

The Interaction Effect of Chromium and Fulvic Acid on the Morphological and Physiological Traits of Lettuce (*Lactuca sativa* L.) in Hydroponic Condition

Rasoul Azarmi^{1*} and Zahra Majnooni Heris²

1- Associate Professor, Department of Horticulture, Faculty of Agriculture, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.

2- M.Sc. Student, Department of Horticulture, Faculty of Agriculture, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.

*Corresponding author: r_azarmi@uma.ac.ir

(Received: 08 August 2022

Revised: 18 September 2022

Accepted: 19 September 2022)

1. Introduction: In higher plants, chromium (Cr) is not essential to plant growth and function. Exposure to Cr may cause tissue necrosis and limit chlorophyll production. In particular, Cr is usually involved in electron transfer and induce production of reactive oxygen species (ROS) (e.g., hydroxyl radicals and superoxide radicals), resulting in oxidative stresses and damages to plant cells and tissues. Humic acid (HA) and fulvic acid (FA) are the major component of humic substances. FA has low molecular weight and contains more oxygen-rich and carbon-poor functional groups compared with HA. It has been reported that soil and foliar applied FA increased the intensification of seedling growth, seed germination energy, and root weight of wheat plants. However, the aim of this research was to investigate the effect of different chromium concentrations on growth and biochemical parameters and stress indices in lettuce fed with fulvic acid, as a stress modifier in hydroponic system.

2. Materials and Methods: In order to investigate effects of fulvic acid application on morphological and physiological and biochemical under chromium stress in red leaf lettuce (*Lactuca sativa* L.), a pot experiment was conducted as factorial based on completely randomized design with four replications under hydroponic culture in university of Mohaghegh Ardabili in 2021. Experimental treatments were consisted of chromium stress at three levels (0, 3 and 15 mg l⁻¹) and fulvic acid application at two levels (0 and 50 mg l⁻¹). In this research, morphological traits including, shoot and root fresh weight, root length, root to shoot ratio and physiological traits such as total chlorophyll and carotenoid, leaf chromium content, soluble protein, malondialdehyde, relative water content, catalase, hydrogen peroxide were evaluated.

3. Results and discussion: The results revealed that Application of fulvic acid in plants grown under chromium stress caused an increase in root length and soluble protein compared to plants grown under chromium stress alone. While the addition of fulvic acid to the nutrient solution in chromium stressed plants showed a significant decrease in leaf chromium content, membrane peroxidation and hydrogen peroxide compared with the plants grown under Cr stress. The application of chromium at a concentration of 15 mg l⁻¹ compared to the control treatment reduced the root and shoot fresh weight, total chlorophyll and carotenoid and catalase by 20.5, 21.7, 22.3, 19.5 and 26%, respectively. Plants fed with 50 mg l⁻¹ fulvic acid compared to the control treatment, root and shoot fresh weight, root to shoot ratio, total chlorophyll and carotenoid water relative content increased by 16.5, 15.5, 103 and 37%, respectively.

4. Conclusion: The addition of fulvic acid improved morphology and physiological traits, and abiotic stress indicators in lettuce under Cr stress. Result showed that the alleviation of Cr toxicity might be associated with decreased Cr uptake in roots leading to reduced Cr translocation in the shoot. Further, fulvic acid addition decreased membrane stability and hydrogen peroxide in response to Cr stress.

Keywords: Growth, Heavy metal, Lettuce, Humic substance.

Citation: Azarmi, R. & Majnooni, Z. (2023). The interaction effect of chromium and fulvic acid on the morphological and physiological traits of lettuce (*Lactuca sativa* L.) in hydroponic condition. *Journal of Vegetables Sciences*, 6(2), 123-134. doi: 10.22034/iuvs.2022.559879.1229.

Copyrights:

Copyright for this article is retained by the author(s), with publication rights granted to Journal of Vegetables Sciences. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>).



برهمکنش کروم و اسید فولویک بر خصوصیات مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی کاهو (*Lactuca sativa* L.) در شرایط آبکشت

نویسندگان: رسول آذر می^{۱*} و زهرا مجنون‌هریس^۲

۱- دانشیار، گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.

*نویسنده مسئول: r_azarmi@uma.ac.ir

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۶/۲۸

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۰۶/۲۷

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۵/۱۷

چکیده

کروم به‌عنوان یکی از عناصر سنگین و عامل نامطلوب محیطی است که بر رشد گیاه و آلودگی زنجیره غذایی تأثیر می‌گذارد. اسید فولویک می‌تواند تحمل گیاه به تنش‌های محیطی را افزایش دهد. از این رو، به‌منظور بررسی تأثیر اسید فولویک بر خصوصیات مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی گیاه کاهو (*Lactuca sativa* L.) در شرایط آلودگی کروم در سیستم آبکشت یک آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در ۴ تکرار در سال ۱۴۰۰ اجرا گردید. تیمارهای آزمایشی شامل کروم در سه غلظت (۰، ۳ و ۱۵ میلی‌گرم در لیتر) و اسید فولویک در دو سطح (شاهد و ۵۰ میلی‌گرم در لیتر) بود. نتایج نشان داد که کاربرد اسید فولویک در گیاهان تحت تنش کروم مقدار این عنصر را در برگ در مقایسه با گیاهان رشد کرده تحت تنش کروم تنها، به‌طور معنی‌داری کاهش داد. افزودن غلظت ۱۵ میلی‌گرم در لیتر کروم در محلول غذایی نسبت به عدم تیمار با آن وزن تر شاخساره و ریشه، کلروفیل کل و کارتنوئید را به ترتیب ۲۱/۷، ۲۰/۵ و ۱۸/۲ و ۲۴ درصد کاهش داد. گیاهان تغذیه شده با اسید فولویک در مقایسه با گیاهان بدون کاربرد اسید فولویک وزن تر شاخساره و ریشه، کلروفیل کل و کارتنوئید را به ترتیب ۱۵/۵، ۱۶/۵، ۱۰۳ و ۳۷ درصد افزایش داد. در گیاهان تغذیه شده با غلظت ۱۵ میلی‌گرم بر لیتر کروم، اسید فولویک توانست طول ریشه، مقدار پروتئین محلول، پراکسید هیدروژن و مالون‌دی‌آلدئید را به ترتیب ۲۳، ۱۵/۵، ۹/۷ و ۲۷۱ درصد افزایش دهد. با افزایش غلظت کروم در محلول غذایی از صفر به ۱۵ میلی‌گرم در لیتر میزان فعالیت آنزیم کاتالاز در برگ کاهو ۲۶ درصد افزایش نشان داد. کاربرد اسید فولویک در محلول غذایی در مقایسه با شاهد خصوصیات رشدی، رنگیزه‌های فتوسنتزی و شاخص‌های تنش را بهبود بخشید. این نتایج نقش اسید فولویک بر تعدیل سمیت کروم به ویژه در شاخص‌های تنش غیرزیستی در کاهو را نشان می‌دهد که می‌تواند به‌عنوان یک محرک رشد در محلول غذایی استفاده شود.

واژه‌های کلیدی: رشد، عناصر سنگین، کاهو، مواد هیومیک.

استناد: آذر می، ر. و مجنون‌هریس، ز. (۱۴۰۱). تأثیر متقابل کروم و اسید فولویک بر خصوصیات مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی کاهو (*Lactuca sativa* L.) در شرایط آبکشت. علوم سبزی‌ها، ۶ (۲)، ۱۲۳-۱۳۴.

حق چاپ:



حق چاپ برای نویسنده (گان) این مقاله محفوظ است. بر اساس قوانین انتشارات با دسترسی آزاد، تمام مطالعات چاپ شده در این مجله به‌صورت آزاد در وب سایت مجله برای عموم بدون پرداخت هزینه قابل دسترس است.

مقدمه

کاهو (*Lactuca sativa* L.) از سبزی‌های مهم برگی در ایران و جهان می‌باشد که به‌صورت سالاد و تازه‌خوری مصرف می‌شود. کشت تجاری کاهو عمدتاً در گلخانه و به‌صورت سیستم بدون خاک صورت می‌گیرد. تغذیه مناسب یکی از عوامل مهم در موفقیت کشت‌های گلخانه‌ای است (Kiani, 2020). تجمع بیش از حد کروم در خاک عمدتاً از طریق معادن، ضایعات صنعتی، لجن فاضلاب، کاربرد کود و آفت‌کش‌ها و فعالیت‌های طبیعی مانند فوران آتشفشان و هواپدگی مواد مادری صورت می‌گیرد (Nagajyoti et al., 2010). غلظت سمی این عنصر به‌عنوان یک عامل تنش‌زا برای گیاهان می‌تواند موجب محدودیت در رشد و اختلال در فرایندهای فیزیولوژیک و بیوشیمیایی شود (Piruz & Manuchehri, 2012). کاهش در زیست توده گیاهی و رشد ریشه و تغییر در متابولیسم نیتروژن و کربوهیدرات و کاهش در سنتز پروتئین و فعالیت واکنش فتوسنتزی در پنج گونه گندم و جعفری تحت تنش کروم گزارش شده است (Khavarinegad et al., 2014). سمیت این عنصر تولید گونه‌های فعال اکسیژن (ROS) مثل پراکسید و پراکسید هیدروژن را تحریک می‌کند. سنتز آنتی‌اکسیدان‌ها یکی از مکانیسم‌های دفاعی در مقابل تولید ROS می‌باشد که در واکنش به سمیت فلزات سنگین تولید می‌شود (Sharma et al., 2020; Maghsoudi et al., 2021). یکی از استراتژی‌های مقرون به صرفه در مقابله با تنش عناصر سنگین مثل کروم استفاده از مواد آلی مثل اسید فولویک می‌باشد. مواد آلی دارای دو نوع اسید آلی مهم به نام‌های اسید هیومیک و اسید فولویک می‌باشد که از نظر اندازه مولکولی و ساختار شیمیایی متفاوت هستند. این ترکیبات علاوه بر تأثیر مستقیم بر رشد گیاه به‌عنوان محرک رشد (Olivares et al., 2015) در بهبود عملکرد گیاهان نقش مهمی دارند. ترکیبات هیومیکی با افزایش رشد سلول و تشکیل کمپلکس‌های محلول با یون‌ها منجر به افزایش جذب آن‌ها از طریق ریشه گیاهان می‌شود (Pinton et al., 1999). اسید فولویک می‌تواند تا ۷۰ درصد از جمله

عناصر ریز مغذی و کمیاب را کمپلکس کند. بنابراین این عناصر می‌توانند در شرایطی کاملاً طبیعی توسط ریشه گیاه جذب و وارد سلول‌های گیاه گردد (Nardi et al., 2002). اسید فولویک نوعی کلات کننده مناسب با قدرت تبادل یونی بالا است که قدرت جذب عناصر معدنی را در گیاهان افزایش می‌دهد که در نتیجه آن، مقاومت گیاه به تنش‌های محیطی افزایش و کیفیت و کمیت محصول بهبود می‌یابد (Vaughan & Linehan, 2004). نتایج یک تحقیق در فلفل دلمه‌ای نشان داده است که محلول پاشی اسید فولویک میزان فعالیت آنتی‌اکسیدان‌ها، کربوهیدرات، فنول کل و کارتنوئیدها را افزایش داد (Amirifard et al., 2012). اثرات مفید اسید فولویک در اصلاح خاک شامل افزایش تحمل به خشکی، بهبود و افزایش جذب عناصر غذایی، تثبیت pH خاک، کاهش شستشوی کود، انتقال عناصر معدنی، جذب رادیکال‌های آزاد، کاهش عناصر سمی در خاک، افزایش مقاومت به تنش‌ها و بیماری‌ها می‌باشد (Mothaghi, 2015). Ali و همکاران (۲۰۱۵) با بررسی تأثیر محلول پاشی اسید فولویک بر سمیت کروم در گندم، نشان داد که کاربرد اسید فولویک در گندم از طریق ممانعت از جذب و انتقال کروم، افزایش خصوصیات رشدی و بیوماس، افزایش سنتز کلروفیل، تقویت ظرفیت دفاعی گیاه از طریق افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی می‌تواند سمیت کروم را تعدیل نماید. بررسی اثرات بالقوه اسید فولویک در کاهش سمیت کادمیوم در دانه‌های کاهو نشان داد که استفاده از ۰/۵ گرم در لیتر اسید فولویک به‌طور قابل توجهی علائم سمیت ناشی از کادمیوم را در نهال‌های کاهو کاهش داد. محلول پاشی اسید فولویک به‌طور قابل توجهی علائم سمیت را کاهش داده و انتقال عناصر غذایی را از ریشه به شاخه به‌ویژه جذب عناصر درگیر در فتوسنتز از جمله آهن، روی و منگنز را تسهیل می‌کند (Wang et al., 2019). محلول پاشی اسید فولویک روی گوجه‌فرنگی منجر به افزایش وزن تر و خشک گیاه و عملکرد میوه شد (Young et al., 2014). هدف از این تحقیق بررسی تأثیر اسید فولویک به‌عنوان یک تعدیل کننده تنش کروم بر پارامترهای

رشد و بیوشیمیایی و شاخص‌های تنش در کاهو در شرایط تنش عنصر سنگین کروم در سیستم آبکشت بود.

مواد و روش‌ها

کاشت بذر و اعمال تیمارها

به‌منظور بررسی تأثیر کروم و اسید فولویک بر خصوصیات مورفولوژیکی و بیوشیمیایی گیاه کاهو آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در ۴ تکرار به صورت آبکشت در محل گلخانه دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه محقق اردبیلی در طی سال ۱۴۰۰ انجام گرفت. بذر کاهوی مورد استفاده در این پژوهش از نوع کاهوی برگ قرمز (*Lactuca sativa* cv. Little Vem) بود که از شرکت پاکان بذر تهیه شدند. بذرها در سینی‌های کشت کاشته شد و دانه‌ها با ظهور چهارمین برگ حقیقی به گلدان‌های ۶ لیتری با بستر کشت کوکوپیت و پرلایت به نسبت ۵۰ به ۵۰ منتقل شدند. تیمار کروم در سه سطح ۰، ۳ و ۱۵ میلی‌گرم در لیتر به فرم کرومات پتاسیم شش ظرفیتی (K_2CrO_4) و اسید فولویک در دو سطح ۰ و ۵۰ میلی‌گرم در لیتر محلول غذایی بود. اعمال تیمار کروم از مرحله ۸ برگی شروع و به مدت ۵ هفته ادامه یافتند. اسید فولویک یک هفته قبل از اعمال تیمار کروم شروع شد. آبیاری گیاهان دو بار در روز با حجم ۱۵۰ میلی‌لیتر در هر گلدان صورت گرفت. این تحقیق در گلخانه به فرم گاتیک با دمای روزانه 19 ± 2 و دمای شبانه 15 ± 2 درجه سلسیوس اجرا گردید.

اندازه‌گیری وزن تر شاخساره و ریشه و طول ریشه

در پایان آزمایش (دو ماه پس از انتقال دانه‌ها به گلدان)، وزن تر شاخساره و ریشه کاهو با استفاده از ترازوی دیجیتالی با دقت ۰/۰۰۱ ثبت شد. طول ریشه‌ها با خط‌کش اندازه‌گیری شد.

نسبت وزن خشک ریشه به وزن خشک شاخساره

در پایان آزمایش، گیاه به اندام هوایی و ریشه تقسیم شده و در آن در دمای ۷۰ سلسیوس به مدت ۴۸ ساعت

قرار داده شد در نهایت وزن خشک آن‌ها با ترازوی دیجیتالی با دقت ۰/۰۰۱ ثبت گردید.

اندازه‌گیری کلروفیل کل و کارتنوئید

اندازه‌گیری محتوای کلروفیل کل و کارتنوئید برگ با استفاده از روش آرنون (Arnon, 1949) انجام شد. برای این منظور مقدار ۰/۱ گرم از بافت تازه برگ با ۳ میلی‌لیتر استون ۸۰ درصد هموژن گردید. سپس محلول حاصل سانتریفیوژ گردید و مقدار کلروفیل a و b و کارتنوئید به ترتیب در طول موج ۶۶۳، ۶۴۵ و ۴۷۰ نانومتر قرائت شد. محتوای کلروفیل کل بر حسب میلی‌گرم بر گرم وزن تر محاسبه شد.

تعیین مقدار کروم برگ

مقدار کروم در برگ کاهو به روش جذب اتمی اندازه‌گیری شد. ۰/۵ گرم از وزن خشک ماده گیاهی را به روش هضم خشک عصاره‌گیری شد. سپس با دستگاه جذب اتمی مدل Jena AAS تعیین گردید.

اندازه‌گیری پروتئین محلول

میزان پروتئین محلول کل به روش Bradford (۱۹۷۶) اندازه‌گیری شد. ابتدا ۰/۵ گرم از بافت تازه برگ در ۳ میلی‌لیتر بافر فسفات هموژنیزه شد. سپس توسط دستگاه سانتریفیوژ در ۱۰۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ شد. سرانجام محلول رویی جمع‌آوری و در دمای ۸۰- درجه سلسیوس نگهداری شد. برای اندازه‌گیری مقدار پروتئین در بافت گیاهی ۱۰۰ میکرو لیتر از عصاره با ۳ میلی‌لیتر معرف برادفورد مخلوط شد و بعد از چند ثانیه ورتکس به حالت سکون قرار گرفت. میزان جذب با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر (Jenway 6705 UV/ VIS Spectrophotometer, England) قرائت گردید.

اندازه‌گیری میزان مالون‌دی‌آلدهید (MDA)

برای انجام آن، مقدار ۰/۱ گرم ماده تر برگ با سه میلی‌لیتر تری‌کلرو استیک اسید یک درصد در هاون چینی ساییده شده و ورتکس گردید. محلول حاصل در

میلی‌لیتر تری‌کلرو استیک اسید سرد یک درصد در هاون چینی سرد هموژنیزه شد. سپس در ۵۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ گردید، به دنبال آن با ۲ میلی‌لیتر پتاسیم یک میلی‌مولار و ۵۰۰ میکرولیتر بافر فسفات پتاسیم ۱۰۰ میلی‌مولار (pH=7) و ۵۰۰ میکرولیتر عصاره مخلوط گردیدند. محلول حاصل به مدت یک ساعت در تاریکی در دمای اتاق نگهداری شد. سپس میزان جذب نمونه در طول موج ۳۹۰ نانومتر با اسپکتروفوتومتر (Jenway 6705 UV/ VIS Spectrophotometer, England) خوانده شد (Sergiev et al., 1997).

اندازه‌گیری کاتالاز

برای اندازه‌گیری کاتالاز مقدار ۱/۹۱ میلی‌لیتر بافر فسفات، یک میلی‌لیتر پراکسید هیدروژن دو میلی‌مولار و ۲۰۰ میکرولیتر عصاره آنزیمی مخلوط گردید. سپس ۳ دقیقه صبر کرده و بعد ۴ میلی‌لیتر معرف تیتانیوم اضافه شد. بعد از ورتکس در ۴۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ انجام شد، سرانجام در طول موج ۴۲۰ نانومتر قرائت گردید (Gong et al., 1997).

۱۰۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ شد. سپس به ۰/۵ میلی‌لیتر از عصاره رویی، ۲ میلی‌لیتر محلول ۰/۵ درصد تیوباربیتویک اسید حاوی تتراکلرو استیک اسید ۲۰ درصد اضافه شد. مخلوط واکنش در دمای ۹۵ درجه سلسیوس به مدت ۳۰ دقیقه در حمام بخار قرار گرفت، سپس واکنش در آب یخ متوقف گردید؛ سرانجام جذب محلول رویی حاصل در دو طول موج ۵۳۲ و ۶۰۰ نانومتر اندازه‌گیری شد (Heath & Packer, 1968).

اندازه‌گیری محتوای نسبی آب

برای اندازه‌گیری محتوای نسبی آب از روش Ritchi و همکاران (1990) استفاده شد. ابتدا از هر برگ تعداد ۱۰ عدد دیسک برگ تهیه و بلافاصله وزن آن‌ها ثبت شد (FW). سپس به مدت ۲۴ ساعت در آب مقطر غوطه‌ور شده و سرانجام وزن اشباع آن‌ها ثبت شد (TW). در نهایت نمونه‌ها به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۷۰ درجه سلسیوس در آون خشک شدند (DW). درصد محتوای نسبی آب از رابطه فوق محاسبه شد.

$$RWC \% = [(FW - DW) / (TW - DW)] \times 100$$

سنجش پراکسید هیدروژن (H₂O₂)

برای انجام آن، مقدار ۰/۵ گرم بافت تر گیاه در ۳

جدول ۱- مشخصات کود آلی اسید فولویک مورد استفاده در آزمایش

Table 1- Characteristics of fulvic acid organic fertilizer used in the experiment

درجه خلوص	حلالیت در آب	کشور سازنده	نوع کود آلی
80%	100%	چین	اسید فولویک

ریشه در پنج گونه گندم (Datta et al., 2011) و جعفری (Zakir et al., 2006) تحت تنش کروم گزارش شده است. کاهش در خصوصیات رشدی گیاهان در اثر کروم ممکن است به خاطر جذب کمتر مواد معدنی به‌ویژه در خاک‌های آلوده به کروم و دسترسی کمتر به مواد معدنی در خاک، کاهش سنتز کلروفیل و پروتئین که باعث کاهش فرآیند فتوسنتز و تولید گونه‌های فعال اکسیژن که سبب آسیب به بافت گیاهان می‌شود (Eun et al., 2002). محققین بسیاری نیز افزایش رشد

نتایج و بحث

وزن تر شاخساره و ریشه

بر اساس جدول مقایسه میانگین داده‌ها (جدول ۲) که با افزایش غلظت کروم در محلول غذایی از صفر به تیمار ۱۵ میلی‌گرم در لیتر وزن تر شاخساره و ریشه به ترتیب ۲۱/۷ و ۲۰/۵ درصد کاهش نشان داد، گیاهان تغذیه شده با اسید فولویک در مقایسه با گیاهان بدون اسید فولویک وزن تر شاخساره و ریشه را به ترتیب ۱۵/۵ و ۱۶/۵ درصد افزایش داد. کاهش زیست‌توده گیاه و رشد

دلیل کلات‌کنندگی عناصر معدنی پتاسیم، منیزیم، روی، کلسیم، آهن و مس قابلیت استفاده از عناصر برای گیاه را افزایش داده و سبب ظهور و افزایش رشد ریشه‌های جانبی می‌گردد (Natesan *et al.*, 2007). با وجود اینکه مواد هیومیکی باعث تحریک رشد ریشه و اندام هوایی می‌شوند ولی اثر بخشی آن بر روی سیستم ریشه مشهودتر است (Rashidi & Tohidi, 2014).

نسبت ریشه به شاخساره

نتایج جدول ۲ نشان می‌دهد که اسید فولویک باعث افزایش وزن خشک ریشه و شاخساره شد (جدول ۳). کاهش در وزن خشک و گیاه گندم تحت غلظت‌های بیشتر از ۲۵ گرم در متر مکعب کروم شش ظرفیتی گزارش شده است (Subrahmanyam, 2008). طبق نتایج پژوهشی روی گندم نشان داده شد که کاربرد مواد هیومیکی سبب افزایش ۲۲ درصدی در وزن خشک گیاه گردید (Kausar & Azam, 1985).

گیاه را در اثر استفاده از مواد هیومیکی به اثبات رسانیده‌اند (Roohani *et al.*, 2014). در این مطالعه افزایش رشد گیاه با کاربرد اسید فولویک می‌تواند ناشی از جذب و انتقال کمتر کروم در کاهو باشد که اثرات سمی روی گیاه را کاهش داده و در نتیجه رشد کاهو افزایش می‌یابد. اسید فولویک موجب افزایش کارایی جذب عناصر غذایی، نفوذپذیری و افزایش تقسیم سلولی و طولی شدن سلول می‌گردد. (Mothaghi, 2015).

طول ریشه

نتایج مقایسه میانگین داده نشان می‌دهد که کاربرد اسید فولویک در گیاهان تحت تنش کروم در مقایسه با گیاهان رشد کرده تحت تنش کروم به تنهایی طول ریشه را افزایش داد (جدول ۳). کروم بازدارنده رشد گیاه است و مقدار زیاد آن در محیط کشت گیاه باعث کوتاهی ساقه‌های در حال رشد و کاهش رشد ریشه می‌شود (Gbaruko *et al.*, 2007). اسید فولویک به

جدول ۲ - مقایسه میانگین اثر ساده غلظت‌های مختلف کروم و اسید فولویک بر خصوصیات کاهو

Table 2- Comparison of the mean simple effect of different concentrations of chromium and fulvic acid on lettuce properties

تیمار Treatment	وزن تر اندام هوایی (گرم) Shoot fresh weight(g)	وزن تر ریشه (گرم) Root fresh weight (g)	نسبت ریشه به شاخساره Root to shoot ratio	کلروفیل کل Total Chlorophyll (mg g ⁻¹ FW)	کارتنوئید Carotenoids (mg g ⁻¹ FW)	محتوای نسبی آب Water relative content (%)	کاتالاز Catalase (Umin ⁻¹ mg pr)
0	139.63 ^a	32.50 ^a	0.267 ^a	0.696 ^a	0.293 ^a	66.67 ^a	0.091 ^c
کروم Chromium							
3	124.38 ^{ab}	29.48 ^{ab}	0.269 ^a	0.646 ^b	0.276 ^{ab}	63.02 ^a	0.105 ^b
15	114.67 ^b	26.92 ^b	0.262 ^a	0.569 ^c	0.236 ^b	60.07 ^a	0.123 ^a
اسید فولویک Fulvic acid							
0	115.5 ^b	27.03 ^b	0.282 ^a	0.420 ^b	0.220 ^b	55.63 ^b	0.104 ^a
50	136.8 ^a	32.23 ^a	0.252 ^b	0.854 ^a	0.303 ^a	70.87 ^a	0.108 ^a

حروف مشابه در هر ستون بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار براساس آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشد.

Same letters in each column indicate no significant difference between treatments based on Duncan's multiple range test at 5% level.

غذایی محتوای کلروفیل کل و کارتنوئید کاهش یافت (جدول ۲). کاهش محتوای کلروفیل ناشی از کروم ممکن است در ارتباط با تغییر ساختار کلروپلاست و جلوگیری از سنتز رنگیزه فتوسنتزی و تجزیه کلروفیل در اثر افزایش در فعالیت آنزیم کلروفیل‌لاز و تولید گونه‌های فعال اکسیژن باشد. کاهش محتوای کارتنوئید

محتوای کلروفیل کل و کارتنوئید

با توجه به نتایج مقایسه میانگین داده‌ها، بیشترین محتوای کلروفیل کل (۰/۶۹۶) و کارتنوئید (۰/۲۹۳) در غلظت شاهد کروم و کمترین مقدار کلروفیل کل (۰/۵۶۹) و کارتنوئید (۰/۲۳۶) در غلظت ۱۵ میلی‌گرم بر لیتر کروم بدست آمد. با افزایش مقدار کروم در محلول

کروم ۱۵ میلی‌گرم در لیتر محتوای پروتئین برگ ۸/۹ درصد کاهش یافت درحالی‌که غلظت کروم ۱۵ میلی‌گرم در لیتر و عدم تغذیه با اسید فولویک باعث کاهش ۲۵/۷۱ درصد پروتئین محلول گردید. کاربرد اسید فولویک محتوای پروتئین محلول را در مقایسه با تیمار شاهد اسید فولویک بهبود بخشید و تأثیر منفی تنش کروم را تعدیل نمود (جدول ۳). این نتایج همسو با یافته‌های Gill و همکاران (۲۰۱۵) می‌باشد. تنش فلزات سنگین با تولید گونه‌های فعال اکسیژن باعث تغییر یا تخریب پروتئین می‌شود. در این تحقیق، کاهش در محتوای پروتئین محلول ممکن است به‌خاطر اثرات منفی کروم روی رنگیزه‌های فتوسنتزی باشد. در پژوهش انجام شده توسط Bhardwaj و همکاران (۲۰۰۹) محتوای پروتئین‌های محلول با افزایش غلظت فلز سنگین سرب و کادمیوم به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. کاهش در محتوای پروتئین در غلظت‌های بالای فلز کروم می‌تواند احتمالاً به علت کاهش در سنتز بعضی پروتئین‌ها و یا افزایش فعالیت آنزیم‌های پروتئولیتیک و تولید گونه‌های فعال اکسیژن باشد. در پژوهشی که روی گل لاله صورت گرفت مشخص گردید که تیمار ترکیبات هیومیکی سبب افزایش سطح برگ و پروتئین گیاه شد. اسید فولویک سبب افزایش میزان اسید گلوتامیک و میتونین در گیاهان شده و از این طریق بر پروتئین‌سازی تأثیر گذاشته و میزان آن را افزایش می‌دهد (Stakhova *et al.*, 2000). کاربرد اسید فولویک مقدار پروتئین برگ کاهو را افزایش داد که این افزایش در تولید پروتئین ممکن است ناشی از اثرات مثبت اسید فولویک روی کلروفیل و رشد گیاه باشد (Ali *et al.*, 2015).

مالون‌دی‌آلدئید

شکل ۱ نشان می‌دهد که در تیمار شاهد کروم بین کاربرد اسید فولویک و عدم کاربرد آن اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. درحالی‌که در تیمار ۳ میلی‌گرم در لیتر کروم کاربرد اسید فولویک نسبت به عدم کاربرد آن، مقدار مالون‌دی‌آلدئید را ۱۴۸ درصد

به‌ویژه تحت تنش کروم شدیدتر، بیشتر بود. کاهش در محتوای کارتنوئید تحت فلزات سنگین در گندم و محصولات دیگر گزارش شده است (Ali *et al.*, 2013). این کاهش در محتوای کارتنوئید برای گیاهان مضر می‌باشد چون که کارتنوئید کلروفیل را از اکسیداسیون نوری محافظت می‌کند (Middleton & Teramara, 1993). کاربرد اسید فولویک در مقایسه با شاهد مقدار کلروفیل کل و کارتنوئید را به ترتیب ۱۰۳ و ۳۷ درصد افزایش داد. نتایج پژوهش حاضر با یافته Zakir و همکاران (۲۰۰۶) در گیاه جعفری مطابقت دارد. همچنان گیاهان تغذیه شده با اسید فولویک ممکن است با کاهش تولید ROS موجب افزایش در محتوای رنگیزه شوند.

کروم

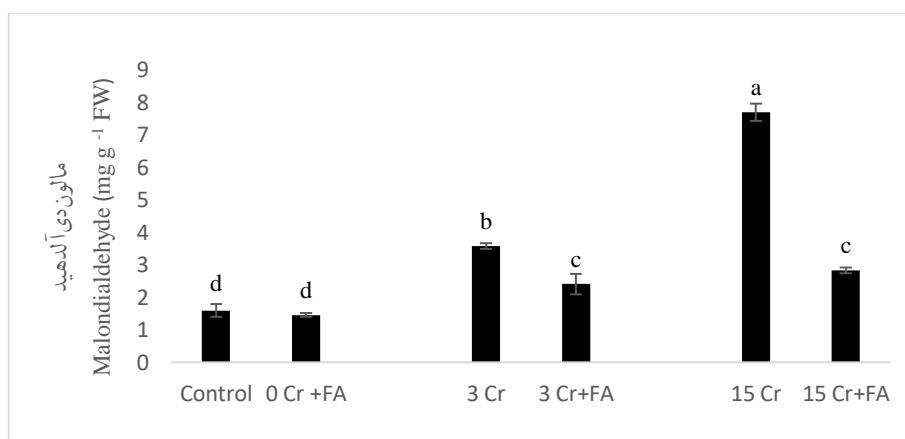
جدول ۳ نشان می‌دهد که با افزایش غلظت کروم از شاهد به ۱۵ میلی‌گرم در لیتر محتوای کروم برگ ۴۹۱ درصد افزایش یافت. در تیمار کروم ۳ میلی‌گرم در لیتر افزودن اسید فولویک باعث کاهش معنی‌دار در مقدار کروم برگ نشد ولی در تیمار کروم ۱۵ میلی‌گرم در لیتر کاربرد اسید فولویک توانست مقدار کروم برگ را به‌طور معنی‌داری کاهش دهد (جدول ۵). نتایج این پژوهش همسو با یافته‌های Ali و همکاران (۲۰۱۵) بود که گزارش کردند غلظت بیشتر کروم در بستر رشد ریشه باعث افزایش تجمع آن در اندام‌های مختلف گیاه می‌شود و کاربرد اسید فولویک توانست مقدار جذب و انتقال کروم در گیاه را کاهش دهد. Shahid و همکاران (۲۰۱۷) نشان دادند که اسید فولویک با تولید ترشحات ریشه پیوند عناصر سنگین به کروم را تحریک می‌کند که این امر ممکن است دلیل دیگری برای جذب کمتر کروم توسط گیاه با کاربرد اسید فولویک باشد.

پروتئین محلول

تنش کروم به‌طور معنی‌داری محتوای پروتئین محلول برگ را کاهش داد و مقدار آن را در تیمار ۱۵ میلی‌گرم کروم نسبت به تیمار شاهد آن ۳۴ درصد کاهش نشان داد. در گیاهان تغذیه شده با اسید فولویک و غلظت

طریق جذب رادیکال‌های آزاد توسط مواد هیومیکی باشد. در گزارش‌های متعددی افزایش شدید ROS با افزایش محتوای مالون‌دی‌آلدهید تحت سمیت کروم مشاهده شده است. تغییر در فعالیت‌های مختلف فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی در ریحان مقدس (*Ocimum tenuiflorum*) نشان‌دهنده آن است که فلز کروم با تولید مالون‌دی‌آلدهید، تخریب و نفوذپذیری غشاء را تحریک می‌کند (Sharma et al., 2020).

کاهش داد. همچنین در تیمار ۱۵ میلی‌گرم در لیتر کروم افزودن اسید فولویک به محلول غذایی نسبت به عدم کاربرد آن مقدار مالون‌دی‌آلدهید را ۲۷۱ درصد کاهش داد. مالون‌دی‌آلدهید شاخص پراکسیداسیون لیپیدی و آسیب اکسیداتیو به غشاء تحت تنش فلزات سنگین است (Dhir et al., 2004). استفاده از اسید فولویک در کاهو تحت تنش کروم در مقایسه با عدم استفاده از آن، مقدار مالون‌دی‌آلدهید را کاهش داد که این ممکن است در ارتباط با کاهش آسیب به غشاء از



شکل ۱- تأثیر متقابل غلظت‌های مختلف کروم و اسید فولویک بر مقدار مالون‌دی‌آلدهید برگ کاهو
Figure 1- Interaction effect of different concentrations of chromium and fulvic acid on leaf Malondialdehyde content in lettuce

هیدروژن با کاربرد اسید فولویک به‌طور معنی‌داری کاهش نشان داد. با افزایش غلظت کروم در محلول غذایی و کاربرد اسید فولویک باعث کاهش معنی‌دار در محتوای پراکسید هیدروژن شد. اسید فولویک با بهبود مکانیسم دفاعی آنتی‌اکسیدانت باعث جاروب یا کاهش تولید ROS در گیاهان می‌شود. پراکسید هیدروژن در فرایندهای حیاتی سلول نقش دارد و در اندام‌های میتوکندری، کلروپلاست و پراکسی‌زوم تولید می‌شود. این گونه فعال اکسیژن در مقدار کم به‌عنوان پیام‌رسان عمل کرده و در فعالیت ژن‌های متحمل به تنش نقش دارد و در مقادیر بالا برای سلول مسمومیت ایجاد می‌کند. مقدار پراکسید هیدروژن از شاخص‌های مهم در ارزیابی شدت تنش در گیاه می‌باشد که در شرایط تنش فلزات سنگین مقدار آن بیشتر می‌شود (Subrahmanyam, 2008).

محتوای نسبی آب

جدول مقایسه میانگین داده‌ها نشان می‌دهد که استفاده از اسید فولویک درصد محتوای نسبی آب برگ را افزایش داد (جدول ۲). افزایش رشد ریشه‌ها در اثر اسید فولویک منجر به افزایش جذب و انتقال آب به برگ‌های گیاه می‌شود (Shanker et al., 2005). مولکول‌های اسید فولویک با بخش ریز مولکول مواد هیومیکی به درون بافت‌های گیاهی نفوذ نموده و با پیوند به مولکول‌های آب تعریق گیاه را کم نموده و به حفظ آب درون گیاه کمک می‌نمایند (Bronick, 1999).

محتوای پراکسید هیدروژن

نتایج حاصل از مقایسه میانگین داده‌ها (جدول ۳) نشان می‌دهد تنش کروم باعث افزایش معنی‌دار در فعالیت پراکسید هیدروژن برگ گیاه کاهو شد. محتوای پراکسید

آنزیم کاتالاز

یکی از فرم‌های رادیکال آزاد یعنی پراکسید هیدروژن با افزایش غلظت کروم در محلول غذایی افزایش نشان داد. سمیت کروم به خاطر تولید بیش از حد ROS به دیواره سلول آسیب می‌زند و با فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت از شدت آسیب کاسته می‌شود (Gonzales *et al.*, 2017). تنش کروم باعث افزایش در فعالیت آنزیم کاتالاز می‌شود که می‌تواند دلیلی بر افزایش رادیکال‌های آزاد تحت تنش کروم باشد (Shafi *et al.*, 2009; Zare *et al.*, 2015).

جدول ۲ نشان می‌دهد که با افزایش غلظت کروم در محلول غذایی از صفر به ۱۵ میلی‌گرم در لیتر میزان فعالیت آنزیم کاتالاز در برگ کاهو ۲۶ درصد افزایش نشان داد و بین غلظت صفر و ۳ میلی‌گرم در لیتر کروم اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. کاتالاز یکی از آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت مهم است که از سنتز گونه‌های فعال اکسیژن جلوگیری می‌کند. در تحقیق حاضر نیز

جدول ۳- مقایسه میانگین اثر متقابل کروم و اسید فولویک بر خصوصیات ارزیابی شده کاهو

Table 3- Mean comparison of interaction effects of chromium and fulvic acid on evaluated traits in lettuce

کروم Chromium (mg L ⁻¹)	تیمارها Treatments اسید فولویک Fulvic acid (mg L ⁻¹)	طول ریشه	پروتئین محلول	پراکسید هیدروژن	کروم برگ
		Root length (cm)	Soluble protein (mg g ⁻¹ FW)	Hydrogen peroxide (μmol g ⁻¹ FW)	Leaf Cr (mg Kg ⁻¹ DW)
0	0	26.75 ^{cd}	0.354 ^{ab}	0.942 ^e	0 ^d
	50	38.30 ^a	0.370 ^a	0.975 ^{de}	0 ^d
3	0	25.50 ^{cd}	0.300 ^c	1.01 ^d	4.80 ^c
	50	31.87 ^b	0.344 ^{ab}	1.15 ^c	3.94 ^c
15	0	23.62 ^d	0.263 ^d	1.29 ^b	23.60 ^a
	50	29.50 ^{bc}	0.337 ^b	1.49 ^a	18.20 ^b

حروف مشابه در هر ستون بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار بین تیمارها براساس آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشد.

The means of each column with the same letters indicate no significant difference based on Duncan's multiple range test (P< 0.01).

افزایش یافت. کاربرد اسید فولویک باعث بهبود خصوصیات مورفولوژیکی، افزایش سنتز کلروفیل و کارتنوئید و پروتئین محلول و کاهش پراکسیداسیون غشاء و پراکسید هیدروژن در کاهو شد. این نتایج نقش اسید فولویک بر تعدیل سمیت کروم در کاهو به‌ویژه در شاخص‌های تنش غیرزیستی را نشان داد.

نتیجه‌گیری کلی

تنش کروم خصوصیات مورفولوژیکی، رنگی‌های فتوسنتزی و پروتئین محلول را به‌طور معنی‌داری کاهش داد ولی محتوای شاخص‌های تنش غیرزیستی از قبیل مالون‌دی‌آلدئید و پراکسید هیدروژن و کاتالاز

References

- Ali, H., Khan, Kh. & Sajad, M. (2013). Phytoremediation of heavy metals Concepts and applications, *Chemosphere*, 91, 869-881.
- Ali, S., Bharwana, S. A., Rizwan, M., Farid, M., Kanwal, S., Ali, Q., Ibrahim,

M., Gill, R. A. & Khan, M. D. (2015). Fulvic acid mediates chromium (Cr) tolerance in wheat (*Triticum aestivum* L.) through lowering of Cr uptake and improved antioxidant defense system. *Environmental Science and Pollution Research*, 22, 10601-10609.

- Aminifard, M. H., Aroiee, H., Nemati, H., Azizi, M. & Hawa, Z. E. (2012). Fulvic acid affects pepper antioxidant activity and fruit quality. *African Journal of Biotechnology*, 11(68), 13179-13185. (In Persian)
- Arnon, D. (1949). Copper enzymes in isolated chloroplasts polyphenoloxidase in *Beta vulgaris*. *Plant Physiology*, 24(1), 1-15.
- Bhardwaj, P., Chaturvedi, A. K. & Prasad, P. (2009). Effect of enhanced lead and cadmium in soil on physiological and biochemical attributes of *Phaseolus vulgaris* L. *Natural Sciences*, 7, 63-75.
- Bradford, M. M. (1976). A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein dye binding. *Analytical Biochemistry*, 72, 248-254.
- Bronick, E. J. & Lai, R. (2005). Soil structure and management. A review. *Geoderma*, 124, 3-22.
- Datta, J. K., Bandhyopadhyay, A., Banerjee, A. & Mondal, N. K. (2011). Phytotoxic effect of chromium on the germination, seedling growth of some wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars under laboratory condition, *Journal of Agricultural Technology*, 7, 395-402.
- Dhir, B., Sharmila, P. & Saradhi, P. (2004). Hydrophytes lack potential to exhibit cadmium stress induced enhancement in lipid peroxidation and accumulation of proline, *Aquatic Toxicology*, 66, 141-147.
- Eun, S. O., Youn, H. S. & Lee, Y. (2002). Lead disturbs microtubule organization in root meristem of *Zea mays*, *Physiology of Plants*, 110, 357-365.
- Gbaruko, B. C. & Friday, O. U. (2007). Bioaccumulation of heavy metals in some fauna and flora. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 4, 197-202.
- Gill, R. A., Zang, L., Ali, B., Farooq, M. A., Cui, P., Yang, S. & Zhou, W. (2015). Chromium-induced physio-chemical and ultrastructural changes in four cultivars of *Brassica napus* L. *Chemosphere*, 120, 154-164.
- Gong, M., Li, Y., Dai, X. & Tian, M. (1997). Involvement of calcium and calmodulin in the acquisition of HS induced thermotolerance in maize seeding, *Journal of Plant Physiology*, 150, 615-621.
- Gonzalez, A., Gil-Díaz, M. M., Pinilla, P. & Lobo, M. C. (2017). Impact of Cr and Zn on growth, biochemical and physiological parameters, and metal accumulation by wheat and barley plants. *Water and Air and Soil Pollution*, 228, 419.
- Heath, R. L. & Packer, L. (1968). Photo peroxidation in isolated chloroplasts. I. Kinetics and stoichiometry of fatty acid peroxidation. *Archives of Biochemistry and Biophysics*. 125(1), 189-98.
- Kauser, A. & Azam, F. (1985). Effect of humic acid on wheat seeding growth. *Environmental and Experimental of Botany*, 25, 245-252. (In Persian)
- Khavarinejad, R., Aslani, F. & Najafi, F. (2014). Effect of different concentrations of potassium dichromate on the growth and content of some antioxidants in corn plant (*Zea mays* L.). *Plant Research Journal*, 285-296. (In Persian)
- Kiani, S. (2020). Effect of different nutrient solutions on the yield, chemical composition and nitrate accumulation of lettuce in soilless culture system. *Journal of Science and Technology Greenhouse Culture*, 10:77-87.
- Maghsoudi, K., Ashrafi Dehkordi, E., & Mazloumi, S. M. (2021). The role of brassinosteroids and salicylic acid on spinach growth and cadmium accumulation under cadmium stress. *Journal of Vegetables Sciences*, 8, 15-33. (In Persian)
- Middleton, E. M. & Teramura, A. H. (1993). The role of flavanol glycosides and carotenoids in protecting soybean from UV-B damage. *Plant Physiology*, 103, 741-752.

- Mothaghi D. (2015). Folic Acid and Its Role in Agriculture. *Datis Agrochemicals R&D Department*. (In Persian)
- Nagajyoti, P., Lee, K. & Sreekanth, T. (2010). Heavy metals, occurrence and toxicity for plants. *Environmental Chemistry Letters*, 8, 199–216.
- Nardi, S., Pizzeghello, D., Muscolo, A. & Vianello, A. (2002). Physiological effects of humic substances on higher plants. *Soil Biology and Biochemistry*, 34, 1527-1536.
- Natesan, R., Kandasamy, S., Thiyageshwari, S. & Boopathy, P. M. (2007). Influence of lignite humic acid on the micronutrient availability and yield of blackgram in an alfisol. *Science World Journal*, 7, 1198-1206.
- Olivares, F. L., Aguiar, N. O., Rosa, R. C. C. & Canellas, L. P. (2015). Substrate biofortification in combination with foliar sprays of plant growth promoting bacteria and humic substances boosts production of organic tomatoes. *Scientia Horticulturae*, 183, 100–108.
- Pinton, R., Cesco, S., Iacoletting, G., Astolfi, S. & Varanini, Z. (1999). Modulation of NO₃ uptake by water extractable humic substances: involvement of root plasma membrane H-ATPase. *Plant and Soil*. 215, 155–161.
- Piruz. P. & Manuchehri, KH. (2012). The effect of chromium heavy metal on the amount of accumulation, growth factors and induction of oxidative stress in the aerial parts of sunflower (*Helianthus annuus*). *Plant biology*, 97-114. (In Persian)
- Rashidi, SH. & Tohidi, M. (2014). Evaluating the effects of humic acid on yield components of maize under drought conditions in the north of Khuzestan. *First National Congress on biology and natural sciences*. (In Persian)
- Ritchi, S., Nguyen, H. & Holaday, S. (1990). Leaf Water Content and Gas-Exchange Parameters of Two Wheat Genotypes Differing in Drought Resistance. *Crop Physiology & Metabolism*, 105-111.
- Roothani, N. S., Nemati, S. H., Moghadam, M. & Ardakanian, V. (2014). The role of humic acid on morphological, physiological and biochemical characteristics of three varieties of radish (*Raphanus sativus* L.) under salt stress. MSc Thesis. Ferdowsi University of Mashhad.
- Sergiev, I., Alexieva, V. & Karanov, E. (1997). Effect of spermine, atrazine and combination between them on some endogenous protective systems and stress markers in plants. *Comptes Rendus de l'Academie Bulgare des Sciences*, 51,121-124.
- Shafi, M., Bakht, J., Hassan, M. J., Raziuddin, M. & Zhang, G. (2009). Effect of cadmium and salinity stresses on growth and antioxidant enzyme activities of wheat (*Triticum aestivum* L.), *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*. 82, 772-776.
- Shahid, M., Shamshad, S., Rafiq, M., Khalid, S., Bibi, I., Niazi, N. K., Dumat, C. & Rashid, M. I. (2017). Chromium speciation, bioavailability, uptake, toxicity and detoxification in soil-plant system: A review. *Chemosphere*, 178, 513–533. (In Persian)
- Shanker, A. K., Cervantes, C., Loza-Tavera, H. & Avudainayagam, S. (2005). Chromium toxicity in plants, *Environment International*, 31, 739-753.
- Sharma, Y., Kapoor, Y., Wang, Y., Shahzad, B., Kumar, V., Bali, V., Jasrotia, SH., Zheng, B., Yuan, H. & Yan, D. (2020). MDOI Chromium bioaccumulation and its impacts on plants: An Overview Received, *Journal Plants*, 9- 100.
- Stakhova, L., Stakhov, L. & Ladygin, V. (2000). Effect of exogenic folic acid on the yield and amino acid composition of the seeds of *Pisum sativum* L. and *Hordeum vulgare* L, *Europe PMC*.

- 36(1), 98-103.
- Subrahamyam, D. (2008). Effects of chromium toxicity on leaf photosynthetic characteristics and oxidative changes in wheat (*Triticum aestivum* L.). *Photosynthetica*, 46(3), 339-345.
 - Vaughan, D. & Linehan, D. J. (2004). The growth of wheat plants in humic acid solutions under axenic conditions. *Plant and Soil*, 44, 445-449.
 - Wang, Y., Yang, R., Zheng, J., Shen, Zh. & Xu, X. (2019). Exogenous foliar application of fulvic acid alleviate cadmium toxicity in lettuce (*Lactuca sativa* L.). *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 10-19.
 - Young, H., Sun, K. & Gon, S. (2014). Effect of foliar application of fulvic acid on plant growth and fruit quality of tomato (*Lycopersicon esculentum* L.). *Horticulture, Environment, and Biotechnology*, 55(6), 455-461.
 - Zakir, A., Lahoti, M., Abrishamchi, P. & Ejtihadi, H. (2006). Investigating the effect of Cr³⁺ and Cr⁶⁺ accumulation on the growth and amount of chlorophyll in parsley (*Petroselinum crispum*), *Journal of Biology*, 18,101-109. (In Persian)
 - Zare, M., Siroosmehr, A. & Abdkhani, S. (2015). Effects of mycorrhizal fungi on morphological and physiological parameters of Sorghum (*Sorghum bicolor* L.) under Chrome stress. *Journal of Rangeland*, 2(9), 15-169. (In Persian)