

The effect of ammonium nitrate and humic acid fertilizers on the quantitative and qualitative traits of sugar beet cultivars

Ebrahim Shamshiri¹, Babaeian, Mahdi ^{1*}, Mohammad Kheirkhah¹

(Received: 26 Nov. 2025 ; Accepted: 23 Dec. 2025)

How to cite this article:

Shamshiri E, Babaeian M, Kheirkhah M. The effect of ammonium nitrate and humic acid fertilizers on the quantitative and qualitative traits of sugar beet cultivars. Journal of Sugar Beet. 2025: (41)1. 113-132. (In Persian with English abstract). DOI: 10.22092/jsb.2025.371538.1400

Extended Abstract

Introduction

Sugar beet (*Beta vulgaris* L.) is a major industrial crop with significant economic importance, particularly in regions such as Iran, where it contributes to both agricultural output and sugar production industry. Despite its potential, average sugar beet yield remains suboptimal, emphasizing the need for improved crop management strategies. Nitrogen is a critical nutrient that enhances vegetative growth, root development, and sugar accumulation, and its efficient uptake and utilization are strongly influenced by cultivar-specific characteristics. Humic acid, as an organic amendment, has been shown to stimulate enzymatic activity, enhance nutrient absorption, and improve root architecture, thereby increasing both yield and quality. The integration of mineral nitrogen and humic substances not only boosts biomass and sugar yield but also improves nitrogen use efficiency, offering agronomic and environmental benefits. Considering these factors, the present study aimed to investigate the combined effects of ammonium nitrate and foliar-applied humic acid on the quantitative and qualitative traits of three sugar beet cultivars.

Materials and Methods

This study was conducted to evaluate the effects of foliar-applied humic acid and ammonium nitrate fertilizer on the quantitative and qualitative performance of three sugar beet cultivars in Farooj, Iran, during the 2021 growing season. The experiment was arranged in a split-split plot design based on a randomized complete block design with three replications. The main factor was cultivar, including Aria, Marina, and Ernestina. The sub-factor was nitrogen fertilizer (ammonium nitrate) applied at three levels: 0, 100, and 150 kg ha⁻¹. The sub-

sub-factor was foliar application of humic acid at three levels: 0, 2.5, and 5 L ha⁻¹. Planting was carried out in early April using a six-row pneumatic planter, with 50 cm row spacing and 7 cm between plants within each row. Buffer zones were established between plots and replications to minimize edge effects. Irrigation was applied using a sprinkler system immediately after planting, repeated every four days until emergence, and subsequently every 10 days. During the growing season and at harvest, root length and diameter, as well as fresh and dry biomass of roots and above-ground parts, were measured. For qualitative analysis, root pulp extracts were prepared, and sodium and potassium concentrations were determined using flame photometry, while alpha-amino nitrogen was measured with a Betalizer. White sugar yield was calculated by multiplying recoverable sugar by root weight. Data were checked for normality using XLSTAT 2016, analyzed via ANOVA in SAS 9.1, and mean comparisons were performed using LSD at $P \leq 0.05$.

Results and discussion

Results of the variance analysis indicated that the interaction of cultivar $\times$ ammonium nitrate $\times$ humic acid was significant ($P < 0.01$) for shoot dry weight. Mean comparisons showed that, in all three cultivars, shoot dry weight increased with higher humic acid application under ammonium nitrate treatments. The highest shoot dry weight was recorded in Ernestina with 150 kg ha⁻¹ ammonium nitrate combined with 5 L ha⁻¹ humic acid (48.2 t ha⁻¹), whereas the lowest was observed in the control treatment (N0H0) at 25.1 t ha⁻¹. The interaction of cultivar $\times$ ammonium nitrate and humic acid $\times$ ammonium nitrate was significant ($P < 0.01$) for root yield. Low ammonium nitrate levels resulted in the lowest root yield, and higher levels enhanced it. Ernestina exhibited superior performance across all

1. Shirvan Faculty of Agriculture, University of Bojnord, Bojnord, Iran.

*Corresponding author: Babaeian@ub.ac.ir

nitrogen levels, reaching 74.61 t ha^{-1} at N150, with the highest nitrogen use efficiency, whereas Aria required higher nitrogen levels to achieve optimal yield. The interaction of cultivar $\times$ ammonium nitrate $\times$ humic acid was also significant for root sodium and potassium contents. Increasing ammonium nitrate and decreasing humic acid led to higher accumulation, with maximum sodium and potassium contents of 2.94 and 41.7 meq per 100 g fresh weight in Ernestina under N150H0, and minimum values of 1.46 and 3.7 meq per 100 g in Aria under N0H5. The interaction of cultivar $\times$ ammonium nitrate $\times$ humic acid was significant for sugar yield, while interactions of cultivar $\times$ humic acid, cultivar $\times$ ammonium nitrate, and ammonium nitrate $\times$ humic acid significantly affected white sugar yield. Sugar yield decreased with increasing ammonium nitrate but increased with humic acid, with the lowest value of 8.43 t ha^{-1} in Aria under N150H0 and the highest of 21.41 t ha^{-1} in Ernestina under N0H5. White sugar yield consistently increased with humic acid across all nitrogen levels, reaching a maximum of 12.44 t ha^{-1} in Ernestina. These findings indicate that the combination of 150 kg ha^{-1} ammonium nitrate and 5 L ha^{-1} humic acid produced the greatest improvements in both quantitative and qualitative traits. Integrated management of nitrogen and humic acid, considering the genetic characteristics of cultivars, plays a critical role in enhancing growth and increasing sugar beet performance.

Conclusion

The results of this study demonstrate that the combined application of ammonium nitrate and humic acid significantly influenced vegetative growth, root yield,

and sugar quality of sugar beet. Increasing ammonium nitrate up to 150 kg ha^{-1} enhanced shoot dry weight, root yield, and sugar production, while excessive nitrogen could reduce sugar quality. Humic acid, particularly when applied with high nitrogen levels, improved vegetative growth, sugar content, and the uptake of beneficial nutrients while reducing the accumulation of harmful compounds. Among the cultivars, Ernestina showed the highest nitrogen use efficiency, highlighting the importance of integrated management of these inputs to maximize yield.

Keywords: Root yield, Sugar content, Organic fertilizer, Nitrogen.

References

- Cao W, Sun H, Shao C, Wang Y, Zhu J, Long H, Zhang Y. Progress in the study of plant nitrogen and potassium nutrition and their interaction mechanisms. *Horticulturae*. 2025; 11(8):930. DOI: <https://doi.org/10.3390/horticulturae11080930>.
- Wyszkowski M, Kordala N, Brodowska MS. Role of humic acids-based fertilisers and nitrogen fertilisers in the regulation of the macroelement content in maize biomass. *Journal of Elementology*. 2023; 28(4): 1289–1309. DOI: 10.5601/jelem.2023.28.4.3207.
- Rassam G, Dadkhah A, Yazdi AK, Dashti M. Impact of humic acid on yield and quality of sugar beet (*Beta vulgaris* L.) grown on calcareous soil. *Notulae Scientia Biologicae*. 2015; 7(3): 367–371. DOI: <https://doi.org/10.15835/nsb739568>.

اثر کود نیترات آمونیوم و اسید هیومیک بر خصوصیات کمی و کیفی ارقام چغندرقد[†]

ابراهیم شمشیری^۱، مهدی بابائیان^{۲*}، محمد خیرخواه^۳

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۹/۵ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۱۰/۲

نوع مقاله: پژوهشی

DOI: 10.22092/jsb.2025.371538.1400

۱. شمشیری، م. بابائیان و م. خیرخواه، ۱۴۰۴. اثر کود نیترات آمونیوم و اسید هیومیک بر خصوصیات کمی و کیفی ارقام چغندرقد چغندرقد ۴۱(۱): ۱۱۳-۱۳۲

چکیده

به منظور بررسی اثر کاربرد کود نیترات آمونیوم و اسید هیومیک بر عملکرد کمی و کیفی ارقام چغندرقد، آزمایشی به صورت کرت‌های دوبار خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در سال ۱۴۰۰ در شهرستان فاروج، استان خراسان شمالی انجام شد. عامل اصلی رقم که شامل ارقام آریا، مارینیا و ارنستینا، عامل فرعی کود نیتروژن (نیترات آمونیوم) در سه سطح صفر، ۱۰۰ و ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار و عامل فرعی دوم شامل محلول‌پاشی کود اسید هیومیک در سه سطح: صفر، دو و نیم و پنج لیتر در هکتار بود. نتایج نشان داد که کاربرد اسید هیومیک و نیترات آمونیوم تأثیر معنی‌داری بر تمامی صفات مورد مطالعه داشت. بیشترین وزن خشک اندام هوایی (۲/۴۸ تن در هکتار) و عملکرد ریشه (۶۳/۵ تن در هکتار) با مصرف ۱۵۰ کیلوگرم نیترات آمونیوم به همراه پنج لیتر اسید هیومیک در هکتار حاصل شد. همچنین بالاترین عیار قند (۲۳/۵۴ درصد) در تیمار پنج لیتر در هکتار اسید هیومیک در رقم ارنستینا مشاهده شد. ضریب استحصال با مصرف اسید هیومیک افزایش ولی محتوی سدیوم و پتاسیم ریشه کاهش یافت. به طور کلی رقم ارنستینا نسبت به دو رقم دیگر از لحاظ خصوصیات رشدی ریشه و اندام‌های هوایی تحت تأثیر تیمارهای استفاده‌شده برتری داشت. بنابراین در صورت استفاده از رقم مذکور، ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار نیترات آمونیوم و مصرف پنج لیتر در هکتار اسید هیومیک در شرایط مشابه این آزمایش به منظور کسب بیشترین مقدار عملکرد شکر سفید پیشنهاد می‌گردد.

واژه‌های کلیدی: عملکرد ریشه، عیارقند، کود آلی، نیتروژن.

[†] - این مقاله برگرفته از پایان‌نامه دانشجویی است.

۱. دانش آموخته کارشناسی ارشد آگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی شیروان، دانشگاه بجنورد، بجنورد، ایران.

۲. استادیار دانشکده کشاورزی شیروان، دانشگاه بجنورد، بجنورد، ایران.

* - نویسنده مسئول: Babaeian@ub.ac.ir

۳. دانشیار دانشکده کشاورزی شیروان، دانشگاه بجنورد، بجنورد، ایران.

مقدمه

چغندر قند (*Beta vulgaris* L.) یکی از مهم‌ترین محصولات صنعتی و استراتژیک ایران به‌شمار می‌رود. براساس آمارنامه وزارت جهاد کشاورزی در سال زراعی ۱۴۰۲-۱۴۰۱، تولید این محصول در کشور ۶/۶۷ میلیون تن بوده که ۸/۸۳ درصد از کل تولید محصولات زراعی آبی را شامل می‌شود. استان خراسان شمالی با تولید ۹۴۲۲۴ تن سهم قابل توجهی در تولید این محصول دارد (Anonymous 2024). با وجود این، متوسط عملکرد چغندر قند در کشور ۵۷ تن در هکتار و در خراسان شمالی ۴۴ تن در هکتار گزارش شده که نشان‌دهنده‌ی ضرورت ارتقای مدیریت زراعی برای افزایش عملکرد و بهره‌وری است.

تغذیه مناسب گیاهان با عناصر غذایی یکی از اصلی‌ترین عوامل افزایش رشد، بهبود کیفیت و ارتقای عملکرد محصولات زراعی است. در این میان، نیتروژن به‌عنوان عنصر پرمصرف نقش کلیدی در تشکیل کلروفیل، رشد رویشی و تجمع ماده خشک در گیاه ایفا می‌کند (Ye et al. 2022). از میان منابع مختلف نیتروژنی، کود نیترات آمونیوم به دلیل داشتن دو فرم قابل جذب نیتروژن (نیترات و آمونیوم)، تأمین سریع و کارآمد نیاز غذایی گیاه را فراهم می‌کند و حضور هم‌زمان هر دو فرم اثرات هم‌افزایی بر جذب نیتروژن دارد (Pélissier et al. 2024). در سال‌های گذشته مطالعات متنوعی تأثیر نیترات آمونیوم بر خصوصیات کمی و کیفی چغندر قند را مورد بررسی قرار داده‌اند. نتایج پژوهشگران نشان می‌دهد استفاده از منابع نیتروژنی مختلف تأثیر قابل توجهی بر خصوصیات کمی و کیفی چغندر قند دارد. مطالعات نشان داده‌اند که نسبت مناسب نیترات و آمونیوم در کودهای نیتروژنی، تأثیر قابل توجهی بر رشد رویشی و عملکرد چغندر قند دارد (Li et al. 2024). در پژوهشی که به مقایسه منابع مختلف کود نیتروژن پرداخت، گزارش شد کود نیترات آمونیوم موجب بیشترین وزن ریشه، وزن تازه ریشه و عملکرد شکر در چغندر قند در مقایسه با سایر منابع نیتروژن شد (Hozayn et al. 2014). در تحقیقی دیگر، نشان داده شد که در بیشتر مراحل رشد، کاربرد نیتروژن به‌صورت نیترات آمونیوم تأثیر برتری نسبت به سولفات آمونیوم و اوره داشت (Attia and Khalifa 2015). همچنین

پژوهشگران نشان دادند، نیترات آمونیوم به‌طور معنی‌داری طول ریشه، قطر ریشه، عملکرد ریشه و عملکرد شکر را نسبت به اوره افزایش داد (Nemeat Alla et al. 2018)، در مطالعه‌ای دیگر گزارش شد در مقایسه با سایر منابع نیتروژن مانند اوره، مصرف نیترات آمونیوم تحت برخی شرایط موجب افزایش عملکرد و بهبود خصوصیات کمی و کیفی چغندر قند می‌شود (Bečka et al. 2024). این نتایج نشان می‌دهد که انتخاب منبع نیتروژن مناسب، به‌ویژه نیترات آمونیوم، می‌تواند به بهبود رشد و عملکرد چغندر قند کمک کند.

با در نظرگیری اهمیت بهینه‌سازی مصرف کودهای نیتروژنی به‌کارگیری راهکارهای مکمل مانند کودهای آلی برای افزایش کارایی جذب و کاهش تلفات نیتروژن در خاک، به‌ویژه با هدف کاهش پیامدهای مخرب محیط زیستی مانند شستشوی نیترات، ضروری است. در این زمینه، اسید هیومیک به‌عنوان یک کود آلی طبیعی، با بهبود کارایی جذب نیتروژن، نه تنها موجب کاهش تلفات کود و افزایش عملکرد محصول می‌شود، بلکه به‌طور پایدار سلامت و حاصلخیزی خاک را نیز ارتقا می‌بخشد. اسید هیومیک دارای ساختار ماکرومولکولی است که شامل هسته‌های آروماتیک و زنجیره‌های آلکیلی متنوع به‌همراه گروه‌های عاملی فعال مانند کربوکسیل، فنولیک و هیدروکسیل است (Capasso et al. 2020). نتایج یک پژوهش نشان داد اسید هیومیک کارایی استفاده از نیتروژن (NUE) را به‌طور میانگین ۲۷٪ بهبود می‌بخشد (Ma et al. 2024). بر اساس نتایج یک پژوهش دیگر استفاده اسید هیومیک و اوره هم‌زمان تلفات نیتروژن در مسیرهای مختلف مانند شستشوی خاک، تبخیر آمونیاک و انتشار N_2O را به‌طور قابل‌توجهی کاهش داد (Kong et al. 2022). در مورد نقش اسید هیومیک در گیاه بیان شده است اسید هیومیک بیان ژن‌های مسیرهای بیوسنتز اکسین (Auxin) و سیتوکینین را در گیاه افزایش داد محققان گزارش نمودند این افزایش بیان ژن هورمون رشد ریشه و شاخه گیاه را افزایش داد (Rathor et al. 2024). اسید هیومیک با بهبود رشد ریشه و افزایش جذب عناصر غذایی باعث افزایش عملکرد ریشه و بازده قند در چغندر قند گردید (Suleimenov et al. 2024). . در

با سه تکرار در شهرستان فاروج، به عرض جغرافیایی $37^{\circ} 14' N$ و طول جغرافیایی $48^{\circ} 46' 54'' E$ در سال ۱۴۰۰ انجام شد. عامل اصلی رقم، که شامل آریا، مارینیا و ارنستینا، عامل فرعی کود نیتروژن (نیترات آمونیوم) در سه سطح صفر، ۱۰۰ و ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار و عامل فرعی محلول پاشی کود آلی (اسید هیومیک) در سه سطح صفر، دو و نیم و پنج لیتر در هکتار بود. قبل از اجرای طرح، از خاک محل انجام آزمایش نمونه مرکبی از عمق صفر تا ۳۰ سانتی متری برداشت شد و به منظور بررسی خصوصیات آن به آزمایشگاه تجزیه آب و خاک منتقل شد. نتایج تجزیه خاک نشان داد که دارای حاصلخیزی پایین، بافت خاک متوسط، بدون محدودیت شوری، اسیدیته قلیایی متوسط، درصد مواد آلی خاک کم بوده و از لحاظ پتاسیم بالاتر از حد مطلوب، فسفر و نیتروژن کم است (جدول ۱).

پژوهشی دیگر گزارش شد که افزودن اسید هیومیک به خاک، عملکرد ریشه چغندر قند را به طور معنی داری افزایش داد و در نتیجه باعث افزایش وزن ریشه و عملکرد قند شد (Wilczewski et al. 2018).

با توجه به لزوم توجه به افزایش عملکرد چغندر قند در واحد سطح و اهمیت مسائل محیط زیستی این پژوهش با هدف بررسی سطوح مختلف کاربرد نیترات آمونیوم و اسید هیومیک بر عملکرد و اجزای عملکرد ارقام چغندر قند طراحی و اجرا شد.

مواد و روش‌ها

به منظور بررسی اثر محلول پاشی اسید هیومیک و کود نیترات آمونیوم بر عملکرد کمی و کیفی چغندر قند، آزمایشی به صورت طرح کرت‌های دوبار خرد شده در قالب بلوک‌های کامل تصادفی

جدول ۱ خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش
Table 1 Physical and chemical properties of the soil at the experimental site

عمق نمونه برداری Sampling depth (cm)	بافت خاک Soil Texture -	پتاسیم قابل دسترس Available Potassium (mg/kg)	فسفر قابل دسترس Available Phosphorus (mg/kg)	نیتروژن Nitrogen (%)	کربن آلی Organic Carbon (%)	اسیدیته pH	هدایت الکتریکی Electrical conductivity (dS/m)
0-30	لوم-Loam	246	8.53	0.06	0.68	7.93	1.65

کود نیترات آمونیوم به صورت سرک در دو مرحله شامل ۵۰٪ تیمار کودی در مرحله چهار تا شش برگی و ۵۰٪ باقی مانده قبل از بسته شدن کانوپی به صورت مصرف خاکی برای هر پلات قبل از انجام آبیاری مورد استفاده قرار گرفت. محلول پاشی اسید هیومیک در سه مرحله رشد گیاه شامل: شش تا هشت برگی، ۱۲ تا ۱۵ برگی و مرحله پایانی در زمان بسته شدن کانوپی بر اساس تیمارهای آزمایشی انجام شد. برای انجام محلول پاشی در هر مرحله غلظت‌های مورد نظر در تیمارها ایجاد و به منظور کنترل دقیق محلول پاشی از سم پاش کوچک دستی استفاده شد. برای تیمار صفر اسید هیومیک محلول پاشی آب مقطر انجام گرفت. تمام محلول پاشی‌ها در زمان صبح و هنگام خنکی هوا انجام شد. در پایان آزمایش به منظور انجام نمونه برداری، نیم متر از ابتدا و انتهای هر کرت و دو ردیف کناری به عنوان اثر حاشیه‌ای حذف شد. نمونه برداری در دو بخش شامل نمونه برداری در طول فصل

انجام عملیات کاشت در نیمه‌ی اول فروردین ماه سال ۱۴۰۰ با ردیف کار پنوماتیک چغندر قند شش ردیفه انجام گرفت. ابعاد کرت‌ها به عرض سه و طول چهار متر در نظر گرفته شد و فاصله بین ردیف‌ها ۵۰ سانتی متر و فاصله روی ردیف‌ها هفت سانتی متر تنظیم گردید. بین هر پلات نیم متر و بین هر تکرار دو متر به صورت راهروی بدون کشت، فاصله ایجاد شد. کل ابعاد مزرعه زمینی به طول ۹۴ متر و عرض ۱۶ متر به مساحت ۱۵۰۴ متر مربع در نظر گرفته شد. بعد از انجام عملیات کاشت بلافاصله آبیاری انجام شده و برای اطمینان از سبز شدن گیاه هر چهار روز آبیاری تکرار صورت گرفت و پس از جوانه زنی آبیاری‌ها به فاصله هر ۱۰ روز انجام گردید. روش آبیاری زمین از نوع آبیاری بارانی بود. پس از کاشت و استقرار بوته‌ها عملیات تنک در مرحله سه تا پنج برگی و کنترل علف‌های هرز به روش مکانیکی در دو مرحله شش تا هشت برگی و همچنین ۱۲ تا ۱۵ برگی انجام شد.

مصرف نیترات آمونیوم، با افزایش مقدار مصرف اسید هیومیک مقدار وزن خشک اندام هوایی افزایش یافت. در رقم آریا در دو سطح صفر و ۱۰۰ کیلوگرم نیترات آمونیوم بین مقادیر مختلف مصرف اسید هیومیک اختلاف معنی‌داری دیده نشد و در رقم مارینیا در شرایط عدم مصرف نیترات آمونیوم بین مصرف صفر و دو و نیم لیتر اسید هیومیک اختلافی وجود نداشت. در رقم ارنستینا نیز در شرایط عدم مصرف نیترات آمونیوم بین سطوح صفر و دو و نیم لیتر اسید هیومیک اختلاف معنی‌داری دیده نشد (شکل ۱).

به طور کلی یک روند افزایشی از تیمار عدم مصرف نیترات آمونیوم و اسید هیومیک تا تیمار مصرف ۱۵۰ کیلوگرم نیترات آمونیوم همراه با پنج لیتر اسید هیومیک مشاهده می‌شود. در بین سه رقم مورد بررسی واکنش رقم ارنستینا بیشتر از سایر ارقام بود و بالاترین مقدار وزن خشک اندام هوایی با میانگین ۲/۴۸ تن در هکتار تحت تاثیر تیمار $N_{150}H_5$ (۱۵۰ کیلوگرم نیترات آمونیوم + پنج لیتر اسید هیومیک) به دست آمد. در این رقم کمترین مقدار مربوط به تیمار عدم مصرف نیترات آمونیوم و اسید هیومیک (N_0H_0) با میانگین ۱/۲۵ تن در هکتار ثبت شد. در رقم مارینیا بیشترین وزن خشک اندام هوایی با میانگین ۱/۹۷ تن در هکتار و کمترین مقدار با میانگین ۱/۰۹ تن در هکتار به ترتیب در تیمارهای $N_{150}H_5$ و N_0H_0 به دست آمد. بررسی رقم آریا نشان داد بیشترین و کمترین مقدار وزن خشک اندام هوایی به ترتیب با میانگین ۱/۹۶ و ۱/۱۵ تن در هکتار به ترتیب در تیمارهای $N_{150}H_5$ و N_0H_0 مشاهده شد (شکل ۱).

مطالعات محققان نشان داد افزایش جذب نیتروژن در اثر مصرف اسید هیومیک باعث افزایش رشد رویشی و زیست توده گیاه شد. در این راستا آنها بیان کردند که تعامل بین سطوح نیتروژن و مواد هیومیک در چند رقم سورگوم شیرین (*Sorghum bicolor*) منجر به افزایش معنی‌دار بیوماس گیاهی و عملکرد بیواتانول شد (Nazli et al. 2020).

رشد و نمونه‌برداری در زمان برداشت انجام گرفت. وزن تر اندام‌های هوایی به وسیله ترازوی الکترونیکی با دقت یک صدم گرم اندازه‌گیری گردید. به منظور اندازه‌گیری وزن خشک، ریشه‌ها در آون با دمای ۷۲ درجه به مدت ۴۸ ساعت قرار گرفتند و سپس وزن شدند. برای انجام آزمایشات کیفی از مجموع ریشه‌های مربوط به هر تیمار یک نمونه خمیر ریشه در محل آزمایشگاه تهیه شد. بعد از تهیه عصاره‌ی گیاهی از هر نمونه، شفاف‌سازی آنها با کاربرد سواستات سرب انجام گرفت و در انتها غلظت سدیم و پتاسیم به روش فلیم فتومتری محاسبه شد. همچنین میزان نیتروژن مضره با دستگاه بتالایزر به روش عدد آبی اندازه‌گیری شد و برای برآورد قند ملاس از رابطه (۱) استفاده گردید (Cook, and Scott, 1993).

رابطه ۱ $MS=0.343(K^{+}+Na^{+}) + 0.094(\alpha \text{ amino nitrogen}) - 0.29$ که در این معادله K، Na و $\alpha \text{ amino nitrogen}$ به ترتیب پتاسیم، سدیم و نیتروژن آمینه بر حسب میلی اکسی والان در ۱۰۰ گرم خمیر ریشه چغندر قند هستند. عملکرد شکر سفید، از ضرب مقدار شکر قابل استحصال در وزن ریشه محاسبه گردید. پس از جمع‌آوری داده‌ها، بررسی نرمال بودن آنها با استفاده از نرم افزار XLSTAT2016 انجام شد. تجزیه واریانس داده‌ها با نرم افزار SAS نسخه ۹/۱ انجام گرفت. مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال ۵ درصد ($P \leq 0.05$) صورت گرفت و برای رسم نمودارها از نرم‌افزار اکسل استفاده شد.

نتایج و بحث

وزن خشک اندام هوایی

نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد که اثر متقابل رقم × نیترات آمونیوم × اسید هیومیک برای صفت وزن خشک اندام هوایی در سطح احتمال یک درصد ($P \leq 0.01$) معنی‌دار بود (جدول ۲).

نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل نشان داد در مورد صفت وزن خشک اندام هوایی در هر سه رقم مورد مطالعه در تیمارهای

جدول ۲ تجزیه واریانس اثرات سطوح مختلف نیترات آمونیوم و مقادیر مختلف اسید هیومیک بر کمیت و کیفیت ارقام چغندر قند

Table 2 Analysis of variance of the effects of different levels of ammonium nitrate and different amounts of humic acid on the quantity and quality of sugar beet cultivars

منابع تغییرات Sources of Variation	df	میانگین مربعات Mean of Squares								
		وزن خشک اندام درجه آزادی Shoot Dry Weight	عملکرد ریشه Root Yield	عیار قند Sugar Content	ضریب استحصال Extraction coefficient of sugar	سدیم ریشه Root Sodium	پتاسیم ریشه Root Potassium	قند ملاس Molasses Sugar	عملکرد شکر Sugar Yield	عملکرد شکر سفید White Sugar Yield
بلوک Block	2	0.092 ^{ns}	887.000 ^{ns}	0.050 ^{ns}	0.236 ^{ns}	0.008 ^{ns}	0.006 ^{ns}	0.001 ^{ns}	0.033 ^{ns}	0.024 ^{ns}
رقم Cultivar	2	0.565*	630.630*	37.363**	2.218*	0.584**	3.572**	1.072**	54.440**	38.640**
خطای (a) Error (a)	4	0.033	20.574	0.080	0.338	0.001	0.010	0.003	0.578	0.452
نیترات آمونیوم Ammonium Nitrate	2	2.892*	2164.150**	161.640**	424.900*	2.526**	15.980**	4.590**	19.040**	10.370**
رقم × نیترات آمونیوم Cultivar × Ammonium Nitrate	4	0.079*	39.650**	0.273 ^{ns}	2.866**	0.004 ^{ns}	0.030 ^{ns}	0.008 ^{ns}	1.228**	0.826*
خطای (b) Error (b)	12	0.082	20.640	1.203	8.607	0.119	0.151	0.107	0.912	0.943
اسید هیومیک Humic Acid	2	1.314*	686.270*	162.860**	448.440*	2.5440**	15.682**	4.978**	110.470**	117.720**
رقم × اسید هیومیک Cultivar × Humic Acid	4	0.007 ^{ns}	14.801 ^{ns}	0.865*	0.401 ^{ns}	0.012*	0.083*	0.021*	1.215**	1.070**
نیترات آمونیوم × اسید هیومیک Ammonium Nitrate × Humic Acid	4	0.028*	34.302**	3.756**	14.793**	0.059**	0.363**	0.112**	0.882*	0.748*
رقم × نیترات آمونیوم × اسید هیومیک Cultivar × Ammonium Nitrate × Humic Acid	8	0.070 ^{ns}	14.590 ^{ns}	0.655*	0.572 ^{ns}	0.010*	0.066**	0.020**	0.431 ^{ns}	0.307*
خطای (c) Error (c)	36	0.020	8.567	0.217	0.452	0.034	0.021	0.006	0.254	0.189
ضریب تغییرات Coefficient of Variation (%)	-	8.30	20.70	12.67	10.94	10.89	8.64	12.05	6.06	6.20

ns, *, **: به ترتیب بیانگر عدم معنی داری و معنی داری واریانس در سطح احتمال ۰/۰۵ و ۰/۰۱ هستند

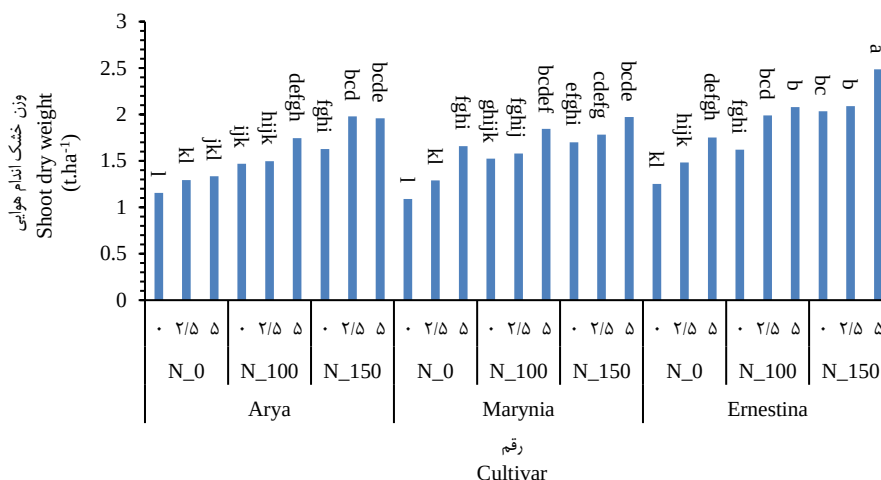
ns, *, **: non-significant and significant at 5% and 1% probability levels, respectively

دو رقم ذرت (*Zea mays*) را افزایش داد، به طوری که بیشترین تجمع نیتروژن و فعالیت نیترات ردوکتاز در حضور اسید هیومیک مشاهده شد (Khan et al. 2019). علاوه بر این افزایش جذب عناصر ماکرو در زیست توده در ارقام ذرت تحت تاثیر مصرف

برخی محققان دیگر افزایش فعالیت برخی آنزیم ها مانند نیترات ردوکتاز را عامل افزایش جذب نیتروژن در حضور مصرف اسید هیومیک می دانند. در پژوهشی دیگر گزارش شد که ترکیب اسید هیومیک با کود نیتروژن به طور معنی داری رشد و عملکرد

تعداد خوشه و بیوماس ذرت منجر شد و این اثر تحت تأثیر رقم گیاه نیز متفاوت بود (El Hady et al. 2017).

اسید هیومیک و کود نیتروژن مشاهده شده است (Wyszowski 2023). در مطالعه‌ای دیگر بیان شد تعامل بین کود نیتروژن معدنی و اسید هیومیک به افزایش تعداد برگ‌ها،



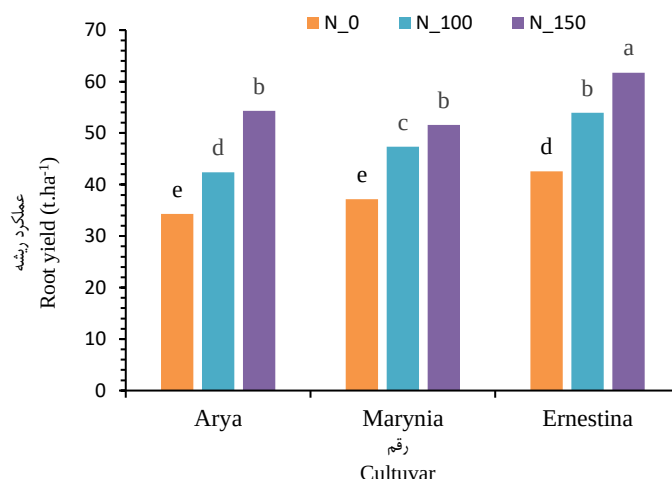
شکل ۱ مقایسه میانگین اثر متقابل اسید هیومیک، نیترات آمونیوم و رقم بر وزن خشک اندام هوایی

Fig 1 Comparison of the mean interaction effects of humic acid, ammonium nitrate, and cultivar on shoot dry weight

عملکرد ریشه

و مارینیا ۳۴/۳۰ درصد بود که بیانگر نقش مؤثر نیتروژن در افزایش رشد رویشی و گسترش سطح برگ، بهبود فتوسنتز و در نهایت توسعه ریشه ذخیره‌ای است. در بالاترین سطح نیتروژن (N₁₅₀)، بیشترین عملکرد برای رقم ارنستینا با میانگین ۶۱/۷۴ تن در هکتار به‌دست آمده که در مقایسه با شاهد (N₀) با میانگین ۴۲/۵۸ تن در هکتار ۴۴/۹۹ درصد افزایش داشت. مقدار عملکرد رقم آریا با مصرف ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار ۵۴/۳۱ تن در هکتار بود و رقم مارینیا نیز عملکرد ۵۱/۵۹ تن در هکتار را ثبت کرد. این نتایج نشان‌دهنده آن است که نیتروژن کافی موجب افزایش تولید و انتقال مواد فتوسنتزی به ریشه چغندر قند شده است. در همین راستا نتایج محققان نشان می‌دهد نیترات آمونیوم می‌تواند دسترسی نیتروژن را در طول فصل بهبود دهد و به افزایش ابعادی ریشه‌ها منجر شود (Nemeat Alla et al. 2023).

نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد که اثر متقابل رقم × نیترات آمونیوم و همچنین اثر متقابل اسید هیومیک × نیترات آمونیوم در سطح احتمال یک درصد ($P \leq 0.01$) معنی‌دار شد (جدول ۲). در هر سه رقم مورد مطالعه مصرف پائین کود نیترات آمونیوم کمترین عملکرد ریشه را به‌همراه داشت و با افزایش سطوح مصرف نیترات آمونیوم عملکرد ریشه افزایش یافت. به طور کلی، رقم ارنستینا نسبت به دو رقم دیگر در تمامی سطوح نیترات آمونیوم برتری داشت. در تیمار بدون نیتروژن (N₀)، رقم ارنستینا با میانگین ۴۲/۵۸ تن در هکتار نسبت به دو رقم آریا و مارینیا بترتیب با میانگین ۳۴/۳۰ و ۳۷/۱۴ تن در هکتار عملکرد بیشتری را نشان داد (شکل ۲). با افزایش مصرف نیترات آمونیوم به ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار (N₁₀₀)، عملکرد هر سه رقم به‌طور قابل توجهی افزایش یافت. به طوری که مقدار افزایش رقم ارنستینا نسبت به شاهد (N₀) ۴۲/۵۸ درصد، آریا ۳۷/۱۴ درصد



شکل ۲ مقایسه میانگین عملکرد ریشه تحت تاثیر رقم و نیترات آمونیوم

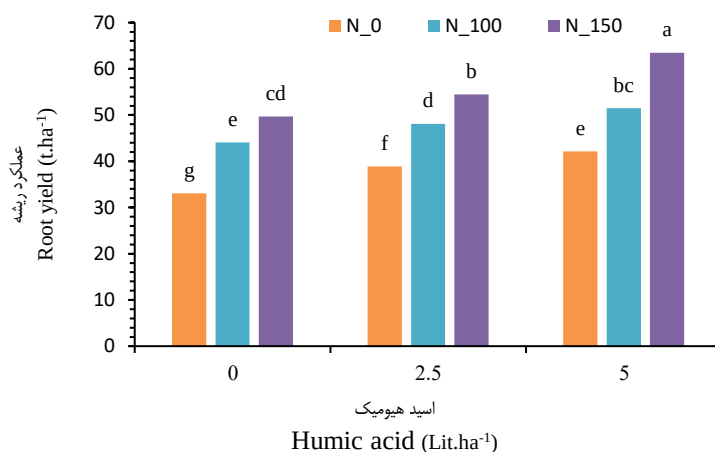
Fig 2 Comparison of mean root yield under the effects of cultivar and ammonium nitrate

سطح ۱۰۰ کیلوگرم تنها ۸۰ کیلوگرم محصول در هر کیلوگرم نیتروژن بود. این الگو نشان می‌دهد که رقم آریا برای بروز ظرفیت تولیدی خود نیازمند نیتروژن بالاتر است. در مقابل، رقم مارینیا در سطح ۱۰۰ کیلوگرم نیتروژن کارایی مناسبی داشت و مقدار آن برابر ۱۰۱ کیلوگرم محصول به‌ازای هر کیلوگرم نیتروژن بود، اما در سطح ۱۵۰ کیلوگرم، مقدار کارایی نیتروژن به ۹۶ کیلوگرم محصول در هر کیلوگرم نیتروژن کاهش یافت، که نشان‌دهنده بهینه بودن عملکرد این رقم در سطوح متوسط نیتروژن است. به‌طور کلی، این تفاوت‌ها نشان می‌دهد که رفتار هر رقم در برابر نیتروژن تابعی از پتانسیل ژنتیکی، توانایی جذب و ظرفیت تبدیل نیتروژن به ماده خشک قابل برداشت است. مطالعات اخیر نشان داده‌اند که ارقام مختلف به دلیل تفاوت ذاتی در پتانسیل تولید قند، از نظر کارایی نیتروژن با یکدیگر تفاوت دارند (Ebmeier and Hoffmann, 2021). در پژوهشی توصیه می‌شود که مدیریت نیتروژن باید به سطح رقم تطبیق داده شود زیرا پاسخ عملکردی و کارایی نیتروژن بین ارقام به‌طور معنی‌داری متفاوت است (Lamlom et al. 2025). مقایسه میانگین اثر متقابل نیترات آمونیوم در اسید هیومیک بر عملکرد ریشه نشان داد که کمترین مقادیر وزن خشک ریشه در شرایط عدم مصرف نیترات آمونیوم در هر سه مقدار مصرف اسید هیومیک مشاهده شد اما با افزایش سطوح مصرف نیترات آمونیوم در هر سه مقدار اسید هیومیک مصرف شده، بالاترین مقادیر وزن

بر اساس نتایج به‌دست آمده، تفاوت ارقام در پاسخ به سطوح مختلف نیتروژن قابل ملاحظه بود که نشان می‌دهد کارایی مصرف نیتروژن در ارقام مورد مطالعه متفاوت است. در این بین، هر چند رقم ارنستینا دارای بیشترین عملکرد در هر سه سطح مصرف نیتروژن بود اما بیشترین مقدار افزایش عملکرد تحت تأثیر مصرف ۱۵۰ کیلوگرم نیترات آمونیوم در رقم آریا مشاهده شد که معادل ۵۸/۳۳ درصد افزایش را نشان داد و میزان افزایش برای رقم ارنستینا و مارینیا به ترتیب ۴۴/۹۹ و ۳۸/۹۰ درصد بود (شکل ۲). نتایج نشان داد که کارایی مصرف نیتروژن میان سه رقم چغندر قند متفاوت بود و این اختلاف به توانایی ژنتیکی و ظرفیت فیزیولوژیک هر رقم در جذب و استفاده از نیتروژن مرتبط است. رقم ارنستینا بالاترین کارایی مصرف نیتروژن را به‌ویژه در تیمارهای ۱۰۰ و ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن نشان داد، به‌طوری‌که کارایی مصرف نیتروژن این رقم در سطح ۱۰۰ کیلوگرم برابر ۱۰۳ کیلوگرم محصول به‌ازای هر کیلوگرم نیتروژن و در سطح ۱۵۰ کیلوگرم معادل ۱۲۷ کیلوگرم محصول به‌ازای هر کیلوگرم نیتروژن بود. این مقادیر بیانگر توان بالای این رقم در تبدیل نیتروژن جذب‌شده به ماده خشک ریشه است. رقم آریا اگرچه در شرایط بدون نیتروژن عملکرد پایینی داشت، اما در سطح ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن جهش قابل توجهی در عملکرد را نشان داد و کارایی مصرف نیتروژن آن به ۱۳۳ کیلوگرم محصول به‌ازای هر کیلوگرم نیتروژن رسید در حالی که کارایی مصرف نیتروژن در

بخشد (Ma et al. 2024). در مطالعه‌ای دیگر محققان نشان داد که افزودن اسید هیومیک به اوره موجب افزایش قابل توجه کارایی استفاده از نیتروژن و کاهش تلفات نیتروژن شد (Kong et al. 2022). نتایج محققان نشان داد اسید هیومیک و یون‌های معدنی با تشکیل کمپلکس‌های ارزشمندی موجب جذب عناصر کم مصرف و پر مصرف شد و به این طریق رشد گیاه را بهبود بخشید (Yildirim. 2007). همچنین مطالعات قبلی نشان داده است که افزایش مقادیر مصرف اسید هیومیک باعث بهبود متابولیسم سلول‌های گیاهی و افزایش غلظت کلروفیل در برگ شد و موجب افزایش عملکرد ریشه در چغندر قند گردید (Mehdi et al. 2013).

خشک ریشه به دست آمد به طوری که ۶۳/۵ تن در هکتار وزن خشک ریشه از مصرف ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار نترات آمونیوم به همراه پنج لیتر در هکتار اسید هیومیک مشاهده گردید (شکل ۳). این نتایج با یافته‌های پژوهشگرانی مطابقت دارد که بیان کردند، افزودن اسید هیومیک به کودهای معدنی موجب افزایش جذب N و بهبود عملکرد ریشه چغندر قند شد (Shaban et al. 2014). مطالعات دیگر نشان دادند که کاربرد اسید هیومیک با بهبود رشد اولیه و تسهیل انتقال به ریشه، تولید و کیفیت چغندر قند را افزایش داد (Wilczewski et al. 2018). در پژوهشی گزارش شد افزودن اسید هیومیک به خاک می‌تواند به طور قابل توجهی کارایی نیتروژن را در محصولات زراعی بهبود



شکل ۳ مقایسه میانگین عملکرد ریشه تحت تاثیر نترات آمونیوم و اسید هیومیک

Fig 3 Comparison of mean root yield under the effect of ammonium nitrate and humic acid.

عیار قند

مصرف ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار نترات آمونیوم از رقم آریا حاصل شد (شکل ۴). در تمامی ارقام مورد مطالعه سطح پنج لیتر در هکتار اسید هیومیک و عدم مصرف نترات آمونیوم موجب بالاترین مقادیر عیار قند شد. گزارش شد کاربرد اسید هیومیک موجب تحریک تنفس سلولی، سنتز پروتئین، افزایش جذب آب و عناصر غذایی و همچنین افزایش فعالیت‌های آنزیمی منجر به بهبود شاخص‌های کمی و کیفی انگور (*Vitis vinifera*) شد (Ferrara and Brunetti 2010). گزارشات قبلی نشان داد که افزایش مصرف نیتروژن منجر به افزایش قطر و وزن ریشه و در نتیجه افزایش آب بافت گیاهی و مواد غیر ساکارزی نظیر پروتئین‌ها و نیتروژن مضره و در نهایت کاهش عیار قند گردید (Tsaltas and Maslaris. 2013).

نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد اثر متقابل رقم × نترات آمونیوم × اسید هیومیک در سطح احتمال پنج درصد ($P \leq 0.05$) بر صفت عیار قند معنی‌دار بود (جدول ۲). در هر سه رقم مورد مطالعه روند عیار قند با افزایش مصرف اسید هیومیک افزایشی و با افزایش کاربرد نترات آمونیوم کاهش می‌یافت. پاسخ ارقام با کاهش سطوح نترات آمونیوم و افزایش مصرف اسید هیومیک باهم متفاوت بود به طوری که بالاترین مقدار عیار قند (۲۳/۵۴ درصد) از رقم ارنستینا در شرایط عدم مصرف نترات آمونیوم و کاربرد پنج لیتر در هکتار اسید هیومیک و کمترین مقدار صفت یاد شده (۱۱/۷۳ درصد) از تیمار عدم کاربرد اسید هیومیک و

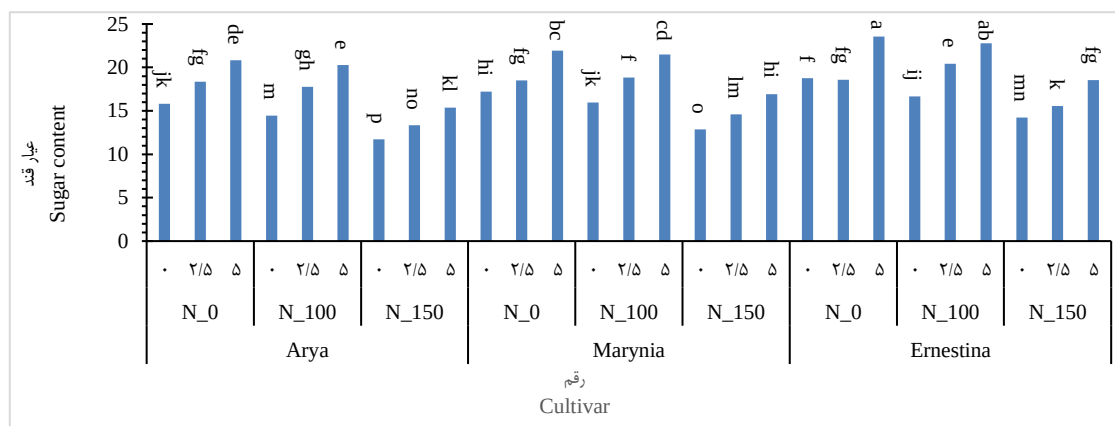
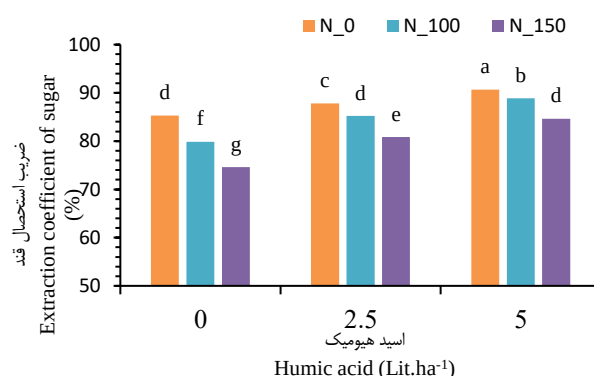


Fig 4 Comparison of mean sugar content under the effects of ammonium nitrate, humic acid, and cultivar.

نیترات آمونیوم به دست آمد (۸۷/۹ درصد) با این حال تفاوت معنی داری از لحاظ آماری با دو رقم دیگر در همین تیمار کودی نداشت. همچنین کمترین مقادیر صفت یاد شده در هر سه رقم مورد مطالعه از مصرف ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار نیترات آمونیوم مشاهده شد (شکل ۶). در مطالعه‌ای بیان شد نیتروژن اضافی، کیفیت چغندر قند را از طریق کاهش غلظت شکر و افزایش مقدار ناخالصی‌ها، کاهش داده و از این لحاظ مدیریت بهینه نیتروژن در بهبود و تولید محصول چغندر قند بسیار مهم است (Lamb *et al.* 2013). ضریب استحصال قند به مقادیر نیتروژن، سدیم و پتاسیم ریشه بستگی داشت بنابراین افزایش مقادیر نیتروژن، مصرفی موجب کاهش درصد قند قابل استحصال شد. همچنین، با افزایش مصرف اسید هیومیک، نیتروژن مضره و سدیم کمتری در ریشه چغندر قند تجمع یافت که در نتیجه تحت این شرایط ضریب استحصال قند افزایش یافت.

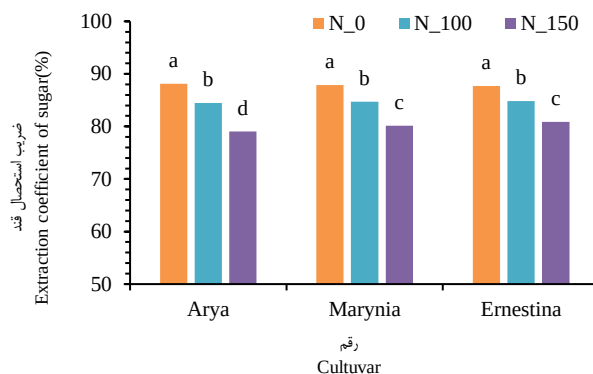
ضریب استحصال قند

نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد اثر متقابل اسید هیومیک × نیترات آمونیوم و نیترات آمونیوم × رقم در سطح احتمال یک درصد ($P \leq 0.01$) بر صفت ضریب استحصال قند معنی دار شد (جدول ۲). در مقادیر مختلف اسید هیومیک، تیمارهای نیترات آمونیوم این صفت را تغییر داد همچنین مقادیر بالاتر نیترات آمونیوم موجب کاهش ضریب استحصال قند شد. در شرایط عدم مصرف اسید هیومیک، کاربرد ۱۵۰ کیلوگرم نیترات آمونیوم موجب کمترین میزان قند قابل استحصال (۷۴/۶۳ درصد) شد اما با مصرف پنج لیتر اسید هیومیک در هکتار بالاترین مقدار صفت یاد شده (۹۰/۶۳ درصد) از عدم کاربرد نیترات آمونیوم حاصل شد (شکل ۵). نتایج مقایسه میانگین نیترات آمونیوم در رقم نشان داد در بین ارقام مورد مطالعه بیشترین ضریب استحصال قند از رقم مارینیا و عدم مصرف



شکل ۵ مقایسه میانگین ضریب استحصال قند تحت تاثیر نیترات آمونیوم و اسید هیومیک

Fig 5 Comparison of mean extraction coefficient of sugar under the effects of ammonium nitrate and humic acid



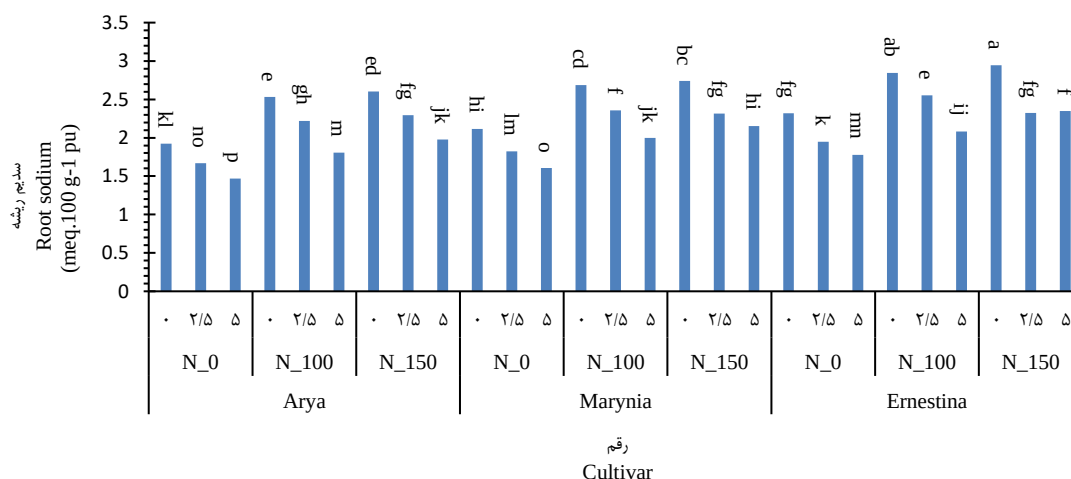
شکل ۶ مقایسه میانگین ضریب استحصال قند تحت تاثیر نیترات آمونیوم و رقم

Fig 6 Comparison of mean extraction coefficient of sugar under the effects of ammonium nitrate and cultivar.

محتوی سدیم ریشه

نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد اثر متقابل رقم × نیترات آمونیوم × اسید هیومیک در سطح احتمال پنج درصد ($P \leq 0.05$) بر صفت محتوی سدیم ریشه معنی دار شد (جدول ۲). بررسی نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که محتوای سدیم ریشه تحت تأثیر هم‌زمان سطوح مختلف نیترات آمونیوم و اسید هیومیک قرار گرفت، به‌طوری‌که با افزایش مقدار نیترات آمونیوم و کاهش مصرف اسید هیومیک، روند تجمع سدیم در ریشه ماهیتی افزایشی یافت. بیشترین مقدار سدیم، معادل ۲/۹۴ میلی اک‌والان در ۱۰۰ گرم وزن تر، در شرایط عدم کاربرد اسید هیومیک همراه با مصرف ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار نیترات آمونیوم در رقم ارنستینا مشاهده شد، در حالی که کمترین مقدار این

صفت، برابر ۱/۴۶ میلی‌اک‌والان در ۱۰۰ گرم وزن تر، از تیمار عدم استفاده از نیترات آمونیوم و کاربرد پنج لیتر در هکتار اسید هیومیک در رقم آریا به دست آمد (شکل ۷). این الگو بیانگر آن است که افزایش ورودی نیتروژن به‌ویژه از منبع نیترات آمونیوم، احتمالاً از طریق تغییر در تعادل یون‌های خاک و افزایش رقابت یونی، موجب افزایش جذب سدیم توسط گیاه شد، در حالی که اسید هیومیک با نقش بهبود دهنده شرایط خاک و تعدیل فعالیت یونی، توانست تجمع سدیم را در ریشه کاهش دهد. مطالعات صورت گرفته در این زمینه نشان داد اسید هیومیک نقش مؤثری در افزایش جذب عناصر پرمصرف و کم‌مصرف و در نتیجه کارایی عناصر غذایی دارد و جذب عناصری مانند سدیم و کلر را کاهش می‌دهد (Ahmed et al. 2010).



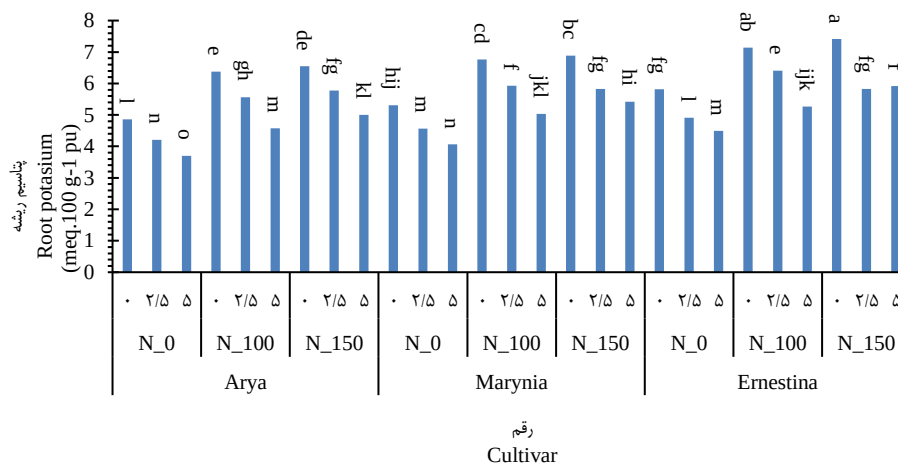
شکل ۷ مقایسه میانگین محتوی سدیم ریشه تحت تاثیر، نیترات آمونیوم، اسید هیومیک و رقم

Fig 7 Comparison of mean root sodium content under the effects of ammonium nitrate, humic acid, and cultivar

محتوی پتاسیم ریشه

نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد اثر متقابل رقم×نیتрат آمونیوم×اسید هیومیک در سطح احتمال یک درصد ($P \leq 0.01$) بر صفت محتوی پتاسیم ریشه معنی‌دار بود (جدول ۲). بررسی داده‌های مقایسه میانگین اثرات متقابل نشان داد با افزایش سطح نیترات آمونیوم و هم‌زمان کاهش مصرف اسید هیومیک، مقدار پتاسیم در ریشه افزایش یافت. بیشترین محتوای پتاسیم، معادل ۷/۴۱ میلی‌اکی‌والان در ۱۰۰ گرم وزن تر، در تیمار عدم استفاده از اسید هیومیک همراه با مصرف ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار نیترات آمونیوم در رقم ارنستینا مشاهده شد، در حالی که کمترین مقدار این صفت، برابر ۳/۷ میلی‌اکی‌والان در ۱۰۰ گرم وزن تر، از تیمار بدون مصرف نیترات آمونیوم و همراه با کاربرد پنج لیتر در هکتار اسید هیومیک در رقم آریا به دست آمد (شکل ۸). این الگو نشان داد که مصرف بالای نیترات آمونیوم احتمالاً از طریق تحریک رشد و افزایش نیاز تغذیه‌ای گیاه، موجب افزایش جذب پتاسیم شد در حالی که اسید هیومیک با نقش تعدیل‌کننده‌ی خود در محیط ریشه، از شدت این افزایش کاسته و موجب تثبیت تعادل

تبادلات یونی در گیاه گردید. در مورد نقش منابع نیتراته در افزایش جذب پتاسیم پژوهش‌های صورت گرفته نشان داد منابع آمونیکی نیتروژن مانند نیترات آمونیوم می‌توانند با تغییر pH میکروریزوسفر و افزایش تقاضای تغذیه‌ای گیاه، جذب و تجمع پتاسیم در ریشه را تحت تأثیر قرار دهند (Cao et al. 2025). از طرفی به‌نظر می‌رسد غلظت‌های بالای اسید هیومیک با افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی خاک و ایجاد پیوندهای قوی‌تر با عناصر قلیایی، بخشی از پتاسیم را در سطح کلونیدهای آلی تثبیت کرده و از دسترس فوری گیاه خارج کرد. اسیدهای هیومیک با بهبود رشد ریشه، افزایش نفوذپذیری غشاء و فعال‌سازی فرایندهای هورمونی می‌توانند جذب پتاسیم را تسهیل کنند، اما اثرات آن وابسته به غلظت، روش کاربرد و ویژگی‌های خاک است (Pitan et al. 2024). از سوی دیگر، شواهدی وجود دارد که در غلظت‌های بالای اسید هیومیک یا در خاک‌های بافت سنگین، هیومیک می‌تواند بخشی از پتاسیم تبدالی را به صورت جذب سطحی نگه‌دارد و بنابراین دسترسی سریع پتاسیم را برای ریشه کاهش دهد (Xu et al. 2021).



شکل ۸ مقایسه میانگین محتوی پتاسیم ریشه تحت تاثیر نیترات آمونیوم، اسید هیومیک و رقم

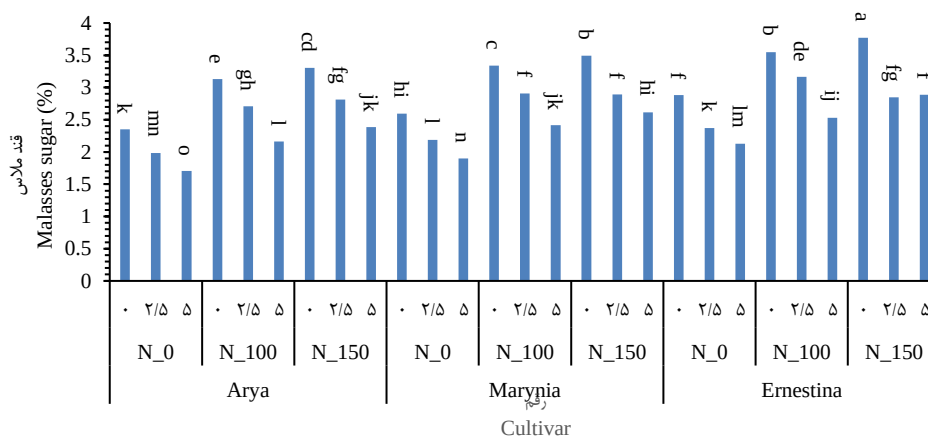
Fig 8 Comparison of mean root potassium content under the effects of ammonium nitrate, humic acid, and cultivar

قند ملاس

نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد اثر متقابل رقم×نیترات آمونیوم×اسید هیومیک در سطح احتمال یک درصد ($P \leq 0.01$) بر صفت قند ملاس معنی‌دار بود (جدول ۲). بررسی‌ها نشان داد روند قند ملاس با افزایش سطوح نیترات آمونیوم افزایشی و با کاهش مصرف اسید هیومیک افزایشی بود. کمترین قند ملاس (۱/۷ درصد) از رقم آریا در شرایط عدم کاربرد نیترات آمونیوم و مصرف پنج لیتر در هکتار اسید هیومیک حاصل شد، همچنین بالاترین مقدار صفت یاد شده (۳/۷۷ درصد) از رقم ارنستینا در شرایط عدم مصرف اسید هیومیک و کاربرد ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار نیترات آمونیوم به دست آمد (شکل ۹). مطابق نتایج بدست آمده با افزایش سطح نیتروژن مقدار قند ملاس در هر سه رقم به طور معنی‌داری افزایش یافت. این افزایش عمدتاً به دلیل تجمع بیشتر مواد غیرقندی نظیر پتاسیم، سدیم و نیتروژن آمینه در شیره ریشه تحت مصرف بالای نیتروژن بود که موجب کاهش خلوص شیره و افت کیفیت استحصال ساکارز شد.

مطالعات متعدد نشان داد که مصرف نیتروژن زیاد، به‌ویژه به شکل‌های آمونیومی یا نیتراته، سبب افزایش ترکیبات ملاس‌ساز مانند پتاسیم، سدیم و α -آمینونیتروژن شد و در نتیجه قند ملاس را افزایش داد (El-Hassanin et al. 2016). همچنین به‌نظر

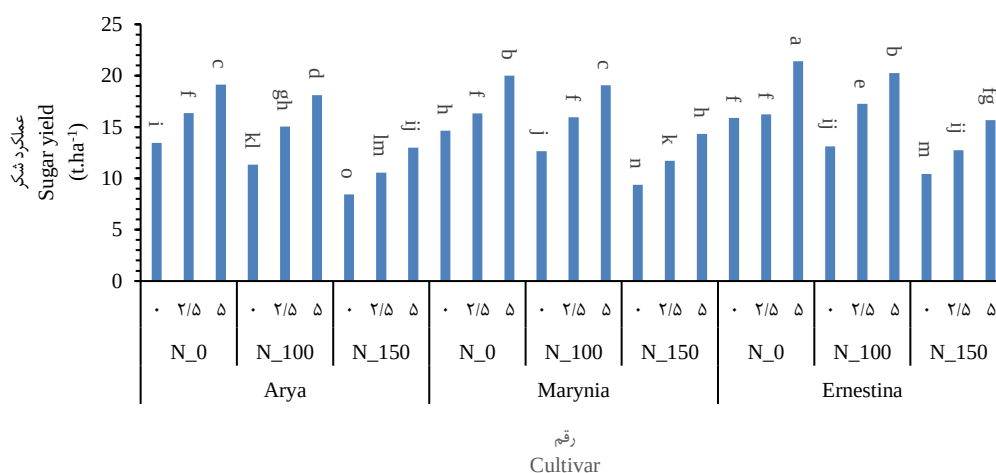
می‌رسد در مجموع، اسید هیومیک اثر کاهنده بر قند ملاس دارد و کیفیت استحصال قند را بهبود می‌بخشد. داده‌های شکل (۹) نشان دادند که استفاده از اسید هیومیک در کنار سطوح مختلف نیتروژن توانست از افزایش بیش از حد قند ملاس جلوگیری کند، به‌ویژه در سطوح نیتروژن بالا (N_{150}) که معمولاً بیشترین افزایش ناخالصی‌ها مشاهده شد. بر اساس گزارش رحیمی و همکاران (Rahimi et al. 2020)، کاربرد اسید هیومیک موجب کاهش معنی‌دار نیتروژن مضر و سدیم در ریشه چغندر قند شد و در نتیجه مقدار قند ملاس را کاهش داد. این پژوهش نشان داد که اسید هیومیک با کاهش ناخالصی‌های ملاس‌ساز، درصد قند ملاس را کاهش و خلوص شیره را افزایش داد. براساس گزارش موجود (El-Hassanin et al. 2016)، محلول‌پاشی اسید هیومیک باعث کاهش قند از دست رفته در ملاس و افزایش درصد استخراج‌پذیری شکر شد. این محققان تأکید نمودند که اثر مثبت اسید هیومیک بر کاهش قند ملاس ناشی از کاهش پتاسیم، سدیم و α -آمینو-N است که از مهم‌ترین ترکیبات ملاس‌ساز محسوب می‌شوند. همچنین در مطالعه‌ای دیگر گزارش شد که مصرف اسید هیومیک باعث کاهش ترکیبات ملاس‌ساز در ریشه چغندر قند شد (Rassam et al. 2015).



شکل ۹ مقایسه میانگین قند ملاس چغندر قند تحت تأثیر نیترات آمونیوم، اسید هیومیک و رقم

Fig 9 Comparison of mean molasses sugar content of sugar beet under the effects of ammonium nitrate, humic acid, and cultivar

آمونیم و عدم استفاده از اسید هیومیک به دست آمد با این حال بیشترین مقدار صفت یاد شده (۲۱/۴۱ تن در هکتار) از رقم ارنستینا و مصرف پنج لیتر در هکتار اسید هیومیک در شرایط عدم مصرف نیترات آمونیوم حاصل شد (شکل ۱۰). با توجه به اینکه عملکرد شکر از حاصل ضرب عملکرد ریشه در واحد سطح و درصد قند (عیار قند) به دست آمد و مقادیر بالاتر نیترات آمونیوم موجب کاهش درصد قند شد بنابراین عملکرد شکر در مقادیر بالاتر نیترات آمونیوم کاهش یافت.



شکل ۱۰ مقایسه میانگین عملکرد شکر تحت تاثیر نیترات آمونیوم، اسید هیومیک و رقم

Fig 10 Comparison of mean sugar yield under the effects of ammonium nitrate, humic acid, and cultivar

یافت به طوری که بالاترین مقدار این صفت با میانگین ۱۲/۴۴ تن در هکتار از مصرف پنج لیتر در هکتار اسید هیومیک از رقم ارنستینا و همچنین کمترین مقدار صفت یاد شده با میانگین ۵/۱۴ تن در هکتار از رقم آریا حاصل شد. مقایسه میانگین اثر متقابل نیترات آمونیوم و رقم (شکل ۱۲) نیز نشان داد کمترین میزان عملکرد شکر سفید (۶/۳۴ تن در هکتار) در شرایط عدم کاربرد نیترات آمونیوم در رقم آریا حاصل شد، همچنین بالاترین مقدار صفت یاد شده (۱۰/۸۳ تن در هکتار) از رقم ارنستینا تحت تاثیر مصرف ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار نیترات آمونیوم به دست آمد.

نتایج حاصل از مقایسه میانگین اثر متقابل نیترات آمونیوم و اسید هیومیک بر عملکرد شکر سفید (شکل ۱۳) نشان داد با افزایش مصرف اسید هیومیک، میزان عملکرد شکر سفید افزایش

نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد اثر متقابل رقم × نیترات آمونیوم × اسید هیومیک در سطح احتمال پنج درصد ($P \leq 0.05$) بر عملکرد شکر معنی دار بود (جدول ۲). مقایسه میانگین اثر متقابل داده ها نشان داد عملکرد شکر با افزایش سطوح کود نیترات آمونیوم کاهش و با

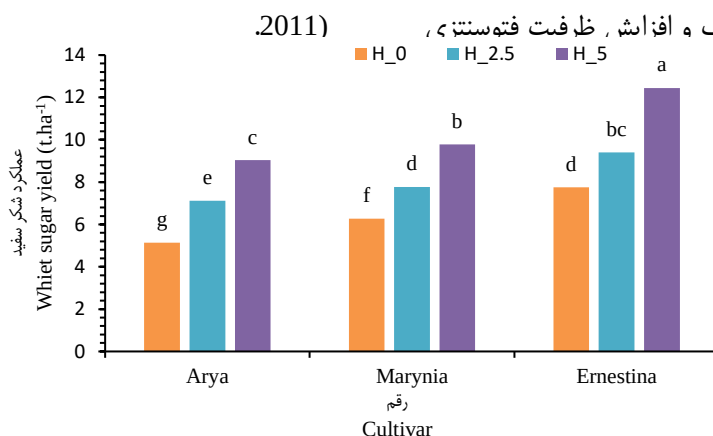
افزایش مقادیر اسید هیومیک افزایش یافت همچنین پاسخ ارقام به سطوح نیترات آمونیوم و کاربرد مقادیر مختلف اسید هیومیک با هم تفاوت داشت. کمترین مقدار عملکرد شکر (۸/۴۳ تن در هکتار

عملکرد شکر سفید

نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد اثر متقابل رقم × اسید هیومیک در سطح احتمال یک درصد ($P \leq 0.01$) و اثر متقابل رقم × نیترات آمونیوم در سطح احتمال پنج درصد ($P \leq 0.05$) و همچنین اثر متقابل نیترات آمونیوم × اسید هیومیک در سطح یک درصد ($P \leq 0.01$) بر صفت عملکرد شکر سفید معنی دار بود (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل رقم در اسید هیومیک (شکل ۱۱) نشان داد که پاسخ ارقام به مقادیر مختلف اسید هیومیک با هم متفاوت بود و همچنین مقادیر مختلف اسید هیومیک نیز تاثیر متفاوتی بر عملکرد شکر سفید داشت. مقایسه میانگین اثر متقابل رقم و اسید هیومیک نشان داد با افزایش میزان مصرف اسید هیومیک، میزان عملکرد شکر سفید افزایش

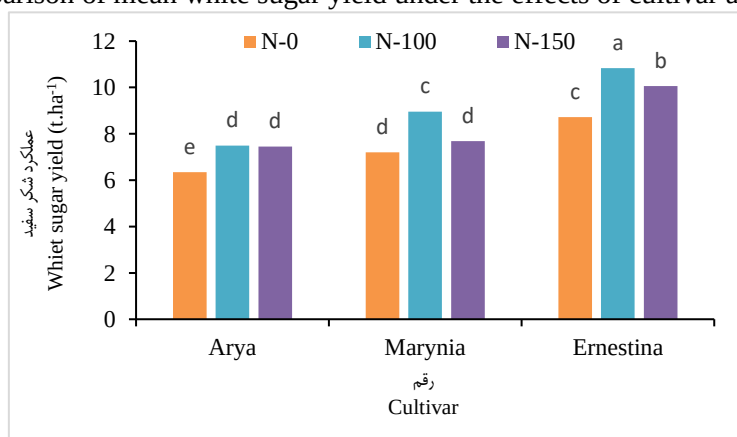
گیاه دارد. با این حال، مقایسه سطوح بالای نیتروژن نشان داد که اختلاف عملکرد بین N_{100} و N_{150} به‌ویژه در بالاترین سطح اسید هیومیک کاهش یافته است که می‌تواند حاکی از نزدیک شدن گیاه به حد اشباع نیتروژن و کاهش کارایی مصرف این عنصر در مقادیر بالا باشد. مطالعات قبلی نشان داد که اسید هیومیک با تاثیر بر متابولیسم سلول‌های گیاهی و افزایش غلظت کلروفیل برگ موجب افزایش عملکرد گردید (El-Hassanin *et al.* 2016). همچنین بیان شد چغندر قند برای توسعه سیستم ریشه نیاز به کود نیتروژن دارد با این حال وجود نیتروژن اضافی در اواخر دوره رشد موجب افزایش ناخالصی ریشه شده و میزان قند استحصال را کاهش داد (Marchetti and Castelli. 2011).

مصرف نیتروژن افزایش یافت به طوری که در سطح صفر اسید هیومیک، عملکرد شکر سفید از ۵/۷۳ تن در هکتار در تیمار N_0 به ۶/۹۷ تن در هکتار در تیمار N_{100} و ۶/۴۸ تن در هکتار در تیمار N_{150} افزایش یافت. با افزایش اسید هیومیک به دو و نیم لیتر در هکتار، عملکرد شکر سفید در تمامی سطوح نیتروژن افزایش نشان داد و در این بین تیمار N_{100} با میانگین ۹/۱۹ تن در هکتار بیشترین مقدار را داشت. در سطح پنج لیتر اسید هیومیک نیز بیشترین عملکرد شکر سفید با میانگین ۱۱/۱۸ تن در هکتار در تیمار N_{100} مشاهده شد و کمترین مقدار نیز با میانگین ۹/۳۵ تن در هکتار در تیمار N_0 ثبت شد. این نتایج نشان از اهمیت تأمین کافی نیتروژن در فرایندهای فیزیولوژیک مرتبط با رشد رویشی، توسعه سطح برگ و افزایش ظرفیت فتوسنتز،



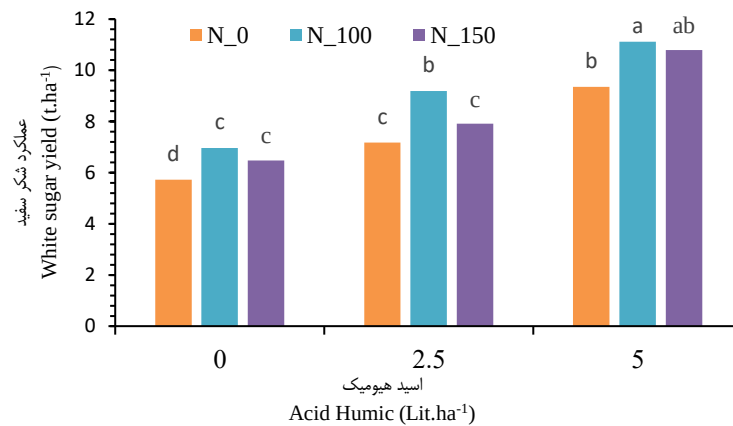
شکل ۱۱ مقایسه میانگین عملکرد شکر سفید تحت تاثیر رقم و اسید هیومیک

Fig 11 Comparison of mean white sugar yield under the effects of cultivar and humic acid.



شکل ۱۲ مقایسه میانگین عملکرد شکر سفید تحت تاثیر نیترات آمونیوم و رقم

Figure 12 Comparison of mean white sugar yield under the effects of ammonium nitrate and cultivar.



شکل ۱۳ مقایسه میانگین عملکرد شکر سفید تحت تاثیر نیترات آمونیوم و اسید هیومیک

Figure 13 Comparison of mean white sugar yield under the effects of ammonium nitrate and acid humic

را در صفات کمی ایجاد کرده و می‌تواند به‌عنوان توصیه تغذیه‌ای مؤثر مطرح شود. به‌طور کلی، این مطالعه اهمیت مدیریت تلفیقی نیتروژن و مواد هیومیکی را با توجه به ویژگی‌های ژنتیکی رقم نشان داد و تأکید می‌کند که انتخاب سطح مناسب این نهاده‌ها نقش تعیین‌کننده‌ای در ارتقای رشد و افزایش عملکرد چغندر قند دارد.

تعارض منافع

هیچ گونه تعارض منافع توسط نویسندگان بیان نشده است.

سپاسگزاری

بدین‌وسیله نویسندگان مقاله مراتب سپاس و قدردانی خود را از تمامی افرادی که در انجام این پژوهش همکاری و حمایت‌های لازم را به‌عمل آوردند، اعلام می‌دارند.

نتیجه‌گیری

هدف اصلی این پژوهش بررسی اثرات کاربرد نیترات آمونیوم و اسید هیومیک بر رشد رویشی، صفات ریشه و عملکرد کمی و کیفی چغندر قند بود. یافته‌های به‌دست آمده نشان داد که افزایش سطوح نیترات آمونیوم به ویژه در میزان ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار، موجب بهبود چشمگیر عملکرد ریشه و بازده شکر شد و رقم ارنستینا نسبت به ارقام آریا و مارینیا عملکرد و کارایی بالاتری در بهره‌برداری از نیتروژن نشان داد. همچنین، محلول‌پاشی اسید هیومیک، به ویژه در ترکیب با سطوح بالای نیتروژن، رشد رویشی و صفات ریشه را بهبود بخشید، هرچند در غیاب نیتروژن تأثیر قابل توجهی بر وزن خشک اندام هوایی نداشت. اثر متقابل نیترات آمونیوم و اسید هیومیک نشان داد که ترکیب ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن به همراه پنج لیتر در هکتار اسید هیومیک بیشترین بهبود

References

منابع مورد استفاده

- Attia K, Khalifa YAMM. Response of sugar beet grown in newly reclaimed soil to different nitrogen sources at different growth stages. *Middle East Journal of Agricultural Research*. 2015; 4: 467–474.
- Anonymous. *Agricultural Statistics Yearbook 1402*. Tehran: Ministry of Jihad-e-Agriculture; 2024 (Persian).
- Bečka D, Bečková L, Tomášek J, Mikšík V, Viciánová M. Effects of various nitrogen fertilisers applied in autumn on growth parameters, yield and quality of winter oilseed rape. *Plant, Soil & Environment*. 2024; 70(6). DOI: <http://Doi.org/10.17221/68/2024-PSE>
- Cao W, Sun H, Shao C, Wang Y, Zhu J, Long H, Zhang Y. Progress in the study of plant nitrogen and potassium nutrition and their interaction mechanisms. *Horticulturae*. 2025; 11(8):930. DOI: <https://Doi.org/10.3390/horticulturae11080930>
- Capasso S, Chianese S, Musmarra D, Iovino P. Macromolecular structure of a commercial humic acid sample. *Environments*. 2020 Apr 15;7(4):32.<https://doi.org/10.3390/environments7040032>
- Cook DA, Scott RK. *Sugar beet crop: Principle and practice*. Chapman and Hall. 1993.
- Ebmeyer H, Hoffmann CM. Efficiency of nitrogen uptake and utilization in sugar beet genotypes. *Field Crops Research*. 2021 Dec 1; 274:108334. DOI: <http://dx.Doi.org/10.1016/j.fcr.2021.108334>
- El-Hady A, Fergany MA, El-Temsah M. Influence of integration between mineral nitrogen and humic acid fertilizers on productivity and nitrogen partitioning dynamic in maize plants. *Egyptian Journal of Agronomy*. 2017; 39(2): 195–202. DOI: <http://Doi.org/10.21608/agro.2017.1168.1064>
- El-Hassanin AS, Samak MR, Moustafa N, Shafika NK, Inas MI. Effect of foliar application with humic acid substances under nitrogen fertilization levels on quality and yields of sugar beet plant. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*. 2016; 5(11): 668–680. DOI: <http://Doi.org/10.20546/ijcmas.2016.511.078>
- Ferrara G, Brunetti G. Effects of the times of application of a soil humic acid on berry quality of table grape (*Vitis vinifera* L.) cv. Italia. *Spanish Journal of Agricultural Research*. 2010; 8(3): 817–822. DOI: <https://Doi.org/10.5424/1283>
- Hanafy Ahmed AH, Nesiem MR, Hewedy AM, Sallam HE. Effect of some simulative compounds on growth, yield and chemical composition of snap bean plants grown under calcareous soil conditions. *Journal of American Science*. 2010;6(10):552-69.
- Hozayn M, Korayem A, El-Saady A, Darwish MA, Abd El-Monem AA, Abd El-Lateef EM. Sugar beet productivity as influenced by sources and overdoses of nitrogen fertilizers grown in clay soil. *Middle East Journal of Agriculture Research*. 2014; 3(4): 1189–1195.
- Khan SA, Khan SU, Qayyum A, Gurmani AR, Khan A, Khan SM, Amin BAZ. Integration of humic acid with nitrogen yields an auxiliary impact on physiological traits, growth, and yield of maize (*Zea mays* L.) varieties. *Applied Ecology and Environmental Research*. 2019; 17(3). DOI: http://Doi.org/10.15666/aeer/1703_67836799
- Kong B, Wu Q, Li Y, Zhu T, Ming Y, Li C, Dong Z. The application of humic acid urea improves nitrogen use efficiency and crop yield by reducing nitrogen loss compared with urea. *Agriculture*. 2022; 12(12): 1996. DOI: <https://Doi.org/10.3390/agriculture12121996>

- Lamb JA, Bredehoeft MW, Dunsmore C. Nitrogen management strategies for increasing sugarbeet root quality. Sugar beet Research and Extension Reports. 2013; 43:91-9.
- Lamlom SF, Abdelghany AM, El-Banna AA, El-Manhaly MM, Elsheikh AM, Bassiony NA, Feng G. Cultivar-specific nitrogen and potassium recommendations optimize yield and quality attributes in sugar beet. Scientific Reports. 2025; 15(1): 27550. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-025-10918-x>
- Li Z, Jian C, Guo X, Tian L, Han K, Li Y, Su W. Effects of different ratios of nitrogen base fertilizer to topdressing on soil nitrogen form and enzyme activity in sugar beet under shallow drip irrigation. PeerJ. 2024; 12: e18219. <https://doi.org/10.7717/peerj.18219>
- Ma Y, Cheng X, Zhang Y. The impact of humic acid fertilizers on crop yield and nitrogen use efficiency: A meta-analysis. Agronomy. 2024; 14(12): 2763. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy14122763>
- Marchetti R, Castelli F. Mineral nitrogen dynamics in soil during sugar beet and winter wheat crop growth. European Journal of Agronomy. 2011; 35: 13–21.
- Nazli RI, Tansi V, Gulnaz O, Kafkas E, Kusvuran A, Ozturk HH, Bostan Budak D. Interactive effects of nitrogen and humic substances applications on bioethanol production from sweet sorghum and combustion characteristics of its bagasse. Agronomy. 2020; 10(9): 1397. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy10091397>
- Nemeat Alla H, Helmy SA, Bassiony NA. Response of some sugar beet varieties to nitrogen and zinc application in sandy soil. Environment, Biodiversity and Soil Security. 2023; 7: 205–217. DOI: <https://doi.org/10.21608/jenvbs.2023.228951.1227>
- Nemeata Alla H, Sasy A, Helmy SA. Effect of potassium humate and nitrogen fertilization on yield and quality of sugar beet in sandy soil. Journal of Plant Production. 2018; 9(4): 333–338. DOI: <https://doi.org/10.21608/jpp.2018.35707>
- Pélissier P M, Parizot B, Jia L, De Knijf A, Goossens V, Gantet P, ... & Motte H. Nitrate and ammonium, the yin and yang of nitrogen uptake: a time-course transcriptomic study in rice. Frontiers in Plant Science. 2024; 15, 1343073. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2024.1343073>
- Pitann B, Khan K, Mühling KH. Does humic acid foliar application affect growth and nutrient status of water-stressed maize? Plant-Environment Interactions. 2024; 5(3): e10156. DOI: <https://doi.org/10.1002/pei3.10156>
- Rahimi A, Kiralan M, Ahmadi F. Effect of humic acid application on qualitative parameters of sugar beet Cv. Shirin. The Middle East Journal. 2020; 9(1): 121–129. DOI: <https://doi.org/10.21608/asejaiqjsae.2020.79757>
- Rassam G, Dadkhah A, Yazdi AK, Dashti M. Impact of humic acid on yield and quality of sugar beet (*Beta vulgaris* L.) grown on calcareous soil. Notulae Scientia Biologicae. 2015; 7(3): 367–371. DOI: <https://doi.org/10.15835/nsb739568>
- Rathor P, Upadhyay P, Ullah A, Gorim LY, Thilakarathna MS. Humic acid improves wheat growth by modulating auxin and cytokinin biosynthesis pathways. AoB Plants. 2024; 16(2): plae018. DOI: <https://doi.org/10.1093/aobpla/plae018>
- Sadeghi-Shoae, M., Paknejad, F., Hassanpour Darvishi, H., Mozafari, H., Moharramzadeh, M., & Tookaloo, M. R. Effect of intermittent furrow irrigation, humic acid and deficit irrigation on water use efficiency of sugar beet. Annals of Biological Research, 2013; 4(3), 187-193.

- Shaban KH, Abdel Fatah EM, Syed DA. Impact of humic acid and mineral nitrogen fertilization on soil chemical properties and yield and quality of sugar beet under saline soil. *Journal of Soil Sciences and Agricultural Engineering*. 2014; 5(10): 1335–1353. DOI: <http://Doi.org/10.21608/jssae.2014.49752>
- Suleimenov B, Kaisanova G, Suleimenova M, Tanirbergenov S. Influence of organic humic fertilizer “Tumat” on the productivity of sugar beet. *Agronomy*. 2024; 14(6): 1100. DOI: <https://Doi.org/10.3390/agronomy14061100>
- Tsaltas JT, Maslaris N. Nitrogen effects on yield, quality and K/Na selectivity of sugar beets grown on clays under semi-arid, irrigated conditions. *International Journal of Plant Production*. 2013; 7(3): 355–371. DOI: <https://Doi.org/10.22069/ijpp.2013.1109>
- Wilczewski E, Szczepanek M, Wenda-Piesik A. Response of sugar beet to humic substances and foliar fertilization with potassium. *Journal of Central European Agriculture*. 2018; 19(1): 879–891. DOI: <https://Doi.org/10.5513/JCEA01/19.1.2033>
- Wyszkowski M, Kordala N, Brodowska MS. Role of humic acids-based fertilisers and nitrogen fertilisers in the regulation of the macroelement content in maize biomass. *Journal of Elementology*. 2023; 28(4): 1289–1309. DOI: 10.5601/jelem.2023.28.4.3207
- Xu J, Mohamed E, Li Q, Lu T, Yu H, Jiang W. Effect of humic acid addition on buffering capacity and nutrient storage capacity of soilless substrates. *Frontiers in Plant Science*. 2021; 12: 644229. <https://Doi.org/10.3389/fpls.2021.644229>
- Ye JY, Tian WH, Jin CW. Nitrogen in plants: From nutrition to the modulation of abiotic stress adaptation. *Stress Biology*. 2022; 2(1): 4. DOI: <http://dx.Doi.org/10.1007/s44154-021-00030-1>
- Yildirim E. Foliar and soil fertilization of humic acid affect productivity and quality of tomato. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B - Soil and Plant Science*. 2007; 57(2): 182–186. DOI: <https://Doi.org/10.1080/09064710600813107>