University of Guilan
Faculty of Agricultural Sciences

Cereal Research
Vol. 14, No. 4, Winter 2025 (397-414)
doi: 10.22124/CR.2025.28664.1839
pISSN: 2252-0163 eISSN: 2538-6115

RESEARCH PAPER OPEN ACCESS

Effect of humic acid on grain and forage yield and quality of rainfed barley (*Hordeum vulgare* L.)

Vahid Shabani Koneshti[1], Gholamreza Heidari[2*] and Shiva Khalesro[3]

1. M. Sc. Graduate, Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, University of Kurdistan, Sanandaj, Iran
2. Associate Professor, Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, University of Kurdistan, Sanandaj, Iran (* Corresponding author: g.heidari@uok.ac.ir)
3. Associate Professor, Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, University of Kurdistan, Sanandaj, Iran

Comprehensive abstract

Introduction

Barley (*Hordeum vulgare* L.) is recognized for its potential in producing healthy food and being an excellent source of dietary fiber. Humic acid, an organic compound derived from decomposed organic materials, plays a significant role in plant nutrition due to its high hydrogen, carbon, oxygen, and nitrogen content. Foliar application of humic acid enhances leaf and root growth, nutrient uptake, photosynthesis and enzymatic activities, while increasing the plant's resistance to environmental stresses. Although the effects of humic acid on roots are well-documented, its impact on leaves requires further investigations. Previous studies have shown that foliar applications can enhance chlorophyll levels and influence photosynthesis, transpiration, and gas exchange. Despite numerous studies on the effects of humic acid on various crops, its influence on the yield and quality of rainfed barley cultivars has not yet been assessed. Therefore, the aim of this study was to investigate the effect of foliar application of humic acid on grain and forage yield and quality characteristics of five rainfed barley cultivars.

Materials and methods

The field experiment was conducted at the Sararood Dryland Agricultural Research Institute, located 17 km from Kermanshah, Iran, with a Mediterranean semi-arid climate. The experiment was carried out in a split plot experiment based on randomized complete block design with three replications. The main factor was the application of humic acid at three levels including 0, 400, and 800 $mg.lit^{-1}$, and the sub-factor was five barley cultivars including Artan, Qaflan, Arda, Abidar, and Sararood-1. The seeds of the studied cultivars were sown on October 22 using an experimental planter machine. Foliar application of humic acid was done at the flag leaf emergence stage. The measured traits in this experiment included grain and forage (biological) yield, grain nutritional elements, and the traits related to forage quality. Analysis of variance and comparison of means based on LSD test were performed using SAS 9.1 software and relevant graphs were drawn using Excel software.

Research findings

Statistical analysis revealed significant differences between cultivars, humic acid levels, and the interaction of cultivar × humic acid for all grain traits, including grain yield and grain nitrogen, phosphorus, and potassium content. Also, the effect of humic acid on forage yield and all quality traits, and the effect of cultivar on all forage traits except yield and ash percentage were significant, while the interaction of cultivar × humic acid was only significant on forage crude protein and crude fiber percentage. The results indicated that with increasing humic acid levels, grain nitrogen content

improved, so that the highest grain nitrogen content (2.98%) was observed in Artan cultivar at 800 $mg.lit^{-1}$ humic acid and the lowest value (1.49%) was obtained from Abidar cultivar without humic acid application. Grain yield also increased significantly with the application of humic acid, and the highest grain yield was obtained from the Qaflan and Abidar cultivars at the highest concentration of humic acid. Furthermore, the application of humic acid led to a decrease in forage crude fiber, neutral detergent fiber and acid detergent fiber, and increase in the forage protein and ash percentage, indicating improvement of forage quality.

Conclusion

The results of this study demonstrated that humic acid as a potent biostimulant, can increase grain and forage yield as well as the nutritional quality of barley. Based on the results of this experiment, the optimal application rate of humic acid was 800 $mg.lit^{-1}$. This level significantly improved all measured parameters of barley grain and forage. Thus, humic acid has the potential to optimize rainfed barley cultivation in semi-arid regions. Future research should be conducted to investigate the effects of humic acid on various barley cultivars and under diverse environmental conditions in order to develop practical and comprehensive guidelines for the use of humic acid.

Keywords: Ash percentage, Crude fiber, Foliar spraying, Grain nitrogen

Received: October 11, 2024 Accepted: January 27, 2025

Cite this article:

Shabani koneshti, V., Heidari, G. R., & Khalesro, Sh. (2025). Effect of humic acid on grain and forage yield and quality of dryland barley (*Hordeum vulgare* L.). *Cereal Research*, *14*(4), 397-414. doi: 10.22124/CR.2025.28664.1839.

تحقیقات غلات
دوره چهاردهم، شماره چهارم، زمستان ۱۴۰۳ (۴۱۴-۳۹۷)
doi: 10.22124/CR.2025.28664.1839
مقاله پژوهشی
دسترسی آزاد

تأثیر اسید هیومیک بر عملکرد و کیفیت دانه و علوفه جو (*Hordeum vulgare* L.) دیم

وحید شعبانی کنشتی[۱]، غلامرضا حیدری [۲*] و شیوا خالص‌رو[۳]

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه کردستان، سنندج ، ایران
۲- دانشیار، گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران (* نویسنده مسئول: g.heidari@uok.ac.ir)
۳- دانشیار، گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران

چکیده جامع

مقدمه: جو (*Hordeum vulgare* L.) به‌واسطه پتانسیل آن در تولید غذای سالم و به‌عنوان منبع عالی فیبر غذایی مورد توجه قرار گرفته است. اسید هیومیک، یک ترکیب آلی است که از مواد آلی تجزیه شده به‌دست می‌آید و به‌دلیل محتوای هیدروژن، کربن، اکسیژن و نیتروژن بالای آن، نقش مهمی در تغذیه گیاهان ایفا می‌کند. کاربردهای برگی اسید هیومیک موجب تقویت رشد برگ و ریشه، جذب مواد مغذی، فتوسنتز و فعالیت‌های آنزیمی می‌شود و مقاومت گیاهان را به تنش‌های محیطی افزایش می‌دهد. اگرچه تأثیرات اسید هیومیک بر ریشه‌ها به‌خوبی مستند شده است، اما تأثیر آن بر برگ‌ها نیازمند بررسی‌های بیش‌تر است. مطالعات قبلی نشان داده‌اند که کاربردهای برگی می‌توانند غلظت کلروفیل را افزایش دهند و بر فتوسنتز، تعرق و تبادل گازها تأثیر بگذارند. با وجود بررسی‌های متعدد تأثیرات اسید هیومیک بر گیاهان زراعی مختلف، تأثیر آن بر عملکرد و کیفیت رقم‌های جو دیم هنوز ارزیابی نشده است. بنابراین، هدف از این مطالعه، بررسی تأثیر کاربرد برگی اسید هیومیک بر عملکرد و ویژگی‌های مرتبط با کیفیت دانه و علوفه پنج رقم جو دیم می‌پردازد.

مواد و روش‌ها: آزمایش مزرعه‌ای در مؤسسه تحقیقات کشاورزی دیم سرارود واقع در ۱۷ کیلومتری کرمانشاه با اقلیم نیمه‌خشک مدیترانه‌ای اجرا شد. آزمایش به‌صورت طرح کرت‌های خرد شده در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. عامل اصلی، کاربرد اسید هیومیک در سه سطح شامل صفر (شاهد)، ۴۰۰ و ۸۰۰ میلی‌گرم در لیتر و عامل فرعی پنج رقم جو شامل آرتان، قافلان، آردا، آبیدر و سرارود-۱ بود. بذر رقم‌های مورد مطالعه در تاریخ اول آبان‌ماه با استفاده از دستگاه بذرکار آزمایشی کشت شد. محلول‌پاشی برگی اسید هیومیک در مرحله ظهور برگ پرچم انجام شد. صفات اندازه‌گیری شده در این آزمایش شامل عملکرد دانه و علوفه (عملکرد زیستی)، عناصر غذایی موجود در دانه و صفات مربوط به کیفیت علوفه بودند. تجزیه واریانس داده‌ها و مقایسه میانگین‌ها بر اساس آزمون LSD با استفاده از نرم‌افزار SAS 9.1 و رسم نمودارهای مربوطه با استفاده از نرم‌افزار Excel انجام شد.

یافته‌های تحقیق: تجزیه و تحلیل داده‌ها نشان داد که اختلاف آماری معنی‌داری بین رقم‌ها، سطوح اسید هیومیک و برهمکنش رقم×اسید هیومیک از نظر تمامی صفات دانه شامل عملکرد و محتوای نیتروژن، فسفر و پتاسیم دانه‌ها وجود داشت. همچنین، اثر اسید هیومیک بر عملکرد و تمامی ویژگی‌های کیفی علوفه و اثر رقم بر تمامی صفات علوفه به‌جز عملکرد و درصد خاکستر معنی‌دار بود، در حالی‌که برهمکنش رقم×اسید هیومیک فقط بر درصد الیاف خام و پروتئین خام معنی‌دار شد. نتایج

نشان داد که با افزایش سطوح اسید هیومیک، محتوای نیتروژن دانه بهبود یافت، به‌طوری که بالاترین میزان نیتروژن دانه (۲/۹۸ درصد) در رقم آرتان در ۸۰۰ میلی‌گرم در لیتر اسید هیومیک و پایین‌ترین میزان (۱/۴۹ درصد) در رقم آبیدر بدون کاربرد اسید هیومیک مشاهده شد. عملکرد دانه نیز به‌طور قابل‌توجهی با کاربرد اسید هیومیک افزایش یافت و بیش‌ترین عملکرد دانه از رقم‌های قافلان و آبیدر در بالاترین غلظت اسید هیومیک به‌دست آمد. علاوه بر این، کاربرد هیومیک اسید منجر به کاهش فیبر خام، فیبر نامحلول در شوینده خنثی و فیبر نامحلول در شوینده اسیدی علوفه شد و در مقابل، درصد پروتئین و خاکستر علوفه را افزایش داد که نشان‌دهنده بهبود کیفیت علوفه است.

نتیجه‌گیری: نتایج این مطالعه نشان داد که اسید هیومیک به‌عنوان یک محرک زیستی قوی عمل می‌کند و می‌تواند عملکرد دانه و علوفه و همچنین کیفیت تغذیه‌ای جو را افزایش دهد. بر اساس نتایج این آزمایش، میزان بهینه کاربرد اسید هیومیک ۸۰۰ میلی‌گرم در لیتر به‌دست آمد. این مقدار به‌طور قابل توجهی تمامی ویژگی‌های اندازه‌گیری شده در دانه و علوفه جو را بهبود بخشید. به این ترتیب، اسید هیومیک پتانسیل لازم برای بهینه‌سازی کشت جو دیم در مناطق نیمه‌خشک را دارد. تحقیقات بعدی باید با هدف بررسی اثرات اسید هیومیک بر رقم‌های متنوع جو و تحت شرایط محیطی متفاوت به‌منظور توسعه دستورالعمل‌های جامع و کاربردی برای استفاده از اسید هیومیک انجام شود.

واژه‌های کلیدی: درصد خاکستر، فیبر خام، محلول‌پاشی برگی، نیتروژن دانه

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۷/۲۰ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۱/۰۸

نحوه استناد به این مقاله:

شعبانی کنشتی، وحید، حیدری، غلامرضا، و خالص‌رو، شیوا. (۱۴۰۳). تأثیر هیومیک اسید بر عملکرد و کیفیت دانه و علوفه جو (*Hordeum vulgare* L.) دیم. *تحقیقات غلات*، ۱۴(۴)، ۴۱۴-۳۹۷. doi: 10.22124/CR.2025.28664.1839

مقدمه

جو (*Hordeum vulgare* L.) یکی از مهم‌ترین محصولات غلات در مقیاس جهانی است که میزان تولید آن ۱۵۷ میلیون تن تخمین زده می‌شود و ۱۵ درصد از مصرف جهانی غلات را به‌خود اختصاص می‌دهد (FAO, 2022). بیش‌تر این تولید به خوراک دام و تولید مالت اختصاص دارد (Newton *et al*., 2010). اهمیت جو عمدتاً به‌دلیل پتانسیل آن در تولید غذاهای سالم و به‌عنوان یک منبع عالی از فیبر رژیمی است (Griffey *et al*., 2010).

استفاده از منابع کود آلی به‌دلیل آلودگی و هزینه کم‌تری که نسبت به کودهای شیمیایی دارند، دارای اهمیت ویژه‌ای در تولید پایدار گیاهان زراعی هستند (Kugbe, 2019). اسید هیومیک یک ترکیب آلی است که از مواد آلی تجزیه شده به‌دست می‌آید و حاوی هیدروژن، کربن، اکسیژن و نیتروژن است و نقش مهمی در تغذیه گیاه دارد (Nardi *et al*., 2021). این ترکیب دارای خواص محرک زیستی است و توسط کشاورزان برای کاهش مصرف کودهای شیمیایی و استفاده موثرتر از عناصر غذایی و به‌منظور دستیابی به تولید پایدار محصولات کشاورزی به‌کار می‌رود (Monda *et al*., 2021). محلول‌پاشی اسید هیومیک به افزایش رشد برگ و ریشه، جذب عناصر غذایی، میزان فتوسنتز و فعالیت‌های آنزیمی گیاه کمک می‌کند و مقاومت آن را به تنش‌های محیطی افزایش می‌دهد (Amador *et al*., 2018). بر خلاف مطالعه اثرات اسید هیومیک بر ریشه، اثرات آن بر برگ‌ها کم‌تر مورد بررسی قرار گرفته است. گزارش‌هایی وجود دارد که نشان می‌دهد محلول‌پاشی ترکیبات هیومیک، غلظت کلروفیل برگ‌ها را افزایش می‌دهد و بر فتوسنتز اثر می‌گذارد. علاوه بر این، محلول‌پاشی اسید هیومیک بر تعرق و تبادلات گازها نیز تأثیر می‌گذارد، اگرچه مکانیسم‌های مربوط به آن‌ها هنوز نامشخص است (Rose *et al*., 2014). نتایج مطالعه‌ای نشان داد که محلول‌پاشی اسید هیومیک روی بوته‌های گندم دوروم سبب افزایش عملکرد زیستی این گیاه شد (Delfine *et al*., 2005). نتایج آزمایش دیگری در علف باغ (*Dactylis glomerata*) نشان داد که محلول‌پاشی با ترکیبات آلی مانند عصاره جلبک دریایی، محتوای فیبر شوینده خنثی و فیبر شوینده اسیدی را کاهش داد و سبب بهبود کیفیت علوفه گیاه شد (Ciepiela & Godlewska, 2015).

محلول‌پاشی برگی اسید هیومیک به‌تنهایی می‌تواند رشد ریشه و شاخساره گیاهان تیمار شده را تحریک کند و به‌دلیل اینکه مقدار محلول مورد نیاز در این روش نسبتاً کم است، می‌تواند باصرفه‌تر از کاربرد خاکی باشد (Mohajerani *et al*., 2016). در مطالعه‌ای در ذرت، مشاهده شد که استفاده از اسید هیومیک نسبت به تیمار شاهد سبب افزایش معنی‌دار عملکرد و کیفیت محصول این گیاه زراعی شد و دلیل این افزایش به تقویت فتوسنتز و جذب مواد مغذی از طریق برگ و همچنین افزایش فعالیت هورمونی و آنتی‌اکسیدانی ذرت نسبت داده شد (Sharifi, 2017). نتایج آزمایش دیگری نشان داد که اثرات مثبت کاربرد اسید هیومیک روی برگ‌ها احتمالاً با مکانیسم‌های متفاوت از مکانیسم‌هایی که این ترکیب در ریشه ایجاد می‌کند، اعمال می‌شود. این محققین اظهار کردند که کاربرد برگی اسید هیومیک ممکن است روی خاک نیز مؤثر باشد، زیرا بخشی از محلول استفاده شده به برگ‌ها نمی‌رسد و مقداری از آن می‌تواند روی خاک بریزد (Olaetxea *et al*., 2018). در مطالعه دیگری، اثرات مثبت محلول‌پاشی اسید هیومیک در مرحله پنجه‌زنی بر شاخص‌های کیفی علوفه یولاف مانند پروتئین خام و خاکستر کل گزارش شد (Al-Abdulla, 2019). در پژوهش دیگری، اثرات محلول‌پاشی غلظت‌های صفر، ۲۵۰، ۵۰۰ و ۷۵۰ میلی‌گرم در لیتر اسید هیومیک روی جو (*Hordeum vulgare* L.) در دو مرحله از رشد (یک ماه پس از کاشت و آغاز مرحله گلدهی) بررسی و مشاهده شد که استفاده از اسید هیومیک به‌میزان حداقل ۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر نسبت به تیمار شاهد منجر به افزایش معنی‌دار تعداد سنبله در متر مربع، تعداد دانه در بلال، عملکرد زیستی و دانه و شاخص برداشت شد (Dulaimy & El-Fahdawi, 2020). اگرچه اثرات اسید هیومیک بر تعداد زیادی از گیاهان زراعی مورد ارزیابی قرار است، اما اثرات این ترکیب بر عملکرد و کیفیت جو دیم تا کنون بررسی نشده است. از این‌رو، هدف از انجام این آزمایش، مطالعه اثرات محلول‌پاشی اسید هیومیک بر عملکرد و شاخص‌های کیفی دانه و علوفه پنج رقم جو دیم بود.

مواد و روش‌ها

آزمایش مزرعه‌ای این پژوهش در مؤسسه تحقیقات کشاورزی دیم سرارود واقع در ۱۷ کیلومتری شهر کرمانشاه در سال زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۰ اجرا شد. این

مزرعه دارای مختصات ۴۷ درجه و ۲۰ دقیقه طول شرقی و ۳۴ درجه و ۲۰ دقیقه عرض شمالی با ارتفاع ۱۳۵۱/۶ متر از سطح دریا می‌باشد. بر اساس تقسیم‌بندی اقلیمی این منطقه دارای اقلیم نیمه‌خشک سرد تا معتدل با متوسط بارندگی سالیانه ۴۳۷ میلی‌متر است (Parsamehr *et al*., 2022). طبق اطلاعات ثبت شده در ایستگاه هواشناسی سرارود، مجموع بارندگی سالیانه این منطقه در سال زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۰ برابر با ۳۱۷ میلی‌متر و متوسط کمینه و بیشینه دمای روزانه به‌ترتیب ۴- و ۳۸ درجه سلسیوس بوده است.

آزمایش به‌صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. فاکتور اصلی کاربرد اسید هیومیک در سه سطح شامل صفر، ۴۰۰ و ۸۰۰ میلی‌گرم در لیتر و فاکتور فرعی پنج رقم جو شامل شامل آرتان، قافلان، آردا، آبیدر و سرارود-۱ بود. قبل از اجرای آزمایش، خاک مزرعه آزمایشی نمونه‌برداری و ویژگی‌های فیزیکی و شمیایی خاک در عمق ۳۰ سانتی‌متری اندازه‌گیری شد (جدول ۱). اسید هیومیک مورد استفاده دارای ۶۵ درصد اسید هیومیک، ۱۴ درصد اسید فولویک و ۱۰ درصد K_2O بود. عملیات آماده‌سازی مزرعه شامل شخم و سپس دیسک جهت خردکردن کلوخه‌ها یک ماه قبل از کاشت جو در تاریخ ۳۰ شهریورماه ۱۴۰۰ انجام شد. کاشت در تاریخ یکم آبان‌ماه در زمینی به مساحت ۴۶۵ مترمربع با استفاده از دستگاه بذرکار آزمایشی بخش غلات با تراکم ۱۸۳ کیلوگرم بذر در هکتار انجام شد. بر اساس نتایج آزمون خاک، ۱۰۰ کیلوگرم کود سوپر فسفات تریپل و ۵۰ کیلوگرم کود اوره ۴۶ درصد در هنگام کاشت بذر و ۵۰ کیلوگرم کود اوره نیز به‌صورت سرک در اسفندماه به‌کار برده شد. هر کرت آزمایشی دارای شش خط کاشت به طول شش متر و عرض ۱/۲ متر بود. فاصله بین خطوط کاشت ۲۰ سانتی‌متر و فاصله بین بلوک‌ها ۱/۲ متر در نظر گرفته شد. جهت جلوگیری از ورود ذرات اسید هیومیک محلول‌پاشی شده به کرت‌های مجاور، فاصله بین کرت‌های اصلی یک متر و فاصله بین کرت‌های فرعی ۳۵ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. محلول‌پاشی اسید هیومیک در یک مرحله و در زمان ظهور برگ پرچم صورت گرفت. محلول‌پاشی توسط سمپاش پشتی ۲۰ لیتری در هنگام غروب آفتاب انجام شد. طی مرحله داشت، دوبار وجین کامل علف‌های هرز به‌صورت دستی انجام شد.

به‌منظور اندازه‌گیری عملکرد دانه و عملکرد علوفه تر، در پایان فصل رشد از مساحتی معادل دو مترمربع پس از حذف حاشیه‌ها برداشت صورت گرفت و عملکرد دانه و زیستی (علوفه) تعیین شد. صفات مربوط به کیفیت علوفه نیز شامل خاکستر علوفه (Van Soest *et al*., 1991)، درصد پروتئین خام علوفه با استفاده از دستگاه کجلدال (Nelson & Sommers, 1973) ، الیاف نامحلول در شوینده خنثی (Van Soest *et al*., 1991)، الیاف نامحلول در شوینده اسیدی (AOAC, 1990)، فیبر خام (AOAC, 1990) و ماده خشک قابل هضم (AOAC, 1990) اندازه‌گیری شد. علاوه بر این، عناصر غذایی موجود در دانه جو شامل نیتروژن، فسفر و پتاسیم نیز در این آزمایش اندازه‌گیری شد. میزان نیتروژن دانه به‌روش تیتراسیون با کجلدال (Nelson & Sommers, 1973)، میزان فسفر با استفاده از روش رنگ‌سنجی (رنگ زرد مولیبدات وانادات) با اسپکتروفوتومتر در طول موج ۴۷۰ نانومتر (Temminghoff & Houba, 2004) و میزان پتاسیم به‌روش نشر شعله‌ای با استفاده از دستگاه فلیم‌فوتومتر (Temminghoff & Houba, 2004) اندازه‌گیری شدند.

برای تجزیه و تحلیل داده‌های به‌دست آمده از نرم‌افزار SAS 9.1 و برای مقایسه میانگین تیمارها از آزمون LSD استفاده شد. همچنین نمودارهای مربوطه با استفاده از نرم‌افزار Excel رسم شدند.

جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه آزمایشی

Table 1. Physical and chemical properties of experimental field soil

P mg).k g^{-1})	K mg).k g^{-1})	pH	EC ($dS.m^{-1}$)	Organic matter (%)	Clay (%)	Silt (%)	Sand (%)	Soil texture
12.4	571	7.57	0.58	0.76	33.4	62.0	4.6	Silty clay loam

نتایج و بحث

درصد نیتروژن دانه

نتایج تجزیه آماری داده‌ها (جدول ۲) نشان داد که اثرات اسید هیومیک و رقم و برهمکنش رقم × اسید هیومیک بر میزان نیتروژن دانه جو معنی‌دار بود. مقایسه میانگین برهمکنش اسید هیومیک × رقم نشان داد که با افزایش غلظت اسید هیومیک، میزان نیتروژن دانه در تمامی رقم‌های جو دیم افزایش یافت، به‌طوری که بالاترین میزان نیتروژن دانه (۲/۹۸ درصد) در تیمار ۸۰۰ میلی‌گرم بر لیتر اسید هیومیک در رقم آرتان و کم‌ترین میزان آن (۱/۴۹ درصد) در تیمار عدم کاربرد اسید هیومیک در رقم آبیدر مشاهده شد (شکل ۱). کاربرد اسید هیومیک در افزایش کیفیت دانه رقم‌های جو را می‌توان به تأثیر آن بر فعالیت آنزیمی، فتوسنتز، جذب آب، جذب مواد مغذی و سنتز پروتئین نسبت داد (Belal *et al*., 2019). والی و همکاران (Wali *et al*., 2018) طی آزمایشی مشاهده کردند که محلول‌پاشی اسید هیومیک سبب افزایش معنی‌دار درصد پروتئین دانه در چند رقم جو شد.

فسفر دانه

بر اساس نتایج تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۲)، اثرات رقم و سطوح اسید هیومیک و برهمکنش آن‌ها بر میزان فسفر دانه جو معنی‌دار بود. نتایج مقایسه میانگین داده‌های فسفر دانه ارقام مورد مطالعه در سطوح مختلف هیومیک اسید نشان داد که با افزایش غلظت اسید هیومیک میزان فسفر دانه در تمام رقم‌های جو دیم افزایش یافت، به‌طوری که بالاترین میزان فسفر (۰/۴۶ درصد) با کاربرد ۸۰۰ میلی‌گرم بر لیتر اسید هیومیک از رقم آرتان و کم‌ترین مقدار آن (۰/۲۶ درصد) با عدم کاربرد اسید هیومیک از رقم سرارود-۱ به‌دست آمد (شکل ۲). گزارش شده است که محلول‌پاشی اسید هیومیک باعث بهبود فعالیت فتوسنتزی شده و افزایش فتوسنتز به نوبه خود منجر به افزایش تولید انرژی می‌شود که می‌تواند فرآیندهای فیزیولوژیک مختلف از جمله جذب مواد مغذی و انتقال فسفر به اندام‌های زایشی را تحریک کند و در نتیجه باعث افزایش محتوای فسفر در دانه‌ها شود (Rachid *et al*., 2020). محمود و همکاران (Mahmood *et al*., 2020) با اجرای آزمایشی مشاهده کردند که بوته‌های ذرت تیمار شده با اسید هیومیک، افزایش قابل توجهی در محتوای فسفر دانه در مقایسه با گروه شاهد داشتند. نتایج آزمایش دیگری نشان داد که میزان نیتروژن، فسفر و پتاسیم دانه گندم با محلول‌پاشی اسید هیومیک در مقایسه با تیمار شاهد افزایش یافت (Katkat *et al*., 2009). بر اساس تحقیقات عثمان و همکاران (Osman *et al*., 2013) محلول‌پاشی اسیدهای آلی (اسید هیومیک و اسید فولویک) به‌طور قابل توجهی محتوای عناصر غذایی دانه برنج از جمله محتوای فسفر دانه‌ها را افزایش داد.

پتاسیم دانه

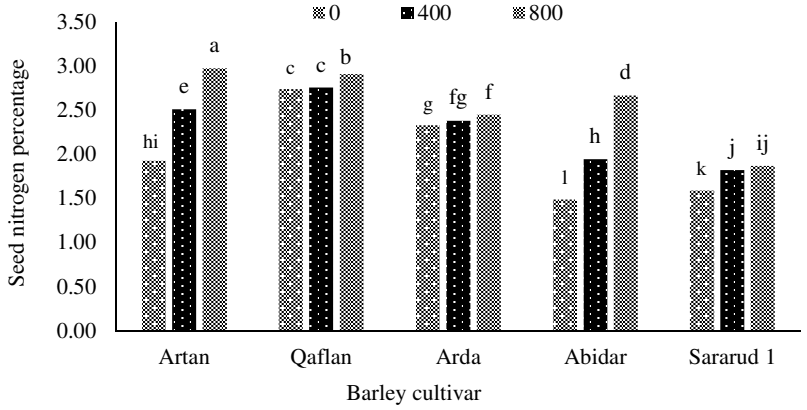
نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثرات رقم، اسید هیومیک و برهمکنش رقم ×اسید هیومیک بر میزان پتاسیم دانه جو معنی‌دار بود (جدول ۲). مقایسه میانگین برهمکنش رقم ×اسید هیومیک (شکل ۳) حاکی از آن بود که کاربرد اسید هیومیک به‌صورت محلول‌پاشی، سبب افزایش درصد پتاسیم دانه در تمام رقم‌های جو دیم شد. بالاترین میزان پتاسیم (۰/۶۲ درصد) در تیمار کاربرد ۸۰۰ میلی‌گرم بر لیتر اسید هیومیک در رقم‌های آرتان، آبیدر و سرارود-۱ و کم‌ترین مقدار آن (۰/۴۶ درصد) در تیمارهای عدم کاربرد اسید هیومیک و کاربرد ۴۰۰ میلی‌گرم بر لیتر اسید هیومیک در رقم آرتان مشاهده شد. غلظت بالای اسید هیومیک (۸۰۰ میلی‌گرم بر لیتر) از تأثیر بالاتری برخوردار بود و بیش‌ترین درصد پتاسیم از مصرف ۸۰۰ میلی‌گرم بر لیتر این ترکیب حاصل شد. پتاسیم یکی از عناصر ضروری گیاه است که در بسیاری از فعالیت‌های گیاه همانند جذب آب و حفظ پتانسیل اسمزی سلول نقش دارد (Sobhani & Hamidi, 2013). افزایش پتاسیم دانه رقم‌های جو در اثر محلول‌پاشی اسید هیومیک را می‌توان به محتوای اسید هیومیک مورد استفاده در این آزمایش نسبت داد که حاوی ۱۰ درصد پتاسیم بود. علاوه بر این، محلول‌پاشی اسید هیومیک می‌تواند نفوذپذیری غشای سلولی گیاه را افزایش دهد و جذب یون بیش‌تر را تسهیل کند (Ampong *et al*., 2022). نتایج مطالعه توران و همکاران (Turan *et al*., 2022) نیز نشان داد که محلول‌پاشی اسید هیومیک اثرات مثبت و معنی‌داری بر جذب عناصر غذایی و محتوای فسفر، منیزیم، آهن و پتاسیم در گیاه اسفناج داشت.

جدول ۲- تجزیه واریانس تاثیر محلول‌پاشی اسید هیومیک بر عملکرد و کیفیت دانه رقم‌های جو دیم

Table 2. Analysis of variance of the effect of foliar application of humic acid on grain yield and quality of rainfed barley cultivars

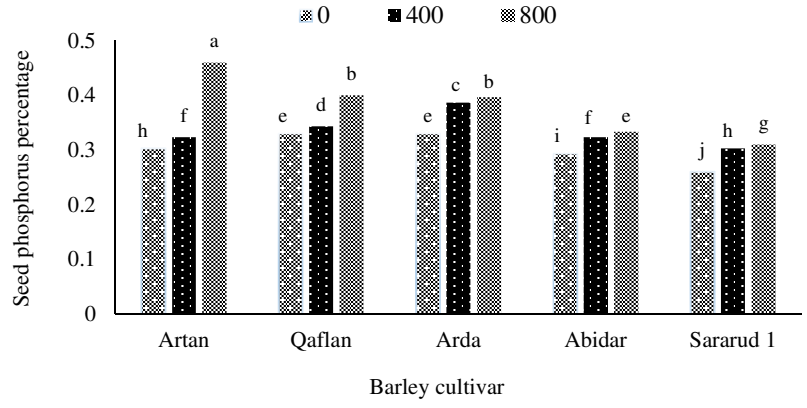
Source of variation	df	Mean square			
		Nitrogen content	Phosphorus content	Potassium content	Grain yield
Replication	2	0.0039 ^{ns}	0.0007 ^{ns}	0.0013	1759061.1**
Humic acid (H)	2	1.01*	0.022**	0.025**	1010399.9**
Error 1	4	0.125	0.0007	0.00007	9588.2
Cultivar (C)	4	1.46**	0.011**	0.0085**	75274.6**
H × C	8	0.243**	0.0027**	0.0037**	41566.4*
Error 2	24	0.032	0.00026	0.0001	13941.9
CV (%)	-	7.86	2.53	1.06	6.61

^{ns}, * and ** Not-significant and significant at 5% and 1% probability levels, respectively.



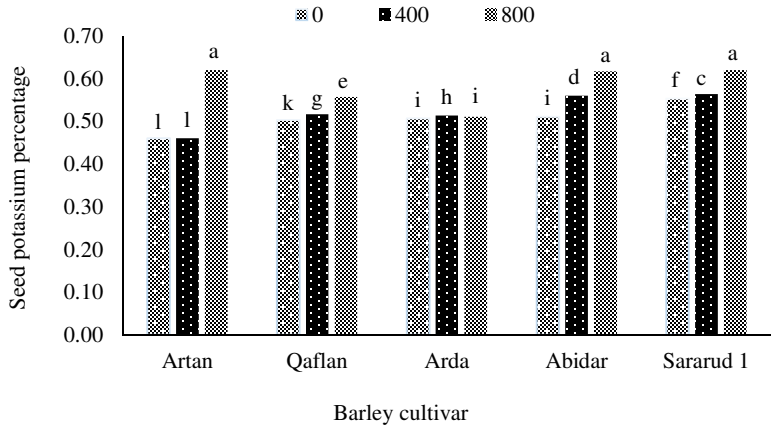
شکل ۱- مقایسه میانگین برهمکنش رقم × اسید هیومیک بر میزان نیتروژن دانه رقم‌های جو دیم

Figure 1. Comparison of mean of the effect of cultivar × humic acid interaction on grain nitrogen content of rainfed barley cultivars



شکل ۲- مقایسه میانگین برهمکنش رقم × اسید هیومیک بر میزان فسفر دانه رقم‌های جو دیم

Figure 2. Comparison of mean of the effect of cultivar × humic acid interaction on grain phosphorus content of rainfed barley cultivars

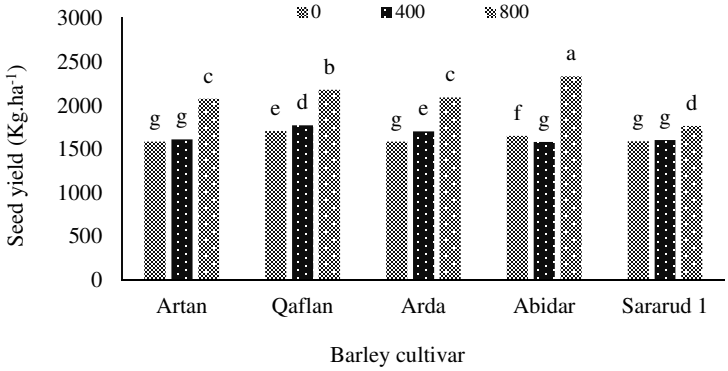


شکل ۳- مقایسه میانگین برهمکنش رقم × اسید هیومیک بر میزان پتاسیم دانه رقم‌های جو دیم

Figure 3. Comparison of mean of the effect of cultivar × humic acid interaction on grain potassium content of rainfed barley cultivars

عملکرد دانه

نتایج تجزیه واریانس داده‌های عملکرد دانه رقم‌های جو در سطوح مختلف اسید هیومیک نشان داد که اثرات رقم، اسید هیومیک و برهمکنش رقم × اسید هیومیک بر عملکرد دانه معنی‌دار بود (جدول ۲). بر اساس نتایج مقایسه میانگین‌ها، بالاترین میزان عملکرد دانه مربوط به دو رقم قافلان و آبیدر با کاربرد ۸۰۰ میلی‌گرم بر لیتر اسید هیومیک بود و در مقابل، دو رقم آرتان و آردا در تیمار بدون استفاده از اسید هیومیک دارای کم‌ترین عملکرد دانه بودند (شکل ۴). علاوه بر این، بین سه رقم آرتان، آبیدر و سرارود-۱ در غلظت ۴۰۰ میلی‌گرم بر لیتر اسید هیومیک تفاوت معنی‌داری به‌لحاظ میزان عملکرد دانه مشاهده نشد. با افزایش کاربرد اسید هیومیک، عملکرد دانه در تمامی رقم‌های جو افزایش یافت و این افزایش در تمامی رقم‌ها به‌ویژه با کاربرد ۸۰۰ میلی‌گرم بر لیتر اسید هیومیک نسبت به دو غلظت دیگر قابل‌توجه و معنی‌دار بود (شکل ۴). گزارش‌ها نشان می‌دهند که اسید هیومیک می‌تواند با ایجاد اثرات مثبت فیزیولوژیک بر متابولیسم سلول‌های گیاهی، غلظت کلروفیل و به‌دنبال آن فتوسنتز را در گیاهان افزایش دهد و باعث افزایش عملکرد دانه شود (Sarwar *et al*., 2017). ال‌باز و همکاران (El-Baz *et al*., 2012) با بررسی اثرات سطوح مختلف اسید هیومیک بر ویژگی‌های کمی و کیفی گیاه سویا (*Glycine max* L.) گزارش کردند که کاربرد ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر اسید هیومیک سبب بهبود اجزای عملکرد سویا در مقایسه با تیمار شاهد شد، اما بیش‌ترین عملکرد دانه با کاربرد مقدار ۱۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر اسید هیومیک به‌دست آمد. شهبازی و همکاران (Shahbazi *et al*., 2015) نیز در بررسی تأثیر اسید هیومیک و ورمی‌کمپوست بر عملکرد و اجزای عملکرد دانه سه رقم گندم، افزایش عملکرد دانه را تا ۱۵ درصد گزارش کردند. همچنین، صفایی و همکاران (Safaee *et al*., 2017) با مطالعه اثرات ورمی‌کمپوست و محلول‌پاشی چای کمپوست و اسید هیومیک بر عملکرد و شاخص‌های رشد گلرنگ (*Carthamus tinctorius* L.)، افزایش عملکرد دانه گیاه را در اثر کاربرد اسید هیومیک گزارش کردند و دلیل آن را به افزایش شاخص سطح برگ و وزن خشک گیاه نسبت دادند. به نظر این پژوهش‌گران، اسید هیومیک با افزایش شاخص سطح برگ، موجب دریافت نور بیش‌تر توسط برگ‌ها می‌شود و بنابراین میزان فتوسنتز در گیاه افزایش یافته و به‌دنبال آن سرعت رشد محصول افزایش می‌یابد و در نتیجه منجر به افزایش تجمع ماده خشک و عملکرد دانه می‌شود. در تحقیق حاضر نیز محلول‌پاشی اسید هیومیک منجر به افزایش عملکرد دانه نسبت به تیمار شاهد شد (شکل ۴) که احتمالاً می‌تواند ناشی از تأثیر اسید هیومیک بر جذب بهتر عناصر غذایی و افزایش میزان فتوسنتز و رشد گیاه باشد.



شکل ۴- مقایسه میانگین برهمکنش رقم × اسید هیومیک بر عملکرد دانه رقم‌های جو دیم مورد مطالعه

Figure 4. Comparison of mean of the effect of cultivar × humic acid interaction on grain yield of the studied rainfed barley cultivars

شاخص‌های مربوط به کیفیت علوفه

درصد فیبر خام علوفه

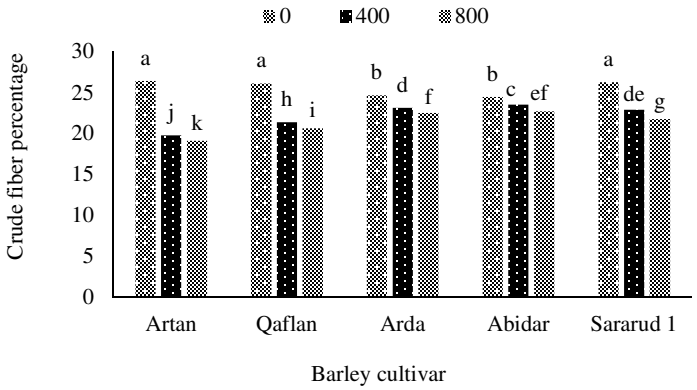
نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که تأثیر کاربرد سطوح اسید هیومیک، رقم و برهمکنش رقم × اسید هیومیک بر درصد فیبر خام علوفه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین برهمکنش رقم × اسید هیومیک نشان داد که درصد فیبر خام در تمامی رقم‌های جو دیم در هر دو غلظت ۸۰۰ و ۴۰۰ میلی‌گرم بر لیتر اسید هیومیک نسبت به تیمار عدم کاربرد اسیدهیومیک کم‌تر بود، به‌طوری که بیش‌ترین (۲۶/۴۰ درصد) و کم‌ترین (۱۹/۰۸ درصد) میزان فیبر خام به‌ترتیب در تیمار عدم کاربرد اسید هیومیک در رقم آرتان و تیمار ۸۰۰ میلی‌گرم بر لیتر در رقم آرتان مشاهده شد (شکل ۵). میزان فیبر خام موجود در علوفه یکی از شاخص‌های مهم به‌منظور ارزیابی کیفیت علوفه است. گزارش‌ها نشان می‌دهند که با پیر شدن و فیبری‌شدن گیاه، درصد ماده خشک قابل هضم و در نتیجه کیفیت علوفه کاهش می‌یابد (Xu *et al*., 2023). نتایج آزمایشی روی شبدر نشان داد که محلول‌پاشی اسید هیومیک به‌میزان ۱۰ میلی‌لیتر بر لیتر سبب کاهش ۲۲ درصدی فیبر خام نسبت به تیمار شاهد شد (Sultan *et al*., 2016). اسید هیومیک به‌واسطه داشتن ویژگی‌های سایتوکینینی موجب به تأخیر افتادن تجزیه کلروفیل و پروتئین‌ها در برگ و پیری گیاه می‌شود. این ترکیب در متابولیسم کربوهیدرات‌ها و انتقال آن‌ها به جوانه‌های در حال رشد نقش اساسی دارد و از این طریق موجب افزایش میزان ماده خشک گیاه و طول عمر آن می‌شود (Nardi *et al*., 2002).

جدول ۳- تجزیه واریانس تاثیر محلول‌پاشی اسید هیومیک بر عملکرد و کیفیت علوفه رقم‌های دیم جو

Table 3. Analysis of variance of the effect of humic acid foliar application on forage yield and quality of rainfed barley cultivars

Source of variation	df	Mean square					
		Crude fiber	Acid detergent fiber	Neutral detergent fiber	Crude protein	Ash percentage	Forage yield
Replication	2	0.09 ^{ns}	40.59*	3.42 ^{ns}	13.81**	0.03 ^{ns}	437459.4 ^{ns}
Humic acid (H)	2	75.88**	266.93**	49.34**	45.73**	5.37**	18525947.4**
Error 1	4	3.78	5.03	3.82	0.72	0.36	507581.3
Cultivar (C)	4	5.64**	62.29**	19.04**	2.20**	0.20 ^{ns}	183381.9 ^{ns}
H × C	8	5.47**	5.76^{ns}	1.75 ^{ns}	0.80**	0.20 ^{ns}	89186.9 ^{ns}
Error 2	24	0.81	4.75	3.66	0.12	0.29	132578.5
CV%	-	3.92	6.36	2.95	4.76	12.03	5.30

^{ns}, * and ** Not-significant and significant at 5% and 1% probability levels, respectively.



شکل ۵- مقایسه میانگین برهمکنش رقم × اسید هیومیک بر درصد فیبر خام علوفه در رقم‌های جو دیم مورد مطالعه

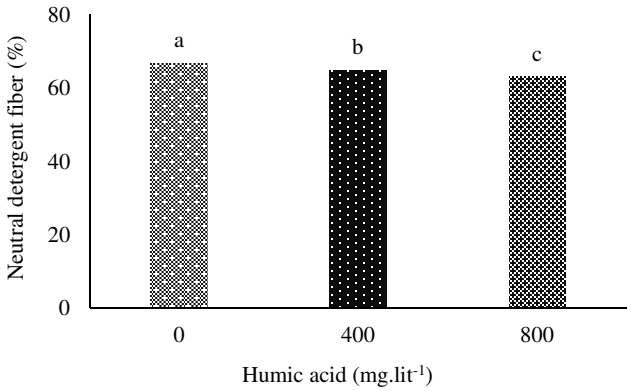
Figure 5. Comparison of mean of the effect of cultivar × humic acid interaction on forage crude fiber percentage in the studied rainfed barley cultivars

الیاف نامحلول در شوینده خنثی و اسیدی

نتایج تجزیه واریانس (جدول ۳) نشان داد که اثرات رقم و سطوح اسید هیومیک بر الیاف نامحلول در شوینده خنثی (NDF; Neutral detergent fiber) در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود، اما برهمکنش رقم × اسید هیومیک معنی‌دار نبود (جدول ۳). مقایسه میانگین سطوح اسید هیومیک نشان داد که کم‌ترین میزان الیاف نامحلول در شوینده خنثی از کاربرد ۸۰۰ میلی‌گرم بر لیتر اسید هیومیک (۶۳/۰۳ درصد) و بیش‌ترین میزان آن (۶۶/۶۹ درصد) از تیمار عدم کاربرد اسید هیومیک به‌دست آمد (شکل ۶). مقایسه میانگین اثر رقم نیز نشان داد که رقم آردا (۶۶/۳۶) از بیش‌ترین و دو رقم آبیدر و سرارود-۱ از کم‌ترین مقدار NDF برخوردار بودند (شکل ۷). فیبر نامحلول در شوینده خنثی از اجزای دیواره سلولی است که دارای مواد سلولزی و همی‌سلولزی می‌باشد. هر چه میزان شوینده خنثی کم‌تر باشد، کیفیت علوفه به‌همان نسبت افزایش می‌یابد و درجه خوش‌خوراکی آن برای دام افزایش می‌یابد (Krämer *et al*., 2012). بهبود کیفیت علوفه در اثر افزودن اسید هیومیک را می‌توان به نقش اسید هیومیک در افزایش جذب عناصر غذایی مورد نیاز گیاه نسبت داد (Daur & Bakhashwain, 2013).

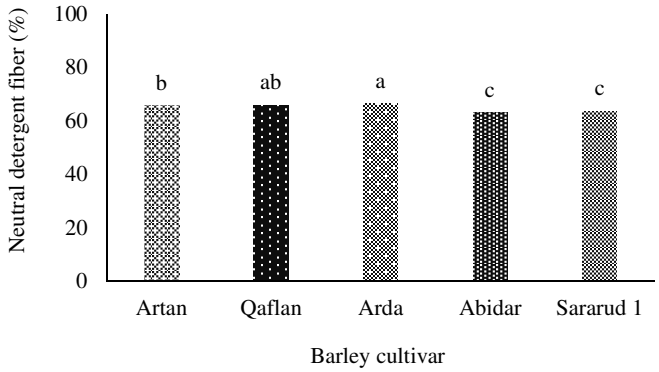
عامل مهم دیگر مؤثر بر انرژی و یا مجموع مواد غذایی قابل هضم علوفه، فیبر نامحلول در شوینده اسیدی (ADF; Acid detergent fiber) است. درصد ADF به‌طور معمول برای تخمین قابلیت هضم علوفه مورد استفاده قرار می‌گیرد و یکی از روش‌های اندازه‌گیری مقدار انرژی موجود در یک ماده غذایی است (Chen *et al*., 2023).

نتایج تجزیه واریانس شاخص ADF نیز همانند NDF نشان داد که اثر رقم و سطوح اسید هیومیک در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود، برهمکنش آن‌ها معنی‌دار نبود (جدول ۳). مقایسه میانگین سطوح اسید هیومیک نشان داد که بیش‌ترین الیاف نامحلول در شوینده اسیدی (۳۷/۴۲ درصد) با عدم کاربرد اسید هیومیک و کم‌ترین مقدار آن (۲۹/۳۲ درصد) با کاربرد ۸۰۰ میلی‌گرم بر لیتر اسید هیومیک حاصل شد (شکل ۸). بر اساس نتایج مقایسه میانگین رقم‌های مورد مطالعه نیز بیش‌ترین میزان الیاف نامحلول در شوینده اسیدی به رقم آرتان (۳۸/۱۵ درصد) و کم‌ترین مقدار آن به رقم آبیدر (۳۰/۸۲ درصد) تعلق داشت (شکل ۹). به‌دنبال رشد گیاه، میزان بافت‌های نگه‌دارنده و استحکامی مانند بافت اسکلرانشیم بیش‌تر می‌شود. این بافت‌ها نیز بیش‌تر از کربوهیدرات‌های ساختمانی مانند سلولز، همی‌سلولز و لیگنین تشکیل شده‌اند. بنابراین، با کامل شدن دوره رشد گیاه و افزایش نسبت کربوهیدرات‌های ساختمانی، درصد فیبر گیاهان افزایش می‌یابد (Zhang *et al*., 2022). هنگامی که اسید هیومیک به‌صورت محلول‌پاشی استفاده می‌شود، می‌تواند جذب عناصر مغذی را مستقیماً از طریق برگ‌ها تسهیل کند و به‌تبع آن رشد فیزیولوژیک کلی گیاه را افزایش دهد و بر کیفیت آن تأثیر بگذارد (Maibodi *et al*., 2015). نتایج مطالعه‌ای در خصوص اثرات محلول‌پاشی کودهای زیستی و آلی بر عملکرد و کیفیت شبدر مصری نشان داد که محلول‌پاشی هیومیک اسید سبب کاهش مقادیر ADF و NDF می‌شود که با نتایج تحقیق حاضر مطابقت داشت (Ismail & Hassanen, 2019).



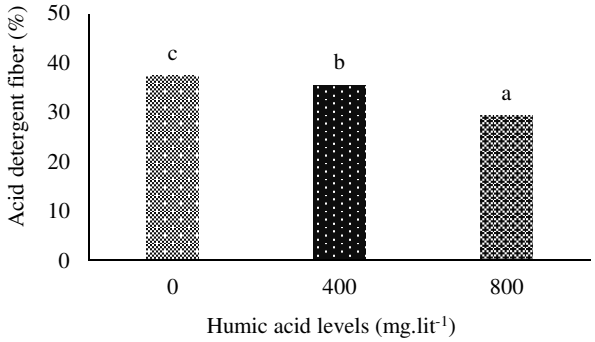
شکل ۶- مقایسه میانگین اثر سطوح اسید هیومیک بر درصد الیاف نامحلول در شوینده خنثی علوفه رقم‌های جو دیم

Figure 6. Comparison of mean of the effect of humic acid levels on forage neutral detergent fiber percentage of rainfed barley cultivars



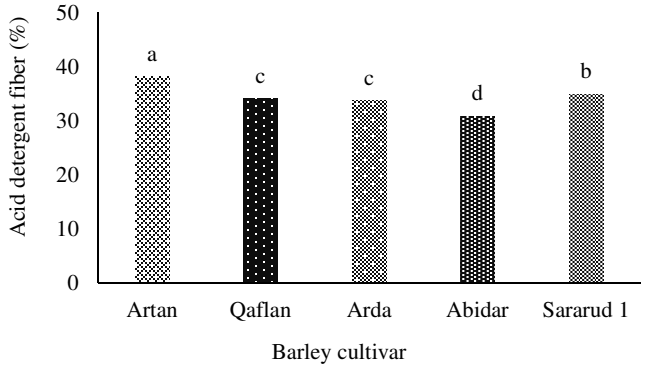
شکل ۷- مقایسه میانگین اثر رقم بر درصد الیاف نامحلول در شوینده خنثی (NDF) علوفه جو دیم

Figure 7. Comparison of mean of the effect of cultivar on forage neutral detergent fiber percentage of rainfed barley



شکل ۸- مقایسه میانگین اثر سطوح اسید هیومیک بر الیاف نامحلول در شوینده اسیدی علوفه رقم‌های جو دیم

Figure 8. Comparison of mean of the effect of humic acid levels on forage acid detergent fiber percentage of rainfed barley cultivars



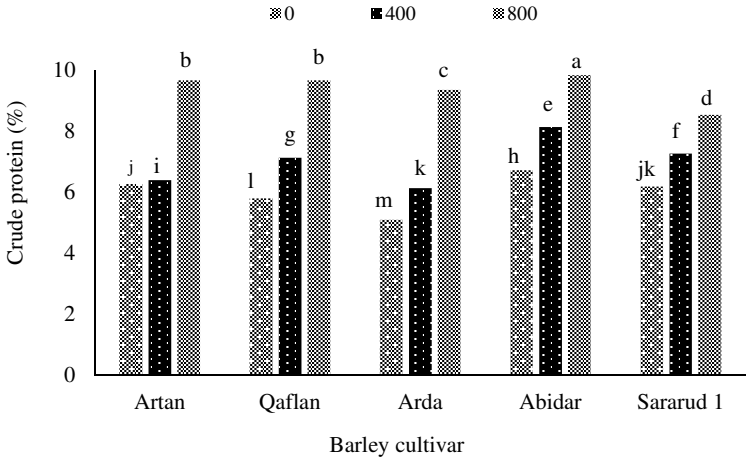
شکل ۹- مقایسه میانگین اثر رقم بر درصد الیاف نامحلول در شوینده اسیدی علوفه جو دیم
Figure 9. Comparison of mean of the effect of cultivar on forage acid detergent fiber percentage of rainfed barley

میزان پروتئین خام علوفه

نتایج تجزیه واریانس داده‌های ثبت شده برای میزان پروتئین خام علوفه نشان داد که اثرات غلظت‌های مختلف اسید هیومیک، رقم و برهمکنش رقم × اسید هیومیک بر میزان پروتئین خام علوفه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). نتایج مربوط به مقایسه میانگین برهمکنش رقم × اسید هیومیک نشان داد که بیش‌ترین میزان پروتئین علوفه (۹/۸۳ درصد) با کاربرد غلظت ۸۰۰ میلی‌گرم بر لیتر اسید هیومیک در رقم آبیدر به‌دست آمد، در حالی‌که کم‌ترین میزان پروتئین (۵/۰۸ درصد) در تیمار عدم کاربرد اسید هیومیک و رقم آردا مشاهده شد (شکل ۱۰). مقایسه میزان پروتئین رقم‌های جو دیم در سطوح مختلف اسید هیومیک نشان داد که با افزایش غلظت اسید هیومیک، میزان پروتئین خام علوفه در تمامی رقم‌های جو افزایش یافت و به‌تبع آن خوش‌خوراکی علوفه بیش‌تر شد. ارتانی و همکاران (Ertani *et al*., 2013) اظهار داشتند که استفاده از اسید هیومیک، فتوسنتز و فرآیندهای متابولیک گیاه را تحریک می‌کند و منجر به افزایش تخصیص مواد مغذی و تولید زیست‌توده می‌شود که این امر می‌تواند موجب افزایش تولید پروتئین شود، زیرا گیاه به‌طور مؤثر از نیتروژن جذب شده و سایر مواد مغذی برای سنتز پروتئین‌ها استفاده می‌کند.

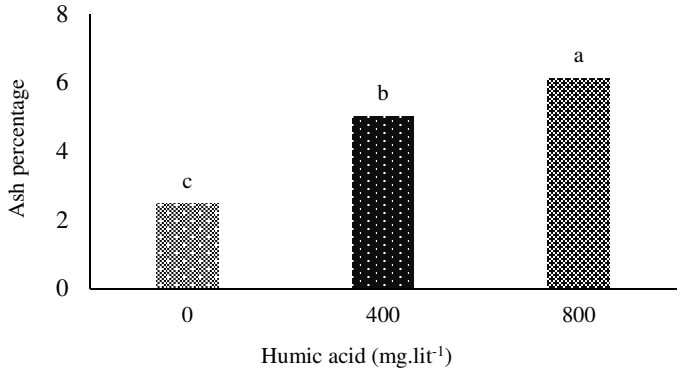
درصد خاکستر علوفه

نتایج نشان داد که فقط اثر غلظت اسید هیومیک بر میزان خاکستر علوفه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود و اثر رقم و برهمکنش رقم × اسید هیومیک معنی‌دار نشد (جدول ۳). بیش‌ترین درصد خاکستر در غلظت ۸۰۰ میلی‌گرم بر لیتر (۶/۱۲ درصد) و کم‌ترین میزان آن در تیمار عدم کاربرد اسید هیومیک (۲/۴۸ درصد) مشاهده شد (شکل ۱۱). در غلظت‌های ۴۰۰ و ۸۰۰ میلی‌گرم بر لیتر اسید هیومیک، درصد خاکستر علوفه در مقایسه با شاهد بیش‌تر بود. میزان خاکستر علوفه نشان‌دهنده مقدار عناصر معدنی موجود در بافت‌های گیاهی است و مقدار آن بین ۳ تا ۱۲ درصد وزن خشک علوفه متغیر است. این عناصر به‌لحاظ تأثیری که در متابولیسم دام دارند، برای فعالیت سلول‌های بدن لازم و مهم هستند (Younesi *et al*., 2020). اسید هیومیک عمدتاً از کربن، هیدروژن، اکسیژن، نیتروژن و پتاسیم تشکیل شده و حاوی عناصر دیگری مانند کلسیم و منیزیم است (Rice & MacCarthy, 1991). به‌نظر می‌رسد محلول‌پاشی اسید هیومیک می‌تواند باعث جذب مستقیم عناصر غذایی از طریق برگ‌ها شود که ممکن است کارایی جذب مواد مغذی را بهبود بخشد (Abdellatif *et al*., 2017) و به‌تبع آن درصد خاکستر را افزایش دهد.



شکل ۱۰- مقایسه میانگین برهمکنش رقم × اسید هیومیک بر درصد پروتئین خام (CP) علوفه رقم‌های جو دیم

Figure 10. Comparison of mean of the effect of cultivar × humic acid interaction on forage crude protein percentage of rainfed barley cultivars



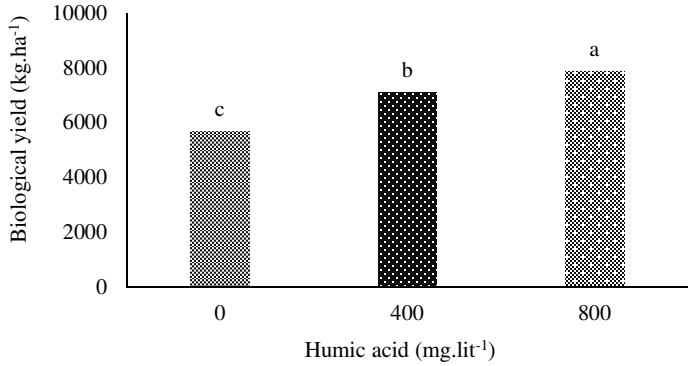
شکل ۱۱- مقایسه میانگین اثر سطوح اسید هیومیک (۰، ۴۰۰ و ۸۰۰ میلی‌گرم بر لیتر) بر درصد خاکستر علوفه رقم‌های جو دیم

Figure 11. Comparison of mean of the effect of humic acid levels (0, 400, and 800 mg.lit^{-1}) on forage ash percentage of rainfed barley cultivars

عملکرد زیستی (علوفه)

نتایج تجزیه واریانس عملکرد علوفه نشان داد که فقط اثر سطوح اسید هیومیک بر عملکرد علوفه (زیست‌توده) جو در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود و در مقابل، بین رقم‌های جو مورد مطالعه و همچنین برهمکنش رقم × اسید هیومیک تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۳). مقایسه میانگین سطوح اسید هیومیک نشان داد که مصرف ۸۰۰ میلی‌گرم بر لیتر اسید هیومیک دارای بیش‌ترین عملکرد علوفه (۷۸۴۹/۳۳ کیلوگرم در هکتار) بود و کم‌ترین عملکرد علوفه در تیمار بدون کاربرد این ترکیب مشاهده شد (شکل ۱۲). اسید هیومیک به‌واسطه اثرات شبه‌هورمونی و بهبود متابولیسم سلولی در افزایش جذب نیتروژن نقش دارد و با تأثیر بر نفوذپذیری غشای سلولی، جذب عناصر غذایی را افزایش می‌دهد و شرایط کلی رشد و عملکرد زیستی را بهبود می‌بخشد (Safaee *et al*., 2017). قربانی و همکاران (Ghorbani *et al*., 2010) با کاربرد اسید هیومیک به‌همراه آب آبیاری، اثر آن را بر عملکرد و اجزای عملکرد ذرت مطالعه و گزارش کردند که کاربرد اسید هیومیک اثرات قابل‌توجهی بر شاخص سطح برگ و دوام سطح برگ ذرت داشت و ضمن افزایش فعالیت فتوسنتزی گیاه، عملکرد دانه و عملکرد زیستی ذرت را به‌طور معنی‌داری نسبت به تیمار شاهد

بدون مصرف اسید هیومیک افزایش داد. نتایج پژوهش دیگری روی یولاف نشان داد که محلول‌پاشی اسید هیومیک در مرحله پنجه‌زنی تأثیر مثبتی بر عملکرد و کیفیت علوفه یولاف داشت، به‌طوری که بیش‌ترین عملکرد علوفه تازه با محلول‌پاشی شش گرم در لیتر اسید هیومیک به‌دست آمد (Al-Abdulla, 2019).



شکل ۱۲- مقایسه میانگین اثر سطوح اسید هیومیک (۰، ۴۰۰ و ۸۰۰ میلی‌گرم برلیتر) بر عملکرد علوفه (زیستی) رقم‌های جو دیم
Figure 12. Comparison of mean of the effect of humic acid levels (0, 400, and 800 mg.lit^{-1}) on forage (biological) yield of rainfed barley cultivars

نتیجه‌گیری کلی

نتایج این مطالعه نشان داد که اسید هیومیک به‌عنوان یک محرک زیستی مؤثر در جذب مواد مغذی گیاه عمل می‌کند و علاوه بر افزایش عملکرد دانه و محتوای نیتروژن، فسفر و پتاسیم دانه، سبب بهبود ویژگی‌های کیفی علوفه از جمله میزان فیبر و پروتئین خام علوفه جو می‌شود. محلول‌پاشی ۸۰۰ میلی‌گرم در لیتر اسید هیومیک منجر به بهبود بیش‌تر پارامترهای ارزیابی شده در رقم‌های جو دیم شد. این میزان اسید هیومیک می‌تواند یک آستانه بالقوه برای بهینه‌سازی کاربرد اسید هیومیک در کشت رقم‌های جو دیم باشد. با توجه به نتایج این مطالعه، می‌توان نتیجه‌گیری کرد که محلول‌پاشی با اسید هیومیک یک روش مناسب برای دستیابی به عملکرد دانه و علوفه بیش‌تر و بهبود کیفیت محصول است. علاوه بر این، فعل و انفعالات مثبت و برهمکنش معنی‌دار بین غلظت اسید هیومیک و رقم‌های جو بر اهمیت مناسب‌سازی شیوه‌های مدیریت مواد مغذی برای رقم‌های ویژه جهت به‌دست آوردن بیشینه عملکرد و بالاترین کیفیت محصول جو تأکید می‌کند. از آنجایی که تقاضا برای شیوه‌های کشاورزی پایدار همچنان در حال افزایش است، استفاده از اصلاح‌کننده‌های طبیعی و زیستی نظیر اسید هیومیک می‌توانند راه‌کار امیدوار کننده‌ای جهت افزایش بهره‌وری محصول باشند و علاوه بر کاهش مصرف کودهای شیمیایی، می‌توانند تأثیر مثبتی در کاهش آلودگی‌های زیست- محیطی نیز داشته باشد.

تضاد منافع

نویسندگان تایید می‌کنند که این تحقیق در غیاب هرگونه روابط تجاری یا مالی می‌تواند به عنوان تضاد منافع بالقوه تعبیر شود، انجام شده است.

رعایت اخلاق در نشر

نویسندگان اعلام می‌کنند که در نگارش این مقاله به‌طور کامل از اخلاق نشر از جمله سرقت ادبی، سوء رفتار، جعل داده‌ها و انتشار دوگانه، پیروی کرده‌اند. همچنین این مقاله حاصل یک کار تحقیقاتی اصیل بوده و تاکنون به‌طور کامل به هیچ زبانی و در هیچ نشریه یا همایشی چاپ و منتشر نشده است و هیچ اقدامی نیز برای انتشار آن در هیچ نشریه یا همایشی صورت نگرفته و نخواهد گرفت.

اجازه انتشار مقاله

نویسندگان با چاپ این مقاله به‌صورت دسترسی باز موافقت کرده و کلیه حقوق استفاده از محتوا، جدول‌ها، شکل‌ها، تصویرها و غیره را به ناشر واگذار می‌کنند.

References

Abdellatif, I. M. Y., Abdel-Ati, Y. Y., Abdel-Mageed, Y. T., & Hassan, M. A. M. (2017). Effect of humic acid on growth and productivity of tomato plants under heat stress. J*ournal of Horticultural Research*, *25*(2), 59-66. doi: 10.1515/johr-2017-0022.

Al-Abdulla, S. A. (2019). Effect of foliar application of humic acid on fodder and grain yield of oat (*Avena sativa* L.). *Research on Crops*, *20*, 880-885. doi: 10.31830/2348-7542.2019.130.

Amador, H. V., Guridi Izquierdo, F., & Padrón, V. V. (2018). Humic substances as plants biostimulants under environmental stress conditions. *Cultivos Tropicales*, *39*(4), 102-109.

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

AOAC. 1990. Official Methods of Analysis. Association on Official Analytical Chemists, Arlington, VA, USA.

Belal, E. E., El Sowfy, D. M., & Rady, M. M. (2019). Integrative soil application of humic acid and sulfur improves saline calcareous soil properties and barley plant performance. *Communications in Soil Science & Plant Analysis*, *50*, 1919-1930. doi: 10.1080/00103624.2019.1648497.

Chen, H., Xiong, F., Wu, Q., Wang, W., Cui, Z., Zhang, F., Wang, Y., Lv, L., Liu, Y., Bo, Y., Zhang, L., & Yang, H. (2023). Estimation of energy value and digestibility and prediction equations for sheep fed with diets containing *Leymus chinensis* Hay. *Agriculture*, *13*(6), 1213. 10.3390/agriculture13061213.

Ciepiela, G., & Godlewska, A. (2015). The effect of growth regulator on structural and non-structural carbohydrates and lignin content in selected grass species and cultivars. *Journal of Ecological Engineering*, *16*, 189-197. doi: 10.12911/22998993/2955.

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

Delfine, S., Tognetti, R., Desiderio, E., & Alvino, A. (2005). Effect of foliar application of N and humic acids on growth and yield of durum wheat. *Agronomy Sustainability*, *25*, 183-191. doi: 10.1051/agro:2005017.

Dulaimy, J. A. M. A., & El-Fahdawi, W. A. T. (2020). Effect of humic acid on growth and yield of barley humic acid as interacted with row spacing. *Indian Journal of Ecology*, *47*(10), 62-65.

Ghorbani, S., Khazaei, H. R., Kafi, M., & Banayan Aval, M. (2010). Effects of humic acid application with irrigation water on yield and yield components of corn (*Zea mays* L.). *Journal of Agroecology*, *2*(1), 111-118. [In Persian]. doi: 10.22067/jag.v2i1.7608.

Griffey, C., Brooks, W., Kurantz, M., Thomason, W., Taylor, F., Obert, D., Moreau, R., Flores, R., Sohn, M., & Hicks, K. (2010). Grain composition of Virginia winter barley and implications for usein feed, food and biofuels production. *Journal of Cereal Science*, *51*, 41-49. doi: 10.1016/j.jcs.2009.09.004.

El-Baz, S. M., Abbas, E. E., & Abo-Mostafa, R. A. I. (2012). Effect of sowing dates and humic acid on productivity and infection with rot diseases of some soybean cultivars cultivated in new reclaimed soil. *International Journal of Agricultural Research*, *7*, 345-357. doi: 10.3923/ijar.2012.345.357.

Ertani, A., Pizzeghello, D., Baglieri, A., Cadili, V., Tambone, F., Gennari, M., & Nardi, S. (2013). Humic-like substances from agro-industrial residues affect growth and nitrogen assimilation in maize (*Zea mays* L.) plantlets. *Journal of Geochemical Exploration*, *129*, 103-111. doi: 10.1016/j.gexplo.2012.10.001.

FAO. (2022). Statistical database. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Available at https://faostat.fao.org.

Ismail, F. S., & Hassanen, S. A. A. (2019). Improvement of egyptian clover yield and quality by using bio and organic fertilizers in newly cultivated saline soil. *Journal of Soil Sciences & Agricultural Engineering*, *10*(3), 147-155. doi: 10.21608/jssae.2019.36717.

Katkat, A. V., Çelik, H., Turan, M. A., & Asik, J. B. B. (2009). Effect of soil and foliar application of humic substances on dry weight and mineral uptake of wheat under calcareous soil conditions. *Australian Journal of Basic & Applied Sciences*, *3*(2), 1266-1273. doi: 10.1038/s41598-022-21997-5.

Krämer, M., Weisbjerg, M. R., Lund, P., Jensen, C. S., & Pedersen, M. G. (2012). Estimation of indigestible NDF in forages and concentrates from cell wall composition. *Animal Feed Science Technology*, *177*(1-2), 40-51. doi: 10.1016/j.anifeedsci.2012.07.027.

Kugbe, J. (2019). Increase in the use of organic fertilizers as complements to inorganic fertilizers in maintenance of soil fertility and environmental sustainability. *World Journal of Agriculture & Soil Science*, *4*(1). 000577. doi: 10.33552/WJASS.2019.04.000577.

Mahmood, Y. A., Ahmad, F., Qasim, E., & Wheib, K. A. (2020). Effect of organic, mineral fertilizers and foliar application of humic acid on growth and yield of corn (*Zea mays* L.). *Indian Journal of Ecology*, *47*, 39-44.

Maibodi, N. D. H., Kafi, M., Nikbakht, A., & Rejali, F. (2015). Effect of foliar applications of humic acid on growth, visual quality, nutrients content and root parameters of perennial ryegrass (*Lolium perenne* L.). *Journal of Plant Nutrition*, *38*(2), 224-236. doi: 10.1080/01904167.2014.939759.

Mohajerani, S., Alavi Fazel, M., Madani, H., Lak, Sh., & Modhej, A. (2016). Effect of the foliar application of humic acid on red bean cultivars (*Phaseolus vulgaris* L.). *Journal of Experimental Biology & Agricultural Sciences*, *4*(5), 519-524. doi: 10.18006/2016.4(5).519.524.

Monda, H., McKenna, A. M., Fountain, R., & Lamar, R. T. (2021). Bioactivity of humic acids extracted from shale ore: Molecular characterization and structure-activity relationship with tomato plant yield under nutritional stress. *Frontiers in Plant Science*, *12*, 660224. doi: 10.3389/fpls.2021.660224.

Nardi, S., Pizzeghello, D., Muscolo, A., & Vianello, A. (2002). Physiological effects of humic substances on higher plants. *Soil Biology & Biochemistry, 34*, 1527-1536. doi: 10.1016/S0038-0717(02)00174-8.

Nardi, S., Schiavon, M., & Francioso, O. (2021). Chemical structure and biological activity of humic substances define their role as plant growth promoters. *Molecules*, *26*(8), 2256. doi: 10.3390/molecules26082256.

Nelson, D. W., & Sommers, L. E. (1973) Determination of total nitrogen in plant material. *Agronomy Journal*, *65*, 109-112. doi: 10.2134/agronj1973.00021962006500010033x.

Newton, A. C., Aker, T., Baresel, J. P., Bebeli, P., Bettencourt, E., & Bladenopoulos, K. V. (2010). Cereal landraces for sustainable agriculture: A review. *Agronomy for Sustainable Development, 30*, 237-269. doi: 10.1051/agro/2009032.

Olaetxea, M., de Hita, D., Garcia, C. A., Fuentes, M., Baigorri, R., Mora, V., Garnica, M., Urrutia, O., Erro, J., Zamarreño, A. M., Berbara, R. L., & Garcia-Mina, J. M. (2018). Hypothetical framework integrating the main mechanisms involved in the promoting action of rhizospheric humic substances on plant root- and shoot-growth. *Applied Soil Ecology*, *123*, 521-537. doi: 10.1016/j.apsoil.2017.06.007.

Osman, E. A. M., El-Masry, A. A., & Khatab, K. K. (2013). Effect of nitrogen fertilizer sources and foliar spray of humic and/or fulvic acids on yield and quality of rice plants. *Advances in Applied Science Research*, *4*, 174-183.

Parsamehr, Y., Mohammadi, H., Khoshakhlagh, F., & Bazgeer, S. (2022). Estimation of base temperature in different growth stages of wheat case study: Sararood station of Kermanshah. *Journal of Applied Researches in Geographical Sciences*, *22*(64), 17-30. [In Persian]. doi: 10.52547/jgs.22.64.17.

Rachid, A. F., Rahem Bader, B., & Al-Alawy, H. H. (2020). Effect of foliar application of humic acid and nanocalcium on some growth, production, and photosynthetic pigments of cauliflower (*Brassica oleracea* var Botrytis) planted in calcareous soil. *Plant Archives*, *20*, 32-37.

Rice, J. A., & MacCarthy, P. (1991). Statistical evaluation of the elemental composition of humic substances. *Organic Geochemistry*, *17*(5), 635-648. doi: 10.1016/0146-6380(91)90006-6.

Rose, M. T., Patti, A. F., Little, K. R., Brown, A. L., Jackson, W. R., & Cavagnaro, T. R. (2014). A meta-analysis and review of plant-growth response to humic substances: Practical implications for agriculture. In: Sparks, D. L. (Ed.). Advances in Agronomy. Vol. 124. Academic Press Inc. pp. 37-89. doi: 10.1016/B978-0-12-800138-7.00002-4.

Safaee, M., Rahimi, A., Torabi, B., & Khoram A. (2017). Effect of vermi-compost fertilizer application and foliar spraying of compost tea and acid humic on growth indices of Safflower (*Carthamus tinctorius* L.). *Journal of Agroecology*, *9*(3), 805-820. [In Persian]. doi: 10.22067/jag.v9i3.51879.

Sarwar, N., Imran, M., Shaheen, M. R., Ishaque, W., Kamran, M. A., Matloob, A., & Hussain, S. (2017). Phytoremediation strategies for soils contaminated with heavy metals: modifications and future perspectives. *Chemosphere*, *171*, 710-721. doi: 10.1016/j.chemosphere.2016.12.116.

Shahbazi, S., Fateh, E., & Aynehband, A. (2015). Evaluation of the effect of humic acid and vermicompost on yield and yield components of three wheat cultivars in tropical regions. *Plant Production*, *38*(2), 99-110. [In Persian]. doi: 10.22055/ppd.2015.11323.

Sharifi, P. (2017). Studying maize growth indices in different water stress conditions and the use of humic acid. *Biomedical & Pharmacology Journal*, *10*(1), 303-310. doi: 10.13005/bpj/1110.

Sobhani, A., & Hamidi, H. (2013). Effect of different potassium levels on yield and growth indices of potato in Mashad climate condition. *Journal of Crop Ecophysiology*, *7*(3), 341-356. [In Persian].

Sultan, F., Anton, N., & Zahran, F. (2016). Response of Egyptian clover (variety Fahl) to foliar spray with potassium humate, fulvate as well as amino acids mixture. *Journal of Soil Sciences & Agricultural Engineering*, *7*(10), 739-743. doi: 10.21608/jssae.2016.40361.

Temminghoff, E. E., & Houba, V. J. (2004) Plant Analysis Procedures. Second Edition. Springer, Dordrecht. doi: 10.1007/978-1-4020-2976-9.

Turan, M., Ekinci, M., Kul, R., Kocaman, A., Argin, S., Zhirkova, A. M., Perminova, I. V., & Yildirim, E. (2022). Foliar applications of humic substances together with Fe/nano Fe to increase the iron content and growth parameters of spinach (*Spinacia oleracea* L.). *Agronomy*, *12*, 2044. doi: 10.3390/agronomy12092044.

Van Soest, P. J., Robertson J. B., & Lewis, B. A. (1991). Methods of dietary fiber, neutral detergent fiber and non-starch polysaccharides in relation to animal nutrition. *Dairy Science*, *74*(10), 3583-3597. doi: 10.3168/jds.S0022-0302(91)78551-2.

Wali, A. M., Shamseldin, A., Radwan, F. I., Abd El Lateef, E. M., & Zaki, N. M. (2018). Response of barley (*Hordeum vulgare*) cultivars to humic acid, mineral and biofertilization under calcareous soil conditions. *Middle East Journal of Agriculture Research*, *7*(1), 71-82.

Xu, Z., Heuschele, D. J., Lamb, J., Jung, H. G., & Samac, D. A. (2023). Improved forage quality in alfalfa (*Medicago sativa* L.) via selection for increased stem fiber digestibility. *Agronomy*, *13*(3), 770. doi: 10.3390/agronomy13030770.

Younesi, E., Gharineh, M. H., & Abdali Mashadi, A. (2020). Effect of oat-fenugreek intercropping ratios, nitrogen fertilizer and gebberellic acid on quantitative and qualitative of forage. *Journal of Critical Reviews*, *7*(4), 2485-2493. doi: 10.31838/jcr.07.04.384.

Zhang, L., Larsson, A., Moldin, A., & Edlund, U. (2022). Comparison of lignin distribution, structure, and morphology in wheat straw and wood. *Industrial Crops & Products*, *187*, 115432. doi: 10.1016/j.indcrop.2022.115432.