University of Tehran Press

ECO HYDROLOGY

Home Page: https://ije.ut.ac.ir

Online ISSN: 2423-6101

Study of water productivity and nitrogen use efficiency of wheat in two different soil types

Abbas Abhari,[1,2]

1. PhD. Candidate, Department of Water Engineering, Faculty of Agricultural Technology (Aburaihan), University of Tehran, Tehran, Iran. Email: Ab.abhari@hsu.ac.ir
2. Associate Professor, Department of Water Engineering, Faculty of Agricultural Technology (Aburaihan), University of Tehran, Tehran, Iran; (Corresponding author). Email: Ab.abhari@hsu.ac.ir

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:
Received 30 September 2025
Revised 10 November 2025
Accepted 14 December 2025
Available online 22 December 2025

Keywords:
protein,
proline,
chlorophyll,
yield,
thousand-grain weight

ABSTRACT

Objective: Rising temperatures due to climate change have caused serious damage to agricultural production. This phenomenon increases plant water demand, accelerates soil moisture evaporation, and reduces soil organic carbon, thereby decreasing soil fertility and crop yield. Therefore, this study was conducted to investigate the effects of fulvic acid and humic acid on water productivity and nitrogen use efficiency in wheat under two soil types .

Methods: The experiment was carried out using a randomized complete block design with three replications in the fields of Kizour, Sabzevar County, during the 2020–2021 growing seasons. Treatments included cultivation of the wheat cultivar Backcross Roshan in two soil types, clay loam and sandy loam (two locations), and four foliar application levels of fulvic and humic acids (0, 5, 10, and 15 g per thousand) applied at the tillering stage .

Results: The results showed that in both clay loam and sandy loam soils, increasing the application rate of fulvic and humic acids increased total dry weight and the number of grains per square meter, which consequently enhanced grain yield. As a result, water productivity increased from 0.54 to 0.86 in clay loam soil and from 0.38 to 0.58 in sandy loam soil. In sandy loam soil, the leaf chlorophyll index also increased with higher application rates of fulvic and humic acids .

Conclusion: The application of fulvic and humic acids improved physiological processes, including enhanced cellular metabolism and increased leaf chlorophyll content, which prolonged leaf longevity. These effects helped the plant tolerate heat stress during sensitive growth stages (through increased proline accumulation). Moreover, improved grain filling (higher thousand-grain weight) increased the starch-to-protein ratio in the grain. Considering the increase in the chlorophyll index after foliar application, fulvic and humic acids can improve cellular metabolism and leaf chlorophyll content, thereby acting as stress-mitigating agents during critical growth stages and extending the growing season. Application of humic acid increased grain yield, although the magnitude of yield improvement differed between clay loam and sandy loam soils.

Cite this article: Abhari, A. (2026). Study of water productivity and nitrogen use efficiency of wheat in two different soil types. *Journal of ECOHYDROLOGY*, 12(4), 1068-1089. http/doi.org/10.22059/ije.2025.403754.1887

© Abbas Abhari.
Publisher: University of Tehran Press.
DOI: http/doi.org/10.22059/ije.2025.403754.1887

Extended Abstract

Introduction: Rising temperatures caused by climate change have caused serious damage to agricultural production. This phenomenon damages soil fertility and agricultural yield by increasing plant water requirements, accelerating soil moisture evaporation, and reducing soil organic carbon. Humic and fulvic acid form bonds with water molecules and prevent water evaporation. On the other hand, fulvic acid molecules (the micromolecular part of humic acid) penetrate plant tissues and, by bonding with water molecules, reduce plant transpiration, which helps to conserve water within the plant.

Materials and Methods: In order to study the effect of fulvic acid and humic acid on the physiological efficiency of nitrogen use and water use in wheat, an experiment was conducted with a randomized complete block design in location with three replications in the fields of Keyzor, Sabzevar County, in 2020-2021. The treatments included cultivation of Roshan backcross wheat in two types of clay-loam and loam-sandy soils (two locations) at four levels of foliar application of fulvic acid and humic acid (0, 5, 10, and 15 g/1000) at the tillering stage.

Results: The results showed that in both clay-loam and loam-sandy soil types, the total dry weight and number of seeds per square meter increased with increasing fulvic acid and humic acid application rates, which in turn increased grain yield and, as a result, increased water use efficiency (from 0.54 to 0.86 in clay-loam and from 0.38 to 0.58 in loam-sandy). In loam-sandy soil, the leaf chlorophyll index increased with increasing fulvic acid and humic acid application. As the efficiency of nitrogen retransfer in leaves and stems increases, grain nitrogen increases at the maturity stage, and this increase occurred linearly and occurred in the efficiency range of 20-40% for leaves and 50-70% for stems.

Conclusion: Therefore, the application of fulvic acid and humic acid, through positive physiological effects such as increasing metabolism within cells and also increasing the amount of chlorophyll in the leaves, caused the leaves to last longer and acted as a heat stress modifier in sensitive stages of plant growth (by increasing the amino acid proline). It also increased the starch to protein ratio in the grain by improving grain filling (increasing the weight of one thousand grains).

Data Access Statement: The data supporting the findings of this study are derived from a field, laboratory, and Iranian Meteorological Organization (IMO) work that is available to other researchers through the corresponding author

Acknowledgements: We would like to thank the laboratories of Payam Noor University of Sabzevar.

Ethical considerations: The authors declare that in this article they fully followed publication ethics, including plagiarism, data falsification, misconduct, and dual publication.

Funding: The authors declare that no funds, grants, or other support were received during the preparation of this manuscript.

مجله اکوهیدرولوژی
انتشارات دانشگاه تهران
شاپای الکترونیکی: ۶۱۰۱-۲۴۲۳
سایت نشریه: https://ije.ut.ac.ir

مطالعهٔ بهره‌وری آب و نیتروژن گندم در بسترهای خاکی متفاوت

عباس ابهری، [۱] و [۲]

۱. مرکز پژوهشی علوم جغرافیا و مطالعات اجتماعی، دانشگاه حکیم سبزواری، ایران

۲. دانشیار هستهٔ پژوهشی مطالعات تنش‌های محیطی و تغییر اقلیم، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار، ایران رایانامه: Ab.abhari@hsu.ac.ir

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۷/۰۸
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۰۸/۱۹
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۹/۲۳
تاریخ انتشار: ۱۴۰۴/۱۰/۰۱

کلیدواژه‌ها:
پروتئین ،
پرولین،
کلروفیل،
عملکرد،
وزن هزاردانه.

چکیده

هدف: افزایش دمای ناشی از تغییرات اقلیمی، آسیب جدی به تولیدات کشاورزی وارد کرده است. این پدیده با افزایش نیاز آبی گیاهان، تسریع تبخیر رطوبت خاک و کاهش کربن آلی آن، به حاصل‌خیزی خاک و عملکرد محصولات کشاورزی لطمه می‌زند. به همین‌منظور، مطالعهٔ تأثیر اسید فولویک و اسید هیومیک بر بهره‌وری آب و کارایی مصرف نیتروژن در گندم در دو نوع خاک انجام شد.

روش تحقیق: آزمایشی با طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی در مکان با سه تکرار در مزارع کیذور شهرستان سبزوار طی سال‌های ۱۳۹۹ــ ۱۴۰۰ انجام شد. تیمارها شامل کشت گندم بک کراس روشن در دو نوع خاک رسی ــ لومی و لوم ــ شنی (دو مکان) در چهار سطح محلول‌پاشی اسید فولویک و اسید هیومیک (صفر، پنج، ۱۰ و ۱۵ گرم در هزار) در مرحلهٔ پنجه‌زنی بود.

یافته‌ها: نتایج نشان داد در هر دو نوع خاک رسی ـ لومی و لوم ـ شنی با افزایش میزان مصرف اسید فولویک و اسید هیومیک وزن خشک کل و تعداد دانه در متر مربع افزایش یافت که از این طریق باعث افزایش عملکرد دانه شد و در نتیجه، بهروری آب (در رسی ـ لومی از ۰/۵۴ به ۰/۸۶ و در لوم ـ شنی از ۰/۳۸ به ۰/۵۸) افزایش یافت. در خاک لوم ـ شنی شاخص کلروفیل برگ با افزایش مصرف اسید فولویک و اسید هیومیک افزایش یافت.

نتیجه‌گیری: کاربرد اسید فولویک و اسید هیومیک از طریق تأثیرات مثبت فیزیولوژیکی از جمله افزایش متابولیسم در درون سلول‌ها و همچنین، افزودن مقدار کلروفیل در برگ‌ها سبب ماندگاری بیشتر برگ‌ها شد و در مراحل حساس رشد گیاه به عنوان عامل تعدیل‌کنندهٔ تنش گرمایی عمل کرد (با افزایش اسید آمینهٔ پرولین) و با پر شدن بهتر دانه (افزایش وزن هزاردانه)، نسبت نشاسته به پروتئین در دانه را افزایش داد. با توجه به افزایش شاخص کلروفیل پس از محلول‌پاشی، اسیدهای فولویک و هیومیک می‌توانند با بهبود سوخت‌وساز سلول‌ها و افزایش کلروفیل برگ‌ها، در مراحل حساس رشد به عنوان عامل تعدیل‌کنندهٔ تنش عمل کنند و فصل رشد را طولانی‌تر سازند. کاربرد اسید هیومیک باعث افزایش عملکرد دانه شد، ولی نسبت افزایش عملکرد خاک رسی ـ لومی با لوم ـ شنی متفاوت بود.

استناد: ابهری، عباس. مطالعهٔ بهره‌وری آب و نیتروژن گندم در بسترهای خاکی متفاوت. *مجلهٔ اکوهیدرولوژی*، ۱۲(۴)، ۱۰۶۸ـ۱۰۸۹.
http/doi.org/10.22059/ije.2025.403754.1887

ناشر: انتشارات دانشگاه تهران. © عباس ابهری.

مقدمه

تنش‌ها شامل تنش‌های زیستی و تنش‌های غیر زیستی مثل خشکی، شوری، دما ... هستند. خشکی بیانگر حالتی است که در آن مقدار تبخیر و تعرق بالقوه بیشتر از مقدار بارندگی باشد. گرما تأثیر مستقیم در میزان تبخیر و تعرق دارد. با ادامهٔ گرم شدن زمین و افزایش گازهای گلخانه‌ای، تغییر اقلیم (مثل افزایش دما و در ادامهٔ آن خشک‌سالی و...) نیز سرعت خواهد یافت (ابهری، ۲۰۲۲). خشکسالی و تنش ناشی از آن مهم‌ترین تنش محیطی است که خسارت‌های زیادی به گیاهان زراعی در جهان به‌خصوص ایران که به عنوان کشوری خشک و نیمه‌خشک محسوب می‌شود، وارد می‌کند (صباغ‌پور، ۲۰۰۳). تغییرات اقلیمی و افزایش دمای ناشی از آن، اثرات منفی قابل توجهی بر تولیدات کشاورزی داشته است. این افزایش دما، نیاز آبی گیاهان را بالا می‌برد، تبخیر رطوبت خاک را تسریع می‌کند و در نهایت، باعث کاهش کربن آلی خاک می‌شود (باویف و همکاران، ۲۰۲۰). علاوه بر این، تغییرات در میزان و الگوی بارش در دهه‌های اخیر، کشاورزی را به طور ویژه آسیب‌پذیر کرده و خطر کاهش عملکرد محصولات را افزایش داده است (مغربی و همکاران، ۲۰۲۰).

اسید هیومیک، یک اسید آلی محلول در آب است که به طور طبیعی در خاک یافت می‌شود. اسید هیومیک با بهبود تنفس ریشه‌ها، رشد گیاهان زراعی را افزایش می‌دهد (زانگلول[1] و همکاران، ۲۰۰۹). این ماده، جزء فعال هوموس آلی است و نقش مهمی در بهبود تهویه خاک و رشد گیاه ایفا می‌کند. اسید هیومیک از نظر فیزیکی ساختار خاک را بهبود می‌بخشد و ظرفیت نگهداری آب خاک را افزایش می‌دهد. از دیدگاه بیولوژیکی، رشد میکروارگانیسم‌های مفید خاک را تقویت می‌کند و از نظر شیمیایی به عنوان منبع و ذخیره‌ساز مواد مغذی معدنی عمل (فرهمند و همکاران، ۲۰۱۴). بهبود شرایط خاک یکی از راهکارهای افزایش عملکرد محصولات کشاورزی است. اغلب، نامناسب بودن خاک برای کشت ناشی از کمبود مواد آلی است که استفاده از ترکیبات هیومیکی می‌تواند راه حلی برای این مشکل باشد. این ترکیبات با تأثیر بر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک، به رشد بهتر ریشه‌ها کمک می‌کنند (خالد و فاوی[2]، ۲۰۱۱). همچنین، اسید هیومیک ظرفیت نگهداری آب در خاک را افزایش می‌دهد (هارتز و بوتومز[3]، ۲۰۱۰). اسید هیومیک با افزایش فعالیت آنزیم روبیسکو، سبب افزایش فعالیت فتوسنتزی گیاه می‌شود (دیفین[4] و همکاران، ۲۰۰۵). همچنین، با بهبود جذب نیتروژن، فعالیت پروتئین‌های مؤثر در فتوسنتز را افزایش می‌دهد و در نتیجه، باعث افزایش رشد می‌شود (دورداس و سیولاس[5]، ۲۰۰۸). اسید هیومیک و اسید فولویک با مولکول‌های آب پیوند تشکیل می‌دهد و از تبخیر آب جلوگیری می‌کند. از سوی دیگر، مولکول‌های اسید فولویک (بخش ریزمولکول اسید هیومیک) به بافت‌های گیاهی نفوذ می‌کنند و با پیوند با مولکول‌های آب، تعریق و تعرق گیاه را کاهش می‌دهند، که به حفظ آب درون گیاه کمک می‌کند (دیفین و همکاران، ۲۰۰۵). علاوه بر این، اسید هیومیک و اسید فولویک از طریق اثرات مثبت فیزیولوژیکی مانند افزایش متابولیسم سلولی و افزایش میزان کلروفیل در برگ‌ها، باعث افزایش ماندگاری برگ‌ها می‌شود و در نتیجه، عملکرد و اجزای عملکرد را بهبود می‌بخشد (ناردی[6] و همکاران، ۲۰۰۲).

1. Zanghloul
2. Khaled & Fawy
3. Hartz & Bottoms
4. Delfine
5. Dordas & Sioulas
6. Nardi

پیشینهٔ پژوهش

کاربرد اسید هیومیک می‌تواند با افزایش تخلخل خاک، سبب حفظ آب خاک و افزایش کارایی مصرف آب شود و شرایط تنش خشکی را برای گیاه کاهش دهد (هایل[1] و همکاران، ۲۰۲۱). همچنین، باعث کاهش آب مورد نیاز محصول و بهبود ویژگی‌های فیزیکی، زیستی و شیمیایی خاک می‌شود (روشنیان و همکاران، ۲۰۲۴). در مطالعه‌ای اسید هیومیک کارایی مصرف آب را تا ۴۰ درصد افزایش و تبخیر و تعرق را ۱۰ تا ۱۵ درصد کاهش داد (ربانی و کاظمی، ۲۰۲۴).

کودپاشی برگی یا محلول‌پاشی روشی است که با استفاده از آن می‌توان کمبود مواد مغذی در خاک، محدودیت در جذب عناصر غذایی و تثبیت مواد مغذی را در گیاهان جبران کرد (دادا و اوگانسو[2]، ۲۰۱۶). مطالعات همچنین نشان داده‌اند مصرف اسید هیومیک و اسید فولویک به افزایش عملکرد دانه و اجزای عملکرد ماش منجر می‌شود که ناشی از تأثیر مثبت غیرمستقیم اسید هیومیک بر محتوای کلروفیل گیاه است (وقاس[3] و همکاران، ۲۰۱۴). کاربرد ترکیبات تعدیل‌کنندهٔ تنش از جمله اسید هیومیک و آمینواسیدها، پتانسیل بالایی در ارتقای کمیت و کیفیت محصولات کشاورزی تحت شرایط تنش خشکی نشان داده است (علی[4] و همکاران،۲۰۲۰: اوزفایدن–کوناکی[5] و همکاران، ۲۰۱۸). در تحقیقی، مصرف اسید هیومیک نه تنها به افزایش عملکرد دانه و کلش گندم دوروم منجر شد، بلکه جذب عناصر مغذی مانند منیزیم، آهن و منگنز را نیز در دانه افزایش داد (دلفین[6] و همکاران، ۲۰۰۵). همچنین، کتکت[7] و همکاران (۲۰۰۹) دریافتند که استفاده از اسید هیومیک باعث افزایش عملکرد مادهٔ خشک گندم و بهبود جذب عناصر غذایی نیتروژن، فسفر، پتاسیم، کلسیم، منیزیم، آهن، منگنز، مس و روی در دانه می‌شود. بررسی‌ها همچنین نشان داده‌اند اسید هیومیک با بهبود شرایط زیستی، شیمیایی و فیزیکی خاک، تولید محصول را ارتقا می‌دهد (هارون[8]، ۲۰۰۹). استفاده از پیش‌تیمار اسید هیومیک و محلول‌پاشی گلیسین بتائین می‌تواند عملکرد و میزان پروتئین دانهٔ گندم دیم را افزایش دهد. این روش، راهکاری مؤثر برای بهبود تولید گندم دیم محسوب می‌شود (مجیدی و همکاران، ۲۰۲۱).

اسید هیومیک، هم رشد بخش هوایی و هم ریشهٔ گیاهان را تحریک می‌کند، اما تأثیر آن بر ریشه چشمگیرتر است، به طوری که حجم ریشه و کارایی سیستم ریشه‌ای را بهبود می‌بخشد (البایراک و کاماز[9]، ۲۰۱۴). یک مطالعه روی گندم در شرایط کم‌آبی نشان داد با افزایش مقدار اسید هیومیک از صفر تا هشت میلی‌گرم در هر گلدان، عملکرد دانه تحت آبیاری کامل و تنش خشکی تقریباً به طور پیوسته افزایش می‌یابد. پس از آن، با افزایش مقدار اسید هیومیک تا ۱۲ میلی‌گرم در هر گلدان، شیب افزایش عملکرد بیشتر می‌شود. این افزایش شیب، در شرایط تنش خشکی، برجسته‌تر بود (ابهری و حسینی ششتمد). در مطالعه‌ای تأثیر مقادیر مختلف اسید هیومیک (۱، ۱/۵، ۲ و ۲/۵ کیلوگرم در هکتار) بر فنولوژی گندم بررسی شد و مشخص شد که بیشترین روز تا گرده‌افشانی و رسیدگی مربوط به تیمار مصرف ۲/۵ کیلوگرم در هکتار اسید هیومیک بود (کاشیف[10] و همکاران، ۲۰۱۵). همچنین، مصرف اسید هیومیک روی گیاه بامیه *(Abelmoschus esculentus L)* باعث افزایش طول دورهٔ باروری و گرده‌افشانی شد (هایدر[11] و همکاران، ۲۰۱۷). از تمامی تأثیرات مثبت اسید هیومیک بر گیاه و خاک «تأثیر بر جذب بهتر عناصر غذایی به‌خصوص نیتروژن و افزایش فعالیت پروتئین‌های مؤثر بر فتوسنتز، افزایش فعالیت آنزیم روبیسکو و میزان

1. Hale
2. Dada & Ogunsesu
3. Waqas
4. Ali
5. Ozfidan-Konakci
6. Delfine
7. Katkat
8. Haroon
9. Albayra & Camas
10- Kashif
11- Haider

کلروفیل و سرعت فتوسنتز، کاهش تعرق، افزایش تنفس ریشه‌ها، بهبود خاک و افزایش ظرفیت نگهداری آب خاک» می‌توان انتظار افزایش طول دورهٔ رشد و افزایش عملکرد را داشت.

با توجه به تمام تأثیرات مثبتی که اسید فولویک و اسید هیومیک بر گیاه و خاک دارند، از جمله: جذب بهتر عناصر غذایی (به‌ویژه نیتروژن) و افزایش فعالیت پروتئین‌های مؤثر در فتوسنتز، افزایش فعالیت آنزیم روبیسکو، میزان کلروفیل و سرعت فتوسنتز، کاهش تعرق، افزایش تنفس ریشه‌ها، بهبود خاک و افزایش ظرفیت نگهداری آب خاک، می‌توان انتظار داشت که استفاده از اسید فولویک و اسید هیومیک به افزایش طول دورهٔ رشد و بهبود عملکرد محصولات کشاورزی منجر شود.

روش‌شناسی پژوهش

این آزمایش در مزارع کیذور از توابع شهرستان سبزوار طی سال‌های ۱۳۹۹ ـ ۱۴۰۰ انجام شد. ارتفاع این منطقه از سطح دریا ۱۱۹۵ متر بوده و در ۳۶ درجه و ۵ دقیقهٔ عرض شمالی و ۴۴ درجه و ۳ دقیقهٔ طول شرقی واقع شده است (شکل ۱). قبل از اجرای تحقیق از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری خاک نمونه‌برداری شد و خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک تعیین شد (جدول ۱). تیمارها شامل کشت گندم بک کراس روشن در دو نوع خاک رسی ـ لومی و لوم ـ شنی (دو مکان) در چهار سطح محلول‌پاشی اسید هیومیک و اسید فولویک (صفر، پنج، ۱۰ و ۱۵ گرم در هزار) در مرحلهٔ پنجه‌زنی بود.

شکل ۱. تصویر محل انجام آزمایش واقع در اراضی کشاورزی کیذور از توابع شهرستان سبزوار

Fig 1 - Image of the experimental site located in the agricultural lands of Kizur, Sabzevar County.

در این آزمایش از طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی در مکان با سه تکرار استفاده شد. تیمارهای مورد بررسی شامل کشت گندم بک کراس روشن در دو نوع خاک با بافت رسی ـ لومی و لوم ـ شنی در دو مکان مختلف بود. چهار سطح محلول‌پاشی با اسید هیومیک (صفر، ۵، ۱۰ و ۱۵ گرم در هزار) شرکت دایموند گرو (جدول ۲) به ازای هر کرت، سه بار (با سم‌پاش دو و نیم لیتری به صورت دستی) در مرحلهٔ پنجه‌زنی (مرحلهٔ ۲۲–۲۵ زادوکس) و شروع ساقه‌دهی (مرحلهٔ ۳۰ زادوکس) با فاصلهٔ هر هفت روز یک بار انجام شد.

قبل از شروع آزمایش، از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری خاک نمونه‌برداری و ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آن تعیین شد (جدول ۲). بر اساس نتایج آزمایش خاک، کودهای نیتروژن (اوره)، فسفر (سوپرفسفات تریپل) و پتاسیم (سولفات پتاسیم) به میزان ۱۵ کیلوگرم نیتروژن، ۵۵ کیلوگرم فسفر و ۵۰ کیلوگرم پتاسیم در هکتار برای تیمار رسید ـ لومی و ۲۱۰ کیلوگرم نیتروژن، ۷۵ کیلوگرم

فسفر و ۷۰ کیلوگرم پتاسیم در هکتار برای تیمار لوم ـ شنی به خاک اضافه شد.

کاشت به صورت کرتی (طول ۳ متر و عرض ۱/۵ متر برای هر کرت) انجام شد. فاصلهٔ ردیف‌ها ۱۵ سانتی‌متر و فاصلهٔ روی ردیف ۲ سانتی‌متر بود.

مراحل فنولوژیکی مختلف از جمله روز تا سبز شدن (مرحلهٔ ۱۰ زادوکس)، پنجه‌زنی (مراحل ۲۲–۲۵ زادوکس)، ساقه‌دهی (مرحلهٔ ۳۰ زادوکس)، تورم غلاف برگ پرچم (مرحلهٔ ۴۳ زادوکس)، گرده‌افشانی (مراحل ۶۰–۶۱ زادوکس)، شیری (مرحلهٔ ۷۰ زادوکس)، خمیری (مرحلهٔ ۸۵ زادوکس)، رسیدگی فیزیولوژیک (مرحلهٔ ۹۰ زادوکس) و رسیدگی برداشت (مرحلهٔ ۹۹ زادوکس) برای میانگین هر کرت اندازه‌گیری شد.

صفات وزن خشک برگ و ساقه، عملکرد و اجزای عملکرد، وزن سنبله، تعداد سنبله، تعداد دانه در سنبله، تعداد دانه در متر مربع، وزن هزاردانه، شاخص کلروفیل و اسید آمینهٔ پرولین اندازه‌گیری شد. شاخص کلروفیل برگ با دستگاه SPAD-502 در مرحلهٔ آبستنی (روی برگ پرچم، مراحل ۶۰–۶۱ زادوکس) در مجموعه آزمایشگاهای دانشگاه پیام نور سبزوار اندازه‌گیری شد.
اندازه‌گیری اسید آمینهٔ پرولین به روش بیتس[1] انجام شد. برای تجزیه‌وتحلیل آماری داده‌ها از نرم‌افزار SAS (نسخهٔ ۹.۱) استفاده شد. مقایسهٔ میانگین‌ها به روش LSD در سطح احتمال ۰/۰۵ انجام شد.

جدول ۱. برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک

Table 1- Some physical and chemical properties of soil

Soil texture	Clay (%)	Silt (%)	Sand (%)	N (%)	K mg kg^{-1}	P mg kg^{-1}	Organic Carbon (%)	EC ds m^{-1}	pH
Clay loam	33	42	25	0.017	191	9.68	0.95	0.634	7
Lom sand	20	10	70	0.055	88	5.3	0.48	0.32	6.8

جدول ۲. اسید هیومیک شرکت دایموند گرو

Table 2- Diamond Grove Company Humic Acid

Guaranteed Analysis			
Humicacid+fulvic acid	%65	Iron	(Net) 15000ppm
Fulvic acid (dry basis, w/w)	%10	Magnasium	(Net) 1900ppm
Potassium(K2O)	%5	Manganese	(Net) 50ppm
Nitrogen	%1	Zinc	(Net) 10ppm
Form	Flake powder	pH (%10 Solution)	9-11

1. Bates

کارایی مصرف آب با محاسبهٔ نسبت عملکرد دانه بر میزان آب مصرفی طی فصل رشد محاسبه شد؛ به این‌صورت که میزان آب مصرفی در هر مدار براساس مقدار دبی آب در زمان بر مساحت زمین محاسبه شد. اندازه‌گیری درصد نیتروژن نیز به وسیلهٔ دستگاه کجلدال انجام شد و برای محاسبهٔ کارایی فیزیولوژیکی مصرف نیتروژن (PNUE) از رابطهٔ ۱ استفاده شد.

$$PNUE = TDM/TNU \quad (۱)$$

در این رابطه TDM مادهٔ خشک کل بر حسب گرم و TNU کل میزان نیتروژن جذب‌شده در گیاه بر حسب گرم است (*Zhang et al., 2009*).

مقدار نیتروژن در فرایند حرکت مجدد و سهم فرایند حرکت مجدد نیتروژن برگ و ساقه در عملکرد دانه از معادلات کاکس و همکاران (۱۹۹۰) و پاپاکوستا و گایانس (۱۹۹۱) محاسبه شد.

$$PRS = (REA/SY)\times 100 \quad (۲)$$

$$REA = SFEA-FMEA \quad (۳)$$

که در آن‌ها REA مقدار نیتروژن برگ و ساقه در فرایند حرکت مجدد، SFEA مقدار نیتروژن برگ و ساقه در شروع پر شدن دانه، FMEA مقدار نیتروژن برگ و ساقه در رسیدگی فیزیولوژیکی، PRS سهم فرایند حرکت مجدد در عملکرد دانه و SY عملکرد دانه هستند.

نتایج

عملکرد

نتایج نشان داد اثرات مصرف اسید فولویک و اسید هیومیک و نوع خاک بر وزن خشک کل، تعداد دانه در متر مربع و عملکرد دانه در سطح یک درصد معنادار شد (جدول ۳).

در هر دو نوع خاک رسی لومی و لوم ـ شنی با افزایش میزان مصرف اسید فولویک و اسید هیومیک وزن خشک کل و تعداد دانه در متر مربع افزایش یافت که از این طریق باعث افزایش عملکرد دانه شد (به‌ترتیب ۷۸۰۰/۳ و ۵۲۷۰ کیلوگرم در هکتار در خاک رسی ـ لومی و لوم ـ شنی با محلول‌پاشی ۱۵ گرم در هزار اسید فولویک و اسید هیومیک). در خاک لوم ـ شنی بین مصرف ۱۰ با ۱۵ گرم در هزار اختلاف معنادار مشاهده نشد. کاربرد اسید هیومیک باعث افزایش عملکرد دانه شد، ولی نسبت افزایش عملکرد خاک رسی ـ لومی با لوم ـ شنی متفاوت بود. کاربرد اسید هیومیک به طور کلی به افزایش عملکرد دانه در تیمارهای مورد مطالعه منجر شده است. با این‌حال، میزان این افزایش در دو نوع خاک متفاوت، یعنی خاک رسی ـ لومی (Clay-Loam) و خاک لوم–شنی (Sandy-Loam)، یکسان نبوده و تفاوت‌های قابل توجهی را نشان داده است (جدول ۴).

کارایی مصرف آب

در هر دو نوع خاک رسی ـ لومی و لوم ـ شنی با افزایش میزان مصرف اسید فولویک و اسید هیومیک (صفر تا ۱۵) کارایی مصرف آب افزایش یافت. بنابراین، روند افزایش کارایی مصرف آب در دو نوع خاک رسی ـ لومی و لوم ـ شنی متفاوت بود. کارایی مصرف آب در خاک لوم ـ شنی از ۱۰ به ۱۵ گرم اسید هیومیک ثابت بود.

بنابراین، می‌توان گفت که در هر دو نوع خاک رسی ـ لومی و لوم ـ شنی، افزایش میزان مصرف اسید فولویک و اسید هیومیک از صفر تا ۱۵ گرم موجب افزایش کارایی مصرف آب شد؛ به گونه‌ای که مقدار این شاخص در خاک رسی ـ لومی از ۰/۵۴ به ۰/۸۶ و در خاک لوم ـ شنی از ۰/۳۸ به ۰/۵۸ ارتقا یافت. این نتایج بیانگر آن است که روند تغییرات کارایی مصرف آب در دو نوع خاک یادشده رفتار یکسانی ندارد. در واقع، میزان افزایش در خاک رسی ـ لومی چشمگیرتر از خاک لوم ـ شنی بوده و نشان‌دهندهٔ واکنش

متفاوت ساختار فیزیکی و ظرفیت نگهداری رطوبت این دو نوع خاک است. همچنین، مشاهده شد که در خاک لوم ـ شنی، کارایی مصرف آب در بازهٔ مصرف ۱۰ تا ۱۵ گرم اسید هیومیک تقریباً به حالت ثابت درآمده و تغییر محسوسی نداشته است؛ در نتیجه می‌توان حد بهینهٔ مصرف اسید هیومیک در این خاک را حدود ۱۰ گرم در نظر گرفت.

جدول ۳. تجزیهٔ واریانس صفات عملکرد و اجزای عملکرد، شاخص کلروفیل و اسید آمینهٔ پرولین

Table 3- Analysis of variance of yield and yield components, chlorophyll index, and proline amino acid

*، معنادار در سطح ۰/۰۵ و ns: غیرمعنادار

**: در احتمال ۰/۰۱ و

منابع تغییر S.O.V	df	عملکرد دانه Grain yield	وزن خشک کل Total dry weight	تعداد دانه Number of grains	وزن هزاردانه Thousand grain weight	کلروفیل Chlorophyll	اسید آمینهٔ پرولین Amino acid Proline
مکان place	۱	۲۷۰۸۵۰**	۲۲۳۵۵۵**	۲۷۰۵۳۸۵۷۰**	۳۸/۱**	۶۵۹/۰۲**	۶۹/۰۲**
بلوک (مکان) Block(place)	۴	۹۴/۴ns	۶/۴۸ns	۴۳۰۷۸۸ns	۳/۰۲ns	۷/۵۴ns	۰/۰۹ns
اسید فولویک-هیومیک Fulvic-Humic acid (gr)	۳	۲۵۴۷۵**	۲۲۴۸**	۵۶۸۱۱۵۷۱**	۳۶/۱**	۴۸۹۰**	۱۲/۱**
نوع خاک *اسید فولویک-هیومیک Soil Type *Fulvic-Humic Acid	۳	۵۰۹۲**	۴۳۰/۶**	۶۹۸۸۶۱۹**	۲۶/۲**	۱۱۰۱۴**	۵/۰۱**
خطا (مکان*هیومیک) Error(place*humic)	۱۲	۳۳/۴	۱۲/۱۵	۲۷۸۰۳۵	۰/۹۳	۴۱۲	۰/۸۱
کل total	۲۳	۱۵۷۹/۶	۱۳۲۸	۱۷۶۰۸۶۶۳	۱۰/۷۸	۵۴۷۵۹	۱۲۱/۹
ضریب تغییرات Coefficient of Variation		۱/۲۳	۲۲.۲	۲/۶۴	۲/۶۵	۲/۷	۰/۴۱

غیرمعنادار

, *: Significant at the 0.05 and 0.01 level of probability and ns: non-significant.**

جدول ۴. مقایسهٔ میانگین مقادیر صفات اندازه‌گیری‌شده تیمار اسید فولویک و اسید هیومیک در نوع خاک

Table 4- Comparison of average values of measured traits of humic acid treatment in soil type

نوع خاک Soil type	اسید فولویک-هیومیک (گرم در۱۰۰۰) -Fulvic Humic acid (gr per 1000)	عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار) Grain yield (kg.h)	کارایی مصرف آب (کیلوگرم بر مترمکعب) Water use efficiency ($kg.m^{-2}$)	وزن خشک کل (کیلوگرم در هکتار) Total dry weight (kg.h)	تعداد دانه (متر مربع) Number of grains (m^2)	وزن هزاردانه (گرم) Thousand grain weight (gr)
رسی-لومی Clay-loam	۰	۴۹۵۰/۴	۰/۵۴	۹۲۵۰/۸	۱۴۹۷۰/۴	۳۳/۱
	۵	۶۳۳۰/۳	۰/۶۹	۱۱۵۶۰/۹	۱۴۹۴۶/۱	۳۸/۸
	۱۰	۷۴۶۰/۶	۰/۸۲	۱۲۴۸۰	۱۹۳۸۴/۷	۳۹/۸
	۱۵	۷۸۰۰/۳	۰/۸۶	۱۳۱۵۰/۹	۲۰۱۴۲	۳۸/۵

	LSD	۱۸۰/۱	۰/۰۲	۴۱۰/۴	۱۲۷۶	۱/۹۶
لوم-شنی Loam-sand	۰	۳۵۰۰/۱	۰/۳۸	۶۰۵۰/۳	۹۴۹۲/۱	۳۴/۸
	۵	۴۳۳۰/۵	۰/۴۸	۶۹۷۱/۶	۱۱۱۹۲/۲	۳۷/۵
	۱۰	۵۲۸۰/۲	۰/۵۸	۷۵۰۲/۳	۱۳۱۵۸/۹	۳۷/۵
	۱۵	۵۲۷۰/۰	۰/۵۸	۷۵۶۰/۲	۱۳۲۸۶/۳	۳۰/۳
	LSD	۸۰/۳	۰/۰۳	۲۳۰/۳	۷۶۸	۱/۸۹

شاخص کلروفیل

در خاک لوم ـ شنی شاخص کلروفیل برگ با افزایش مصرف اسید فولویک و اسید هیومیک افزایش یافت. بنابراین، می‌توان گفت که اسید هیومیک این قابلیت را دارد از طریق تأثیرات مثبت فیزیولوژیکی از جمله افزایش متابولیسم در درون سلول‌ها و همچنین افزودن مقدار کلروفیل در برگ‌ها سبب ماندگاری بیشتر برگ‌ها شود و در مراحل حساس رشد گیاه به عنوان عامل تعدیل‌کنندهٔ تنش گرمایی عمل کند و طول فصل رشد را افزایش دهد (جدول ۵). تشکیل پیوند اسید فولویک و اسید هیومیک با مولکول های آب تبخیر را کاهش می‌دهد و همچنین، مولکول‌های اسید فولویک باعث نفوذ به درون بافت‌های گیاهی شده و با ایجاد پیوند با آب، تعرق گیاه را کاهش داده به حفظ آب در درون گیاه کمک کنند (دیفین و همکاران، ۲۰۰۵). تغییرات دما طی فصل رشد (عمدتاً افزایش دما) روی گیاهان به کاهش تولید منجر می‌شود که این کاهش می‌تواند به علت تسریع پیری برگ ناشی از دماهای بالا باشد. دمای بالا می‌تواند از طریق کاهش طول دورهٔ رشد و کاهش دریافت تشعشع کاهش عملکرد را به همراه داشته باشد که در آزمایش‌های بسیاری به اثبات رسیده است (لوبل و ارتیز مونستریو[1]، ۲۰۰۷).

اسید آمینهٔ پرولین

مقایسهٔ میانگین داده‌نشان داد میزان اسید آمینهٔ پرولین در خاک رسی ـ لومی و لوم ـ شنی مشابه نبود. در خاک لوم ـ شنی با اضافه شدن مقادیر اسید فولویک و اسید هیومیک میزان اسید آمینهٔ پرولین افزایش یافت، ولی در خاک رسی ـ لومی هرچند مصرف ۱۵گرم در لیتر اسید هیومیک بیشترین اسید آمینهٔ پرولین را تولید کرد، ولی با شاهد اختلاف معناداری نشان نداد (جدول ۵).

اسید هیومیک و اسید فولویک با جذب بهتر نیتروژن و در نتیجهٔ آن فعال‌تر شدن پروتیین‌های مؤثر بر فتوسنتز، و به صورت خاص افزایش فعالیت آنزیم روبیسکو باعث افزایش فعالیت فتوسنتزی و تولید شد (تان[2]، ۲۰۰۳). به عقیدهٔ

1. Lobell & Ortiz-Monasterio
2- Tan

برخی محققان، تجمع پرولین در گیاه در شرایطی که با تنش مواجه می‌شود به عنوان یک منبع ذخیرهٔ نیتروژن و کربن عمل می‌کند (گوبتا و داس[1]، ۲۰۰۳).

جدول ۵. مقایسهٔ میانگین صفات اسید آمینهٔ پرولین و شاخص کلروفیل

Table 5- Comparison of average traits of proline amino acid and chlorophyll index

نوع خاک Soil type	اسید فولویک-هیومیک (گرم در۱۰۰۰) Fulvic-Humic acid (gr per 1000)	کلروفیل Chlorophyll (SPAD)	پرولین (میلی‌گرم بر کیلوگرم) Amino acid Proline
رسی-لومی Clay-loam	۰	۵۳/۵	۳۵۰/۵
	۵	۵۷/۱	۳۰۳/۲
	۱۰	۵۶/۲	۳۴۰/۹
	۱۵	۵۷/۲۶	۳۵۴
	LSD	۰/۵۶	۱۶/۱
لوم-شنی Loam-sand	۰	۵۲/۲	۲۹۵
	۵	۵۲/۹	۲۸۸/۹
	۱۰	۵۰/۷	۳۰۸/۶
	۱۵	۵۴/۷	۳۷۶/۱
	LSD	۰/۶۳	۸/۳۱

نیتروژن

نیتروژن برگ و ساقه در گرده‌افشانی همبستگی بالایی با حرکت مجدد نیتروژن برگ و ساقه داشت و همچنین، انتقال مجدد نیتروژن برگ و انتقال مجدد نیتروژن ساقه همبستگی بالایی با هم (۰/۸۹) داشتند (جدول ۶). در غالب شرایط محیطی و مطالعات انجام‌شده گذشته حرکت مجدد نیتروژن و مادهٔ خشک زمانی افزایش پیدا می‌کند که گیاه با تنش مواجه می‌شود و این تقریباً اثبات شده است، البته در مواردی هم استثنا وجود دارد (ابهری، ۲۰۲۴). بنابراین با این استدلال، همبستگی بالای نیتروژن برگ و ساقه در گرده‌افشانی را با نسبت فتوترمال (۰/۷۰ و ۰/۶۹) می‌شود توجیه کرد (خارج قسمت فتوترمال از تقسیم میانگین تابش خورشیدی رسیده به سطح زمین بر میانگین دمای هوا (دمای بالای صفر درجهٔ سانتی‌گراد) محاسبه می‌شود). در گذشته هم مشخص شده که تنش گرما (از طریق مطالعهٔ مراحل نموی) باعث افزایش نسبت فتوترمال شد (ابهری، ۲۰۲۳).

کل نیتروژن در رسیدگی با کارایی نیتروژن رابطهٔ منفی معنادار داشت (۰/۶۸). کارایی نیتروژن در گیاه همواره با میزان نیتروژن جذب‌شده رابطهٔ منفی دارد.

جدول ۶. همبستگی بین صفات

Table 6- Correlation between traits

[1]- Gupta and Das

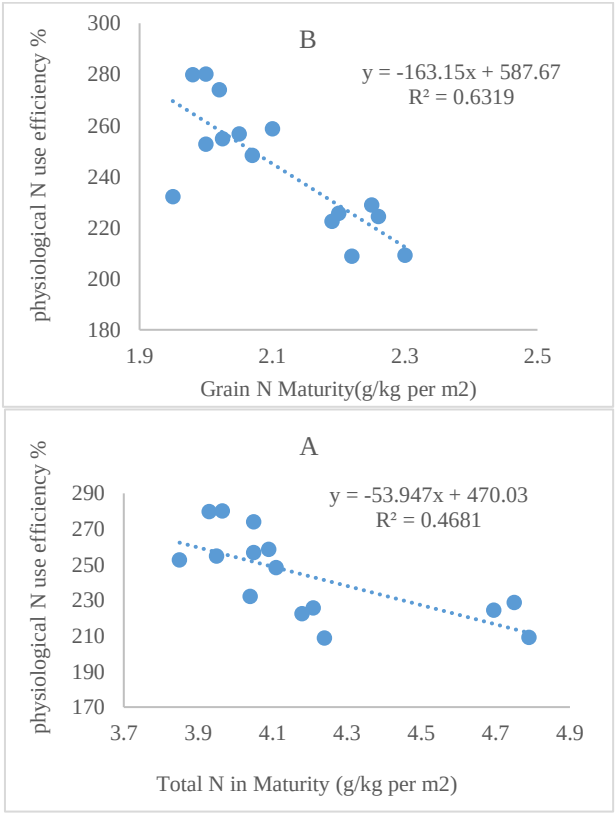
	نیتروژن ساقه در رسیدگی Stem nitrogen in maturity	نیتروژن برگ در رسیدگی Leaf nitrogen in maturity	نیتروژن دانه در رسیدگی Grain nitrogen in maturity	نیتروژن برگ در گرده‌افشانی Leaf nitrogen in pollination	نیتروژن ساقه در گرده‌افشانی Stem nitrogen in pollination	کل نیتروژن در رسیدگی Total nitrogen in maturity	کارایی نیتروژن Nitrogen efficiency	انتقال مجدد نیتروژن برگ Leaf nitrogen remobilization	انتقال مجدد نیتروژن ساقه Stem nitrogen remobilization	نسبت فتوترمال دریافتی Photothermal input ratio
۱	۱									
۲	۰/۷۴**	۱								
۳	۰/۶۴**	۰/۷۱**	۱							
۴	۰/۴۷*	۰/۶۰*	۰/۶۳*	۱						
۵	۰/۴۸ ns	۰/۶۰*	۰/۶۳*	۰/۹۹**	۱					
۶	۰/۸۹**	۰/۹۱**	۰/۸۸**	۰/۶۳*	۰/۶۴**	۱				
۷	-۰/۴۸ ns	-۰/۵۵*	-۰/۷۹**	-۰/۵۷*	-۰/۵۷*	-۰/۶۸**	۱			
۸	۰/۱۲ ns	۰/۱۱ ns	۰/۳۳ ns	۰/۸۶**	۰/۸۵**	۰/۲۱ ns	-۰/۳۶ ns	۱		
۹	-۰/۳۳ ns	۰/۰۱ ns	۰/۱۳ ns	۰/۶۶**	۰/۶۶**	-۰/۰۷ ns	-۰/۲۰ ns	۰/۸۲**	۱	
۱۰	۰/۰۹ ns	۰/۵۳*	۰/۶۰*	۰/۷۰**	۰/۶۹**	۰/۴۵ ns	-۰/۴۱ ns	۰/۵۲*	۰/۶۶**	۱

*، **: معنادار در سطح احتمال ۰/۰۵ و ۰/۰۱ و ns: غیرمعنادار.

***, **: Significant at the 0.05 and 0.01 level of probability and ns: non-significant.**

رابطهٔ نیتروژن دانه و نیتروژن کل در رسیدگی با کارایی فیزیولوژیکی مصرف نیتروژن

در این مطالعه کارایی فیزیولوژیکی مصرف نیتروژن که از تقسیم مادهٔ خشک کل بر کل میزان نیتروژن جذب‌شده حاصل می‌شود مورد بررسی قرار گرفت. با مطالعهٔ رابطهٔ نیتروژن دانه در رسیدگی با کارایی فیزیولوژیکی مصرف نیتروژن مشخص شد که هر چقدر میزان نیترون دانه (در محدودهٔ ۱/۹ تا ۲/۳ گرم بر کیلوگرم در متر مربع) افزایش یافت، درصد کارایی فیزیولوژیکی مصرف نیتروژن کاهش یافت. همچنین، با مطالعهٔ رابطهٔ نیتروژن کل در رسیدگی با کارایی فیزیولوژیکی مصرف نیتروژن مشخص شد که هر چه میزان نیترون کل (در محدودهٔ ۳/۷ تا ۴/۹ گرم بر کیلوگرم در متر مربع) افزایش یافت، درصد کارایی فیزیولوژیکی مصرف نیتروژن کاهش یافت (شکل ۲).

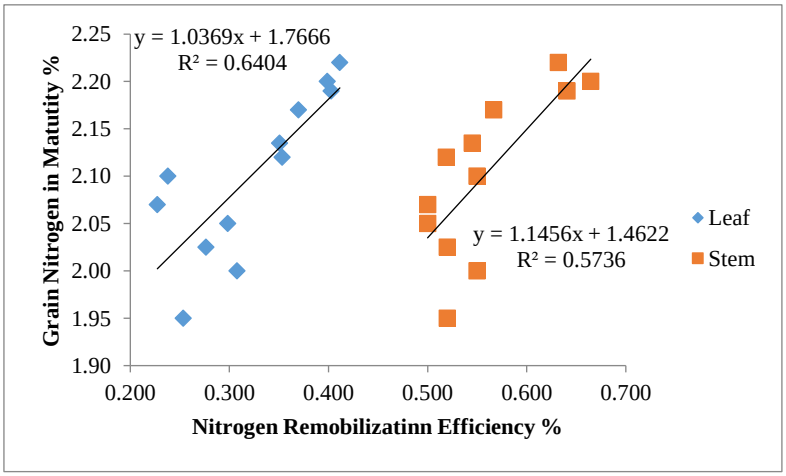


شکل ۲. رابطهٔ نیتروژن دانه و کل در رسیدگی با کارایی فیزیولوژیکی مصرف نیتروژن

Fig 2 - Relationship between grain and total nitrogen at maturity and physiological nitrogen use efficiency

رابطهٔ کارایی انتقال مجدد نیتروژن برگ و ساقه با نیتروژن دانه در مرحلهٔ رسیدگی

کارایی انتقال مجدد نیتروژن برگ و ساقه هر چقدر افزایش پیدا کند، نیتروژن دانه در مرحلهٔ رسیدگی افزایش می‌یابد و این افزایش به صورت خطی و برای برگ در محدودهٔ کارایی ۲۰ ـ ۴۰ درصد و برای ساقه در محدودهٔ کارایی ۵۰ ـ ۷۰ درصد اتفاق افتاد (شکل ۳).



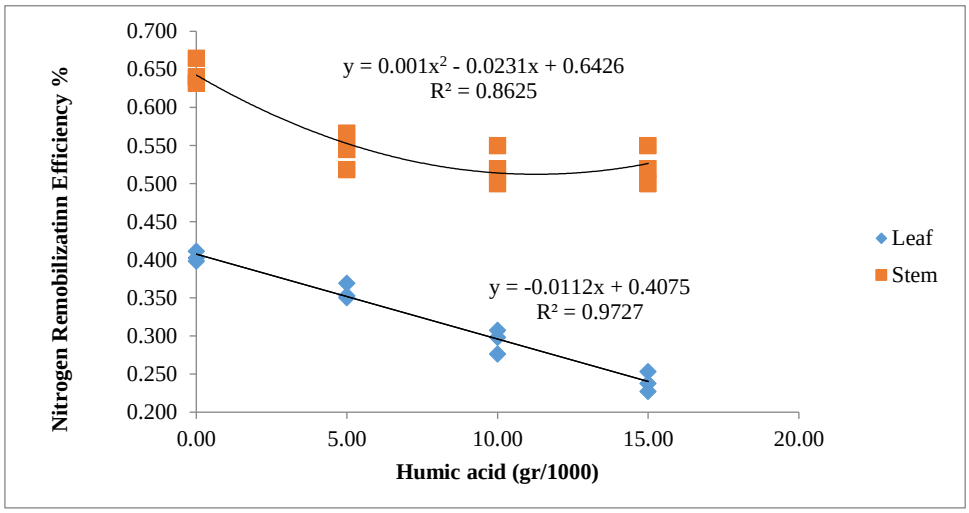
شکل ۳. رابطهٔ کارایی انتقال مجدد نیتروژن برگ (◊) و ساقه (□) با نیتروژن دانه در مرحلهٔ رسیدگی

Fig 3 - Relationship between leaf and stem nitrogen remobilization efficiency and grain nitrogen at the maturity stage

رابطهٔ مصرف اسید فولویک و اسید هیومیک با کارایی انتقال مجدد نیتروژن

با افزایش مصرف اسید هیومیک (صفر تا ۱۵ گرم در هزار)، کارایی انتقال مجدد نیتروژن برگ و ساقه به دانه در مرحلهٔ رسیدگی کاهش یافت.

بر این‌اساس، مشخص شد که مصرف اسید فولویک و اسید هیومیک با بهبود شرایط فتوسنتزی و افزایش میزان کلروفیل (همان‌طور که در جدول ۵ مشهود است)، به پر شدن بهتر دانه‌ها منجر می‌شود و در نتیجه، بنابراین انتقال مجدد نیتروژن برگ و ساقه به دانه کاهش یافته است.

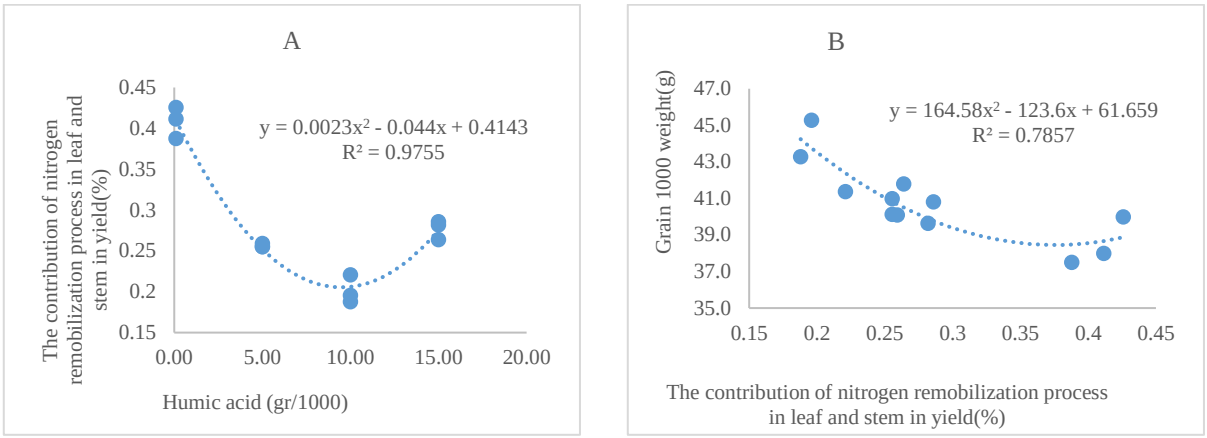


شکل ۴. رابطهٔ مصرف اسید فولویک و اسید هیومیک (گرم در هزار) با کارایی انتقال مجدد نیتروژن برگ (◊) و ساقه (□) به دانه در مرحلهٔ رسیدگی

Fig 4- Relationship between humic acid consumption (gr per 1000) and the efficiency of leaf (◊) and stem (□) nitrogen retransfer to grain at the maturity stage

سهم انتقال مجدد نیتروژن برگ و ساقه در عملکرد

در این تحقیق سهم فرایند حرکت مجدد نیتروژن برگ و ساقه در عملکرد دانه بررسی شد. شکل (A–۵) نشان می‌دهد افزایش مصرف اسید هیومیک تا ۱۰ گرم در هزار باعث کاهش سهم فرایند حرکت مجدد نیتروژن برگ و ساقه در عملکرد دانه شد. کاربرد اسید هیومیک با تأثیر مثبت بر فرایند فتوسنتز باعث رشد بهتر شده و گیاه کمتر نیاز به انتقال مجدد مادهٔ خشک و نیتروژن پیدا می‌کند لذا کاربرد اسید هیومیک سهم فرایند حرکت مجدد نیتروژن برگ و ساقه در عملکرد دانه را کاهش داد. همچنین، تأثیر سهم فرایند حرکت مجدد نیتروژن برگ و ساقه در عملکرد دانه بر وزن هزاردانه بررسی شد و مشخص شد که هرچقدر سهم فرایند حرکت مجدد نیتروژن برگ و ساقه در عملکرد دانه افزایش یافت، وزن هزاردانه روند کاهشی داشت (شکل B–۵).



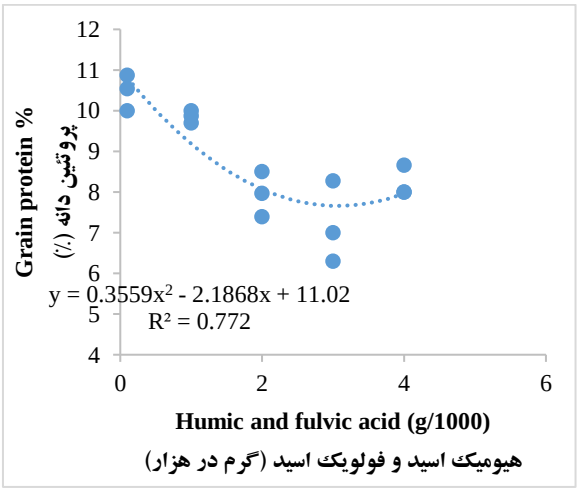
شکل ۵. رابطهٔ مصرف اسید فولویک و اسید هیومیک با سهم انتقال مجدد نیتروژن برگ و ساقه در عملکرد (A) و رابطهٔ سهم انتقال مجدد نیتروژن برگ و ساقه در عملکرد با وزن هزاردانه (B)

Fig 5 - Relationship between humic acid consumption and the contribution of leaf and stem nitrogen remobilization to yield (A) and the relationship between the contribution of leaf and stem nitrogen remobilization to yield and 1000-grain weight (B).

پروتئین دانه

بررسی شکل ۵ نشان می‌دهد مصرف اسید فولویک و اسید هیومیک تا مقدار سه کیلوگرم در هکتار، باعث کاهش پروتئین دانه می‌شود و پس از آن با مصرف اسید هیومیک بیشتر، میزان پروتئین تقریباً ثابت باقی می‌ماند. بنابراین، مشخص است که مصرف اسید هیومیک با بهبود شرایط فتوسنتزی و افزایش میزان کلرفیل (جدول ۵)، پر شدن دانه بهتر صورت گرفت و نسبت نشاسته به پروتئین در دانه را افزایش داد.

میزان نیتروژن موجود در برگ و ساقه گیاه، ارتباط مستقیمی با انتقال مجدد نیتروژن از این اندام‌ها در زمان گرده‌افشانی دارد. به طور کلی، تحقیقات نشان داده‌اند انتقال مجدد نیتروژن و مادهٔ خشک در گیاهان، اغلب در شرایط تنش‌زا افزایش می‌یابد و این موضوع تقریباً به اثبات رسیده است. البته، استثناهایی نیز در این زمینه وجود دارد (ابهری، ۲۰۲۴).



شکل ۶. رابطهٔ مصرف اسید فولویک و اسید هیومیک (گرم در هزار) با پروتئین دانه در مرحلهٔ رسیدگی

Fig 6- Relationship between humic acid consumption (gr/1000) and grain protein at the maturity stage

بحث و نتیجه‌گیری

با افزایش میزان محلول‌پاشی اسید فولویک و اسید هیومیک در هر دو نوع خاک رسی ـ لومی و لوم ـ شنی وزن خشک کل و تعداد دانه در متر مربع افزایش یافت که از این طریق باعث افزایش عملکرد دانه شد و در نتیجه، کارایی مصرف آب (در رسی ـ لومی از ۰/۵۴ به ۰/۸۶ و در لوم ـ شنی از ۰/۳۸ به ۰/۵۸) افزایش یافت. در مطالعه‌ای روی گیاه رازیانه مشخص شد که تغذیهٔ صحیح می‌تواند از طر یق افزایش درصد کارایی مصرف نیتروژن، کارایی مصرف آب را افزایش دهد (ابهری، ۲۰۲۴).

همچنین، با توجه به اینکه محلول‌پاشی توانست شاخص کلروفیل را افزایش دهد پس می‌توان نتیجه گرفت که اسید فولویک و اسید هیومیک این قابلیت را دارد از طریق بهبود متابولیسم در درون سلول‌ها و همچنین، افزودن مقدار کلروفیل در برگ‌ها در مراحل حساس رشد گیاه به عنوان عامل تعدیل‌کنندهٔ تنش عمل کند و طول فصل رشد را افزایش دهد. این نتایج با نتایج مطالعه‌ای روی گندم همخوانی داشت (اوزفیدان کاناکی[1] و همکاران، ۲۰۱۸).

کاربرد اسید هیومیک با بهبود فرایند فتوسنتز، به رشد بهتر گیاه کمک می‌کند و نیاز آن به انتقال مجدد مادهٔ خشک و نیتروژن را کاهش می‌دهد. در نتیجه، استفاده از اسید هیومیک، سهم فرایند حرکت مجدد نیتروژن از برگ و ساقه را در تشکیل عملکرد دانه کاهش می‌دهد. استفاده از اسید هیومیک می‌تواند تا حدی بر فرایند پر شدن دانه تأثیر بگذارد، به طوری که در مقادیر بالاتر اسید هیومیک، با بهبود کارایی فتوسنتز، وزن دانه افزایش می‌یابد و پر شدن دانه در مدت زمان طولانی‌تری (افزایش طول دورهٔ پر شدن دانه) صورت می‌گیرد (ابهری، ۲۰۲۳). این امر به افزایش نسبت نشاسته به پروتئین در دانه منجر می‌شود.

تضاد منافع

نویسندگان اعلام می‌کنند که هیچ‌گونه رقابت منافع مالی یا روابط شخصی شناخته‌شده‌ای که می‌توانسته بر کار گزارش‌شده در این مقاله تأثیر بگذارد، ندارند. نویسندگان در تهیه و انتشار این اثر عملی، اصول اخلاقی را رعایت کرده‌اند و این موضوع توسط همهٔ آن‌ها تأیید شده است. داده‌های این اثر برگرفته از پایان‌نامهٔ کارشناسی ارشد نویسندهٔ دوم است که توسط نویسندهٔ اول ویرایش، تحلیل و نگارش شده است.

رعایت اخلاق در نشر

نویسندگان اعلام می‌کنند که در این مقاله به طور کامل از اخلاق نشر از جمله سرقت ادبی، جعل داده، سوء رفتار و انتشار دوگانه پیروی کرده‌اند.

[1]- Ozfidan-Konakci

سپاسگزاری

از مجموعه آزمایشگاه‌های دانشگاه پیام نور سبزوار کمال تشکر را داریم.

منابع

1 Abbate, P.E., Andrade, F.H., and Culot, J.P., 1995. The effects of radiation and nitrogen on number of grains in wheat. J.ournal of Agricultural Science Cambridge 124: 352-360.

2 Abbate, P.E., Andrade, F.H., Culot, J.P., and Bindraban, P.S., 1997.Grain yield in wheat: Effects of radiation during spike growth period. Field Crops Research 54, 245-257.

3 Abhari A. 2022. Terminal physiologic heat stress adjustment and changes during developmental stages of wheat with the use of humic acid in two soil types. Journal of Plant Research.Online publication from 28 October 2021.

4 Abhari A. 2024. Studying the Effect of Ammonium Nitrate and Ammonium Sulfate Feeding on the Physiological Efficiency of Water and Nitrogen Consumption in Fennel (Foeniculum). Journal of Applied Biology. 37 (1): 1-13.

5 Abhari a. and Hoseyni Sheshtamad F. 2017. The evaluate yield and seed membrane stability of wheat under drought stress. The Second International Congress of Earth, Space and Clean Energy, that held on 8 March 2017 in Shahid beheshti University, Tehran/Iran.

6 Abhari A., Soltani A. and Azizi G. 2014. Predicting wheat grain number by phototermal ratio in anthesis stage. Iranian Journal of Field Crops Research 12, No. 3, Fall. 2014, p. 438-444. (In Persian with English abstract)

7 Adams, R. M., C. Rosenzweig, R. M. Peart, J. T. Ritchie., B. A. Mc Carl, , J. D. Glyer, R. B. Curry, J.W. Jones, K. J. Boote, L. H. Allen. 1990. Global climate change and US agriculture Nature 345(6272), 219.

8 Adamsen, F. J., and Coffelt, T. A. 2005. Planting date effects on flowering, seed yield and oil content of rape and crambe cultivars. Industerial Crops and Products 21: 293-307.

9 Albayrak, S. and Camas, N. 2014. Effect of different levels and application times of humic acid on root and leaf yield and yield component of mung bean. Journal Agronomy 42: 130-133.

10 Ali S, Abbas Z, Seleiman MF, Rizwan M, Yavaş I, Alhammad BA, Shami A, Hasanuzzaman M and Kalderis D. 2020. Glycine betaine accumulation, significance and interests for heavy metal tolerance in plants. Plants, 9 (7): 896-919.

11 Angus, J.F., Mac Kenzie, D.H., Morton, R., and Schafer, C.A. 1981. Phasic development in field crops, n. Thermal and photoperiodic responses of spring wheat. Field Crops Research 4: 269-283.

12 Antolin, M. and J. Yoller. 1995. Effects of temporary drought on nitrate-fed and nitrogen-fixing alfalfa plants. Plant Science 107: 159-165.

13 Asseng S., I. A. N. Foster, N. C. Turner. 2011. The impact of temperature variability on wheat yield. Glob Change Biology 17:997–1012.

14 Atiyeh RM, Edwards CA, Metzger JD, Lee S and Arancon NO. 2002. The influence of humic acids derived from earth worm processed organic wastes on plant growth. Bioresource Technology, 84 (1): 7-14.

15 Bates, L. S. 1973. Rapid determination of free proline for water-stress studies. Plant and soil 39: 205-207.

16 Ayman, M., El-Ghamry, Kamar, M., Khalid, M. 2009. Amino and Humic Acids Promote Growth, Yield and Disease Resistance of Faba Bean Cultivated in Clayey Soil, Austrian Journal of Basic and Applied Science 3(2):731-739.
17 Calderini, D.F., Savin, R., Abeledo, L.G., Reynolds, M.P., and Slafer, G.A. 2001. The importance of the period immediately preceding anthesis for grain weight determination in wheat. Euphytica 119: 199-204.
18 Dada, O.A. & Ogunsesu, Y.O. (2016). Growth analysis and fruit yield of Capsicum chinense, Jacquin as influenced by compost applied as foliar spray and soil augmentation in Ibadan, southwestern Nigeria Journal of Agriculture and Sustainability, (9), 83-103.
19 Dawson, I. A., and Wardlaw, I.F., 1989. The tolerance of wheat to high temperatures during reproductive growth booting to anthesis. Australian Journal of Agricultural Research 40: 965-980.
20 Delfine S, Tognetti R, Desiderio E and Alvino A. 2005. Effect of foliar application of N and humic acids on growth and yield of durum wheat. Agronomy for Sustainable Development, 25 (2): 183-191.
21 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 Sustain 25:183-191.
22 Dordas, C., and Sioulas, S. 2008. Safflower yield, chlorophyll content, photosynthesis and water efficiency response to nitrogen fertilization under rainfed conditions. Crop Production 27:78-85.
23 Fahramand M., Moradi H., Noori M, Sobhkhizi A., Adibian M, abdollahi S.and Khashayar Rigi Kh. 2014. Influence of humic acid on increase yield of plants and soil properties. International Journal of Farming and Allied Sciences 3-3:339-341.
24 Fischer, R.A., 1985. Number of kernels in wheat crops and the influence of solar radiation and temperature. Journal Agricultural Science 105: 447-461.
25 Gonzalez, F.G., Slafer, G.A., and Miraleles, DJ. 2003. Grain and floret number in response to photoperiod during stem elongation in fully and slightly vernalized wheat. Field Crops Research 81: 17-27.
26 Gornall, J., R. Betts, E. Burke, R. Clark, J. Camp, K. Willett, A. Wiltshire. 2010. Implications of climate change for agricultural productivity in the early twenty-first century. Philosophical Transactions Royal Society B. 365, 2973–2989.
27 Gupta, S. K. D., and DAS. K. 2003. Effect of level and time of application of N.P.K on yield and oil content of rape. Indian agricultural 17.163-8.
28 Hagh-Parast, M., Maleki Farahani, S., Zarei, Q. 2012. Reduction of negative effects of drought stress in pea via the application of humic acid and seaweed extract. Journal of Crop Produce in Terms of Environ Stress 4(1):42-53.
29 Haider,N., Alam, M., Abid Khan2 , Haider, W., Hussain S. and Zeb, Sh. 2017. Influence of humic acid application on phenology, leaf area and production duration of okra (Abelmoschus esculentus L.) cultivars. Pure Appl. Biol., 6(3): 1010-1020.
30 Hale, L., Curtis, D., Azeem, M., Montgomery, J., Crowley, D. E., & McGiffen, M. E. (2021). Influence of compost and biochar on soil biological properties under turfgrass supplied deficit irrigation. Applied Soil Ecology, 168. doi:10.1016/j.apsoil.2021.104134.

31 Haroon M. 2009. Increasing crop production through humic acid in salt-affected soils. PhD. Thesis. Department of Soil and Environmental Sciences. The University of Agriculture. Peshawar, Pakistan.
32 Hartz, T. K. and Bottoms, T. G. 2010. Humic substances generally ineffective in improving vegetable crop nutrient uptake or productivity. Horticultural Science 45(6):906–910.
33 Hatfield, J. L., K. J. Kimball, L. H. Zisaka, R. C. Izaurralde, D. Ort, A. M. Thomson, D.W. Wolfe. 2011. Climate impact son agriculture: implications for crop production. Agronomy Journal 103: 351–370.
34 Hisao, E., Atsush, O., Akiko, S., Masakazu, T., and Taiji, Y. 2000. Thermalresponses during the phonological development of wheat. Japan Journal Crop Science 69: 229-234.
35 Journal of Applied Sciences 2 (1): 73-78.
36 Kashif, A., Khan A., Tariq Jan, M., Zahir Afridi, M., Shahzad A. and Zaheer, S. 2015. Effect of humic acid and crop residue application on emergence and wheat phenology. Pure Appl. Bio., 4(1): 97-103.
37 Katkat AV, Çelik H, Turan MA and Asik BB. 2009. Effects of soil and foliar applications of humic substances on dry weight and mineral nutrients uptake of wheat under calcareous soil conditions. Australian Journal of Basic and Applied Sciences, 3 (2): 1266-1273.
38 Khaled, H. and Fawy, H. A. 2011.Effect of Different Levels of Humic Acids on the Nutrient Content, Plant Growth, and Soil Properties under Conditions of Salinity. Soil and Water Research 6: 21–29.
39 Kizilkaya, R. 2008. Yield response and nitrogen concentrations of spring wheat (Triticum aestivum L.) inoculated with Azotobacterchroococcum strains. Ecological Engineering 33: 150- 156.
40 Koocheki, A. R., and Khajeh Hosseini, M. 2008. Modern Agronomy. Mashhad Jehad Daneshgahi Press. 704 pp.
41 Liu, C., Cooper, R.J. and Bowman, D.C. 1998. Humic acid application affects photosynthesis, root development and nutrient content of creeping bent grass. American Society for Horticultural Science 33(6): 1023-1025.
42 Lobell, D. B., J. I. Ortiz-Monasterio. 2007. Impacts of day versus night temperatures onspring wheat yields: a comparison of empirical and CERES model predictions in three locations. Agronomy Journal 99: 469–477.
43 Maghrebi M, Noori R, Bhattarai R, Mundher YZ, Tang Q, Al-Ansari N, Danandeh Mehr A, Karbassi A, Omidvar J, Farnoush H, Torabi Haghighi A, Kløve B and Madani K. 2020. Iran's Agriculture in the Anthropocene. Earth's Future, 8 (9): 1-15.
44 Majidi A., Khalilzadeh Khalilzadeh G, and Rejali F. 2021. Grain Yield and Some Agronomic Traits of Wheat (Triticum aestivum L.) Influenced by Glycinebetaine and Humic Acid Application under dryland farming condition. Scientific Research Journal of Agricultural Knowledge and Sustainable Production.13(4):235-253.
45 Mohsen-Nia, O., and Jalilian, J. 2011. The effect of water stress and fertilizer sources on the yield and yield components of safflower (Carthamus tinctorius L.). Journal of Agroecology 4(3): 235-245. (In Persian with English Summary).

46 Nardi, S., Pizzeghello, D., Muscolo, A. and Vianello, A. 2002. Physiological effects of humic substances on higherplants. Soil Biology and Biochemistry 34: 1527–1536.
47 Neenu, S., A. K. Biswas, A. SubbaRao. 2013. Impact of climate factors on crop production-A review.Agri. Reviews 34 (2): 97-106.
48 Ortiz-Monasterio, J.I., Dhillon, S.S., and Fischer, R.A., 1994. Date of sowing effects in grin yield and yield components of spring wheat cultivars and their relationship with radiation and temperature in Ludhiana. India. Field Crops Research 37: 169-184.
49 Ottman M. J, B. A. Kimball, J. W. White, G. W., Wall. 2012. Wheat growth response to increased temperature from varied planting dates and supplemental infrared heating. Agronomy Journal 104:7–16.
50 Ozfidan-Konakci C, Yildiztugay E, Bahtiyar M and Kucukoduk M. 2018. The humic acid-induced changes in the water status, chlorophyll fluorescence and antioxidant defense systems of wheat leaves with cadmium stress. Ecotoxicology and Environmental Safety, 155: 66-75.
51 Poggio, S. L., Satorre, E. H., Dethiou, S., and Gonzalo, G. M. 2005. Pod and seed numbers as a function of photothermal quotient during the seed set period of field pea (Pisum sativum) crops. European Journal of Agronomy 22: 55-69.
52 Rabbani M. and Kazemi F. 2022. Water need and water use efficiency of two plant species in soil-containing and soilless substrates under green roof conditions. Journal of Environmental Management. Vol: 302.
53 Rawson, H. M. 1988. Effects of high temperatures on the development and yield of wheat and practices to reduce deleterious effects. Wheat production constraints in tropical environments. Proceedings of the International Conference. Chiang Mai, Thailand. pp. 44–62.
54 Rezai, P., Soltani, A., AkramGhaderi, F., Zeinali, A., 2009. Quantification of occurrence of heat stress on wheat crop (Triticumaestivum) in Gorgan.J. of Gorgan University of Agricultural Science. and Natural Research 15(4)27-38.
55 Roshaniyan M., Alinejadian-Bidabadi A., Maleki A. and Lakzian A. 2024. Investigating the application of humic acid and irrigation levels on some physical, chemical, and biological properties of the soil under bell pepper cultivation. Iranian Journal of Soil and Water Research. 54(12): 1929-1943.
56 Sabbaghpour, S.H. 2003. Mechanisms of drought tolerance in plants. Journal of Agricultural Drought and Drought. 13: 21-32.
57 Sadeghipour,O. 2009. The Influence of water Stress on Biomass and Harvest Index in Three Mungbean Cultivars. Asian Journal plant Science, 3: 1-5.
58 Saruhan. V., A. Kusvuran and S. Babat. 2011. The effect of different humic acid fertilization on yield and yield components performance of common millet. Science Research and Essays 6(3), pp. 663-669.
59 SAS Institute. 1996. SAS/STAT user's guide, Version 6, (4th edition), SAS Inst., Inc.,Cary, NC.
60 Savin, R., and Slafer, G.A., 1991. Shading effects on the yield of an Argentinian wheat cultivar. Journal Agricultural Science. (Camb) 166: 1-7.

61 Scharf, P. C., S. M. Brouder and R. G. Hoeft. 2006. Chlorophyll meter reading can predict nitrogen need and yield response of corn in the north-central USA. Agronomy Journal 98: 655-665.

62 Sinclair, T.R., Kitani. S., Hinson, K., Brunuard. J, and Horie, T,. 1991. Soybean flowering date: linear and logistic models based on temperature and photoperiod. Crop Science 31: 786-790.

63 Tan, K.H. 2003. Humic Matter in Soil and the Environment. Marcel Dekker, New York. 408 p.1.

64 Turnbull K and Rahman S .2002. Endosperm texture in wheat. Journal of Cereal Science, 36 (3): 327-337.

65 Ugarte, C., Calderini, D.F., and Slafer, G.A., 2007. Grain Weight grain number responsiveness to pre-anthesis temperature in wheat, barley and triticale. Field Crops Research 100:240-248.

66 Waqas M, Ahmad B, Arif M, Munsif F, Khan AL, Amin M, Kang SM, Kim YH and Lee IJ. 2014. Evaluation of humic acid application methods for yield and yield components of mungbean. American Journal of Plant Sciences, 5 (15): 2269-2276

67 Wheeler, T. R., G. R. Batts, R. H. Ellis, P. Hadley, J. I. L. Morison. 1996. Growth and yield of winter wheat (Triticum aestivum) crops in response to CO2 and temperature. Journal of Agricultural Science 127: 37–48.

68 Zaghloul, S. M., Fatma, E.M., El-Quesni, G. and Mazhar, A. A. M. 2009. Influence of potassium humate on growth and chemical constituents of Thuja Orientalis L. seedlings. Ozean