Archive of SID

تنش‌های محیطی در علوم زراعی
Environmental Stresses in Crop Sciences
جلد دوازدهم، شماره دوم، تابستان ۱۳۹۸
۶۱۷-۶۳۰
http://dx.doi.org/10.22077/escs.2019.1418.1307

اثر اسید هیومیک استخراجی از منابع مختلف بر صفات آفتابگردان رشد یافته در یک خاک آهکی

فاطمه طالع فراهی[۱]، احمد غلامعلی زاده[۱*]، آرش همتی[۲]
۱. گروه علوم مهندسی خاک دانشکده آب و خاک دانشگاه زابل
۲. گروه علوم مهندسی خاک دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی کرج دانشگاه تهران

تاریخ دریافت: ۹۶/۱۲/۲۰؛ تاریخ پذیرش: ۹۷/۰۱/۲۷

چکیده

هدف از انجام این آزمایش بررسی تأثیر نحوه مصرف اسید هیومیک‌های استخراجی از منابع متفاوت بر روی گیاه آفتابگردان در یک خاک آهکی است. این آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی و در سه تکرار بر روی گیاه آفتابگردان انجام شد. تیمارها شامل دو روش مصرف خاکی و محلول‌پاشی (هر دو روش در یک سطح و در غلظت ۰/۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم (میلی‌گرم بر لیتر) منابع بکار رفته‌اند) و ۵ منبع اسید هیومیک (اسید هیومیک استخراج‌شده از بیوچار ۴۰۰ درجه (چوب درخت چنار)، بیوچار ۲۰۰ درجه (چوب درخت چنار)، لجن (فاضلاب کارخانه‌ها چوب و کاغذ)، کود دامی (گاوی) و شاهد) است. اثرات متقابل محلول‌پاشی بیوچار ۲۰۰ درجه نشان می‌دهد که صفات تعداد برگ، پتاسیم، کلروفیل a و کل و وزن خشک نسبت به شاهد به ترتیب ۶۱، ۴۵، ۶۲ و ۶۴ درصد و ۱/۴ برابر افزایش‌یافته‌اند و همچنین محلول‌پاشی بیوچار ۴۰۰ درجه نیز میزان کلروفیل b و کارتنوئید را نسبت به شاهد به ترتیب ۱/۵ برابر و ۵۰٪ افزایش داد. نتایج اثرات متقابل مصرف خاکی بیوچار ۲۰۰ درجه بر وزن تر نسبت به شاهد ۷۵٪ افزایش و تیمار لجن بر طول ساقه و فسفر نسبت به شاهد به ترتیب ۵۸٪ و ۱/۷۵ برابر افزایش نشان دادند و اثرات متقابل مصرف خاکی کود دامی نیز نسبت به شاهد وزن خاکستر گیاه را ۳/۲۲ برابر افزایش داد. به‌طورکلی، با توجه به نتایج، محلول‌پاشی اسید هیومیک استخراجی از بیوچار ۲۰۰ درجه، بهترین تأثیر را در افزایش عملکرد و اجزاء آن داشت.

واژه‌های کلیدی: **دانه‌های روغنی، کلروفیل، لجن، محلول‌پاشی، مواد هیومیکی**

مقدمه

فراهمی عناصر غذایی در خاک‌های آهکی با چالش روبرو است. ۳۰ درصد از خاک‌های سطح زمین را خاک‌های آهکی پوشانده است (FAO, 1973). اکثر خاک‌های ایران در مناطق خشک و نیمه‌خشک قرارگرفته‌اند و دارای شرایط قلیایی و آهکی می‌باشند (Malakouti and Nafisi, 1994). معمولاً مقادیر زیاد کربنات کلسیم در خاک‌ها بر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک و درنهایت رشد گیاه اثر می‌گذارند. با توجه به‌قرار گرفتن اکثر خاک‌های آهکی در مناطق گرم و خشک، این خاک‌ها به‌طور طبیعی ازلحاظ مواد آلی فقیر هستند. مواد هیومیک جزء اصلی و پایدار مواد آلی می‌باشند و این مواد می‌توانند رشد گیاه و جذب مواد غذایی را افزایش دهند (Stevenson 1982; Chen and Aviad, 1990).

مواد هیومیک به دو صورت مستقیم و غیرمستقیم بر رشد گیاه تأثیر می‌گذارند (Fahramand et al., 2014). اثرات غیرمستقیم شامل بهبود خواص خاک (تهویه، نفوذپذیری، ظرفیت نگهداری آب)، افزایش قابلیت دسترسی عناصر کم‌مصرف و بعضی عناصر پرمصرف است و اثرات مستقیم مواد هیومیک نیز شامل عمل جذب و انتقال عناصر غذایی به بافت گیاه و درنتیجه اثرات بیوشیمیایی مختلف از قبیل سنتز پروتئین، فتوسنتز و فعالیت‌های آنزیمی در بافت‌های گیاه.

* نگارنده پاسخگو: احمد غلامعلی‌زاده. پست الکترونیک: ahangar@uoz.ac.ir

www.SID.ir

Archive of SID

اسید هیومیک یک ترکیب پلیمری آلی طبیعی است که درنتیجه پوسیدگی مواد آلی خاک، پیت و لیگنین به وجود می‌آید و سبب افزایش عملکرد و کیفیت محصول می‌شود (Ghorbani et al., 2010). محققان (Biggs et al., 1989) نشان دادند که این ماده می‌تواند جوانه‌زنی دانه را در چندین گونه تحریک کند همچنین آنان دریافتند اسید هیومیک سبب افزایش جذب عناصری مانند N، Ca، Mg، P و K می‌شود (Biggs et al., 1989). تأثیر مثبت اسید هیومیک بر صفات رشدی لوبیا سبز، ازجمله تعداد برگ، تعداد شاخه فرعی، وزن تر و خشک بوته، ارتفاع بوته و غیره توسط ال باسیونی و همکاران (El-Bassiony et al., 2010) گزارش شده است.

کاربرد ۳۰۰ میلی‌گرم بر لیتر اسید هیومیک بر روی گیاه گوجه و چغندرقند سبب افزایش رشد آن‌ها شده است. کاربرد بیش‌ازحد اسید هیومیک کیفیت محصول را کاهش داده و گزارش شده است که استفاده بیش از ۱۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر موجب کاهش عملکرد شده است (Bakry et al., 2013). اسید هیومیکی که از لئوناردیت (لیگنیت شدیداً اکسیدشده) استخراج می‌شود اثری شبیه به هورمون‌های گیاهی ارائه می‌دهد (Saruhan et al., 2011). کاربرد اسید هیومیک در سیستم آبیاری تحت‌فشار در مزرعه موجب افزایش ۵٪ عملکرد و سطح ریشه سیب‌زمینی شد. همچنین مصرف اسید هیومیک در این مزارع موجب کاهش ۱۵-۵٪ کودهای نیتروژن و فسفر شده است (Nardi et al. 2002). رویکرد جوامع بین‌المللی به حفاظت از منابع طبیعی در راستای کاهش مصرف کودهای شیمیایی استفاده از کودهای زیستی ازجمله مواد آلی، بیوچار و لجن به‌عنوان منبع غنی از اسید هیومیک می‌تواند به‌عنوان ابزاری مفید و کارآمد در کشاورزی پایدار به شمار آید. علی‌رغم تحقیقات گسترده روی استخراج و استفاده از اسید هیومیک در تغذیه گیاهان، مقایسه اثر اسید هیومیک استخراجی از منابع مختلف بر عملکرد گیاه در خاک‌های آهکی کمتر موردتوجه قرار گرفته است. لذا هدف از انجام این بررسی، مقایسه تأثیر مصرف اسید هیومیک‌های استخراجی از منابع متفاوت بر عملکرد گیاه آفتابگردان رشد یافته در یک خاک آهکی است.

مواد و روش‌ها

این آزمایش، جهت بررسی و مقایسه مصرف محلول‌پاشی و خاکی اسید هیومیک استخراجی به روش پتاسیم هیدروکسید ۱ مولار از منابع متفاوت بر روی گیاه آفتابگردان رقم آذرگل، در سال زراعی ۹۳-۹۲ در گلخانه تحقیقاتی دانشگاه زابل، به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی و در سه تکرار انجام شد. تیمارهای آزمایش شامل دو روش مصرف خاکی و محلول‌پاشی و ۵ تیمار اسید هیومیک شامل اسید هیومیک استخراجی از بیوچار ۴۰۰ درجه (چوب درخت چنار) (B400)[1]، بیوچار ۲۰۰ درجه (چوب درخت چنار) (B200)[2]، لجن فاضلاب کارخانه‌ها چوب و کاغذ نیشابور (S)[3]، کود دامی گاوی (M)[4] و شاهد است که با غلظت ۰/۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم (میلی‌گرم بر لیتر) و در طی ۴ مرحله ۱۰، ۲۰، ۳۰ و ۴۵ روزه پس از جوانه‌زنی بذرها به دو روش محلول‌پاشی و خاکی مصرف شد. اسید هیومیک‌ها به روش کیو و همکاران (Qi et al., 2004) استخراج شدند. درصد اسید هیومیک، گروه‌های کربوکسیلی، اسیدیته کل، گروه‌های عاملی OH^- فنلی به روش تیتراسیون (Page, 1982) و نسبت‌های E4/E6 و E3/E5 به روش اسپکتروفتومتری (میزان جذب در طول‌موج‌های ۳۵۰، ۴۶۵، ۵۵۰ و ۶۶۵ نانومتر (Chen et al., 1977; Abbt Braun and Frimmel, 1999) نیز در اسید هیومیک‌های استخراجی اندازه‌گیری شد (شکل ۱، جداول ۲ و ۳). اسیدیته کل بر اساس اختلاف حجم مصرفی اسید برای نمونه شاهد و اسید هیومیک مصرفی بر اساس رابطه ذیل محاسبه می‌گردد:

$$At = 1{,}000(Vb - Vs)*Na/P \qquad [۱]$$

که در آن At اسیدیته کل (میلی‌مول بر گرم)، Vb و Vs به ترتیب حجم اسید مصرفی (میلی‌لیتر) برای نمونه شاهد و اسید هیومیک، Na نرمالیته اسید مصرفی (مول بر لیتر) و P وزن نمونه اسید هیومیک (میلی‌گرم) است.

خاک مورداستفاده در این بررسی از مزرعه تحقیقاتی دانشگاه از عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری سطح خاک تهیه شد و پس از هوا خشک نمودن و عبور از الک ۲ میلی‌متری، جهت اندازه‌گیری خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک به آزمایشگاه منتقل شد. بافت به روش هیدرومتری (Bouyoucos, 1997)، پ‌هاش در گل اشباع به‌وسیله پ-هاش‌متر (U.S. Salinity Laboratory Staff, 1954)،

[1]. Biochar 400 C
[2]. Biochar 200 C
[3]. Sludge
[4]. Manure

www.SID.ir

Archive of SID

قابلیت هدایت الکتریکی با هدایت سنج الکتریکی (Rhoades, 1982)، ظرفیت تبادل کاتیونی به روش باور (Bower et al., 1952)، کربنات کلسیم معادل به روش تیتراسیون (U.S. Salinity Laboratory Staff, 1954)، ماده آلی به روش ترسوزانی (Walkley and Black, 1934)، فسفر قابل‌استفاده به روش اولسن (Olsen et al., 1954) و پتاسیم عصاره‌گیری شده با استات آمونیوم (Helmke and Sparks, 1996) توسط دستگاه فلیم‌فتومتر تعیین شد (جدول ۱).

جدول ۱. برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد آزمایش

Table 1. Some physico-chemical properties of the studied soil

کلاس بافت Texture class	شن Sand	سیلت Silt	رس Clay	ماده آلی OM	کربنات کلسیم معادل CCE	pH	هدایت الکتریکی EC	ظرفیت تبادل کاتیونی CEC	فسفر P	پتاسیم K
	----------(%)----------						$dS.m^{-1}$	$cmol^{+}.kg^{-1}$	---$mg.kg^{-1}$---	
لومی رسی Clay loamy	24	34	42	0.5	20	8.09	2.68	10.40	10.2	64

خاک‌های جمع‌آوری‌شده را هواخشک نموده، سپس جهت کشت بذرها از گلدان‌های ۳ کیلوگرمی استفاده گردید. قبل از کشت بذرها، بر اساس آزمون خاک عناصر موردنیاز به خاک گلدان‌ها افزوده شد. در هر گلدان پنج عدد بذر کشت شد و تا رسیدن به حد رطوبت ظرفیت زراعی و به روش وزنی آبیاری شدند. بعد از جوانه‌زنی و استقرار کامل گیاهچه‌ها، تعداد آن‌ها به دو عدد در هر گلدان تنک شد. آبیاری گلدان‌ها در طول دوره رشد با آب مقطر و به‌صورت وزنی (مقدار آب موردنیاز، معادل با کاهش وزن گلدان‌ها از حد رطوبت در حالت ظرفیت زراعی در نظر گرفته شد) انجام گرفت. پارامترهای رشد ازجمله تعداد برگ در بوته، ارتفاع بوته، وزن تر، خشک و خاکستر اندام هوایی، غلظت عناصر پرمصرف فسفر و پتاسیم و میزان کلروفیل‌های برگ شامل کلروفیل‌های a، b، کل و کارتنوئید اندازه‌گیری شد. دو ماه بعد از کشت، اندام‌های هوایی پس از قطع شدن از سطح خاک و توزین وزن تر اندام هوایی، با آب مقطر کاملاً شسته شده و سپس درون پاکت‌های کاغذی تمیز قرار گرفته و در آون به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۶۵ درجه سلسیوس، خشک و وزن خشک اندام هوایی نیز اندازه‌گیری شد. سپس نمونه‌ها جهت انجام تجزیه گیاه، آسیاب شدند و عصاره گیاهی به روش خاکسترسازی خشک آماده شد (Cottenie, 1980). غلظت عناصر پرمصرف فسفر و پتاسیم نیز اندازه‌گیری شد (Chapman and Pratt, 1961; Waling et al., 1989). تعداد برگ‌ها نیز قبل از برداشت گیاه شمارش شدند. ارتفاع بوته از محل طوقه تا نوک آخرین برگ، برحسب سانتی‌متر اندازه‌گیری شد. مقدار محتوای کلروفیل گیاه نیز بر اساس روش آرنون (Arnon, 1949) تعیین شد. تجزیه آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS و مقایسه میانگین‌ها توسط آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵٪ انجام شد.

نتایج و بحث

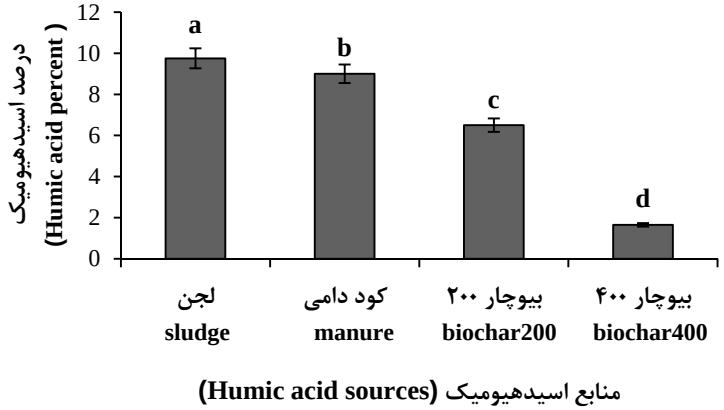
ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی اسید هیومیک‌های استخراجی

بر اساس نتایج نشان داده‌شده در شکل ۱، بیشترین میزان درصد اسید هیومیک استخراجی در منبع لجن دیده شد که نسبت به سایر منابع بیشترین درصد اسید هیومیک استخراجی را داشت. کمترین میزان درصد اسید هیومیک استخراجی نیز در منبع بیوچار تولیدشده در دمای ۴۰۰ درجه مشاهده گردید (شکل ۱). سن و کینگ‌من (Senn and Kingman, 1973) نشان داد که محتوای اسید هیومیک در لئوناردیت، کمپوست پسماند گیاهی، پیت، لگنیت و کود گاوی به ترتیب ۲۵-۹٪، ۲۵-۵٪، ۱۵-۵٪، ۳-۱٪، ۵-۲٪ است. اسید هیومیک شامل گروه‌های عاملی اسیدیته کل، گروه‌های کربوکسیل و گروه‌های فنول است که در جدول ۲ آورده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود اسید هیومیک استخراج‌شده از کود دامی بیشترین مقدار گروه‌های فنول را داراست و کمترین مقدار مربوط به اسید هیومیک استخراج‌شده از لجن است (جدول ۲). بیشترین و کمترین مقدار گروه‌های کربوکسیل به ترتیب مربوط به اسید هیومیک

www.SID.ir

Archive of SID

استخراج‌شده از کود دامی و اسید هیومیک استخراج‌شده از بیوچار ۴۰۰ درجه است (جدول ۲). اسید هیومیک استخراجی از کود دامی و اسید هیومیک استخراجی از لجن به ترتیب بیشترین و کمترین مقدار اسیدیته کل را به خود اختصاص می‌دهند (جدول ۲). در تحقیقی که همتی و همکاران (Hemati et al., 2012) انجام دادند گزارش کردند که در بین گروه‌های عاملی اسیدی (اسیدیته کل، گروه‌های کربوکسیل و فنل) اسید هیومیک استخراجی از اوره، مقدار گروه OH-فنلی بالا است.



شکل ۱. میزان درصد اسید هیومیک استخراجی در منابع متفاوت

Fig. 1. The percentage of extracted humic acid from various sources

جدول ۲. گروه‌های عاملی اندازه‌گیری شده از اسید هیومیک استخراجی منابع مختلف ($mmol.g^{-1}$)

Table 2. Measured functional groups from different acid humic sources ($mmol.g^{-1}$)

Humic acid type	نوع اسید هیومیک	لجن* Sludge*	کود دامی** Manure**	بیوچار ۲۰۰ *** Biochar 200***	بیوچار ۴۰۰ *** Biochar 400***
Phenol groups	**گروه‌های فنولی**	2.9	9.8	5.6	8.68
COOH groups	**گروه‌های کربوکسیل**	1.3	1.8	1.1	0.32
Total acidity	**اسیدیته کل**	4.2	11.6	6.7	9.00

*فاضلاب کارخانه‌های صنایع چوب و کاغذ، ** گاوی، *** چوب درخت چنار.

*Waste wood and paper industry, **Cow manure, ***Wood Plane tree.

بر اساس نتایج حاصل از نسبت‌های اسپکتوفتومتری که در جدول ۳ آورده شده است، مشاهده می‌شود بزرگ‌ترین اندازه مولکولی اسید هیومیک (E3/E5) مربوط به اسید هیومیک استخراجی از بیوچار ۴۰۰ درجه است. کوچک‌ترین اندازه مولکولی اسید هیومیک (E3/E5) در تیمار اسید هیومیک استخراجی از بیوچار ۲۰۰ درجه مشاهده شد (جدول ۳). ازلحاظ تراکم ترکیبات آروماتیکی (E4/E6) بیشترین و کمترین تراکم ترکیبات آروماتیکی به ترتیب مربوط به اسید هیومیک استخراجی از بیوچار ۲۰۰ درجه (۳/۷۰) و اسید هیومیک استخراجی از بیوچار ۴۰۰ درجه (۴/۸۹) است (جدول ۳). یکی از بررسی‌های طیف‌سنجی مواد هیومیک برآورد نسبت E4/E6 است. این رابطه که نسبت دانسیته نوری در طول‌موج ۴۶۵ نانومتر به ۶۶۵ نانومتر است بیانگر درجه تراکم ترکیبات آلیفاتیکی و آروماتیکی مواد هیومیک است (Martı´nez et al., 1998). افزایش E4/E6 درجه تراکم کم ترکیبات آروماتیکی را نشان می‌دهد و برعکس کاهش آن دلالت بر تراکم زیاد حلقه‌های آروماتیکی در مولکول اسید هیومیک و اسیدفولیک دارد. این نسبت با تغییر pH، وزن مولکولی و ویسکوزیته ترکیبات هیومیک تغییر می‌کند و در اسید هیومیک ۵-۳ و در اسیدفولویک ۸-

www.SID.ir

Archive of SID

۶ است (Chen et al.,1977; Campitelli et al., 2006). نسبت طول‌موج جذبی در طیف بین ۳۵۰ و ۵۵۰ نانومتر، نسبت E3/E5 را که تعیین‌کننده اندازه مولکولی مواد هیومیک است نشان می‌دهد و با افزایش این نسبت، اندازه مولکولی اسید هیومیک کاهش می‌یابد (Lguiratia et al., 2005; Helal et al., 2011). در تحقیقی دیگر نیز، نسبت‌های E3/E5 و E4/E6 میزان جذب بیشتری را در اسید هیومیک استخراجی از اوره نشان دادند (Hemati et al., 2012).

جدول ۳. نتایج نسبت‌های جذب در طول‌موج‌های مختلف توسط منابع مختلف اسید هیومیک

Table 3. Results of absorption ratios at different Wavelengths by different humic acid sources

Humic acid type نوع اسید هیومیک		A350 (E3)	A465 (E4)	A550 (E5)	A665 (E6)	A350/A550 (E3/E5)	A465/A665 (E4/E6)
Sludge	لجن	1.46	0.365	0.155	0.078	7.86	4.67
Manure	کود دامی	0.92	0.252	0.117	0.058	7.86	4.34
Biochar 200	بیوچار ۲۰۰	2.8	0.319	0.48	0.086	5.76	3.70
Biochar 400	بیوچار ۴۰۰	1.86	0.401	0.21	0.082	8.81	4.89

ویژگی‌های گیاه

بر اساس نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها، اثرات ساده منابع متفاوت اسید هیومیک و اثرات متقابل آن‌ها بر ویژگی‌های مورفولوژیکی گیاه آفتابگردان شامل تعداد برگ، طول ساقه، وزن تر و خشک و وزن خاکستر دارای تفاوت معنی‌دار بود (جدول ۴). همچنین اثرات ساده نحوه مصرف نیز، تفاوت معنی‌داری بر ویژگی‌های مورفولوژیکی گیاه نشان داد (جدول ۴). مقایسه میانگین اثر ساده نحوه مصرف (جدول ۵) نشان می‌دهد که مصرف خاکی تیمارهای اسید هیومیک اثر معنی‌داری بر طول ساقه، وزن خشک و وزن خاکستر داشته است که نسبت به مصرف محلول‌پاشی مؤثرتر واقع شده است. درحالی‌که مصرف محلول‌پاشی منابع اسید هیومیک نیز بر پارامتر تعداد برگ نسبت به مصرف خاکی مؤثرتر ارزیابی شد (جدول ۵). زمانی که تیمارهای هیومیکی به خاک اعمال می‌شوند، اسیدهای هیومیک، مواد آلی لازم برای نگهداری آب را به خاک اضافه می‌کنند بنابراین بدین‌صورت منجر به رشد ریشه‌ها می‌شوند (Khaled and Fawy, 2011).

جدول ۴. نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثرات نحوه مصرف اسید هیومیک استخراجی از منابع متفاوت بر پارامترهای گیاه

Table 4. Analysis of variance (Mean Squre) of application forms of humic acid extracted from different sources on plant parameters

S.O.V منابع تغییرات	dF درجه آزادی	number Leaf تعداد برگ در بوته	Height طول ساقه	Fresh weight وزن تر	Dry weight وزن خشک	Ash weight وزن خاکستر
Humic acid (HA) اسید هیومیک	4	105.7166*	122.0309*	29.6962*	4.4655*	0.0364*
Application form (AF) نحوه مصرف	11	2.7000*	7.4500*	0.1657ns	0.7905*	0.0598*
AF×HAT اسید هیومیک×نحوه مصرف	4	11.7833*	10.8009*	9.9424*	0.4268*	0.0141*
Error خطا	20	0.5333	0.3437	0.1883	0.0191	0.0001
CV% ضریب تغییرات		*3.0727*	*2.2723*	*3.3158*	*4.8187*	*5.7251*

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۴. ادامه

Table 4. Continued

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی dF	کلروفیل a Chl. a	کلروفیل b Chl. b	کلروفیل کل Total chl.	کارتنوئید Carotenoid	فسفر P	پتاسیم K
اسید هیومیک Humic acid (AH)	4	19.456*	10.982*	19.171*	5.374*	0.0035*	49.31*
نحوه مصرف Application form (AF)	11	8.889*	6.147*	42.198*	6.552*	0.0001*	6.01*
اسید هیومیک×نحوه مصرف AF×HA	4	14.375*	3.524*	12.402*	0.725*	0.0001*	4.33*
خطا E rror	20	0.143	0.070	0.134	0.063	0.0000	0.16
ضریب تغییرات CV%		*3.07*	*5.84*	*2.27*	*4.43*	*6.53*	*1.69*

*، ** به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد و ns غیرمعنی‌دار

* and ** denoted significance at the 5 and 1% level; ns is not significant

جدول ۵. مقایسه میانگین نحوه مصرف اسید هیومیک بر پارامترهای مورفولوژیکی گیاه

Table 5. Comparison of the mean of humic acid application forms on morphological parameters of plant

نحوه مصرف Application form	تعداد برگ در بوته Leaf number	طول ساقه Height (cm)	وزن خشک Dry weight ($g.pot^{-1}$)	وزن خاکستر Ash weight ($g.pot^{-1}$)
محلول‌پاشی Foliar	24.00[a]	25.30[b]	2.71[b]	0.13[b]
مصرف خاکی Soil application	23.00[b]	26.30[a]	3.03[a]	0.21[a]

میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون با استفاده از آزمون دانکن در سطح ۵ درصد دارای تفاوت معنی‌دار نیستند.

Means with the same letters in each column are not significantly different by used Duncan test at level 5%

با توجه به نتایج مقایسه میانگین اثرات ساده اسید هیومیک استخراجی از منابع متفاوت بر پارامترهای مورفولوژیکی گیاه، بیشترین تعداد برگ در بوته (۲۷/۰۰ عدد)، وزن تر (۱۵/۲۷ گرم در گلدان) و وزن خشک (۳/۸۵ گرم در گلدان) در تیمار اسید هیومیک استخراجی از بیوچار ۲۰۰ درجه مشاهده شد که به‌طور معنی‌داری نسبت به شاهد به ترتیب به میزان ۵۹ و ۶۰/۲۳ درصد و ۱/۲۱ برابر بیشتر است (جدول ۶). همچنین بیشترین طول ساقه (۳۰/۶۱ سانتی‌متر) و وزن خاکستر (۰/۲۶ گرم در گلدان) نیز نسبت به شاهد به ترتیب در تیمارهای اسید هیومیک استخراجی از لجن و کود دامی به دست آمد که به ترتیب ۶۳ درصد و ۱/۸۸ برابر افزایش معنی‌داری یافته بودند (جدول ۶). کمترین تعداد برگ در بوته، طول ساقه، وزن تر و خشک و وزن خاکستر در تیمار شاهد مشاهده شد (جدول ۶).

افزایش عملکرد بیولوژیکی با مصرف اسید هیومیک را می‌توان به تحریک رشد گیاه از طریق سوخت‌وساز عناصر کم‌مصرف و پرمصرف، فعال‌سازی آنزیم‌ها و تغییر در نفوذپذیری غشا، سنتز پروتئین‌ها دانست که مجموع این عوامل سبب افزایش بیومس گیاه می‌شود (Ulukan, 2008). افزایش عملکرد بیولوژیکی در نخود به‌موازات افزایش مصرف اسید هیومیک توسط ال قمری و غنیم (El-Ghamry and Ghoneem, 2009) نیز گزارش شده است. آرانکون و همکاران (Arancon et al., 2004) اظهار داشتند که با کاربرد کودهای آلی ساختمان خاک بهبود یافته و موجب تهویه مناسب و گسترش بهتر ریشه در خاک و افزایش رشد رویشی و زایشی گیاه می‌شود که تائید کننده نتایج به‌دست‌آمده از این تحقیق است. مقایسه میانگین اثرات متقابل داده‌های حاصل از آزمایش (جدول ۷) نشان داد بیشترین تعداد برگ (۲۸/۰۰ عدد) و وزن خشک (۳/۹۶ گرم

www.SID.ir

Archive of SID

در گلدان) در تیمار محلول‌پاشی اسید هیومیک استخراجی از بیوچار ۲۰۰ درجه مشاهده شد که نسبت به شاهد به ترتیب با ۶۱ درصد و ۱/۴ برابر افزایش همراه بودند که اختلاف معنی‌داری با مصرف خاکی تیمار اسید هیومیک استخراجی از لجن ندارند اما نسبت به سایر تیمارهای اسید هیومیک افزایش معنی‌داری یافته‌اند. کمترین تعداد برگ و وزن خشک در تیمار شاهد در هر دو نحوه مصرف مشاهده شد (جدول ۷).

جدول ۶. مقایسه میانگین اسید هیومیک استخراجی از منابع متفاوت بر پارامترهای مورفولوژیکی گیاه

Table 6. Comparison of the mean of humic acid extracted from different sources on morphological parameters of plant

نوع اسید هیومیک Humic acid type		تعداد برگ در بوته Leaf number	طول ساقه Height (cm)	وزن تر Fresh weight ($g.pot^{-1}$)	وزن خشک Dry weight ($g.pot^{-1}$)	وزن خاکستر Ash weight ($g.pot^{-1}$)
Control	شاهد	17.00^{d}	18.80^{d}	9.53^{d}	1.74^{e}	0.09^{e}
Sludg	لجن	27.00^{a}	30.61^{a}	14.63^{b}	3.41^{b}	0.11^{d}
Manure	کود دامی	22.00^{c}	24.28^{c}	12.94^{c}	2.24^{d}	0.26^{a}
Biochar 200	بیوچار ۲۰۰	27.00^{a}	27.40^{b}	15.27^{a}	3.85^{a}	0.24^{b}
Biochar 400	بیوچار ۴۰۰	25.00^{b}	27.90^{b}	13.05^{c}	3.11^{c}	0.16^{c}

میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون با استفاده از آزمون دانکن در سطح ۵ درصد دارای تفاوت معنی‌دار نیستند.

Means with the same letters in each column are not significantly different by used Duncan test at level 5%

جدول ۷. مقایسه میانگین اثرات متقابل نحوه مصرف و اسید هیومیک استخراجی از منابع متفاوت بر پارامترهای مورفولوژیکی گیاه

Table 7. Comparison of the mean effects of interactions between application forms and humic acid extracted from different sources on morphological parameters of plant

نحوه مصرف Application form	اسید هیومیک Humic acid	تعداد برگ در بوته Leaf number	طول ساقه Height (cm)	وزن تر Fresh weight ($g.pot^{-1}$)	وزن خشک Dry weight ($g.pot^{-1}$)	وزن خاکستر Ash weight ($g.pot^{-1}$)
محلول‌پاشی Foliar	شاهد Control	17.00^{e}	17.78^{f}	9.76^{g}	1.65^{e}	0.09^{g}
	لجن Sludge	25.00^{b}	29.91^{b}	14.10^{cd}	2.91^{c}	0.10^{fg}
	کود دامی Manure	22.00^{d}	24.20^{d}	12.47^{e}	2.28^{d}	0.15^{d}
	بیوچار ۲۰۰ Biochar 200	28.00^{a}	25.23^{d}	14.19^{c}	3.96^{a}	0.17^{c}
	بیوچار ۴۰۰ Biochar 400	28.00^{a}	29.38^{b}	15.28^{b}	2.74^{c}	0.12^{e}
مصرف خاکی Soil application	شاهد Control	17.00^{e}	19.83^{e}	9.31^{g}	1.84^{e}	0.09^{g}
	لجن Sludge	28.00^{a}	31.31^{a}	15.16^{b}	3.92^{a}	0.11^{ef}
	کود دامی Manure	22.00^{cd}	24.36^{d}	13.41^{d}	2.20^{d}	0.38^{a}
	بیوچار ۲۰۰ Biochar 200	27.00^{a}	29.56^{b}	16.35^{a}	3.73^{a}	0.30^{b}
	بیوچار ۴۰۰ Biochar 400	23.00^{c}	26.41^{c}	10.83^{f}	3.48^{b}	0.19^{c}

میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون با استفاده از آزمون دانکن در سطح ۵ درصد دارای تفاوت معنی‌دار نیستند.

Means with the same letters in each column are not significantly different by used Duncan test at level 5%

www.SID.ir

Archive of SID

با توجه به نتایج مقایسه میانگین اثرات متقابل در مصرف محلول‌پاشی تیمارهای اسید هیومیک در تعداد برگ گیاه، تیمار اسید هیومیک استخراجی از بیوچار ۲۰۰ درجه نسبت به بیوچار ۴۰۰ درجه تفاوت معنی‌داری ندارد اما نسبت به سایر تیمارها و شاهد دارای تفاوت معنی‌داری است (جدول ۷). اسید هیومیک استخراجی از لجن نسبت به سایر انواع اسید هیومیک‌ها موجب افزایش معنی‌داری در طول ساقه گیاه شده است. وزن تر گیاه با کاربرد محلول‌پاشی اسید هیومیک استخراجی از بیوچار ۴۰۰ درجه نسبت به سایر تیمارهای اسید هیومیک افزایش بیشتری داشت. همچنین وزن خشک گیاه نیز با کاربرد محلول‌پاشی اسید هیومیک استخراجی از بیوچار ۲۰۰ درجه نسبت به سایر تیمارها بیشترین افزایش را داشته‌اند. محلول‌پاشی اسید هیومیک استخراجی از بیوچار ۲۰۰ درجه نسبت به سایر تیمارها موجب افزایش وزن خاکستر گیاه گردید (جدول ۷). درحالی‌که در مصرف خاکی تیمارهای اسید هیومیک، اسید هیومیک استخراجی از لجن نسبت به سایر تیمارها بر روی تعداد برگ، طول ساقه و وزن خشک گیاه تأثیر مثبتی داشت و اسید هیومیک‌های استخراجی از بیوچار ۲۰۰ درجه و کود دامی نیز نسبت به سایر تیمارها به ترتیب بر روی وزن تر و وزن خاکستر گیاه تأثیر مثبتی داشتند (جدول ۷). خالد و فاووی (Khaled and Fawy, 2011) گزارش کردند که بیشترین وزن خشک گیاه ذرت با کاربرد محلول‌پاشی، مقدار ۰/۱ درصد اسید هیومیک لیلی‌هومات به دست آمده است. همچنین عطیه و همکاران (Atiyeh et al., 2002) یکی از مکانیسم‌های اثر اسید هیومیک بر تسریع رشد گیاهان را به تأثیر مستقیم این ترکیب‌ها و وجود ترکیب‌های شبه هورمونی، ازجمله ترکیب‌های اکسینی و شبه اکسینی مربوط دانستند که می‌توانند رشد سلول‌ها را تحت تأثیر قرار دهند. سبزواری و همکاران (Sabzevari et al., 2010) بیان کردند که اسید هیومیک از طریق افزایش جذب آب و مواد غذایی، افزایش فراهمی عناصر، تقویت و توسعه سیستم ریشه‌ای گیاه و افزایش محتوای کلروفیل و نیز تغییر فعالیت آنزیم‌ها در درون گیاه، سبب رشد رویشی گیاه ازجمله افزایش وزن تر و خشک برگ می‌شود.

بیشترین طول ساقه (۳۱/۳۱ سانتی‌متر) بر اساس نتایج مقایسه میانگین (جدول ۷) در تیمار اسید هیومیک استخراجی از لجن به‌صورت مصرف خاکی مشاهده شد که نسبت به شاهد ۵۸ درصد افزایش معنی‌داری یافته است. همچنین بعدازآن بیشترین طول ساقه در مصرف محلول‌پاشی همین تیمار مشاهده شد. بیشترین وزن تر و خاکستر نیز به ترتیب در مصرف خاکی تیمارهای اسید هیومیک استخراجی از بیوچار ۲۰۰ درجه و کود دامی مشاهده شد که نسبت به شاهد به ترتیب ۷۵ درصد و ۳/۲۲ برابر افزایش معنی‌داری یافته است (جدول ۷). با توجه به نتایج (جداول ۵ و ۷) مشاهده می‌شود که مصرف خاکی تیمارهای اسید هیومیک نسبت به مصرف محلول‌پاشی اثر مثبت‌تری داشته‌اند. کمترین میزان طول ساقه و وزن تر و خاکستر در تیمار شاهد به دست آمد (جدول ۷). در پژوهشی که تحت تنش شوری انجام شد، وزن تر اندام هوایی با کاربرد اسید هیومیک نسبت به شاهد افزایش یافت (Aboutalebi Jahromi and Hassanzadeh Khankahdani, 2016).

بر اساس نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها، اثرات ساده منابع متفاوت اسید هیومیک و نحوه مصرف، همچنین اثرات متقابل نحوه مصرف و منابع متفاوت اسید هیومیک بر میزان کلروفیل‌های a، b، کل و کارتنوئید گیاه در سطح احتمال ۵ درصد دارای تفاوت معنی‌دار بود (جدول ۴). اثرات ساده منابع متفاوت اسید هیومیک و نحوه مصرف و اثرات متقابل آن‌ها بر میزان غلظت عناصر P و K گیاه در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی‌دار داشت (جدول ۴).

با توجه به نتایج مقایسه میانگین اثرات ساده اسید هیومیک استخراجی از منابع متفاوت تیمارهای اسید هیومیک بر میزان کلروفیل‌های a، b، کل و کارتنوئید گیاه، بیشترین میزان کلروفیل a (۱۴/۰۲ میلی‌گرم بر گرم) در تیمار اسید هیومیک استخراجی از لجن مشاهده شد که نسبت به شاهد (۹/۵۵ میلی‌گرم بر گرم) ۴۷ درصد افزایش معنی‌داری نشان داد (جدول ۸). همچنین بیشترین میزان کلروفیل‌های b (۶/۱۰ میلی‌گرم بر گرم)، کل (۱۷/۵۵ میلی‌گرم بر گرم) و کارتنوئید (۶/۵۹ میلی‌گرم بر گرم) نیز نسبت به شاهد (به ترتیب ۲/۸۶، ۱۳/۰۱ و ۴/۰۷ میلی‌گرم بر گرم) در تیمار اسید هیومیک استخراجی از بیوچار ۲۰۰ درجه به ترتیب با ۱/۱۳ برابر، ۳۵ و ۶۲ درصد افزایش به دست آمد (جدول ۸). با توجه به نتایج مقایسه میانگین، کمترین میزان کلروفیل‌های a، b، کل و کارتنوئید در تیمار شاهد مشاهده شد (جدول ۸). بر اساس نتایج حیدری و خلیلی (Heidari and Khalili, 2014) و یانگ و همکاران (Yang et al., 2004) اسید هیومیک سبب افزایش کلروفیل b شد که با نتایج این پژوهش هم‌خوانی دارد. داوودی فرد و همکاران (Davoodi Fard et al., 2012) بیان

www.SID.ir

Archive of SID

کردند که اسید هیومیک با قرار دادن آب و مواد غذایی بیشتر و مناسب‌تر در اختیار گیاه توانسته است میزان ساخت رنگیزه-ها را افزایش داده و انتقال مواد فتوسنتزی را در گیاه راحت‌تر کند. در سایر مطالعات نیز بیان‌شده که اسید هیومیک به‌طور معنی‌داری سرعت فتوسنتز، توسعه ریشه و محتوای مواد غذایی در گیاهان را افزایش می‌دهد، ازاین‌رو اسید هیومیک می‌تواند در بهبود سنتز کلروفیل در گیاه مؤثر باشد (Liu et al., 1996). با توجه به نتایج مقایسه میانگین اثرات ساده اسید هیومیک، بیشترین غلظت فسفر (۰/۰۹ میکروگرم بر گرم) در تیمار اسید هیومیک استخراجی از لجن مشاهده شد که نسبت به شاهد (۰/۰۴ میکروگرم بر گرم) ۱/۲۵ برابر افزایش معنی‌داری نشان داد (جدول ۸). همچنین بعدازآن بیشترین میزان فسفر در تیمار اسید هیومیک استخراجی از بیوچار ۴۰۰ درجه نسبت به شاهد به دست آمد. این اختلاف در بین تمامی تیمارهای اسید هیومیک استخراجی مشاهده شد (جدول ۸). بیشترین غلظت پتاسیم (۲۶/۷۵ میکروگرم بر گرم) نیز نسبت به شاهد (۱۹/۶۶ میکروگرم بر گرم) در تیمار اسید هیومیک استخراجی از بیوچار ۲۰۰ درجه به دست آمد که با ۳۶ درصد افزایش همراه بود (جدول ۸). با توجه به نتایج مقایسه میانگین، کمترین غلظت فسفر و پتاسیم در تیمار شاهد مشاهده شد (جدول ۸).

جدول ۸. مقایسه میانگین اسید هیومیک استخراجی از منابع متفاوت بر سبزینگی و غلظت پتاسیم و فسفر اندام هوایی گیاه

Table 8. Comparison of the mean of humic acid extracted from different sources on chlorophylls and K and P concentration in

نوع اسید هیومیک Humic acid type		کلروفیل a Chl. a	کلروفیل b Chl. b	کلروفیل کل Total chl.	کارتنوئید Carotenoid	فسفر P	پتاسیم K
		mg.g^{-1} fresh weight				µg.g^{-1}	
Control	شاهد	9.55^{d}	2.86^{d}	13.01^{d}	4.07^{c}	0.04^{d}	19.66^{d}
Sludge	لجن	14.02^{a}	3.86^{c}	16.42^{c}	5.74^{b}	0.09^{a}	22.98^{c}
Manure	کود دامی	13.41^{b}	4.12^{c}	16.55^{c}	5.97^{b}	0.07^{b}	24.45^{b}
Biochar 200	بیوچار ۲۰۰	13.01^{b}	6.10^{a}	17.55^{a}	6.59^{a}	0.05^{c}	26.75^{a}
Biochar 400	بیوچار ۴۰۰	11.45^{c}	5.73^{b}	17.01^{b}	5.96^{b}	0.09^{a}	26.28^{a}

میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون با استفاده از آزمون دانکن در سطح ۵ درصد دارای تفاوت معنی‌دار نیستند.

Means with the same letters in each column are not significantly different by used Duncan test at level 5%

در پژوهشی دیگر محققین (Aboutalebi Jahromi and Hassanzadeh Khankahdani, 2016) بیان داشتند که رابطه مثبت و معنی‌داری بین غلظت اسید هیومیک و مقدار پتاسیم اندام هوایی وجود دارد. آنان همچنین بیان داشتند که مقدار پتاسیم اندام هوایی به‌طور معنی‌داری با افزایش غلظت اسید هیومیک افزایش می‌یابد (Aboutalebi Jahromi and Hassanzadeh Khankahdani, 2016). خالد و فاوی (Khaled and Fawy, 2011) گزارش کردند که محلول‌پاشی اسید هیومیک ۰/۱ درصد می‌تواند مقدار پتاسیم را در گیاهانی که در معرض ۶۰ میلی مولار کلرید سدیم هستند نسبت به شاهد و تیمار ۰/۲ درصد اسید هیومیک افزایش دهد. در طول چند سال گذشته اسید هیومیک یا کودهای زیستی توسط محققین زیادی به‌عنوان تعدیل‌کننده رشد گیاه جهت افزایش جذب عناصر غذایی و درنتیجه بهبود رشد گیاه توصیه می‌شدند (El-Monem et al., 2008).

بر اساس نتایج مقایسه میانگین، اثرات ساده نحوه مصرف نشان می‌دهند که مصرف محلول‌پاشی تیمارهای اسید هیومیک تأثیر معنی‌داری بر افزایش سبزینگی و غلظت پتاسیم گیاه داشته‌اند، درحالی‌که مصرف خاکی این منابع بر میزان غلظت فسفر گیاه مؤثرتر واقع‌شده‌اند (جدول ۹). کاربرد محلول‌پاشی اسید هیومیک جذب پتاسیم را می‌تواند افزایش دهد (Khaled and Fawy, 2011). افزایش مقدار پتاسیم در کاربرد غلظت‌های زیاد اسید هیومیک در گیاهان ارزن

www.SID.ir

Archive of SID

(Daur, 2014) و ذرت (Daur and Bakhashwain, 2013) نیز توسط محققین گزارش شده است.

مقایسه میانگین اثرات متقابل داده‌های حاصل از آزمایش (جدول ۱۰) نشان می‌دهد که بیشترین میزان کلروفیل‌های a (۱۵/۶۷ میلی‌گرم بر گرم) و کل (۲۰/۲۵ میلی‌گرم بر گرم) نسبت به شاهد، در تیمار اسید هیومیک استخراجی از بیوچار ۲۰۰ درجه و به‌صورت محلول‌پاشی مشاهده شد که در آن میزان کلروفیل a، با مصرف خاکی تیمار اسید هیومیک استخراجی از لجن اختلاف معنی‌داری ندارد اما نسبت به سایر تیمارهای اسید هیومیک و در هر دو روش مصرف، افزایش معنی‌داری یافته است.

با توجه به نتایج اثرات متقابل داده‌ها (جدول ۱۰)، بیشترین میزان کلروفیل‌های b (۷/۴۰ میلی‌گرم بر گرم) و کارتنوئید (۶/۸۵ میلی‌گرم بر گرم) در محلول‌پاشی تیمار اسید هیومیک استخراجی از بیوچار ۴۰۰ درجه نسبت به شاهد به ترتیب با ۱/۵ برابر و ۵۰ درصد افزایش مشاهده شد (جدول ۱۰). کمترین میزان کلروفیل‌های a، b، کل و کارتنوئید نیز در تیمار شاهد مشاهده شد (جدول ۱۰).

جدول ۹. مقایسه میانگین نحوه مصرف اسید هیومیک بر سبزینگی و غلظت پتاسیم و فسفر اندام هوایی گیاه

Table 9. Comparison of the mean of humic acid application on chlorophylls and K and P concentration in shoots

Application form	نحوه مصرف	کلروفیل a Chl.a	کلروفیل b Chl. b	کلروفیل کل Total chl.	کارتنوئید Carotenoid	فسفر P	پتاسیم K
		----------mg.g^{-1} fresh weight----------				--------µg.g^{-1}---------	
Foliar	محلول‌پاشی	12.83^{a}	4.99^{a}	17.29^{a}	6.13^{a}	0.072^{b}	24.47^{a}
Soil application	مصرف خاکی	11.74^{b}	4.08^{b}	14.92^{b}	5.20^{b}	0.076^{a}	23.58^{b}

میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون با استفاده از آزمون دانکن در سطح ۵ درصد دارای تفاوت معنی‌دار نیستند.

Means with the same letters in each column are not significantly different by used Duncan test at level 5%

جدول ۱۰. مقایسه میانگین اثرات متقابل نحوه مصرف و اسید هیومیک استخراجی از منابع متفاوت بر سبزینگی اندام هوایی گیاه

Table 10. Comparison of the mean effects of interactions between application forms and humic acid extracted from different sources on chlorophylls in shoots

نحوه مصرف Application form	نوع اسید هیومیک Humic acid type		کلروفیل a Chl. a	کلروفیل b Chl. b	کلروفیل کل Total chl.	کارتنوئید Carotenoid
			----------mg.g^{-1} fresh weight----------			
محلول‌پاشی Foliar	Control	شاهد	9.64^{e}	2.93^{g}	12.37^{h}	4.57^{f}
	Sludge	لجن	12.60^{c}	4.19^{de}	17.46^{c}	6.44^{abc}
	Manure	کود دامی	13.39^{b}	3.73^{ef}	16.84^{cd}	6.01^{cd}
	Biochar 200	بیوچار ۲۰۰	15.67^{a}	6.69^{b}	20.25^{a}	6.81^{ab}
	Biochar 400	بیوچار ۴۰۰	12.86^{bc}	7.40^{a}	19.55^{b}	6.85^{a}
مصرف خاکی Soil application	Control	شاهد	9.46^{e}	2.78^{g}	13.66^{g}	3.57^{g}
	Sludge	لجن	15.43^{a}	3.54^{f}	15.37^{e}	5.05^{e}
	Manure	کود دامی	13.43^{b}	4.51^{d}	16.25^{d}	5.94^{d}
	Biochar 200	بیوچار ۲۰۰	10.35^{d}	5.51^{c}	14.86^{ef}	6.37^{bcd}
	Biochar 400	بیوچار ۴۰۰	10.05^{de}	4.07^{de}	14.47^{f}	5.07^{e}

میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون با استفاده از آزمون دانکن در سطح ۵ درصد دارای تفاوت معنی‌دار نیستند.

Means with the same letters in each column are not significantly different by used Duncan test at level 5%

www.SID.ir

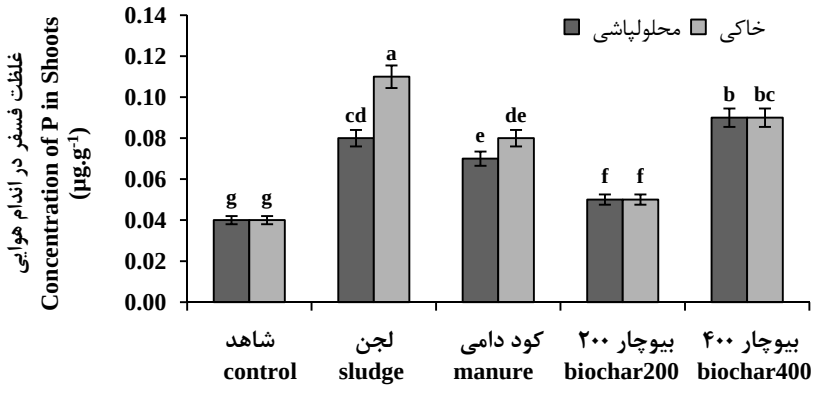
Archive of SID

در پژوهشی که احمدی و همکاران (Ahmadi et al., 2017) انجام دادند نشان دادند که اسید هیومیک تأثیر معنی‌داری بر میزان کلروفیل کل و سبزینه برگ زعفران داشت. پژوهش راهی و همکاران (Rahi et al., 2012) تأثیر مثبت اسید هیومیک در افزایش کلروفیل کل را نشان داد. نتایج پژوهشگران نشان داد که اسید هیومیک سبب افزایش جذب عناصر غذایی و همچنین افزایش کلروفیل در برگ خیار و گندم دوروم گردید (Rutan and Schnitzer, 2011). با توجه به نتایج اثرات متقابل، بیشترین میزان غلظت فسفر گیاه در مصرف خاکی اسید هیومیک استخراجی از لجن (۰/۱۱ میکروگرم بر گرم) نسبت به شاهد با ۱/۷۵ برابر افزایش داشت که بعدازآن بیشترین میزان فسفر در مصرف محلول‌پاشی اسید هیومیک استخراجی از بیوچار ۴۰۰ درجه به دست آمد (شکل ۲). کمترین میزان فسفر نیز در تیمار شاهد مشاهده شد (شکل ۲). در پژوهشی که بیدگایین و همکاران (Bidegain et al., 2000)انجام دادند گزارش کردند، زمانی که گیاه دچار کمبود فسفر است کاربرد مواد هیومیکی به‌دست‌آمده از منبع خاک‌اره که به‌طور شیمیایی تجزیه شده است عملکرد و جذب فسفر را افزایش می‌دهد.

بر اساس نتایج (شکل ۳)، بیشترین میزان پتاسیم در محلول‌پاشی اسید هیومیک استخراجی از بیوچار ۲۰۰ درجه به دست آمد که نسبت به شاهد ۴۵ درصد افزایش معنی‌دار یافته است. کمترین میزان پتاسیم نیز در تیمار شاهد مشاهده شد (شکل ۳). اسید هیومیک به دلیل توانایی کلات کنندگی که دارد نقش مشخص و معینی در آزادسازی پتاسیم تثبیت‌شده ایفا می‌کند .(Tan, 1978) همچنین، آشیک و همکاران (Asik et al., 2009) دریافتند که کاربرد هوموس می‌تواند جذب پتاسیم را در گندم افزایش دهد. دمیر و همکاران (Demir et al., 1999) نیز دریافتند که محلول-پاشی اسید هیومیک مقدار پتاسیم را در گیاه خیار که تحت تنش شوری است افزایش می‌دهد.

نتیجه‌گیری کلی

در این پژوهش نشان داده شد که استفاده از اصلاح‌کننده‌های آلی موجب بهبود شرایط خاک و کاهش مصرف کودهای شیمیایی در جهت تحقق اهداف کشاورزی پایدار می‌شود همچنین نتایج نیز نشان می‌دهد که مصرف منابع متفاوت اسید هیومیک می‌تواند سبب فراهم آوردن شرایط بهینه رشد گیاه شود. اسید هیومیک استخراج‌شده از بیوچار، کود دامی و لجن در افزایش رشد و عملکرد گیاه آفتابگردان مؤثر بوده است. استفاده از اسید هیومیک بر روی تمامی ویژگی‌های اندازه‌گیری شده گیاه تأثیر مثبت داشته و سبب افزایش صفت‌های موردنظر نسبت به شاهد شد. با توجه به مقایسه محلول‌پاشی و مصرف خاکی اسید هیومیک مشاهده شد محلول‌پاشی اسید هیومیک مؤثرتر از مصرف خاکی آن بوده است. اثرات متقابل نحوه مصرف و اسید هیومیک‌های استخراجی از منابع متفاوت در افزایش رشد و عملکرد گیاه تأثیر مثبتی داشتند. به‌طورکلی، با توجه به نتایج، محلول-پاشی اسید هیومیک استخراجی از بیوچار ۲۰۰ درجه نسبت به سایر منابع، بهترین تأثیر را در افزایش عملکرد و اجزاء عملکرد گیاه داشت.

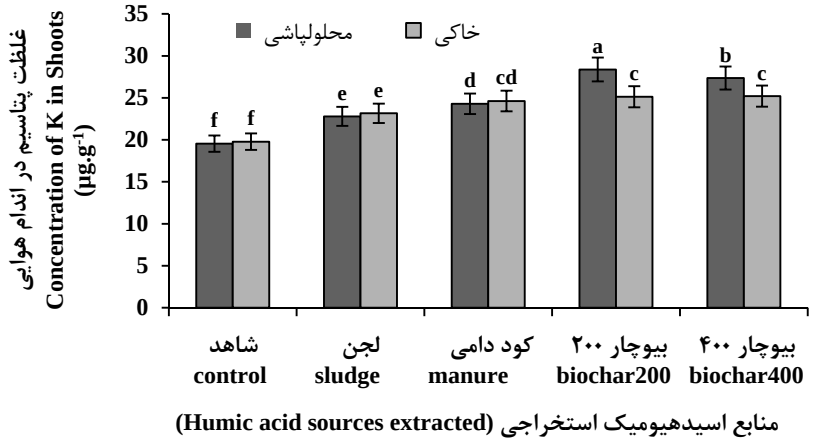


شکل ۲. مقایسه میانگین اثرات متقابل نحوه مصرف و اسید هیومیک استخراجی از منابع متفاوت بر غلظت فسفر اندام هوایی گیاه

Fig. 2. Comparison of the mean effects of interactions between application forms and humic acid extracted from different sources on P concentration in shoots

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۳. مقایسه میانگین اثرات متقابل نحوه مصرف و اسید هیومیک استخراجی از منابع متفاوت بر غلظت پتاسیم اندام هوایی گیاه

Fig. 3. Comparison of the mean effects of interactions between application forms and humic acid extracted from different sources on K concentration in shoots

منابع

Abbt Braun, G., Frimmel, F.H., 1999. Basic characterization of Norwegian NOM samples similarities and differences. Environment International. 25, 161-180.

Aboutalebi Jahromi, A.H., Hassanzadeh Khankahdani, H., 2016. Effect of humic acid on some vegetative traits and ion concentrations of Mexican Lime (*Citrus aurantifolia* Swingle) seedlings under salt stress. International Journal of Horticultural Science and Technology. 3, 255-264.

Ahmadi, F., Aminifard, M.H., Khayyat, M., Samadzade, A.R., 2017. Evaluation of humic acid and planting density on flower yield and vegetative characteristics of saffron (*Crocus sativus* L.). Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants. 33, 293-303. [In Persian with English Summary].

Arancon, N.Q., Edwards, C.A., Atiyeh, R.M., Metzger, J.D., 2004. Effects of vermicomposts produced from food waste on greenhouse peppers. Bioresource Technology. 93, 139-144

Arnon, D.I., 1949. Copper enzymes in isolated chloroplast, polyphenol oxidase in *Beta vulgaris*. Journal of Plant Physiology. 24, 1-75.

Asik, B.B., Turan, M.A., Celik, H., Katkat, A.V., 2009. Effects of humic substances on plant growth and mineral nutrients uptake of wheat (*Triticum durum* cv. Salihli) under conditions of salinity. Asian Journal of Crop Science. 1, 87-95.

Atiyeh, R.M., Lee, S., Edwards, C.A., 2002. The influence of humic acids derived from earthworm-processed organic wastes on plant growth. Bioresource Technology. 84, 7-14.

Bakry, B.A., Elewa, T.A., El-kramany, M.F., Wali, A.M., 2013. Effect of humic and ascorbic acids foliar application on yield and yield components of two Wheat cultivars grown under newly reclaimed sandy soil. International Journal of Agronomy and Plant Production. 4, 1125-1133.

Bidegain, R.A., Kaemmerer, M., Guiresse, M., Hafidi, M., Rey, F., Morard, P., Revel, J.C., 2000. Effects of humic substances from composted or chemically decomposed poplar sawdust on mineral nutrition of ryegrass. The Journal of Agricultural Science. 134, 259-267.

Biggs, R.H., Obreza, T.A., Webb, R.G., 1989. Humate material: Their effect and use as soil amendment. Journal of Applied Phycology. 5, 115-120.

Bouyoucos, C.J., 1997. Hydrometer method improved for making particle size analysis of soil. Agronomy Journal. 54, 464-465.

Bower, C.A., Reitemeier, R.F., Fireman, M., 1952. Exchangeable cation analysis of saline and alkali soils. Soil Science. 73, 251-261.

Campitelli, P.A., Velasco, M.I., Ceppi, S.B., 2006. Chemical and physicochemical characteristics of humic acids extracted from

www.SID.ir

Archive of SID

compost, soil and amended soil. Talanta. 69, 1234-1239.

Chapman, H.D., Pratt, P.F., 1962. Methods of Analysis for Soil, Plant and Water. Soil Science. 93, 68.

Chen, Y., Aviad, V., 1990. Effect of humic substances on plant growth. In: MacCarthy, P. (ed.), Humic substances in soil and crop sciences. Madison, Wisc. ASA and SSSA. pp. 161–186.

Chen, Y., Senesi, N., Schnitzer, M., 1977. Information provided on humic substances by E4/E6 ratios. Soil Science Society of America Journal. 41, 352-358.

Cottenie, A., 1980. Soil and plant testing as a basis of fertilizer recommendation. FAO Soils Bull. 38, 70-73.

Daur, I., 2014. Effect of humic acid on growth, protein and mineral composition of pearl mllet [*Pennisetum glaucum* (l.) r.br.] fodder. Pakistan Journal of Botany. 46, 505-509.

Daur, I., Bakhashwain, A., 2013. Effect of humic acid on growth and quality of maize fodder production. Pakistan Journal of Botany. 45, 21-25.

Davoodi fard, M., Habibi, D., Davoodi fard, F., 2012. Effects of salinity stress on membrane stability, chlorophyll content and yield components of wheat inoculated with plant growth promoting bacteria and humic acid. Iranian Journal of Agronomy and Plant Breeding. 8, 71-86. [In Persian with English Summary].

Demir, K., Gunes, A., Inal, A., Alpaslan, M., 1999. Effects of humic acids on the yield and mineral nutrition of cucumber (*Cucumis sativus* l.) grown with different salinity levels. ISHS Acta Horticulturae. 492, 95-103.

El-Bassiony, A.M., Fawzy, Z.F., Abd El-Baky, M.M.H., Asmaa, R.M., 2010. Response of snap bean plants to mineral fertilizers and humic acid application. Research Journal of Agriculture and Biological Sciences. 6, 169-175.

El-Ghamry, A.M., Ghoneem, K.M., 2009. Amino and humic acids promote growth, yield and disease resistance of faba bean cultivated in clayey soil. Australian Journal of Basic and Applied Sciences. 3, 731-739.

El-Monem, A.A., Saleh, M.M.S., Mostafaa, E.A.M., 2008. Minimizing the quality of mineral nitrogen fertilizers on grapevine by using humic acid, organic bio-fertilizers. Research Journal of Agriculture and Biological Sciences. 4, 46-50.

Fahramand, M., Moradi, H., Noori, M., Sobhkhizi, A., 2014. Influence of humic acid on increase yield of plants and soil properties. International Journal of Farming and Allied Sciences. 3, 339-341.

Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), 1973. Calcareous soils: Report of the FAO/UNDP regional seminar on reclamation and management of calcareous soils (FAO Soils Bulletin 21). Cairo, Egypt: FAO.

Ghorbani, S., Khazaei, H., Kafi, M., Banayan aval, M., 2010. Effect of using humic in irrigation water on corn yield. Journal of Agricultural Ecology. 2, 111-118. [In Persian with English Summary]

Heidari, M., Khalili, S., 2014. The effect of humic acid and phosphorus fertilizer on yield and flowers, photosynthetic pigments and amounts of mineral elements in plant roselle (*Hisbiscus sabdariffa* L.). Iranian Journal of Field Crop Science. 45, 191-193. [In Persian with English Summary].

Helal Aly, A., Murad, G.A., Helal, A.A., 2011. Characterization of diff erent humic materials by various analytical techniques. Arabian Journal of Chemistry. 4, 51-54.

Helmke, P.A., Sparks, D.L., 1996. Lithium, sodium, potassium, cesium, and rubidium. In: Sparks, D.L. (ed.), Methods of Soil Analysis. Part 3. Chemical Methods and Processes. Madison: Soil Science Society of America, Madison, WI, pp. 551-574.

Hemati, A., Alikhani, H.A., Bagheri Marandi, G., Mohammadi, L., 2012. Assessment the possibility of humic acid extraction from vermicompost with Urea. International Journal of Agriculture. 2, 705-709.

Senn, T.L., Kingman, A.R., 1973. A review of Humus and Humic Acids. Research Series No. 145, S.C. Agricultural Experiment Station, Clemson, South Carolina.

Khaled, H., Fawy, H., 2011. Effect of different levels of humic acids on the nutrient content, plant growth, and soil properties under conditions of salinity. Soil and Water Research. 6, 21-29

Lguiratia, A., Ait Baddib, G., El-Mousadikc, A., Gilardd, V., Revele, J.C., Hafidi, M., 2005.

www.SID.ir

Archive of SID

Analysis of humic acids from aerated and non-aerated urban landfill composts. International Biodeterioration and Biodegradation. 56, 8–16.

Liu, C., Cooper, R.J., Bowman, D.C., 1996. Humic acid application effects photosynthesis, root development and nutrient content of creeping bentgrass. Crop Science. 33, 1023-1025.

Malakouti, M.J., Nafisi, M., 1994. Consumption of Fertilizer on Agricultural Land. Publications of Tarbiat Modares University., Tehran. Iran. [In Persian]

Martı´nez, G.A., Traina, S.J., Logan, T.J., 1998. Characterization of proton affinity reactions in polyelectrolytes: discrete vs. continuous distribution of site approach. Journal of Colloid and Interface Science. 199, 53-62.

Nardi, S., Pizzeghello, D., Muscolo, A., Vianello, A., 2002. Physiological effects of humic substances on higher plants. Soil Biology and Biochemistry. 34, 1527-1536.

Olsen, S.R., Cole, C.V., Watanabe, F.S., Dean, L.A., 1954. Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate. USDA Circular 939, US Gov. Printing Office, Washington, DC.

Page, A.L., 1982. Methods of Soil Analysis. Agronomi 9, ASA, SSSA, Madison, Wiscosin, USA.

Qi, B.C., Aldrich, C., Lorenzen, L., 2004. Effect of ultrasonication on the humic acids extracted from lignocellulose substrate decomposed by anaerobic digestion. Chemical Engineering Journal. 98, 153-163.

Rahi, A.R., Farzane, M.H., Safari Dolatabadi, S., Azizi, F., 2012. Study investigates the relationship between the morphological response curves Agropyron cristatum species are also effected by the amount of humic acid. Journal of Research Plant and Ecosystem. 8, 29-44. [In Persian with English Summary].

Rhoades, J.D., 1982. Soluble salts. In: Page A.L. et al. (ed.), Methods of Soil Analysis. Part 2: Chemical and Microbiological Properties. Monograph Number 9 (Second Edition). ASA, Madison, WI, pp. 167-179.

Rutan, B.S., Schnitzer, M., 2011. Effects of soil fulvic acid on the growth and nutrient content of cucumber (*Curcumas sativus*) plants. Plant and Soil. 63, 491-495.

Sabzevari, S., Khazaie, H.R., Kafi, M., 2010. Study on the effects of humic acid on germination of four wheat cultivars (*Triticun aestivum* L.). Journal of Iranian Field Crop Research. 8, 473-480. [In Persian with English Summary].

Saruhan, V., Kusvuran, A., Babat, S., 2011. The effect of different humic acid fertilization on yield and yield components performances of common millet (*Panicum miliaceum* L.). Scientific Research and Essays. 6, 663-669.

Stevenson, F.J., 1982. Humus Chemistry. Genesis, Composition, Reactions; John wiley and sons, Inc, New York. 43pp.

Tan, K.H., 1978. Effects of humic and fluvic acids on release of fixed potassium. Geoderma. 21, 67-74.

U.S. Salinity Laboratory Staff., 1954. Alkaline-earth carbonates by gravimetric loss of carbon dioxide. In: Richards, L.A. (ed.), Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils. USDA Agric. Handbook. 60. U.S. Government Printing Office, Washington, D.C. pp. 105.

U.S. Salinity Laboratory Staff., 1954. pH reading of saturated soil paste. In: Richards L.A. (ed.) Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils. USDA Agricultural Handbook 60. U.S. Government Printing Office, Washington, D.C. pp. 102.

Ulukan, H., 2008. Effect of soil applied humic acid at different sowing times on some yield components in wheat (*Triticum* sp.) hybrids. International Journal of Botany. 4, 164-175.

Waling, I., Van, W., Vark, V.J.G., Vander, L., 1989. Soil and Plant Analysis, a Series of Sylladi. Part 7. Plant Analysis Procedures. Wageningen Agriculture University.

Walkley, A., Black, I.A., 1934. Chromic acid titration for determination of soil organic matter. Soil Science. 63, 251.

Yang, C.M., Ming, C.W., Lu, Y.F., Chang, I.F., Chou, C.H., 2004. Humic substances effect the activity of chlorophylls. Journal of Chemical Ecology. 30, 1057-1065.

www.SID.ir