴۳ درصد بیش‌تر از کاربرد این نهاده‌ها در شرایط تأمین ۱۰۰درصد نیاز آبی بود (جدول ۳).

1- Water Use Efficiency

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۲- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) خصوصیات خاک و برخی خصوصیات رشدی و عملکرد کنجد تحت‌تأثیر سطوح آبیاری و تیمارهای تغذیه‌ای.

Table 2. Analysis of variance (mean of squares) for soil characteristics and growth criteria and yield of sesame affected by interaction effects of irrigation levels and nutritional treatments.

	درجه آزادی df	عملکرد دانه SY	عملکرد ماده خشک BY	وزن دانه در بوته SW	ارتفاع بوته H	شاخص سطح برگ LAI	سرعت رشد محصول CGR	نیتروژن خاک Soil N	فسفر خاک Soil P	اسیدیته خاک pH	کارآیی مصرف آب WUE
بلوک Block	2	6175**	21564ns	0.86ns	381**	0.34**	0.29*	0.001**	0.000001*	0.14**	0.0008**
سطوح آبیاری Irrigation levels	-	381940**	2044674**	22.53**	9633**	30.28**	8.99**	0.001**	0.000004**	16.75**	0.36**
خطای اصلی Main error	2	3.03	11367	0.19	49	0.04	0.02	0.000007	0.0000001	0.02	0.0001
تیمارهای تغذیه‌ای Nutritional treatments	4	448222**	460791**	52.89**	11404**	13.00**	13.34**	0.09**	0.00009**	2.01**	0.05**
سطوح آبیاری × تیمارهای تغذیه‌ای Irrigation levels×Nutritional treatments	4	38844**	870685**	0.92*	846**	3.04**	0.50**	0.006**	0.00004**	1.49**	0.002**
خطای فرعی Sub error	8	76	8576	0.29	39	0.05	0.04	0.0001	0.000001	0.04	0.00001
خطای کل Total error	8	77	7859	0.24	23	0.03	0.03	0.00001	0.0000003	0.01	0.00001

*، ** و ns به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد و عدم‌تفاوت معنی‌دار.

*, ** and ns are significant at 5 and 1% probability level and non-significant, respectively. SY: Seed Yeild, BY: Biological Yield, SW: Seed Weight per Plant, LAI: Leaf Area Index, CGR: Crop Growth Rate, Soil N: Soil Nitrogen, Soil P: Soil Phosphorous, pH: Acidity, WUE: Water Use Efficiency.

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۳- مقایسه میانگین برخی خصوصیات مرتبط با خاک و برخی خصوصیات رشدی و عملکرد تحت‌تأثیر اثرات متقابل مقادیر مختلف آبیاری و تیمار تغذیه‌ای.

Table 3. Mean comparisons of some characteristics related to soil and some growth characteristics and yield of sesame affected by interaction effects of different irrigation levels and nutritional treatments.

آبیاری	عملکرد	وزن خشک	وزن دانه	ارتفاع	شاخص	سرعت	نیتروژن	فسفر	پی‌اچ	کارآیی	
	دانه	اندام هوایی	در بوته	بوته	سطح برگ	رشد محصول	خاکی	خاکی	خاکی	مصرف آب	
	SY ($kg.ha^{-1}$)	BY ($kg.ha^{-1}$)	SW (g)	H (cm)	LAI	CGR ($g.m^{-2}.day^{-1}$)	Soil N (%)	Soil P (%)	pH	WUE ($kg\ seed.m^{-3}\ water$)	
۵۰ درصد نیاز آبی 50% Water requirement	کاربرد همزمان نیتروژن و سوپرجاذب Simultaneous application of N and S	970^{h}	2339^{fg}	12.88^{fg}	39^{fg}	3.63^{ef}	3.98^{g}	0.10^{g}	0.0063^{ef}	7.79^{f}	0.48^{d}
	کاربرد همزمان سوپرجاذب، اسید هیومیک و اسید سالیسیلیک Simultaneous application of S, HA and SA	1126^{f}	1265^{h}	17.31^{c}	86^{d}	3.36^{f}	5.02^{e}	0.16^{f}	0.0118^{c}	9.27^{c}	0.56^{c}
	کاربرد همزمان نیتروژن، اسید هیومیک و اسید سالیسیلیک Simultaneous application of N, HA and SA	1215^{e}	2613^{de}	15.36^{d}	67^{e}	5.25^{d}	5.77^{d}	0.20^{e}	0.0148^{ab}	8.44^{e}	0.60^{b}
	کاربرد همزمان نیتروژن، سوپرجاذب، اسید هیومیک و اسید سالیسیلیک Simultaneous application of N, S, HA and SA	1370^{d}	2923^{b}	18.54^{b}	107^{c}	7.08^{b}	6.31^{c}	0.40^{a}	0.0134^{bc}	7.16^{g}	0.68^{a}
	شاهد Control	828^{j}	2198^{g}	11.93^{g}	30^{g}	2.61^{g}	3.25^{h}	0.06^{hi}	0.0065^{e}	7.16^{g}	0.41^{e}
۱۰۰ درصد نیاز آبی 100% Water requirement	کاربرد همزمان نیتروژن و سوپرجاذب and S Simultaneous application of N	1035^{g}	2752^{bcd}	13.69^{ef}	52^{f}	6.56^{c}	4.47^{f}	0.08^{gh}	0.0085^{d}	8.85^{d}	0.25^{h}
	کاربرد همزمان سوپرجاذب، اسید هیومیک و اسید سالیسیلیک Simultaneous application of S, HA and SA	1563^{b}	3113^{a}	18.76^{b}	145^{b}	7.39^{ab}	6.82^{b}	0.25^{d}	0.0151^{ab}	9.57^{bc}	0.39^{g}
	کاربرد همزمان نیتروژن، اسید هیومیک و اسید سالیسیلیک Simultaneous application of N, HA and SA	1476^{c}	2738^{cd}	16.69^{c}	105^{c}	6.22^{c}	7.03^{b}	0.28^{c}	0.0047^{fg}	9.84^{b}	0.36^{g}
	کاربرد همزمان نیتروژن، سوپرجاذب، اسید هیومیک و اسید سالیسیلیک Simultaneous application of N, S, HA and SA	1672^{a}	2866^{bc}	21.29^{a}	166^{a}	7.78^{a}	7.74^{a}	0.34^{b}	0.0164^{a}	10.19^{a}	0.41^{c}
	شاهد Control	891^{i}	2479^{ef}	14.25^{e}	40^{fg}	4.02^{e}	3.76^{g}	0.04^{i}	0.0043^{g}	8.85^{d}	0.22^{i}
	حداقل تفاوت معنی‌دار LSD	44.39	169.19	0.96	14.05	0.46	0.43	0.02	0.001	0.34	0.01

* در هر ستون، برای هر عامل، میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، در سطح احتمال ۵ درصد، با یکدیگر تفاوت معنی داری ندارند. N، S، HA و SA به‌ترتیب نیتروژن، سوپرجاذب، اسید هیومیک و اسید سالیسیلیک می باشند.

* In each colomn, for each factor, means followed by the same letters are not significantly different ($P \leq 0.05$), at 5% probability level. N, S, HA and SA are Nitrogen, Superabsorbent, Humic acid and Salicylic acid, respectively. SY: Seed Yeild, BY: Biological Yield, SW: Seed Weight per Plant, LAI: Leaf Area Index, CGR: Crop Growth Rate, Soil N: Soil Nitrogen, Soil P: Soil Phosphorous, pH: Acidity, WUE: Water Use Efficiency.

www.SID.ir

Archive of SID

مقایسات گروهی تیمارها در شرایط تنش خشکی: نتایج تجزیه واریانس مقایسات گروهی تیمارهای آزمایشی در شرایط تنش خشکی در جدول ٤ آورده شده است. بر این اساس، همه صفات مورد مطالعه تحت‌تأثیر تیمارهای تغذیه‌ای نسبت به شاهد افزایش یافت و هر یک از صفات عملکرد دانه، وزن خشک اندام هوایی، وزن دانه در بوته، ارتفاع بوته، شاخص سطح برگ، سرعت رشد محصول، نیتروژن، فسفر و اسیدیته خاک و کارآیی مصرف آب در شرایط استفاده از تیمارهای تغذیه‌ای به‌ترتیب ۲۹، ٤، ۲٦، ٦۰، ٤٦، ۳۸، ۷۱، ٤٥، ۱۲ و ۲۹ درصد در مقایسه با تیمار شاهد افزایش داشت (جدول ٥).

مقایسات گروهی تیمارهای دارای نیتروژن و تیمارهای بدون نیتروژن نشان داد که کاربرد هم‌زمان نیتروژن و سایر تیمارهای تغذیه‌ای به‌ترتیب منجر به افزایش ٥، ٥۲، ۳۷، ٦، ۳۰ و ٥ درصدی عملکرد دانه، وزن خشک اندام هوایی، شاخص سطح برگ، سرعت رشد محصول، میزان نیتروژن خاک و کارآیی مصرف آب نسبت به زمانی شد که از نیتروژن در تیمارهای تغذیه‌ای استفاده نگردید (جدول ٥).

علی‌رغم اثرات مثبت سوپرجاذب رطوبت در بهبود بیش‌تر صفات مورد مطالعه نسبت به تیمار شاهد، ولی کاربرد هم‌زمان این نهاده با نهاده‌هایی نیتروژن، اسید هیومیک و اسید سالیسیلیک دارای اثر منفی بر صفاتی مانند عملکرد دانه، وزن خشک اندام هوایی، شاخص سطح برگ، سرعت رشد محصول، میزان فسفر و اسیدیته خاک و کارآیی مصرف آب در مقایسه با تیمار کاربرد هم‌زمان نیتروژن، اسید هیومیک و اسید سالیسیلیک بود (جدول ٥).

نقش اسید هیومیک و اسید سالیسیلیک در بهبود بیش‌تر صفات مورد مطالعه بسیار محسوس بود (جدول ٤)، به‌طوری‌که عملکرد دانه، وزن دانه در بوته، ارتفاع بوته، شاخص سطح برگ، سرعت رشد محصول، میزان نیتروژن، فسفر و اسیدیته خاک و کارآیی مصرف آب به‌ترتیب ۲۲، ۲٥، ٥٥، ۳۱، ۳۰، ٦۰، ٥٤، ٦ و ۲۱ درصد در تیمارهای دارای اسید هیومیک و اسید سالیسیلیک بیش‌تر از تیمارهای بدون این دو نهاده بود (جدول ٥).

امروزه از پلیمرهای سوپرجاذب به‌طور گسترده‌ای در کشاورزی استفاده می‌شود و نقش آن‌ها در کاهش شدت تنش خشکی و میزان مرگ‌ومیر گیاهان و هم‌چنین افزایش تولید محصولات زراعی در مطالعات متعدد به اثبات رسیده است (۱ و ٤۰). سوپرجاذب‌ها از طریق بهبود خصوصیات فیزیکی و ساختمان خاک، کاهش وزن مخصوص ظاهری خاک (۱)، افزایش کارایی مصرف عناصر غذایی، افزایش جوانه‌زنی و سبزشدن بذر (۹)، کاهش نیاز آبی گیاه (۳۸) و کاهش میزان تبخیر از سطح خاک (۲٤) منجر به بهبود خصوصیات کمی و کیفی محصولات مختلف می‌شوند. این مواد بی‌بو، بی‌رنگ و بدون خاصیت آلایندگی خاک، آب و بافت گیاه می‌باشند، ضمن این‌که کاملاً سالم و غیرسمی هستند و در نهایت در خاک به دی‌اکسیدکربن، آب، آمونیاک و یون پتاسیم تجزیه می‌شوند (۲۳). در یک پژوهش پس از بررسی اثر مقادیر مختلف سوپرجاذب رطوبت و اسید هیومیک در شرایط کم‌آبیاری در ذرت گزارش شد که بیش‌ترین میزان عملکرد دانه متعلق به تیمار ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار سوپرجاذب رطوبت، ۸ کیلوگرم در هکتار اسید هیومیک و ۳۰۰ مترمکعب در هکتار آب در طول فصل رشد بود (۱۲). در پژوهشی دیگر، ویژگی‌های زراعی-بوم‌شناختی ریحان (*Ocimum basilicum* L.) تحت‌تأثیر کاربرد سوپرجاذب رطوبت، اسید هیومیک و دورهای آبیاری بررسی و گزارش شد که در مدار آبیاری ٥ روز، سطوح صفر، ٤۰ و ۸۰ کیلوگرم در هکتار سوپرجاذب به‌ترتیب منجر به افزایش ۱۳، ٥۰ و ۱۷ درصدی عملکرد ماده خشک نسبت به مدار آبیاری ۱۰ روز شدند (۱۳). ضیائی و همکاران (۲۰۱٦) بیش‌ترین تعداد شاخه فرعی، وزن تر ریشه، وزن خشک ریشه و وزن خشک کل گیاه دارویی رزماری (*Rosmarinus officinalis* L.) را در تیمار آبیاری به‌میزان صد درصد ظرفیت زراعی به‌همراه کاربرد سوپرجاذب گزارش کردند (٤۱).

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ٤- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) خصوصیات خاک و برخی خصوصیات رشدی و عملکرد کنجد در مقایسات گروهی تیمارهای تغذیه‌ای.

Table 4. Analysis of variance (mean of squares) for soil characteristics and growth criteria and yield of sesame in group comparisons of nutritional treatments.

شماره مقایسه Comparison number	عنوان مقایسه Comparison title	عملکرد دانه SY	عملکرد ماده خشک BY	وزن دانه در بوته SW	ارتفاع بوته H	شاخص سطح برگ LAI	سرعت رشد محصول CGR	نیتروژن خاک Soil N	فسفر خاک Soil P	اسیدیته خاک pH	کارآیی مصرف آب WUE
1	مقایسه تیمارهای تغذیه‌ای با تیمار شاهد Comparison of nutritional treatments with control	281672**	18061*	40.27**	4806**	11.82**	9.84**	0.05**	0.00006**	2.42**	0.07**
2	مقایسه تیمارهای دارای نیتروژن با تیمار بدون نیتروژن Comparison of treatments with nitrogen and non nitrogen treatment	7950**	4162280**	6.58**	542**	8.68**	0.24*	0.01**	0.0000002^{ns}	4.86**	0.001**
3	مقایسه تیمارهای دارای سوپرجاذب با تیمار بدون سوپرجاذب Comparison of treatments with superabsorbent and non superabsorbent treatment	8010**	430117**	1.76**	252*	0.71**	1.00**	0.0007*	0.00004**	0.29**	0.002**
4	مقایسه تیمارهای دارای اسید هیومیک و اسید سالیسیلیک با تیمار بدون اسید هیومیک و اسید سالیسیلیک Comparison of treatments with humic acid and salicylic acid and non humic acid and salicylic acid treatment	160400**	11628*	39.43**	5055**	5.79**	6.67**	0.05**	0.0001**	0.56**	0.04**

*، ** و ^{ns} به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد و عدم‌تفاوت معنی‌دار.

*, ** and ^{ns} are significant at 5 and 1% probability level and non-significant, respectively. SY: Seed Yeild, BY: Biological Yield, SW: Seed Weight per Plant, LAI: Leaf Area Index, CGR: Crop Growth Rate, Soil N: Soil Nitrogen, Soil P: Soil Phosphorous, pH: Acidity, WUE: Water Use Efficiency.

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۵- مقایسه میانگین برخی خصوصیات مرتبط با خاک و برخی خصوصیات رشدی و عملکرد کنجد در مقایسات گروهی تیمارهای تغذیه‌ای.

Table 5. Mean comparisons of some characteristics related to soil and some growth characteristics and yield of sesame in group comparisons of nutritional treatments.

عنوان مقایسه Comparison title	مقایسه یک Comparison1		مقایسه دو Comparison2		مقایسه سه Comparison3		مقایسه چهار Comparison4	
	تیمارهای تغذیه‌ای Nutritional treatments	شاهد Control	تیمارهای دارای نیتروژن Treatments with N	تیمار بدون نیتروژن Non N treatment	تیمارهای دارای سوپرجاذب Treatments with N	تیمارهای بدون سوپرجاذب Non S treatment	تیمارهای دارای اسید هیومیک و اسید سالیسیلیک Treatments with HA and SA	تیمار بدون اسید هیومیک و اسید سالیسیلیک Non HA and SA treatment
عملکرد دانه SY (kg.ha^{-1})	1170	828	1185	1126	1155	1215	1237	970
وزن خشک اندام هوایی BY (kg.ha^{-1})	2285	2198	2625	1265	2175	2613	2267	2339
وزن دانه در بوته SW (g)	16.02	11.93	15.59	17.31	16.24	15.36	17.07	12.88
ارتفاع بوته H (cm)	75	30	71	86	77	67	87	39
شاخص سطح برگ LAI	4.83	2.61	5.32	3.36	4.69	5.25	5.23	3.63
سرعت رشد محصول CGR (g.m^{-2}.day^{-1})	5.27	3.25	5.35	5.02	5.10	5.77	5.70	3.98
نیتروژن خاک Soil N (%)	0.21	0.06	0.23	0.16	0.22	0.20	0.25	0.10
فسفر خاک Soil P (%)	0.011	0.006	0.0115	0.0118	0.010	0.014	0.013	0.006
پی‌اچ خاک pH	8.16	7.16	7.8	9.27	8.07	8.44	8.29	7.79
کارآیی مصرف آب WUE (kg seed.m^3 water)	0.58	0.41	0.59	0.56	0.57	0.60	0.61	0.48

* N، S، HA و SA به‌ترتیب نیتروژن، سوپرجاذب، اسید هیومیک و اسید سالیسیلیک می‌باشند.

* N, S, HA and SA are Nitrogen, Superabsorbent, Humic acid and Salicylic acid, respectively. SY: Seed Yeild, BY: Biological Yield, SW: Seed Weight per Plant, LAI: Leaf Area Index, CGR: Crop Growth Rate, Soil N: Soil Nitrogen, Soil P: Soil Phosphorous, pH: Acidity, WUE: Water Use Efficiency.

www.SID.ir

Archive of SID

اسید هیومیک به احتمال زیاد با افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی، ظرفیت نگهداری آب در خاک و هم‌چنین فعال کردن چرخه تنفس، فتوسنتز و تولید آمینواسید و آدنوزین‌تری فسفات، باعث افزایش رشد گیاهان مورد مطالعه شده است (۳۳). هم‌چنین به‌نظر می‌رسد که اسید هیومیک سبب افزایش طول و وزن ریشه، تعداد ریشه‌های جانبی و هم‌چنین افزایش جریان شیره گیاهی از آوندها شده و یا این‌که اثر خود را از طریق آماده‌سازی مواد معدنی، گسترش جمعیت ریزجانداران مفید، انتقال عناصر غذایی و مواد تنظیم‌کننده رشد اعمال کرده است. در برخی از مطالعات به کاهش اثرات تنش ناشی از عوامل محیطی و طبیعی روی گیاه تحت‌تأثیر مواد هیومیکی اشاره شده است (۳۱). در یک پژوهش، در شرایط استفاده از اسیدهیومیک، عملکرد علوفه ذرت ۳۱ درصد بیش‌تر از شاهد بود (۲۹). در پژوهشی دیگر، کاربرد ۵۰۰، ۱۰۰۰ و ۲۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر اسیدهیومیک منجر به افزایش طول و قطر ساقه، وزن خشک، میزان عناصر غذایی و عملکرد گیاه فلفل (*Capsicum frutesens*) شد (۳٦). خزائی و بنایان (۲۰۱۱) گزارش کردند که محلول‌پاشی اسیدهیومیک، زیست‌توده اندام هوایی و عملکرد اسانس گیاه دارویی زوفا (*Hyssopus officinalis*) را به‌میزان قابل‌توجهی نسبت به شاهد افزایش داد (۱٦).

به‌نظر می‌رسد که محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک به احتمال زیاد از طریق تأثیر بر آنزیم‌های کاتالاز و پروکسیداز و سایر تنظیم‌کننده‌های اسمزی مانند پرولین، گلیسین و بتائین توانسته آثار ناشی از تنش خشکی را کاهش داده (۸ و ۱۱) و در نهایت منجر به افزایش بیش‌تر صفات مورد بررسی کنجد، ذرت و لوبیا شود. در پژوهشی، اثر کاربرد اسید سالیسیلیک بر عملکرد و اجزای عملکرد زیره سبز بررسی و گزارش شد که بیش‌ترین عملکرد دانه در نتیجه کاربرد غلظت ۰/۷ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک به‌دست آمد (۱۰). در پژوهشی دیگر، بیش‌ترین شاخص سطح برگ، سرعت رشد محصول و ماده خشک کل ذرت در شرایط کاربرد اسید سالیسیلیک گزارش شد (٦). برخی پژوهشگران (۱۹) اثر اسید سالیسیلیک بر رشد و عملکرد دانه ذرت در شرایط تنش خشکی را بررسی و گزارش کردند که اسید سالیسیلیک در هر دو شرایط تنش و غیرتنش منجر به افزایش عملکرد دانه شد.

ضرایب همبستگی بین صفات مورد مطالعه: افزایش شاخص سطح برگ و سرعت رشد محصول بهبود عملکرد دانه (به‌ترتیب $r=۰/۸٤^{**}$ و $r=۰/۹۸^{**}$)، وزن خشک اندام هوایی (به‌ترتیب $r=۰/۷۷^{**}$ و $r=۰/۵۰^{**}$)، وزن دانه در بوته ($r=۰/۷۲^{**}$ و $r=۰/۸۸^{**}$) و ارتفاع بوته ($r=۰/۷۸^{**}$ و $r=۰/۹۲^{**}$) را سبب شد (جدول ٦). همبستگی مثبت کارآیی مصرف آب با نیتروژن ($r=۰/۵۳^{**}$) و فسفر ($r=۰/۵۲^{**}$) و همبستگی منفی آن با پی‌اچ خاک ($r= -۰/۵۹^{**}$) بیانگر آن بود که با کاربرد نهاده‌های مؤثر در حاصلخیزی خاک و هم‌چنین کاشت گیاه در خاک‌های اسیدی‌تر، می‌توان کارآیی مصرف آب در کنجد را بهبود بخشید (جدول ٦).

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ٦- ضرایب همبستگی بین صفات مورد مطالعه در کنجد تحت‌تأثیر مقادیر مختلف آبیاری و تیمارهای تغذیه‌ای.

Table 6. Correlation coefficients between studied traits in sesame affected by different irrigation levels and Nutritional treatments.

	عملکرد دانه SY (1)	وزن خشک اندام هوایی BY (2)	وزن دانه در بوته SW (3)	ارتفاع بوته H (4)	شاخص سطح برگ LAI (5)	سرعت رشد محصول CGR (6)	نیتروژن خاک Soil N (7)	فسفر خاک Soil P (8)	پی‌اچ خاک pH (9)	کارآیی مصرف آب WUE (10)
1	1									
2	0.53**	1								
3	0.90**	0.30	1							
4	0.96**	0.42*	0.94**	1						
5	0.84**	0.77**	0.72**	0.78**	1					
6	0.98**	0.50**	0.88**	0.92**	0.82**	1				
7	0.88**	0.45*	0.84**	0.83**	0.74**	0.89**	1			
8	0.64**	0.23	0.73**	0.69**	0.56**	0.63**	0.62**	1		
9	0.61**	0.12	0.57**	0.62**	0.46*	0.60**	0.24	0.22	1	
10	0.21	0.35	0.29	0.18	0.008	0.25	0.53**	0.52**	-0.59**	1

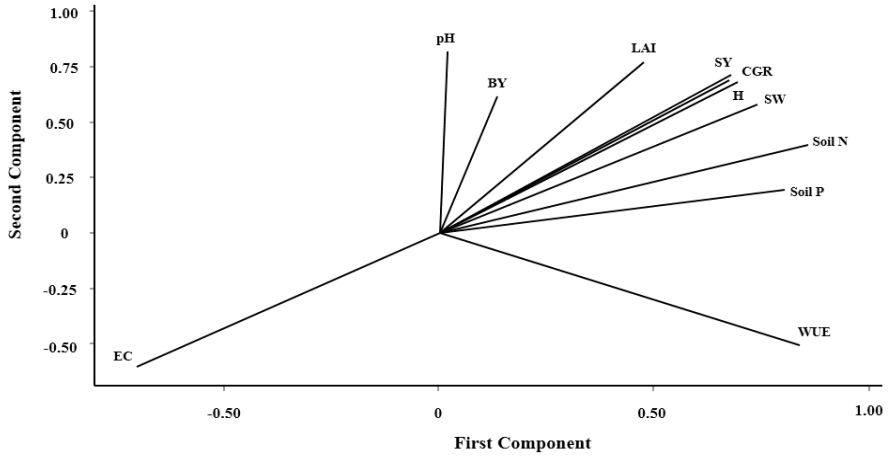
* و** به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد.

* and ** are significant at 5 and 1% probability level, repectively. SY: Seed Yeild, BY: Biological Yield, SW: Seed Weight per Plant, LAI: Leaf Area Index, CGR: Crop Growth Rate, Soil N: Soil Nitrogen, Soil P: Soil Phosphorous, pH: Acidity, WUE: Water Use Efficiency.

www.SID.ir

Archive of SID

تجزیه عاملی عوامل مؤثر بر کارآیی مصرف آب: مقادیر ویژه[1] و واریانس متناظر[2] عامل‌ها در تعیین عوامل مؤثر در کارآیی مصرف آب در پاسخ به کاربرد نیتروژن و نهاده‌های بوم‌سازگار در جدول ۷ نشان داده شده است. بر این اساس، متغیرها (۸۲ درصد واریانس تجمعی) به دو عامل تجزیه شدند (جدول ۷). عامل اول ۵۹ درصد از واریانس متغیرها را تبیین کرد (جدول ۷). متغیرهای عملکرد دانه، وزن دانه در بوته، سرعت رشد محصول، نیتروژن، فسفر خاک و کارآیی مصرف آب در عامل اول و متغیرهای وزن خشک اندام هوایی، ارتفاع بوته، شاخص سطح برگ و پی‌اچ خاک در عامل دوم قرار گرفتند (شکل ۱). رسم دندروگرام حاصل از تجزیه خوشه‌ای (شکل ۲) نتایج تجزیه عاملی را تا حد زیادی تأیید کرد.



شکل ۱- بار متغیرهای اندازه‌گیری‌شده روی دو عامل استخراج شده در کنجد تحت‌تأثیر سطوح آبیاری و تیمارهای تغذیه‌ای (نیتروژن، سوپرجاذب، اسید هیومیک و اسید سالیسیلیک). SY: عملکرد دانه، BY: وزن خشک اندام هوایی، SW: وزن دانه در بوته، H: ارتفاع بوته، LAI: شاخص سطح برگ، CGR: سرعت رشد محصول، Soil N: نیتروژن خاک، Soil P: فسفر خاک، pH: اسیدیته خاک و WUE: کارآیی مصرف آب می‌باشند.

Fig. 1. Loading plot of measured variables on two extracted factor in sesame affected by different irrigation levels and nutritional treatments (Nitrogen, Superabsorbent, Humic acid and Salicylic acid). SY: Seed Yeild, BY: Biological Yield, SW: Seed Weight per Plant, LAI: Leaf Area Index, CGR: Crop Growth Rate, Soil N: Soil Nitrogen, Soil P: Soil Phosphorous, pH: Acidity, WUE: Water Use Efficiency.

1- Eigenvalue
2- Corresponding variance

www.SID.ir

Archive of SID

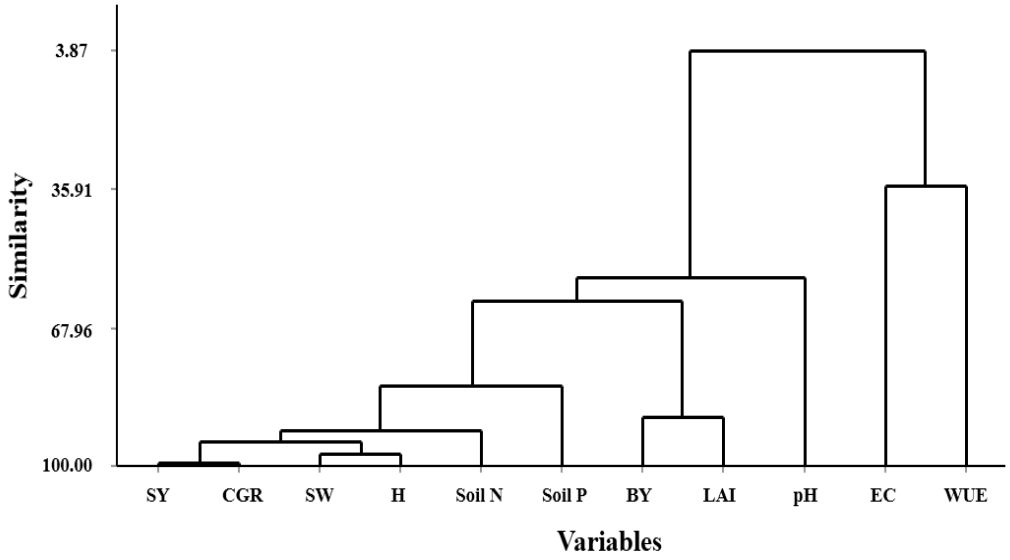
جدول ۷- مقادیر ویژه و واریانس متناظر عامل‌ها در تعیین عامل‌های مؤثر در کارآیی مصرف آب کنجد در پاسخ به تیمارهای تغذیه‌ای (نیتروژن، سوپرجاذب، اسید هیومیک و اسید سالیسیلیک).

Table 7. Eigenvalues and corresponding variance of factors in determing of effecting factors in water use efficiency of sesame in response to nutritional treatments (Nitrogen, Superabsorbent, Humic acid and Salicylic acid).

مؤلفه Component	مقادیر ویژه اولیه Initial Eigenvalues			مجموع مربعات بارهای اولیه Extraction Sums of Squared Loading			مجموع مربعات بارهای چرخش‌یافته Rotation Sums of Squared Loadings		
	کل Total	درصد واریانس % of Variance	درصد تجمعی Cumulative %	کل Total	درصد واریانس % of Variance	درصد تجمعی Cumulative %	کل Total	درصد واریانس % of Variance	درصد تجمعی Cumulative %
1	7.36	66.97	66.97	7.56	68.78	68.78	6.50	59.10	59.10
2	1.69	15.37	82.35	1.53	13.91	82.69	2.59	23.59	82.69
3	1.08	9.83	92.18						
4	0.44	4.01	96.19						
5	0.16	1.51	97.71						
6	0.12	1.13	98.85						
7	0.05	0.50	99.35						
8	0.03	0.32	99.68						
9	0.007	0.06	99.95						
10	0.005	0.04	100.00						

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۲- دندروگرام حاصل از تجزیه خوشه‌ای برای متغیرهای مورد مطالعه در کنجد تحت‌تأثیر سطوح آبیاری و تیمارهای تغذیه‌ای (نیتروژن، سوپرجاذب، اسید هیومیک و اسید سالیسیلیک). SY: عملکرد دانه، BY: وزن خشک اندام هوایی، SW: وزن دانه در بوته، H: ارتفاع بوته، LAI: شاخص سطح برگ، CGR: سرعت رشد محصول، Soil N: نیتروژن خاک، Soil P: فسفر خاک، EC: شوری خاک، pH: اسیدیته خاک و WUE: کارآیی مصرف آب می‌باشند.

Fig. 2. Cluster analysis dendrogram of measured variables in sesame affected by irrigation levels and nutritional treatments (Nitrogen, Superabsorbent, Humic acid and Salicylic acid). SY: Seed Yeild, BY: Biological Yield, SW: Seed Weight per Plant, LAI: Leaf Area Index, CGR: Crop Growth Rate, Soil N: Soil Nitrogen, Soil P: Soil Phosphorous, EC: Electrical Conductivity, pH: Acidity, WUE: Water Use Efficiency.

برای این‌که عامل‌ها بیش‌ترین میزان از واریانس متغیرها را تبیین کنند، لازم است چرخش داده شوند. جدول ٦، بارهای عاملی و میزان اشتراک مؤلفه‌های اصلی مؤثر در کارآیی مصرف آب در پاسخ به مقادیر مختلف آبیاری و کاربرد تیمارهای تغذیه‌ای را قبل و بعد از چرخش عامل‌ها نشان می‌دهد.

عامل اول ۹۷ درصد از واریانس مربوط به عملکرد دانه را تبیین کرد (جدول ۸). عامل اول شامل متغیرهای عملکرد دانه، وزن دانه در بوته، سرعت رشد محصول، نیتروژن و فسفر خاک و کارآیی مصرف آب بود (شکل ۱)، بدین معنا که افزایش هر یک از صفات مذکور منجر به افزایش سایر صفات این دسته خواهد شد. با توجه به قرار گرفتن متغیر کارآیی مصرف آب در گروه متغیرهایی مانند نیتروژن و فسفر خاک، به‌نظر می‌رسد برای بهبود کارآیی مصرف آب این گیاه باید بر متغیرهای مربوط به خاک متمرکز شد (جدول ۸). قرارگیری متغیرهای مهمی مانند عملکرد دانه و وزن دانه در بوته روی عامل اول بیانگر آن است که این عامل می‌تواند شاخصی از عملکرد محصول باشد و عامل دوم که منعکس‌کننده ویژگی‌های ذاتی آرایش فضایی بوته (بار زیاد متغیرهای ارتفاع بوته و شاخص سطح برگ روی این عامل) است به‌عنوان عامل آرایش فضایی مدنظر قرار گیرد.

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۸- بارهای عاملی و میزان اشتراک عامل‌های مؤثر در کارآیی مصرف آب کنجد در پاسخ به تیمارهای تغذیه‌ای (نیتروژن، سوپرجاذب، اسید هیومیک و اسید سالیسیلیک) قبل (قسمت بالا) و بعد (قسمت پایین) از چرخش.

Table 8. Factor loading and communalities of effecting factor in water use efficiency of sesame in response to nutritional treatments nutritional treatments (Nitrogen, Superabsorbent, Humic acid and Salicylic acid) before (top part) and after (down part) rotation.

اشتراک Communality	عامل دوم Second factor	عامل اول First factor	
0.97	0.07	0.98	عملکرد دانه Seed Yield
0.40	0.36	0.51	وزن خشک اندام هوایی Biological Yield
0.88	-0.07	0.93	وزن دانه در بوته Seed weight per plant
0.93	0.05	0.96	ارتفاع بوته Plant hieght
0.82	0.24	0.87	شاخص سطح برگ LAI
0.95	0.03	0.97	سرعت رشد محصول CGR
0.90	-0.28	0.90	نیتروژن خاک Soil nitrogen
0.68	-0.40	0.72	فسفر خاک Soil phosphorous
0.67	0.59	0.57	اسیدیته خاک pH
0.96	-0.94	0.27	کارآیی مصرف آب WUE
0.97	0.71	0.68	عملکرد دانه Seed Yield
0.40	0.62	0.13	وزن خشک اندام هوایی Biological Yield
0.88	0.57	0.74	وزن دانه در بوته Seed weight per plant
0.93	0.69	0.67	ارتفاع بوته Plant hieght
0.82	0.77	0.47	شاخص سطح برگ LAI
0.95	0.68	0.69	سرعت رشد محصول CGR
0.90	0.39	0.86	نیتروژن خاک Soil nitrogen
0.68	0.19	0.80	فسفر خاک Soil phosphorous
0.67	0.82	0.02	پی‌اچ خاک pH
0.96	-0.51	0.83	کارآیی مصرف آب WUE

www.SID.ir

Archive of SID

نتایج تجزیه به عامل‌ها برای عملکرد دانه و سایر خصوصیات گندم نشان داد که ۵ عامل در مجموع ٦٧/٧ درصد از تغییرات داده‌ها را توجیه نمودند و نتایج حاصل از بررسی ضرایب عاملی، نشانگر اهمیت طول پدانکل، طول بیرون آمدگی پدانکل و ارتفاع بوته در گزینش ژنوتیپ‌های مطلوب برای شرایط خشکی بود (۳۵). در پژوهشی دیگر، تجزیه به عامل‌ها و علیت در ژنوتیپ‌های مختلف برنج (*Oryza sativa* L.) انجام گرفت و گزارش شد که ٦ عامل اصلی و مستقل، ۸۷ درصد از تغییرات کل داده‌ها را توجیه کرد و در عامل عملکرد و اجزای آن صفات مهمی مانند تعداد پنجه بارور، وزن بوته و تعداد دانه پر قرار گرفتند که همبستگی بین این خصوصیات معنی‌دار بود (۲). در پژوهشی روی ارقام هیبرید ذرت دانه‌ای نیز نتایج تجزیه عاملی نشان داد که صفاتی نظیر برگ بلال، ضخامت ساقه، ارتفاع بوته و تعداد دانه در ردیف، شاخص‌هایی مهم برای گزینش هیبریدهای ذرت با عملکرد بالا بودند (۳۹).

نتیجه‌گیری کلی

به‌طورکلی نتایج این پژوهش نشان داد که در شرایط تنش خشکی (تأمین ۵۰ درصد نیاز آبی)، تیمارهای کاربرد هم‌زمان نیتروژن و سوپرجاذب، کاربرد هم‌زمان سوپرجاذب، اسید هیومیک و اسید سالیسیلیک، کاربرد هم‌زمان نیتروژن، اسید هیومیک و اسید سالیسیلیک و کاربرد هم‌زمان نیتروژن، سوپرجاذب، اسید هیومیک و اسید سالیسیلیک کارآیی مصرف آب را به‌ترتیب ۱۵، ۲۷، ۳۲ و ٤٠ درصد نسبت به شاهد بهبود بخشید. نتایج مقایسات گروهی نشان داد که هم نیتروژن و هم اسید هیومیک و اسید سالیسیلیک در کاربرد هم‌زمان با سایر تیمارهای تغذیه‌ای نقش مؤثرتری در بهبود بیش‌تر صفات مورد مطالعه نسبت به تیمارهای بدون استفاده از این نهاده‌ها ایفا کرد. بر اساس نتایج تجزیه عاملی و با توجه به متغیرهای متعلق به هر عامل، به‌نظر می‌رسد عامل اول شاخصی از عملکرد محصول و عامل دوم منعکس‌کننده ویژگی‌های ذاتی آرایش فضایی بوته (بار زیاد متغیرهای ارتفاع بوته و شاخص سطح برگ روی این عامل) بود. به‌طورکلی، با توجه به یافته‌های این پژوهش، به‌نظر می‌رسد که کاربرد هم‌زمان نیتروژن و نهاده‌های بوم‌سازگار ضمن بهبود عملکرد و خصوصیات رشدی گیاه، می‌تواند کارآیی مصرف آب را بهبود بخشد. هم‌چنین انجام تجزیه عاملی و همبستگی بالای متغیرهای درون هر عامل با یکدیگر، بیانگر آن بود که با ایجاد هر گونه تغییر در متغیرهایی که با کارآیی مصرف آب روی یک عامل قرار گرفته‌اند، می‌توان کارآیی مصرف آب را افزایش داده و خسارات ناشی از تنش خشکی و کم‌آبی را به حداقل رساند.

منابع

1.Abedi-Koupai, J., Sohrab, J. and Swarbrick, G. 2008. Evaluation of hydrogel application on soil water retention characteristics. J. Plant. Nutr. 31: 317-331.

2.Alah Gholipour, M. and Mohammad Salehi, M.S. 2003. Factor and path analysis in different rice genotypes. J. Seed Plant Prod. 19: 76-87. (In Persian)

3.Alizadeh, A. and Kamali, Gh. 2008. Water requirement of plants in Iran. Emam Reza University Press. 228p. (In Persian)

4.Bagheri, R., Akbari, Gh.R., Kianmehr, M.H. and Tahmasebi Sarvestani, Z. 2011. The effect of slow releasing nitrogen from pellet fertilizer of nitrogen and manure on grain yield and some physiological characteristics of corn. Elec. J. Crop Prod. 4: 1. 97-113. (In Persian)

www.SID.ir

Archive of SID

5.Bahrani, M.J. and Babaei, G.H. 2007. Effect of different levels of plant density and nitrogen fertilizer on grain yield and its components and some quality traits in two sesame (*Sesamum indicum* L.) cultivars. Iranian. J. Crops. Sci. 9: 3. 237-245. (In Persian)

6.Bayat, S., Sepehri Zare, A., Abyaneh, H. and Abdollahi, M.R. 2010. Effect of salicylic acid and paclobutrazol on some growth characteristics and yield of maize in conditions of drought stress. J. Crops. Ecoph. 2: 34-41. (In Persian)

7.Bremner, J.M. and Mulvaney, C.S. 1965. Nitrogen-Total. In: Methods of soil analysis: part 2, Chemical and Microbiological Properties. Page, A.L. (Ed). 1982. Second Edition. American Society of Agronomy Inc. Madison, Wisconsin USA. Agron. Series, 9: 595-622.

8.El-Tayeb, M.A. 2005. Response of barley to the interactive effect of salinity and salicylic acid. Plant. Grogwh. Reg. 45: 215-225.

9.Eneji, A.E., Islam, R., An, P. and Amalu, U.C. 2013. Nitrate retention and physiological adjustment of maize to soil amendment with superabsorbent polymers. J. Clea. Prod. 52: 474-480.

10.Farahani, M.A., Paknejad, F., Bakhtiari Moghaddam, M., Alavi, S. and Hasibi, A. 2012. Effect and different methods of salicylic acid application on yield and yield components of *Cuminum cyminum* L. J. Agron. Plant. Breed. 8: 69-77. (In Persian)

11.Horvath, E., Janda, T., Szalai, G. and Paldi, E. 2002. In vitro salicylic acid inhibition of catalase activity in maize: differences between the isozymes and a possible role in the induction of chilling tolerance. Plant. Sci. 163: 1129-1135.

12.Jahan, M., Amiri, B. and Noorbakhsh, F. 2017. Evaluation of the increased rates of water super absorbent and humic acid application under deficit irrigation condition on some agroecological characteristics of *Zea mays* using response surface methodology. Iranian. J. Field. Crops. Res. 14: 4. 766-784. (In Persian)

13.Jahan, M., Ghalenoee, Sh., Khamooshi, A. and Amiri, MB. 2015. Evaluation of some agroecological characteristics of basil (*Ocimum basilicum* L.) as affected by simultaneous application of water saving superabsorbent hydrogel in soil and foliar application of humic acid under different irrigation intervals in a low input cropping system. J. Hort. Sci. 29: 2. 240-254. (In Persian)

14.Jahan, M., Kamayestani, N. and Ranjbar, F. 2013. Assay for applying super absorbent polymer in a low input corn (*Zea mays* L.) production system aimed to reduce drought stress under Mashhad conditions. Agroecol. 5: 3. 272-281. (In Persian)

15.Keykha, H., Ganjali, H.R. and Naroui Rad, M.R. 2014. Effect of water stress and applications of superabsorbent on grain yield, harvest index, biological yield and plant height in sunflower. Int. J. Biosci. 5: 3. 44-49.

16.Khazaee, H.R. and Banayan, M. 2011. Application of use time and amount of humic acid on biomass and oil content of Hyssopus officinalis. Iranian. J. Med. Aro. Plants. 5: 25-35. (In Persian)

17.Koocheki, A. and Sarmadnia, Gh. 2006. Crop Physiology. Mashhad Daneshgahi Jihad Press. Pp: 254-255. (In Persian)

18.Maji, D., Misra, P., Singh, S. and Kalra, A. 2017. Humic acid rich vermicompost promotes plant growth by improving microbial community structure of soil as well as root nodulation and mycorrhizal colonization in the roots of *Pisum sativum*. Appl. Soil. Ecol. 110: 97-108.

19.Mehrabian Moghaddam, N., Arvin, M.J., Khajueenejad, Gh. and Maghsudi, K. 2011. Effect of salicylic acid on growth and seed and forage yield of maize in conditions of drought stress in farm. J. Seed. Plant. Prod. 27: 41-55. (In Persian)

20.Mohammadzadeh, A., Majnoon Hosseini, N., Moghaddam, H. and Akbari, M. 2012. Effect of drought stress and nitrogen fertilizer levels on physiological characteristics of two red kidney bean genotypes. Iranian. J. Crop. Sci. 14: 3. 294-308. (In Persian)

www.SID.ir

Archive of SID

21.Montesano, F.F., Parente, A., Santamaria, P., Sannino, A. and Serio, F. 2015. Biodegradable superabsorbent hydrogel increases water retention properties of growing media and plant growth. Agri. Sci. 4: 451-458.
22.Morphy, J. and Riley, J.P. 1962. Phosphorus analysis procedure. In: Methods of soil analysis: part 2, Chemical and Microbiological Properties. Page, A.L. (Ed). 1982. Second Edition. Madison, Wisconsin USA. Pp: 413-427.
23.Nazarli, H., Zardashti, M.R., Darvishzadeh, R. and Najafi, S. 2010. The effect of water stress and polymer on water use efficiency, yield and several morphological traits on sunflower. Not. Sci. Biol. 2: 53-58.
24.Nykanen, V.P.S., Nykanen, A., Puska, M.A., Goulart-Silva, G. and Ruokolainen, J. 2011. Dual-reponsive and super absorbing thermally cross-linked hydrogel based on methacrylate substituted polyphosphazene. Soft. Matter. 7: 4414-4424.
25.Payeroa, J.O., Tarkalson, D.D., Irmakc, S., Davisond, D. and Petersend, J.L. 2009. Effect of timing of a deficit-irrigation allocation on corn evapotranspiration, yield, water use efficiency and dry mass. Agric. Water. Manage. 96: 10. 1387-1397.
26.Reddy, K.S., Maruthi, V. and Umesha, B. 2015. Influence of super absorbent polymers on infiltration characteristics of alfisols in semi-arid region. Indian. J. Dryland. Agric. Res. Develop. 30: 2. 11-16.
27.Rezashateri, M., Khajeddin, S.J., Abedi-Koupai, J., Majidi, M.M. and Matinkhah, H. 2017. Growth characteristics of Artemisia sieberi influenced by super absorbent polymers in textureally different soils under water stress condition. Archives. Agron. Soil. Sci. 63: 7. 984-997.
28.Ruqin, F., Jia, L., Shaohua, Y., Yunlai, Z. and Zhenhua, Z. 2015. Effects of biochar and super absorbent polymer on substrate properties and water spinach growth. Pedosphere. 25: 5. 737-748.
29.Rezazadeh, H., Khrasani, S.K. and Haghighi, R.S.A. 2012. Effects of humic acid on decrease of phosphorus usage in forage maize var. KSC704 (*Zea mays* L.). Australian. J. Agri. Eng. 3: 34-38.
30.Shaaban, S.H.A. 2009. Humic acid foliar application to minimize soil applied fertilization of surface irrigationed wheat. J. Agri. Sci. 5: 207-210.
31.Shahryari, R., Gurbanov, E., Gadimov, A. and Hassanpanah, D. 2008. In vitro effect of potassium humate on terminal drought tolerant bread wheat. Proceedings of the 14th meeting of International Humic Substances Society.
32.Shuqaev, A.G., Butsanets, P.A., Andreev, I.M. and Shugaeva, N.A. 2014. Effect of salicylic acid on the metabolic activity of plant mitochondria. Russian. J. Plant. Physiol. 61: 4. 555-564.
33.Sidari, M., Attina, E., Francioso, O., Tugnoli, V. and Nardi, S. 2006. Biological activity of humic substances is related to their chemical structure. Soil. Sci. Soc.. Amer. J. 71: 75-85.
34.Tadayyon, A., Beheshti, S. and Pessarakli, M. 2017. Effects of sprayed humic acid, iron and zinc on quantitative and qualitative characteristics of Niger plant (*Guizotia abyssinica* L.). J. Plant. Nutr. 40: 1644-1650.
35.Tousi Mojarrad, M., Ghannadha, M.R., Khodarahmi, M. and Shahabi, S. 2005. Factor analysis for seed yield and some wheat characteristics. J. Pajhohesh Sazandegi. 66: 9-16. (In Persian)
36.Turkmen, O., Demir, S., Sensoy, S. and Dursun, A. 2005. Effect of arbuscular mycorrhizal fungus and humi acid on the seedling development and nutrient content of pepper grown under saline soil conditions. J. Biol. Sci. 5: 565-574.
37.Wani, A.B., Chadar, H., Wani, A.H., Singh, S. and Upadhyay, N. 2017. Salicylic acid to decrease plant stress. Environ. Chem. Lett. 15: 101-123.
38.Xie, L., Liu, M., Ni, B., Zhang, X. and Wang, Y. 2011. Slow-release nitrogen and boron fertilizer from a functional superabsorbent formulation based on wheat straw and attapulgite. J. Chem. Engineering. 167: 342-348.

www.SID.ir

Archive of SID

39.Zeinali, H., Nasrabadi, A., Hoseinzadeh, H., Chougan, R. and Sabokdast, M. 2005. Factor analysis of hybrid varieties of maize. J. Iran. Agri. Sci. 36: 895-902. (In Persian)

40.Zhong, K., Zheng, X.L., Mao, X.Y., Lin, Z.T. and Jiang, G.B. 2012. Sugarcane bagasse derivative-based superabsorbent containing phosphate rock with water-fertilizer integration. Carbohydrate Polymers. 90: 820-826.

41.Ziaei, A., Moghaddam, M. and Kashefi, B. 2016. The effect of superabsorbent polymers on morphological traits of rosemary (*Rosmarinus officinalis*) under drought stress. J. Sci. Technol. Greenhouse. Culture. Soiless. Culture. Res. Center. 7: 2. 99-111. (In Persian)

www.SID.ir

Archive of SID

www.SID.ir