

اثر محلول‌پاشی کود نانوفرتایل حاوی اسید هومیک بر غلظت برخی عناصر غذایی در دو رقم کاهو در سیستم هیدروپونیک

حمیدرضا روستا^{۱*}، مجتبی صفری‌زاده^۱ و محسن حمیدپور^۲

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۹/۲۹؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۶/۲۴)

DOI: 10.18869/acadpub.ejgcs.7.4.51

چکیده

به منظور بررسی اثر کاربرد برگی کود نانوفرتایل حاوی اسید هومیک بر جذب عناصر غذایی در دو رقم کاهو در سیستم لایه نازک محلول غذایی (NFT)، آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه کاملاً تصادفی با چهار تکرار و دو فاکتور کود نانوفرتایل (صفر، ۵۰۰ و ۱۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر) و رقم (گريت لیک و سوپر سالاد) انجام شد. در این آزمایش، عناصر پتاسیم، فسفر، کلسیم، منیزیم، آهن، روی، منگنز و مس در اندام هوایی و ریشه گیاه اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد که محلول‌پاشی غلظت ۱۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر کود نانوفرتایل باعث افزایش غلظت این عناصر در اندام هوایی و ریشه کاهو شد. اما تیمار ۵۰۰ میلی‌گرم بر لیتر کود نانوفرتایل فقط روی، پتاسیم و منیزیم اندام هوایی و روی، پتاسیم و کلسیم ریشه را نسبت به شاهد افزایش داد. همچنین، غلظت روی در اندام هوایی و کلسیم، آهن، منگنز، روی و مس در ریشه رقم گريت لیک نسبت به رقم سوپر سالاد بیشتر بود. بر طبق نتایج این آزمایش، غلظت ۱۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر از این کود که دارای ۷۵٪ مواد هومیک است می‌تواند آثار مثبتی بر بهبود جذب عناصر غذایی در گیاهان تیمار شده داشته باشد.

کلمات کلیدی: رقم سوپر سالاد، رقم گريت لیک، لایه نازک محلول غذایی

مقدمه

سلول گیاهی می‌رسند و نقش مثبتی در رشد گیاه بازی می‌کنند (۴). مواد هومیک در واقع طیف وسیعی از ترکیبات آلی معدنی گوناگون نظیر اسیدهای آمینه، پپتیدها، فنل‌ها، آلدئیدها و اسیدهای نوکلئیک در پیوند با انواع کاتیون‌ها می‌باشند (۹). این ترکیبات دارای سه نوع اسید آلی مهم به نام‌های اسید هومیک، اسید فولویک و جزء هومین هستند که از منابع مختلف مانند خاک، هوموس، پیت، لیگنیت اکسید شده و زغال سنگ استخراج

استفاده از ترکیبات هومیک برای بهبود رشد گیاهان در طول چند دهه اخیر مورد بررسی قرار گرفته است. تعدادی از این ترکیبات که اغلب حاوی اسید هومیک می‌باشند در تولید تجاری سبزی‌ها استفاده می‌شوند (۶). اثر مواد هومیک بر رشد گیاهان به منبع، غلظت و وزن مولکولی آن‌ها بستگی دارد. ترکیبات با وزن مولکولی کم، به راحتی به قسمت پلاسماهای

۱. گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ولی عصر (عج) رفسنجان

۲. گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ولی عصر (عج) رفسنجان

*مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: roosta_h@yahoo.com

مواد و روش‌ها

این آزمایش به منظور بررسی اثر کاربرد برگی کود نانوفرتایل بر جذب عناصر غذایی دو رقم کاهو (*Lactuca sativa L.*) در سیستم لایه نازک محلول غذایی در گلخانه هیدروپونیک دانشکده کشاورزی دانشگاه ولی عصر (عج) رفسنجان در پائیز سال ۱۳۹۱ با شرایط دمایی 23 ± 3 درجه سلسیوس و رطوبت نسبی $53/2 - 42/4$ درصد انجام شد.

آزمایش به صورت فاکتوریل و در قالب طرح پایه کاملاً تصادفی با چهار تکرار اجرا گردید. فاکتورها شامل رقم در دو سطح (گریت لیک و سوپر سالاد) و کود نانوفرتایل حاوی اسید هومیک در سه سطح (صفر، ۵۰۰ و ۱۰۰۰ میلی گرم بر لیتر) بودند. ترکیبات موجود در کود نانوفرتایل شامل اسید هومیک ۶۰٪، اسید فولویک ۱۵٪، پتاسیم (K₂O) ۸٪، آهن ۱/۹ درصد، نیتروژن (N) ۷/۰ درصد، روی ۱/۰۱ درصد، منگنز ۴۳/۰ درصد، فسفر (P₂O₅) ۶/۰ درصد، کلسیم ۹۸/۳ درصد، منیزیم ۲۹/۰ درصد، بور ۵/۰۵ درصد و مس ۵/۰۵ درصد می‌باشد.

بذرهای کاهو، ارقام گریت لیک (*L. S. var. Great Lake*) و سوپر سالاد (*L. S. var. Super salad-604*) ابتدا در گلدان‌های حاوی محیط کشت پرلیت، در ۲۰ مهر ۱۳۹۱ کشت شدند. بذرها پس از ۶ روز شروع به جوانه‌زنی کردند. در هفته اول، بذرها هر روز دو نوبت صبح و عصر آبیاری شدند. با شروع هفته دوم ۲۰۰ میلی لیتر محلول غذایی ۵۰٪ هوگلدن جایگزین آب آبیاری شد. در روز پانزدهم جوانه‌زنی بذرها، گیاهچه‌های جوان دو برگ حقیقی داشتند که آماده انتقال به بستر اصلی بودند. نشاها به گلدان‌های کوچک (۱۵۰ میلی لیتری) مشبک که با محیط کشت پرلیت پر شده بودند، منتقل شدند. این گلدان‌ها در منافذ آبراهه‌های سیستم قرار گرفتند. فاصله این منافذ از هم ۲۰ سانتی متر بود که برای کاشت کاهو مناسب است. در هر مخزن، ۴۰ لیتر محلول غذایی با غلظت عناصر پرمصرف $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ ۱ میلی مولار، KNO_3 ۵ میلی مولار، $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ ۵ میلی مولار، $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ۲ میلی مولار، و با غلظت عناصر

می‌شوند و دارای اندازه مولکولی و ساختار شیمیایی متفاوت می‌باشند (۱۸). اسید هومیک دارای گروه‌های فعال در زنجیره کربن می‌باشد (۱۳). اسید هومیک دارای تعدادی از عناصر است که باعث بهبود حاصلخیزی خاک، افزایش دسترسی به مواد غذایی و همچنین افزایش فرایندهای متابولیسمی گیاه، محتوای کلروفیل و در نتیجه، افزایش میزان فتوسنتز می‌گردند، که سرانجام افزایش عملکرد را به دنبال دارد (۱). اسید هومیک را می‌توان به صورت مایع و به طور مستقیم روی شاخ و برگ گیاه پاشید و یا به صورت پودری در خاک و یا ترکیبی به کار برد (۵). ترکیبات هومیک استفاده زیادی به عنوان میکروکودها در جهان دارند. این مواد، دسترسی به ریزمغذی‌ها، به ویژه آهن و روی، را با کلات کردن آن‌ها افزایش می‌دهند که می‌تواند باعث افزایش رشد گیاه شود (۲).

کاربرد اسید هومیک مصرف کودهای نیتروژن، فسفر و پتاسیم را کاهش می‌دهد که به نوبه خود باعث کاهش آلودگی و هزینه‌ها می‌گردد (۲۰). همچنین، گزارش شده که اسید فولویک سبب افزایش نفوذپذیری غشای سلولی می‌گردد (۸). در گیاهان گوجه‌فرنگی، فلفل، توت‌فرنگی و جعفری، کاربرد غلظت‌های ۲۵۰ تا ۱۰۰۰ میلی گرم بر لیتر اسید هومیک، افزایش رشد گیاهان تیمار شده را به همراه داشت (۳). کاربرد ۵۰ میلی گرم بر لیتر اسید هومیک درون محلول غذایی در رقم جاولینای کاهو، باعث افزایش غلظت مواد غذایی کلسیم، فسفر و منیزیم به ترتیب به میزان ۲۱، ۲۶ و ۴۰ درصد نسبت به شاهد شد (۱). همچنین، کاربرد ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار اسید هومیک، به همراه آب آبیاری، باعث افزایش معنی‌دار غلظت عناصر نیتروژن، فسفر، پتاسیم، آهن، منگنز و روی در برگ و نهایتاً افزایش تولید محصول در سیب‌زمینی شد (۱۹).

با توجه به نتایج مثبت مواد هومیک بر جذب عناصر غذایی توسط گیاه، این آزمایش با هدف بهبود جذب عناصر پرمصرف و ریزمغذی توسط کاهو با استفاده از کاربرد برگی کود نانوفرتایل حاوی اسید هومیک انجام شد.

ریمغذی $2 \text{ H}_3\text{BO}_3$ میکرومولار، $7 \text{ MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ میکرومولار، $7 \text{ ZnSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ میکرومولار، $8 \text{ CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ میکرومولار، 20 Fe-EDDHA میکرومولار و $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ میکرومولار ریخته شد (۷ و ۱۷). محلول غذایی به کار رفته هر هفته تعویض گردید. در طول هفته، هر روز pH و EC محلول غذایی با pH متر و EC متر (مدل EUTEOH) کنترل شد. محدوده $\text{pH} = 6/5-7$ و $\text{EC} = 1/5-2 \text{ dS/m}$ بود.

سیستم لایه نازک محلول غذایی در این آزمایش شامل سه سیستم جداگانه بود که هر سیستم دارای دو آبراهه ۲ متری و روی هر آبراهه ۸ منفذ کشت با فاصله ۲۰ سانتی متر از هم قرار داشت. هر رقم در یک آبراهه از هر سیستم کشت شد. بنابراین، هر سیستم دارای هر دو رقم کاهو بود و برای هر تکرار دو نمونه وجود داشت. میزان آبدهی آبراهه‌ها وقتی که به مخزن بر می‌گشت تقریباً ۳ لیتر در دقیقه بود. شیب آبراهه‌ها ۱/۵ درصد بود تا محلول غذایی در سیستم جریان پیدا کند. اعمال تیمار، ۲۰ روز بعد از انتقال نشاها آغاز گردید که به صورت هفتگی و چهار بار در طول آزمایش کود نانوفرتایل محلول پاشی شد. ریشه و اندام هوایی گیاه پس از ۵۰ روز برداشت و به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۷۲ درجه سلسیوس در آون قرار گرفتند. سپس نمونه‌ها توسط آسیاب برقی پودر شده و برای اندازه‌گیری عناصر استفاده شدند.

نتایج و بحث

فسفر اندام هوایی و ریشه

بر اساس نتایج مربوط به مقایسه میانگین داده‌های این آزمایش، غلظت فسفر اندام هوایی و ریشه با مصرف کود نانوفرتایل به طور معنی‌داری افزایش یافت (جدول ۱). اگرچه غلظت ۵۰۰ میلی‌گرم بر لیتر اثری بر غلظت فسفر اندام‌های گیاه نداشت، ولی ۱۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر این کود، باعث افزایش ۴۲ درصدی غلظت فسفر اندام هوایی و ۶۴/۸ درصدی فسفر ریشه در گیاهان تیمار شده نسبت به شاهد شد (جدول ۱). در صورتی که، بین دو رقم مورد استفاده سوپر سالاد و گریت لیک هیچگونه اختلاف معنی‌داری نبود. همچنین، اثر متقابل کود نانوفرتایل و رقم معنی‌دار نشد. اثر مواد هومیک بر رشد گیاه به صورت اثرهای مستقیم و غیرمستقیم دیده می‌شود. در آزمایش‌های مختلف، به سه اثر فیزیولوژیک مواد هومیک بر گونه‌های مختلف گیاهی اشاره شده است: ۱- انگیزش رشد و نمو، ۲- بهبود جذب عناصر غذایی و ۳- افزایش کارایی مصرف آب (۱۱). مواد هومیک کارایی گیاهان را در جذب بهتر آب و مواد غذایی بهبود می‌بخشد که این فرضیه به اثر مستقیم مواد هومیک با اندازه مولکولی کوچک (Low molecular size, LMS) بر متابولیسم گیاهی بستگی دارد. چون از این طریق مواد هومیک می‌توانند به درون بافت گیاهی نفوذ کنند. اما اندازه مولکولی درشت (High molecular size, HMS) می‌تواند در حفظ و ذخیره آب گیاه نقش داشته باشد (۱۲). مشاهدات نشان

عناصر غذایی که در این آزمایش اندازه‌گیری شدند شامل پتاسیم، کلسیم، آهن، منیزیم، منگنز، روی، مس و فسفر در ریشه و شاخساره بودند. برای تهیه عصاره، ابتدا ۵/۵ گرم از نمونه خشک شده و آسیاب شده را وزن کرده و سپس در کوره با دمای ۵۵۰ درجه سلسیوس به مدت ۳ ساعت قرار داده شد تا نمونه‌ها تبدیل به خاکستر شدند و سپس با استفاده از اسید کلریدریک ۲ نرمال، ۵ میلی‌لیتر به ازای هر نمونه اضافه گردید و در نهایت توسط آب مقطر به حجم ۵۰ میلی‌لیتر رسانیده شد. این عصاره به طور مستقیم جهت اندازه‌گیری عناصر ذکر شده به کار رفت. فسفر با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر (مدل Spectrometer PG Instruments

سیستم لایه نازک محلول غذایی در این آزمایش شامل سه سیستم جداگانه بود که هر سیستم دارای دو آبراهه ۲ متری و روی هر آبراهه ۸ منفذ کشت با فاصله ۲۰ سانتی متر از هم قرار داشت. هر رقم در یک آبراهه از هر سیستم کشت شد. بنابراین، هر سیستم دارای هر دو رقم کاهو بود و برای هر تکرار دو نمونه وجود داشت. میزان آبدهی آبراهه‌ها وقتی که به مخزن بر می‌گشت تقریباً ۳ لیتر در دقیقه بود. شیب آبراهه‌ها ۱/۵ درصد بود تا محلول غذایی در سیستم جریان پیدا کند. اعمال تیمار، ۲۰ روز بعد از انتقال نشاها آغاز گردید که به صورت هفتگی و چهار بار در طول آزمایش کود نانوفرتایل محلول پاشی شد. ریشه و اندام هوایی گیاه پس از ۵۰ روز برداشت و به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۷۲ درجه سلسیوس در آون قرار گرفتند. سپس نمونه‌ها توسط آسیاب برقی پودر شده و برای اندازه‌گیری عناصر استفاده شدند.

عناصر غذایی که در این آزمایش اندازه‌گیری شدند شامل پتاسیم، کلسیم، آهن، منیزیم، منگنز، روی، مس و فسفر در ریشه و شاخساره بودند. برای تهیه عصاره، ابتدا ۵/۵ گرم از نمونه خشک شده و آسیاب شده را وزن کرده و سپس در کوره با دمای ۵۵۰ درجه سلسیوس به مدت ۳ ساعت قرار داده شد تا نمونه‌ها تبدیل به خاکستر شدند و سپس با استفاده از اسید کلریدریک ۲ نرمال، ۵ میلی‌لیتر به ازای هر نمونه اضافه گردید و در نهایت توسط آب مقطر به حجم ۵۰ میلی‌لیتر رسانیده شد. این عصاره به طور مستقیم جهت اندازه‌گیری عناصر ذکر شده به کار رفت. فسفر با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر (مدل Spectrometer PG Instruments

جدول ۱. اثر سطوح مختلف کود نانوفرتایل بر غلظت عناصر غذایی پرمصرف (فسفر، کلسیم، منیزیم و پتاسیم) در کاهو

کود نانوفرتایل (mg/L)				پتاسیم	منیزیم	کلسیم	فسفر
اندام هوایی (%DW)							
اندام هوایی							
شاهد (۰)	۰/۱۸ b	۰/۸۷b	۱/۰۳ c	۱/۹۹b			
۵۰۰	۰/۲۳ b	۱/۱۵b	۱/۳۲ b	۲/۳۹a			
۱۰۰۰	۰/۳۱ a	۱/۹۴a	۱/۶۳ a	۲/۵۸a			
ریشه							
شاهد (۰)	۰/۱۹ b	۱/۱۸c	۱/۵۷ b	۱/۲۷c			
۵۰۰	۰/۳۲ b	۱/۶۱b	۱/۶۵ b	۱/۸۲b			
۱۰۰۰	۰/۵۴ a	۲/۰a	۲/۸۹ a	۲/۵a			

حروف متفاوت در هر ستون، نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار بین میانگین‌ها در سطح احتمال ۵٪ آزمون دانکن می‌باشد.

فسفات باعث افزایش این عنصر در گیاه شوند (۹). علاوه بر این، افزایش حجم ریشه در گیاهان تیمار شده با کود نانوفرتایل (داده‌ها نشان داده نشده است) می‌تواند باعث افزایش سطح فسفر در کاهو شود.

کلسیم اندام هوایی و ریشه

غلظت کلسیم در اندام هوایی و ریشه کاهو با مصرف کود نانوفرتایل با افزایش معنی‌داری مواجه شد. اگرچه غلظت ۵۰۰ میلی‌گرم بر لیتر اثری بر غلظت کلسیم اندام هوایی گیاه نداشت، ولی بر کلسیم ریشه اثر مثبت داشت و بیشترین میزان افزایش در غلظت ۱۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر کود نانوفرتایل بود که باعث افزایش ۵۵/۲ درصدی غلظت کلسیم اندام هوایی و ۴۱ درصدی غلظت کلسیم ریشه نسبت به شاهد شد (جدول ۱). اثر رقم فقط بر غلظت کلسیم ریشه در سطح احتمال ۵٪ معنی‌دار شد و بین دو رقم به کار رفته ۲۲/۲ درصد اختلاف وجود داشت، به طوری که غلظت کلسیم در ریشه رقم گریک لیک بیشتر از رقم سوپر سالاد بود (جدول ۲). برهمکنش دو فاکتور کود نانوفرتایل و رقم بر کلسیم اندام هوایی و ریشه معنی‌دار نشد. همچنین، کود نانوفرتایل حاوی ۴٪ کلسیم بود

داده که مواد هومیک با اندازه مولکولی کوچک به وسیله حلقه‌های آروماتیک زیاد، گروه‌های کربوکسیلیک و فنولیک فراوان به‌صورت سیمپلاست عمل کرده و مستقیماً بر متابولیسم‌های گیاهی اثر می‌گذارند. اما مواد هومیک با اندازه مولکولی بزرگ عمدتاً با دیواره سلولی پیوند داشته و بر فرایندهای گیاهی از طریق آپوپلاست اثر می‌گذارند (۱۲). اثر مواد هومیک بر جذب یون‌ها و در نهایت رشد گیاه به وسیله آزمایش‌هایی مورد بررسی قرار گرفته است. اسید فولویک باعث کلات کردن عناصر غذایی به شکل قابل استفاده برای سلول‌ها می‌شود. این ترکیب، باعث ایجاد رشد بهینه، افزایش نفوذپذیری غشای سلولی و حفاظت از متابولیسم پروتئین‌ها می‌گردد (۸). اسید هومیک باعث افزایش رشد و نمو بخش‌های هوایی و زیرزمینی گیاه، افزایش جذب مواد غذایی از محلول غذایی و در نتیجه افزایش فرایندهای فیزیولوژیک گیاه و افزایش تشکیل گل (به دلیل نقش احتمالی اسید فولویک در فعالیت‌های آنزیمی) می‌گردد (۱۵). گزارش شده که مواد هومیک می‌توانند بر جذب یون‌هایی مثل نیترات، سولفات، پتاسیم و فسفات به وسیله ریشه‌های جو مؤثر باشند (۹). مواد هومیک می‌توانند از طریق سنتز پروتئین‌های ناقل یون

جدول ۲. غلظت برخی عناصر در ریشه و اندام هوایی دو رقم کاهو

رقم	آهن ریشه	منگنز ریشه	مس ریشه	روی ریشه	روی اندام هوایی	کلسیم ریشه (% DW)
سوپر سالاد	۱۲۲۹/۴b	۳۰۸/۸b	۲۹/۹۹b	۳۸۶/۷b	۵۸/۵b	۱/۴۱b
گریت لیک	۱۶۷۶/۴a	۴۱۸/۸۵a	۴۹/۱۴a	۵۰۵/۰a	۶۷/۱a	۱/۸۸ a

حروف متفاوت در هر ستون، نشان دهنده اختلاف معنی دار بین میانگین‌ها در سطح احتمال ۵٪ آزمون دانکن می‌باشد.

میلی گرم بر لیتر، غلظت پتاسیم اندام هوایی ۱۶/۷ درصد و ریشه ۲۷/۲ درصد نسبت به شاهد افزایش داشته است (جدول ۱). ارقام سوپر سالاد و گریت لیک، از نظر غلظت پتاسیم اندام هوایی و ریشه اختلاف معنی داری با هم نداشتند. همچنین، اثر متقابل کود نانوفرتایل و رقم نیز معنی دار نبود. وجود ۸٪ پتاسیم در کود نانوفرتایل باعث بهبود وضعیت تغذیه‌ای گیاه از نظر پتاسیم شده و با جذب پتاسیم از اندام هوایی غلظت آن در گیاه افزایش یافته است. از طرف دیگر، فعالیت آنزیم ATPase پمپ پروتونی غشاء پلاسمایی در حضور مواد هومیک با وزن مولکولی کم افزایش می‌یابد. در نتیجه ورود مواد، مثل پتاسیم، به داخل سلول از طریق پروتئین‌های موجود در غشاء پلاسمایی افزایش می‌یابد (۱۲).

منیزیم اندام هوایی و ریشه

غلظت منیزیم اندام هوایی و ریشه در اثر تیمار کود نانوفرتایل افزایش یافت. اگرچه غلظت ۵۰۰ میلی گرم بر لیتر اثری بر غلظت منیزیم ریشه گیاه نداشت، ولی اثر آن بر غلظت منیزیم اندام هوایی مثبت بود. تیمار ۱۰۰۰ میلی گرم بر لیتر کود نانوفرتایل باعث افزایش ۳۹/۵ درصدی غلظت منیزیم اندام هوایی و ۴۵/۷ درصدی ریشه نسبت به شاهد شد (جدول ۱). دو رقم سوپر سالاد و گریت لیک هیچگونه اختلاف معنی داری از نظر غلظت منیزیم اندام هوایی و ریشه نشان ندادند. همچنین، برهمکنش کود نانوفرتایل و رقم نیز معنی دار نشد. با توجه به وجود ۲۹/۰ درصد منیزیم در کود نانوفرتایل این مقدار منیزیم اگرچه می‌تواند بر غلظت منیزیم گیاه تأثیر بگذارد ولی به

که می‌تواند با جذب از طریق اندام‌هایی هوایی باعث افزایش غلظت این عنصر در گیاه شود. اهمیت تأمین کلسیم از طریق محلول پاشی کود نانوفرتایل از این جهت حائز اهمیت است که کاهو در شرایط آب و هوایی گرم دچار نوک سوختگی برگ‌ها ناشی از کمبود کلسیم می‌شود. بنابراین، با کاربرد این کود احتمالاً می‌تواند کمک شایانی به رفع این عارضه فیزیولوژیک کرد. نکته دیگر در مورد کلسیم، تحرک کم این عنصر در گیاه است. مشخص شده که نقاطی از گیاه که دارای رشد هستند و تبخیر و تعرق در آن قسمت‌ها از گیاه صورت می‌گیرد، کلسیم بیشتری به سمت خود می‌کشند. این موضوع باعث ایجاد کمبود این عنصر در برگ‌های داخلی کاهو به دلیل عدم دریافت نور و تبخیر و تعرق می‌شود. مواد هومیک با وزن مولکولی کم می‌توانند به عنوان کلاتورهای طبیعی کلسیم را در ساختمان خود به وسیله پیوند هیدروژنی به گروه‌های کربوکسیلیک، هیدروکسیلیک و فنولیک اتصال دهند و موجب انتقال این عنصر به سراسر گیاه شوند. این موضوع باعث می‌شود در نقاط دارای کمبود کلسیم این کمبود جبران شود (۱۱).

پتاسیم اندام هوایی و ریشه

اثر تیمار کود نانوفرتایل در هر دو غلظت ۵۰۰ و ۱۰۰۰ میلی گرم بر لیتر بر پتاسیم اندام هوایی و ریشه کاهو معنی دار شد، به طوری که در غلظت ۱۰۰۰ میلی گرم بر لیتر کود نانوفرتایل، پتاسیم اندام هوایی و ریشه نسبت به شاهد به ترتیب ۲۳ و ۴۹/۲ درصد افزایش یافت. در حالی که در غلظت ۵۰۰

جدول ۳. اثر سطوح مختلف کود نانوفرتایل بر غلظت عناصر ریزمغذی در کاهو

کود نانوفرتایل (mg/L)	آهن	منگنز	مس	روی
	(mg/kg DW)			
اندام هوایی				
شاهد (۰)	۱۹۷/۰ b	۶۳/۰b	۵/۲ b	۴۶/۵c
۵۰۰	۱۹۰/۴۵ b	۶۶/۸ab	۶/۲ ab	۵۸/۳b
۱۰۰۰	۲۶۹/۰ a	۷۸/۴a	۹/۶ a	۸۳/۱a
ریشه				
شاهد (۰)	۹۴۲/۲ b	۲۷۳/۴b	۳۶/۲ b	۲۶۳/۴c
۵۰۰	۱۱۴۵/۰ b	۲۷۲/۳b	۳۲/۵ b	۴۶۵/۱b
۱۰۰۰	۲۲۷۱/۶ a	۵۴۵/۵a	۵۰/۰ a	۶۰۹/۱a

حروف متفاوت در هر ستون، نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار بین میانگین‌ها در سطح احتمال ۵٪ آزمون دانکن می‌باشد.

نداشتند، اما از نظر غلظت آهن ریشه تفاوت معنی‌دار داشتند و رقم گریت لیک ۲۶/۶ درصد آهن بیشتری نسبت به رقم سوپرسلاد داشت (جدول ۲). برهمکنش کود نانوفرتایل و رقم نیز بر غلظت آهن اندام هوایی و ریشه معنی‌دار نشد.

وجود ۱/۹ درصد آهن در ترکیب کود نانوفرتایل نقش به‌سزایی در افزایش غلظت آهن گیاه داشته و افزایش غلظت کلروفیل و رشد بهتر گیاهان نیز در تیمار کودی نانوفرتایل با افزایش غلظت آهن در ارتباط است. آهن در فرایندهای فتوسنتزی و تشکیل مولکول‌های کلروفیل نقش دارد. به همین دلیل است که گیاهانی که کمبود آهن دارند کلروزه به نظر می‌رسند. گیاهان قادر به استفاده از شکل یونی آهن هستند. با این وجود، مشخص شده که جذب آهن به وسیله ریشه گیاهان نیازمند کاهش اولیه Fe^{3+} به شکل Fe^{2+} به وسیله آنزیم Fe^{3+} -chelate ردوکتاز غشای پلاسمایی می‌باشد (۱۰). در گیاهان خیار که کمبود آهن داشتند کاربرد مواد هومیک باعث کاهش Fe^{3+} قبل از جذب به وسیله ریشه گیاه می‌شود. این عمل به وسیله مواد هومیک از طریق آزاد کردن ترکیبات فنولی خود صورت می‌گیرد (۱۴). وجود اختلاف در غلظت آهن ریشه دو رقم نشان‌دهنده جذب بهتر آهن توسط ریشه رقم گریت لیک

احتمال زیاد اثر کود نانوفرتایل بیشتر به دلیل اثر مواد هومیک بر جذب این عنصر بوده است. مواد هومیک می‌توانند از طریق فعال کردن ناقل‌های انتقال منیزیم در غشاء پلاسمایی باعث افزایش ظرفیت جذب منیزیم از طریق ریشه‌ها و انتقال به فضای درون سلولی شوند. افزایش غلظت منیزیم در گیاهان از طریق کود نانوفرتایل می‌تواند اثرهای قابل قبولی در رشد و نمو گیاهان داشته باشد. به طور مثال، می‌توان به نقش منیزیم در کلروفیل به عنوان هسته مرکزی اشاره کرد. در نتیجه، افزایش منیزیم به طور غیرمستقیم باعث افزایش فرایندهای سوخت و ساز در گیاه می‌شود (۱۲).

غلظت آهن اندام هوایی و ریشه

غلظت آهن اندام هوایی و ریشه کاهو در اثر محلول‌پاشی کود نانوفرتایل به طور معنی‌داری افزایش یافت، به طوری که تیمار ۱۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر، غلظت آهن اندام هوایی و ریشه را به ترتیب ۲۶/۸ و ۵۸/۵ درصد نسبت به شاهد افزایش داد (جدول ۳). اثر غلظت ۵۰۰ میلی‌گرم بر لیتر کود نانوفرتایل بر غلظت آهن اندام هوایی و ریشه معنی‌دار نبود. ارقام سوپر سلاد و گریت لیک از نظر غلظت آهن اندام هوایی اختلاف معنی‌داری

گریت لیک، غلظت مس ۳۸/۸ درصد بیشتر از رقم سوپر سالاد بود (جدول ۳). همچنین، اثر متقابل کود نانوفرتایل و رقم بر غلظت مس اندام هوایی و ریشه معنی دار نشد.

وجود ۰/۴۳ درصد منگنز، ۰/۰۱ درصد روی و ۰/۰۵ درصد مس در کود نانوفرتایل احتمالاً باعث افزایش جذب این عناصر شد. علاوه بر این، مواد هومیک با وزن مولکولی کم بر جذب و انتقال عناصر ریزمغذی تأثیر دارند. این مواد از طریق گروه‌های فعال در ساختمان خود، کاتیون‌های مس، منگنز و روی را جذب می‌کنند و به دلیل اندازه مولکولی کم خود از طریق پلاسمالما وارد سلول می‌شوند (۲۲). افزایش در جذب کاتیون‌ها به ویژگی کلات‌کنندگی مواد هومیک بر می‌گردد (۲۲). به ساختمان مواد هومیک اتصال پیدا می‌کنند. بنابراین، جذب آن‌ها، بار منفی سلول‌های گیاهی و آوند چوب را کاهش می‌دهد. به طوری که جذب کاتیون به وسیله ریشه‌ها و انتقال به سراسر آوند چوبی به آسانی صورت گرفته و میزان عناصر غذایی در بافت‌های گیاهی افزایش می‌یابد (۲۲). همچنین، بهبود عناصر غذایی گیاه مربوط به خاصیت دیگر مواد هومیک می‌شود. این مواد، با افزایش نفوذپذیری غشاء سلولی، باعث افزایش جذب عناصر غذایی می‌شوند. اثر مواد هومیک بر پمپ پروتونی باعث افزایش فعالیت آنزیم $H^+-ATPase$ موجود در سطح غشاء سلولی و سنتز ناقل‌های جدید انتقال یون‌ها در سطح غشاء پلاسمایی می‌شود. این پمپ‌ها باعث خروج یون هیدروژن از سلول می‌شود. به همراه خروج یون هیدروژن، اطراف ریشه گیاه (ریزوسفر) اسیدی شده و جذب عناصر ریزمغذی افزایش می‌یابد (۱۲).

نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که کود نانوفرتایل باعث افزایش جذب برخی از عناصر غذایی در کاهو شد. به همین دلیل، می‌توان این کود را در غلظت ۱۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر برای شرایطی که جذب عناصر غذایی برای گیاه با مشکل مواجه است توصیه کرد. همچنین، رقم گریت لیک کاهو نتایج بهتری

می‌باشد که احتمالاً آهن اضافی جذب شده به اندام هوایی انتقال نیافته، یا به علت رشد بیشتر اندام هوایی این رقم، غلظت آن به دلیل اثر رقت در اندام هوایی کاهش یافته است (۱۶).

غلظت عناصر منگنز، روی و مس در اندام هوایی و ریشه

اثر تیمار کود نانوفرتایل بر غلظت منگنز اندام هوایی و ریشه در سطح احتمال ۵٪ معنی دار بود، به طوری که تیمار ۱۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر کود نانوفرتایل، منگنز اندام هوایی و ریشه را به ترتیب ۱۹/۶ و ۵۰ درصد نسبت به شاهد افزایش داد. ولی اثر غلظت ۵۰۰ میلی‌گرم بر لیتر کود نانوفرتایل بر غلظت منگنز اندام هوایی و ریشه معنی دار نبود (جدول ۳). اختلاف دو رقم مورد استفاده در این آزمایش، از نظر غلظت منگنز ریشه معنی دار شد و رقم گریت لیک ۲۶/۳ درصد بیشتر از رقم سوپر سالاد، منگنز در ریشه داشت (جدول ۳). اثر متقابل کود نانوفرتایل و رقم بر غلظت منگنز اندام هوایی و ریشه معنی دار نبود.

تیمار کود نانوفرتایل در هر دو غلظت ۵۰۰ و ۱۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر باعث افزایش معنی دار غلظت روی اندام هوایی و ریشه شد، به طوری که غلظت ۱۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر کود نانوفرتایل، غلظت روی اندام هوایی و ریشه کاهو را به ترتیب ۴۴ و ۵۶/۸ درصد نسبت به شاهد افزایش داد (جدول ۳). همچنین، اختلاف غلظت روی در اندام هوایی و ریشه دو رقم سوپر سالاد و گریت لیک در سطح احتمال ۵٪ معنی دار شد. بیشترین غلظت روی در اندام هوایی (جدول ۳) و ریشه (جدول ۳) رقم گریت لیک وجود داشت، که به ترتیب ۱۲/۵ و ۲۳/۵ درصد بیشتر از رقم سوپر سالاد بود. برهمکنش کود نانوفرتایل و رقم بر غلظت روی اندام هوایی و ریشه معنی دار نشد.

غلظت مس اندام هوایی در اثر کود نانوفرتایل معنی دار شد. تیمار ۱۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر باعث افزایش غلظت مس اندام هوایی و ریشه به ترتیب ۴۵/۲ و ۲۸ درصد نسبت به شاهد شد. ولی اثر غلظت ۵۰۰ میلی‌گرم بر لیتر کود نانوفرتایل بر غلظت مس اندام هوایی و ریشه معنی دار نبود (جدول ۳). از نظر غلظت مس ریشه، اختلاف بین ارقام معنی دار شد و در رقم

نسبت به رقم سوپر سالاد نشان داد.

مالی این پژوهش و از گروه علوم باغبانی دانشگاه ولی عصر (عج) برای استفاده از گلخانه هیدروپونیک برای انجام این پژوهش تشکر و قدردانی می‌گردد.

سپاسگزاری

بدین وسیله از دانشگاه ولی عصر (عج) رفسنجان برای حمایت

منابع مورد استفاده

- ۱- کریمی شاه مالکی، س.، پیوست، غ. و الفتی، ج. ۱۳۸۹. اثر اسید هیومیک بر خصوصیات رشدی و جذب عناصر غذایی کاهو در تکنیک لایه نازک محلول غذایی. علوم باغبانی ایران ۲۴(۲): ۱۴۹-۱۵۳.
2. Abu-Nukta, F. and R. Parkinson. 2007. Effect of humic substances on micronutrients availability in soils. J. Damas. Univ. Agric. Sci. 23: 163-178.
3. Arancon, N., C. Edwards, S. Lee and R. Byrne. 2006. Effects of humic acids from vermicomposts on plant growth. Eu. J. Soil Biol. 42: 65-69.
4. Dantas, B.F., M.S. Pereira, L.D.S. Ribeiro, J.L.T. Maia and L.H. Bassoi. 2007. Effect of humic substances and weather conditions on leaf biochemical changes of fertigated guava tree, during orchard establishment. Rev. Bras. Frutic. 29(3): 632-638.
5. El-Mohamedy, R.S.R. and M.A. Ahmed. 2009. Effect of biofertilizers and humic acid on control of dry root-rot disease and improvement yield quality of mandarin (*Citrus reticulata* Blanco). Res. J. Agric. Biol. Sci. 5(2): 127-137.
6. Hartz, T.K. and T.G. Bottoms. 2010. Humic substances generally ineffective in improving vegetable crop nutrient or productivity. J. Hort. Sci. 45(6): 906-910.
7. Hoagland, D.R. and D.I. Arnon. 1950. The Water Culture Method for Growing Plants Without Soil. California Agricultural Experiment Station, University of California, Berkeley, CA.
8. Khang, V.T. 2011. Fulvic foliar fertilizer impact on growth of rice and radish at first stage. Omonrice 18: 144-148.
9. Maggioni, A., Z. Varanini, S. Nardi and R. Pinton. 1987. Action of soil humic matter on plant roots, stimulation of ion uptake and effects on (Mg²⁺, K⁺) ATPase activity. Sci. Total Environ. 62: 355-363.
10. Moog, P.R. and W. Bruggemann. 1994. Iron reductase systems on the plant plasma membrane. Plant Soil 165: 241-260.
11. Morard, P., B. Eyheraguibel, M. Morard and J. Silvestre. 2010. Direct effects of humic-like substance on growth, water, and mineral nutrition of various species. J. Plant Nutr. 34: 46-59.
12. Nardi, S., D. Pizzeghello, A. Muscolo and A. Vianello. 2002. Physiology effects of humic substance on higher plants. Soil Biol. Biochem. 34: 1527-1536.
13. Patil, R.B., A.S. Kadam and S.S. Wadje. 2011. Role of potassium humate on growth and yield of soybean and black gram. Int. J. Pharm. Biomed. Sci. 2(1): 242-246.
14. Pinton, R., S. Cesco, M. De Nobili, S. Santi and Z. Varanini. 1998. Water and pyrophosphate-extractable humic substances fractions as source of iron for Fe-deficient cucumber plants. Biol. Fert. Soils 26: 23-27.
15. Rauthan, B.S. and M. Schnitzer. 1981. Effects of soil fulvic acid on the growth and nutrient content of cucumber (*Cucumis sativus* L.) plants. Plant Soil 63: 491-495.
16. Roosta, H.R. 2011. Interaction between water alkalinity and nutrient solution pH on the vegetative growth, chlorophyll fluorescence and leaf Mg, Fe, Mn and Zn concentrations in lettuce. J. Plant Nutr. 34: 717-731.
17. Roosta, H.R. and J.K., Schjoerring. 2007. Effects of ammonium toxicity on nitrogen metabolism and elemental profile of cucumber (*Cucumis sativus* L. cv. Styx) plants. J. Plant Nutr. 30: 1933-1951.
18. Sebahattin, A. and C. Necdet. 2005. Effects of different levels and application times of humic acid on root and leaf yield and yield components of forage Turnip (*Brassica rapa* L.). Agron. J. 4: 130-133.
19. Selim, E.M., S.I. Shedeed, F.F. Asaad and A.S. El-Neklawy. 2012. Interactive effects of humic acid and water stress on chlorophyll and mineral nutrient contents of potato plants. J. Appl. Sci. Res. 8(1): 531-537.
20. Shaaban, S., F. Manal and M. Afifi. 2009. Humic acid foliar application to minimize soil applied fertilization of surface-irrigated wheat. J. Agric. Sci. 5(2): 207-210.
21. Unlu, H.O., H. Unlu, Y. Karakurt and H. Padem. 2011. Changes in fruit yield and quality in response to foliar and soil humic acid application in cucumber. Sci. Res. Essays 6(13): 2800-2803.
22. Varanini, Z. and R. Pinton. 2001. Direct versus indirect effects of soil humic substances on plant growth and nutrition. PP. 141-157. In: Pinton, R., Z. Varanini and P. Nannipieri (Eds.), The Rhizosphere, Marcel Dekker, New York.

