



19th Iranian Soil Science Congress
2-4 December, 2025



نوزدهمین کنگره علوم خاک ایران
۱۱ تا ۱۳ آذرماه ۱۴۰۴



۰۴۲۵۰-۳۲۰۳۱

مدیریت جامع نگر و هوشمند خاک و آب
Holistic and Smart Soil and Water Management

دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران
College of Agriculture & Natural Resources, University of Tehran



بررسی اثر نسبت‌های آمونیوم به نیترات بر برخی ویژگی‌های ریشه گوجه‌فرنگی

افروز یوسفی^۱، ندا دلیر^۲، احسان قزلباش^{۳*}، رسول راهنمایی^۴.

- ۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه علوم و فناوری خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران؛
- ۲- استادیار گروه علوم و فناوری خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.
- ۳- استادیار گروه علوم و فناوری خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.*
ghezelbash@modares.ac.ir
- ۴- دانشیار گروه علوم و فناوری خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.

چکیده

در کشت‌های هیدروپونیک، نیتروژن معمولاً به دو شکل آمونیوم و نیترات در اختیار گیاه قرار می‌گیرد. نسبت بهینه آمونیوم به نیترات، نقش تعیین‌کننده‌ای در کارایی جذب آنها و جذب دیگر عناصر غذایی و توسعه ریشه دارد. این پژوهش با هدف بررسی اثر چهار نسبت آمونیوم به نیترات (۱:۶، ۱:۹، ۱:۱۲ و ۱:۲۴) بر ویژگی‌های ریشه گوجه‌فرنگی رقم دافنیس (Dafnis F1) در شرایط کشت هیدروپونیک انجام شد. اندازه‌گیری ویژگی‌های مورفولوژیک ریشه، در دو مرحله رشد رویشی، نشان‌گر اثر معنی‌دار نسبت آمونیوم به نیترات بود. در مرحله اول رشد رویشی، نسبت‌های ۱:۶ و ۱:۹ موجب بیشترین طول ریشه، نسبت ۱:۱۲ موجب بیشترین حجم ریشه و نسبت ۱:۲۴ موجب تولید بیشترین جرم ریشه شدند. در حالی که در مرحله دوم رشد رویشی، نسبت‌های ۱:۹ و ۱:۲۴ موجب بیشترین طول ریشه و نسبت ۱:۹ موجب بیشترین جرم و حجم ریشه شدند. در مقابل، نسبت ۱:۶ سبب کمترین توسعه ریشه شد. این نتایج نشان می‌دهد که نسبت آمونیوم به نیترات بر ویژگی‌های مورفولوژیک و توسعه ریشه نقشی کلیدی دارد و انتخاب نسبت مناسب در دوره رشد رویشی موجب توسعه مطلوب‌تر ساختار ریشه گوجه‌فرنگی و در نتیجه افزایش راندمان جذب آب و عناصر غذایی می‌شود.

واژگان کلیدی: آمونیوم، ریشه، گوجه فرنگی، مورفولوژی، نیترات.

مقدمه

در نواحی خشک و نیمه‌خشک مانند ایران، تأمین آب چالش اصلی کشاورزی است و افزایش کارایی مصرف آب از طریق تأمین بهینه عناصر غذایی حیاتی است (گل کرمی و همکاران، ۱۳۹۷). کارایی مصرف کود^۱ (NUE) شاخص کلیدی این امر است که در کشت هیدروپونیک به دلیل کنترل دقیق‌تر آب و مواد غذایی، امکان بهبود آن بیشتر است. (دلشاد و همکاران، ۱۳۷۹). در این روش، نیتروژن عمدتاً به صورت نیترات و آمونیوم تأمین می‌شود و نسبت این دو شکل تأثیر قابل توجهی بر جذب سایر یون‌ها و تنظیم pH ریزوسفر دارد. جذب آمونیوم باعث آزاد شدن پروتون و کاهش pH شده و می‌تواند منجر به برهم‌کنش منفی با جذب کاتیون‌هایی مانند کلسیم شود و علائم کمبود ایجاد کند (Marschner, 2012; Glass et al., 2002).

گوجه‌فرنگی (*Solanum lycopersicum*) که به دلیل ارزش غذایی و حساسیت به کمبود کلسیم شناخته شده است، تمایل بیشتری به جذب آمونیوم دارد (Liu et al., 2017). بنابراین، تنظیم نسبت آمونیوم به نیترات در محلول غذایی این گیاه برای جلوگیری از عوارضی مانند پوسیدگی گلگاه و تضمین بازده اقتصادی اهمیت فراوانی دارد (خضلو و همکاران، ۱۴۰۰). بر اساس همین رویکرد، این مطالعه به بررسی اثر نسبت‌های مختلف آمونیوم به نیترات بر پاسخ ویژگی‌های مورفولوژی گیاه گوجه‌فرنگی پرداخته است.

مواد و روش‌ها

آزمایش به صورت طرح کاملاً تصادفی با ۱۲ تکرار در گلخانه دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس از مرداد تا آذر ۱۴۰۳ اجرا شد. تیمارها شامل چهار نسبت آمونیوم به نیترات (نیترات: آمونیوم، ۱:۲۴، ۱:۱۲، ۱:۹ و ۱:۶) بودند.

بذر گوجه‌فرنگی در لوله‌های پلاستیکی شفاف حاوی مخلوط شن ریز و سوپر جاذب کشت شد و پس از رشد به ظروف یونولیتی منتقل گردید. محلول‌های غذایی ابتدا با افزودن اسید نیتریک به آب (برای تنظیم pH تا حدود ۵/۶) و هوادهی به مدت ۲۴ ساعت تهیه شدند. در هفته‌های اول، محلول‌ها مستقیماً از کودهای شیمیایی ساخته شدند و pH آن‌ها روی ۵/۸ تنظیم گردید. در ادامه، از محلول‌های غلیظ ۱۰۰ تا ۳۰۰ برابر برای تهیه محلول نهایی استفاده شد.

از سیستم کشت شناور بسته^۲ متشکل از ظرف کشت (یونولیت)، مخزن محلول غذایی (۱۰ لیتری)، پمپ هوا و آب و لوله‌های انتقال استفاده شد. در هر ظرف کشت، ۱۲ نهال گوجه‌فرنگی با فاصله‌گذاری مناسب کشت شدند. بیست روز پس از انتقال، نمونه‌برداری از محلول غذایی به صورت هفتگی و سپس ماهیانه، در بازه‌های زمانی مشخص (۴، ۳۰، ۶۰، ۱۲۵، ۲۴۸، ۴۸۸، ۱۳۸۰ دقیقه) انجام شد. پس از هر نمونه‌برداری دوازده روزه، سامانه کشت به مدت یک هفته با محلول غذایی تیمارها تغذیه شد. همزمان، جرم محلول (برای محاسبه تعرق)، pH و EC اندازه‌گیری شدند. جهت بررسی اثر نسبت‌های مختلف آمونیوم به نیترات در طول رشد گوجه‌فرنگی، ویژگی‌های ریشه در دو مرحله کاشت تا گلدهی (مرحله اول) و گلدهی تا میوه‌دهی (مرحله دوم) اندازه‌گیری شد.

غلظت آمونیوم با دستگاه کج‌دال (Hanon K9840) و نیترات با اسپکتروفوتومتر^۳ UV-Vis در طول موج ۲۲۰ نانومتر سنجش شد (Mengel and Kirkby, 1987; Mackay et al., 2024). همچنین، جرم تر، حجم و طول ریشه نیز با روش‌های استاندارد مرسوم (زنگنه و همکاران، ۱۳۹۷) اندازه‌گیری گردید. برای تجزیه و تحلیل داده‌ها از نرم‌افزار SAS نسخه ۹/۴ و آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار، و برای رسم نمودارها از نرم‌افزار Excel نسخه ۲۰۱۶ استفاده شد.

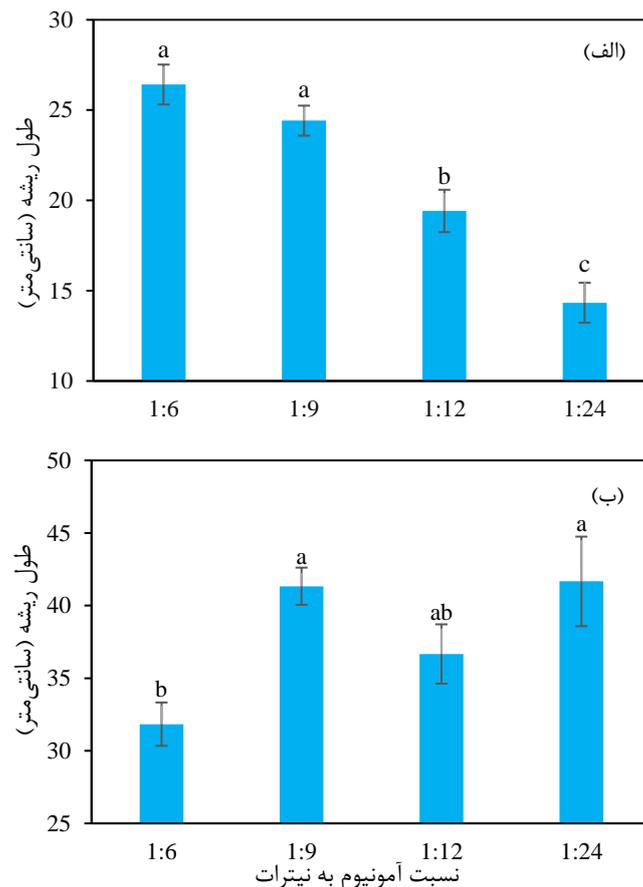
نتایج و بحث

شکل (۱) میانگین طول ریشه گوجه‌فرنگی را در مرحله رشدی اول و دوم تحت تیمارهای مختلف نسبت آمونیوم به نیترات نشان می‌دهد. علاوه بر این که طول ریشه تحت تاثیر نسبت آمونیوم به نیترات قرار گرفته است، مرحله رشد گیاه گوجه‌فرنگی نیز در شدت این اثرپذیری حائز اهمیت بوده است. تیمارها اختلاف معنی‌داری در این صفت ایجاد کرده‌اند و طول ریشه تحت تاثیر ترکیب منابع نیتروژن قرار گرفته است.

1 Nutrient use efficiency

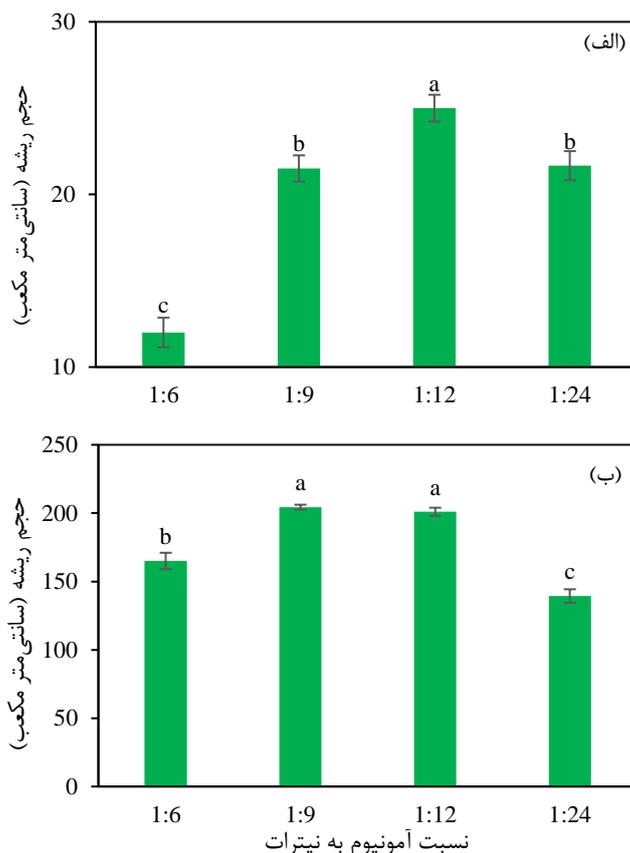
2- Closed Deep Water Culture

3- Spectrophotometry



شکل ۱- اثر نسبت آمونیوم به نیترات را بر طول ریشه در مرحله اول (الف) و مرحله دوم (ب) رشد. در مرحله اول رشد، علی‌رغم این‌که اختلاف معنی‌داری بین نسبت‌های ۱:۶ و ۱:۹ وجود نداشت، روند تغییرات طول ریشه با کاهش نسبت آمونیوم به نیترات، یک الگوی کاهشی را نشان داد. به طوری که، اختلاف نسبت‌های ۱:۱۲ و ۱:۲۴ با سطوح قبل از خود در سطح یک درصد معنی‌دار بود. اما در مرحله دوم رشد، تیمار ۱:۶ آمونیوم به نیترات بیشترین کاهش را بین تیمارهای دیگر داشت.

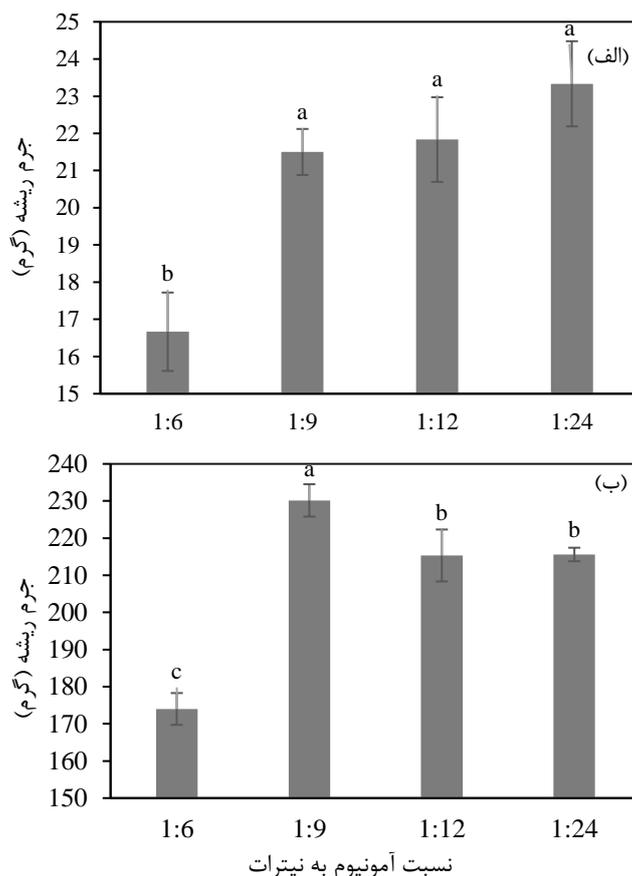
نتایج شکل (۱) نشان داد که نسبت‌های مختلف آمونیوم به نیترات تأثیر معنی‌داری بر طول ریشه گوجه‌فرنگی در هر دو مرحله رشدی داشته است. شدت و نوع تغییرات طول ریشه در برابر نسبت‌های آمونیوم به نیترات به کار رفته در این مطالعه در مراحل اول و دوم رشد متفاوت بود. در مرحله اول رشد، نسبت‌های متوسط آمونیوم به نیترات (۱:۶ و ۱:۹) بیشترین طول ریشه را ایجاد کردند، در حالی که در مرحله دوم، نسبت‌های بالاتر (۱:۹ و ۱:۲۴) عملکرد مطلوب‌تری داشتند. این نتایج بیانگر آن است که نیاز گیاه به ترکیب یونی نیتروژن پویا بوده و بسته به مرحله رشدی تغییر می‌کند. این نتایج با پژوهش (Wang et al., 2024) مطابقت داشت، به طوری که در آن پژوهش نیز افزایش مقدار آمونیوم سبب افزایش کیفیت و عملکرد گیاه شد. همچنین نتایج (Sun et al., 2023) نشان داد که با افزایش نسبت آمونیوم طول ریشه کاهش پیدا کرده و مورفولوژی گیاه تحت تأثیر قرار می‌کند.



شکل ۲- اثر نسبت آمونیوم به نیترات را بر حجم ریشه در مرحله اول (الف) و مرحله دوم (ب) رشد. در مرحله اول رشد، علی‌رغم این که اختلاف معنی‌داری بین نسبت‌های ۱:۹ و ۱:۲۴ وجود نداشت، روند تغییرات حجم ریشه با کاهش نسبت آمونیوم به نیترات، یک الگوی کاهشی را نشان داد. به طوری که، اختلاف نسبت‌های ۱:۱۲ و ۱:۲۴ با سطوح قبل از خود در سطح پنج درصد معنی‌دار بود. اما در مرحله دوم رشد، تیمار ۱:۶ آمونیوم به نیترات بیشترین کاهش را بین تیمارهای دیگر داشت.

نتایج نشان داد که نسبت آمونیوم به نیترات اثر معنی‌داری بر حجم ریشه گوجه‌فرنگی داشته و این اثر در مراحل مختلف رشد متغیر است. در مرحله نخست، تیمار ۱:۱۲ بیشترین حجم ریشه را ایجاد کرد، در حالی که سهم بالای آمونیوم (۱:۶) باعث کاهش شدید رشد ریشه شد. در مرحله دوم، نسبت ۱:۹ بیشترین حجم ریشه را تولید کرد و تیمار ۱:۲۴ ضعیف‌ترین عملکرد را داشت. این امر بیانگر آن است که نسبت‌های میانی، به‌ویژه ۱:۹ و ۱:۱۲، شرایط بهینه‌ای برای توسعه ریشه فراهم کرده و نیاز گیاه به ترکیب یونی نیتروژن در طول رشد تغییر نموده است.

مطالعات پیشین نیز نتایج مشابهی به دست آورده‌اند. به طوری که، (wang et al. 2024) گزارش کردند که نسبت‌های متعادل $\text{NH}_4^+:\text{NO}_3^-$ موجب بهبود رشد و کارایی تغذیه‌ای گوجه‌فرنگی می‌شود، در حالی که سهم بیش از حد آمونیوم اثرات منفی دارد. همچنین، (Sun et al. 2023) نشان دادند که غلظت بالای آمونیوم می‌تواند باعث کاهش حجم و سطح ریشه شود. در مجموع، شواهد موجود نشان می‌دهد که مدیریت مرحله‌محور نسبت آمونیوم به نیترات برای بهینه‌سازی رشد ریشه و افزایش کارایی جذب عناصر غذایی در گوجه‌فرنگی ضروری است.



شکل ۳- اثر نسبت آمونیوم به نیترات را بر جرم ریشه در مرحله اول (الف) و دوم (ب) رشد. در مرحله اول رشد، علی‌رغم این که اختلاف معنی‌داری بین نسبت‌های ۱:۹ و ۱:۱۲ وجود نداشت، روند تغییرات حجم ریشه با کاهش نسبت آمونیوم به نیترات، یک الگوی کاهشی را نشان داد. به طوری که، اختلاف نسبت‌های ۱:۱۲ و ۱:۲۴ با سطوح قبل از خود در سطح یک درصد معنی‌دار بود. اما در مرحله دوم رشد، تیمار ۱:۶ آمونیوم به نیترات بیشترین کاهش را بین تیمارهای دیگر داشت.

نتایج نشان داد که نسبت آمونیوم به نیترات اثر معنی‌داری بر جرم‌تر ریشه گوجه‌فرنگی دارد. در مرحله نخست، بیشترین جرم‌تر ریشه در تیمار ۱:۲۴ و کمترین در تیمار ۱:۶ مشاهده شد، در حالی که در مرحله دوم تیمار ۱:۹ بیشترین و ۱:۶ همچنان کمترین مقدار را داشت. این امر نشان می‌دهد که نسبت‌های میانی به‌ویژه ۱:۹ و ۱:۱۲ شرایط بهینه‌ای برای افزایش زیست‌توده ریشه فراهم نموده، در حالی که سهم بالای آمونیوم اثر بازدارنده داشته است.

همچنین (Hao et al., 2023) بیان کردند که نسبت‌های متعادل آمونیوم به نیترات موجب افزایش زیست‌توده ریشه می‌شود، در حالی که غلظت‌های بالا یا پایین آمونیوم رشد را محدود می‌کند. با این حال، تفاوت پژوهش حاضر در آن است که در مرحله نخست، سهم بالای نیترات (۱:۲۴) بهترین عملکرد را داشت، که احتمالاً ناشی از تفاوت شرایط محیطی یا رقم گوجه‌فرنگی است. به طور کلی، یافته‌ها اهمیت مدیریت مرحله‌محور منابع نیتروژنی را برای بهبود رشد ریشه و کارایی جذب عناصر غذایی برجسته می‌سازد.

جدول ۱- تجزیه واریانس صفات ریشه تحت تأثیر تیمارهای مختلف در مراحل اول و دوم رشد

میانگین مربعات						درجه آزادی	منابع تغییرات
مرحله دوم رشد			مرحله اول رشد				
جرم	حجم	طول	جرم	حجم	طول		
۳۵۱۴/۸۲**	۵۷۷۰/۳۹**	۱۲۸/۶۰**	۵۰/۱۱**	۱۸۸/۰۴**	۱۷۵/۷۶**	۳	تیمار
۱۳۴/۳۸	۷۳/۱۹۹	۲۶/۳۴	۶/۱۵	۳/۴	۶/۷۷	۲۰	خطای آزمایشی

۵/۵۵	۵/۹۰	۱۳/۵۵	۱۱/۹	۹/۹۱	۱۲/۳۱	-	ضریب تغییرات
------	------	-------	------	------	-------	---	--------------

جدول ۱ و ۲ نتایج تجزیه واریانس صفات ریشه تحت تاثیر تیمارهای مختلف در مرحله ۱ و ۲ رشد نشان می‌دهد که اثر تیمارها بر صفات مورفولوژی ریشه در سطح احتمال یک درصد و پنج درصد معنی دار بوده است. تغییرات تیمارها و افزایش و کاهش آمونیوم بر صفات ریشه بسیار تغییر پذیر بوده است.

نتیجه‌گیری

نتایج این مطالعه به وضوح نشان داد که نسبت آمونیوم به نیترات در محلول غذایی عامل تعیین‌کننده‌ای در رشد و توسعه ریشه گوجه‌فرنگی از منظر ویژگی‌های مورفولوژی است. بر اساس یافته‌ها، پاسخ ریشه به نسبت‌های مختلف این دو منبع نیتروژن در مراحل مختلف رشد، الگوی متفاوتی را نشان داد. در مرحله اول رشد، نسبت‌های میانی (۱:۶ و ۱:۹) موجب بهبود شاخص‌های طول ریشه شدند، در حالی که در مرحله دوم رشد، نسبت ۱:۹ به عنوان بهینه‌ترین تیمار، همزمان باعث افزایش معنی‌دار طول، حجم و جرم ریشه گردید. در مقابل، نسبت ۱:۶ که سهم آمونیوم بالاتری دارد، در هر دو مرحله رشد کمترین عملکرد را نشان داد که بیانگر اثر بازدارنده مقادیر بالای آمونیوم بر توسعه ریشه گوجه‌فرنگی در این مطالعه است. این یافته‌ها اهمیت مدیریت دقیق نسبت آمونیوم به نیترات را در تغذیه گوجه‌فرنگی به ویژه در سیستم‌های کشت کنترل شده برجسته می‌سازد. به‌طور خاص، نسبت ۱:۹ می‌تواند به عنوان یک راهکار تغذیه‌ای بهینه برای دستیابی به حداکثر توسعه سیستم ریشه‌ای در مراحل مختلف رشد و تحت شرایط مختلف گلخانه‌ای مورد بررسی بیشتر قرار گیرد.

فهرست منابع

خضلولو، م. حسینی، ا. (۱۴۰۰). تاثیر نسبت‌های مختلف نیترات به آمونیوم بر میزان زیست توده و برخی ویژگی‌های بیوشیمیایی ریشه‌های موئین گیاه بذرالبنج مشبک (*L. Hyoscyamus reticulatus*) مجله پژوهش‌های گیاهی (مجله زیست‌شناسی ایران) (علمی)، ۳۳(۲)، ۳۳۴-۳۴۸.

دلشاد، م. بابالار، م. مصباح، کاشی. (۱۳۷۹). اثر شاخص نیتروژن محلول‌های غذایی در تغذیه معدنی ارقام گوجه‌فرنگی گلخانه‌ای در کشت هیدروپونیک. مجله علوم کشاورزی ایران، ۳۱(۳).

زنگنه، ج. رشید، ح. کارگر خرمی، سروش. (۱۳۹۷). تأثیر پیش‌تیمار بذر با سدیم هیدروسولفید (NaHS) بر برخی شاخص‌های فیزیولوژیک و آناتومیک گیاه ذرت در تنش سرب. علوم زیستی گیاهی، ۱۰(۲)، ۱۹-۳۴.

صیدی، ا. مومنی، م. (۱۴۰۳). تحلیل انرژی تولید گوجه‌فرنگی در فضای باز و گلخانه: ۷۹-۹۲.

گل کرمی، عابد، کاویانی راد، مراد. (۱۳۹۷). تأثیر محدودیت منابع آب بر تنش‌های هیدروپلیتیک (نمونه موردی: حوضه آبریز مرکزی ایران با تأکید بر حوضه آبریز زاینده‌رود). جغرافیا و برنامه ریزی محیطی. (۱): ۱۱۳-۳۴.

Glass, A.D.M. *et al.* (2002) 'The regulation of nitrate and ammonium transport systems in plants', *Journal of Experimental Botany*, 53(370), pp. 855-864. Available at: <https://doi.org/10.1093/jexbot/53.370.855>

Hao, D.-L., Zhou, J.-Y., Li, L., Qu, J., Li, X.-H., Chen, R.-R., Kong, W.-Y., Li, D.-D., Li, J.-J., Guo, H.-L., Liu, J.-X., Zong, J.-Q., & Chen, J.-B. (2023). An appropriate ammonium:nitrate ratio promotes the growth of

centipedegrass: Insight from physiological and micromorphological analyses. *Frontiers in Plant Science*, 14, 1324820. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1324820>

Liu, G., Du, Q. and Li, J. (2017) 'Interactive effects of nitrate-ammonium ratios and temperatures on growth, photosynthesis, and nitrogen metabolism of tomato seedlings', *Scientia Horticulturae*, 214, pp. 41–50. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2016.09.006>.

Marschner, P. (2012) *Rhizosphere Biology, Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants: Third Edition*. Elsevier Ltd. Available at: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384905-2.00015-7>.

Sun, J., Zhang, H., Liu, X., Wang, Y., & Li, Q. (2023). Effects of different forms and proportions of nitrogen on root morphology and growth. *Plants*, 12(2), 354. <https://doi.org/10.3390/plants12020354>

Wang, C., Sun, Y., Zhang, X., Li, J., Liu, Y., & Zhao, H. (2024). Impact of ammonium–nitrate ratios on growth, nutrient accumulation, and fruit quality in open-air tomatoes. *Sustainability*, 16(13), 5373. <https://doi.org/10.3390/su16135373>

The impact of ammonium to nitrate ratio on some of tomato root traits

Afroz Yousefi¹, Neda Dalir², Ehsan Ghezllbash³, Rasoul Rahnamaie⁴

- 1- Master's student, Department of Soil Science and Technology, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran
- 2- Assistant Professor, Department of Soil Science and Technology, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran
- 3- Assistant Professor, Department of Soil Science and Technology, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran
- 4- Associate Professor, Department of Soil Science and Technology, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

Abstract

In hydroponic systems, nitrogen is primarily provided to plants in the form of ammonium (NH₄⁺) and nitrate (NO₃⁻), and the balance between these two forms plays a decisive role in nutrient uptake efficiency and root system development. The present study aimed to evaluate the effects of different ammonium-to-nitrate ratios (1:6, 1:9, 1:12, and 1:24) on root morphological traits of tomato (*Solanum lycopersicum* L. cv. Dafnis F1) under hydroponic culture. Root morphology was assessed at two developmental stages. Significant differences were observed among the tested ratios for several root characteristics. At the first stage, ratios of 1:6 and 1:9 promoted maximum root length, whereas the 1:12 ratio resulted in the highest root volume, and the 1:24 treatment significantly increased root biomass. During the second stage, the 1:9 and 1:24 treatments enhanced root length, while the 1:9 ratio produced the highest root biomass and volume. Conversely, the 1:6 ratio consistently resulted in the poorest root development at both stages. Overall, the findings demonstrate that excessive proportions of either ammonium or nitrate alone were not favorable, and intermediate ratios—particularly 1:9 and 1:12 proved to be more effective in promoting optimal root system development in tomato under hydroponic conditions.

Keywords: Ammonium, Root, Tomato. Morphology, Nitrate