

تغییر در ویژگی‌های رشدی، بیوشیمیایی و جذب عناصر غذایی *Salvia officinalis* L. در پاسخ به سطوح مختلف نیتروژن

امیر عباسی خمر^۱، محمد مقدم^{۲*}، احمد اصغرزاده^۳ و محمد محمودی سورستانی^۴

۱- دانشجوی دکترا، گروه علوم باغبانی، واحد شیروان، دانشگاه آزاد اسلامی، شیروان، ایران

۲- نویسنده مسئول، دانشیار، گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

پست الکترونیک: m.moghadam@um.ac.ir ; moghaddam75@yahoo.com

۳- استادیار، گروه علوم باغبانی، واحد شیروان، دانشگاه آزاد اسلامی، شیروان، ایران

۴- دانشیار، گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران

تاریخ پذیرش: مرداد ۱۴۰۰

تاریخ اصلاح نهایی: مرداد ۱۴۰۰

تاریخ دریافت: فروردین ۱۴۰۰

چکیده

با هدف بررسی اثر سطوح مختلف نیتروژن (صفر، ۷۰، ۱۴۰ و ۲۱۰ میلی‌گرم بر لیتر) بر برخی ویژگی‌های رشدی، بیوشیمیایی، جذب عناصر غذایی (نیتروژن، فسفر و پتاسیم) و بازده اسانس در گیاه دارویی مریم‌گلی (*Salvia officinalis* L.) در شرایط کشت هیدروپونیک، آزمایشی گلدانی بر پایه طرح کاملاً تصادفی در ۴ تکرار در گلخانه تحقیقاتی دانشگاه فردوسی مشهد در سال ۱۳۹۸ انجام شد. نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که با افزایش سطح نیتروژن ویژگی‌های رشدی گیاه افزایش یافت، به طوری که سطح ۲۱۰ میلی‌گرم بر لیتر نیتروژن نسبت به عدم کاربرد آن به ترتیب سبب کاهش ۵۴/۱۹، ۷۲/۵۹، ۳۹/۴۹، ۸۲/۵۲، ۵۱/۴۲، ۷۲/۲۰، ۷۱/۴۶، ۹۵/۱۷، ۹۰/۳۱، ۹۵/۸۲، ۹۲/۳۰ و ۸۳/۴۶ درصدی قطر ساقه، تعداد شاخه فرعی، گره و برگ، طول میانگره، طول و عرض برگ، وزن تر و خشک ساقه، وزن تر و خشک اندام هوایی و نسبت وزن خشک اندام هوایی به وزن خشک ریشه شد. کاربرد ۲۱۰ میلی‌گرم بر لیتر نیتروژن به ترتیب سبب افزایش ۹/۵۷، ۲۶۶/۶ و ۱۴/۸۷ درصدی محتوای نسبی آب برگ، پرولین و بازده اسانس و کاهش ۳۰/۴۵ و ۵۱/۵۱ درصدی نشت الکترولیت و مالون دی‌آلدئید نسبت به عدم کاربرد نیتروژن شد. همچنین پایین‌ترین سطح نیتروژن به ترتیب سبب کاهش ۳۲/۶۵، ۸۵/۱۳ و ۵۶/۸۹ درصدی پتاسیم، فسفر و نیتروژن نسبت به بالاترین سطح نیتروژن شد. نتایج این آزمایش نشان داد که سطوح مختلف نیتروژن می‌تواند بر رشد و میزان اسانس مریم‌گلی تأثیرات متفاوتی داشته باشد. براساس یافته‌های پژوهش حاضر، کاربرد ۲۱۰ میلی‌گرم بر لیتر نیتروژن به واسطه بهبود صفات مورد مطالعه برای کشت و کار مریم‌گلی پیشنهاد می‌شود.

واژه‌های کلیدی: پرولین، تعداد برگ، مالون دی‌آلدئید، بازده اسانس.

مقدمه

مریم‌گلی با نام علمی *Salvia officinalis* L. و متعلق به خانواده نعناعیان (Lamiaceae) می‌باشد (Ghorbani, 2016). اندام هوایی این گیاه به‌ویژه برگ‌ها حاوی اسانس هستند که مقدار اسانس آنها در شرایط مختلف اقلیمی بین ۱-۲٪ تا متفاوت می‌باشد و مهمترین ترکیب‌های اسانس آن شامل توژون (۳۵-۵۰٪)، سینئول (۱۰-۱۵٪)، کامفور (۶-۱۰٪)، بورنتول (۶-۱۴٪) و پینن (۱-۲٪) است (Menghini et al., 2013). اسانس این گیاه در درمان بسیاری از بیماری‌ها از جمله بیماری‌های سیستم اعصاب، قلب و چرخش خون و همچنین بیماری‌های تنفسی مورد استفاده قرار می‌گیرد (Ghorbani, 2016). در تحقیقات اخیر نشان داده شده است که این گیاه موجب بهبود حافظه شده و در درمان بیماری آلزایمر نقش مؤثری دارد (Hao et al., 2015). امروزه، با توجه به کاهش کیفیت خاک و مصرف بی‌رویه و نامتعادل کودهای شیمیایی، توازن عناصر غذایی در خاک بهم خورده و مشکل جذب عناصر غذایی به‌وجود آمده است، همچنین کمبود آب و عدم امکان کنترل دقیق تغذیه گیاه در کشت خاکی باعث شده که در دهه‌های اخیر تولید محصولات به روش‌های مختلف کشت بدون خاک افزایش یابد (Putra & Yuliando, 2015). کشت هیدروپونیک به کشتی بدون خاک گفته می‌شود که در آن موادی به‌منظور نگهداری ریشه‌ها استفاده می‌شوند و برای تأمین نیاز غذایی گیاه در این روش کشت عناصر غذایی که به‌طور معمول در خاک وجود دارد به مقدار مناسب در مقدار آبی که در اختیار گیاه قرار می‌گیرد حل می‌شوند، در نتیجه امکان کنترل هرچه بیشتر تغذیه گیاهان فراهم می‌شود. همچنین در این تکنیک با مدیریت صحیح عناصر غذایی می‌توان پارامترهای مهم رشدی گیاه را تنظیم کرده و از این طریق تولید متابولیت‌های ثانویه را در گیاه تحریک کرد و با مزیت‌هایی از جمله کنترل تغذیه، کاهش آفات و بیماری، افزایش کمیّت و کیفیت محصول نسبت به کشت خاکی موجب تمایل بیشتر کشاورزان به استفاده از این روش کشت به‌ویژه در کشت‌های گلخانه‌ای شد (Putra & Yuliando, 2015). نیتروژن یکی از مهمترین عناصر غذایی

مورد نیاز گیاه می‌باشد که اگر از میزان مورد نیاز برای گیاه کمتر و یا بیشتر باشد موجب اختلال در رشد گیاه می‌شود (Mashayekhi & Tatari, 2017). میزان نیتروژن گیاه بین ۲۰ تا ۴۰ میلی‌گرم در گرم ماده خشک گیاه بوده که به دو صورت آلی و معدنی در گیاه یافت می‌شود و در ترکیب با هیدروژن، گوگرد، اکسیژن و کربن در ساختار اسیدهای آمینه، اسیدهای نوکلئیک و رنگیزه‌های گیاه شرکت می‌کند (Tabatabaei, 2013). بنابراین از آنجایی که این عنصر جزء اصلی بسیاری از ترکیب‌های حیاتی همانند اسیدهای نوکلئیک، پروتئین‌ها، آنزیم‌ها و آدنوزین تری‌فسفات (ATP) که منبع انرژی شیمیایی برای سلول است می‌باشد، بنابراین اهمیت آن در تشکیل، تکامل و تداوم حیات انکارناپذیر است (Wang et al., 2018). نیتروژن یکی از عناصر محرک در گیاه است که به‌راحتی توسط آوند آبکش انتقال می‌یابد، بنابراین در اثر کمبود تغذیه‌ای آن در گیاه رنگدانه‌ها و اسیدهای آمینه از جمله پرولین برگ‌های قدیمی توسط گیاه متابولیزه و توزیع می‌شوند و پس از آن علائم کمبود در برگ‌های جوان مشاهده می‌شود (Izadi et al., 2021). همانطور که در تحقیقات پیشین مشاهده شده است با کاهش سطح نیتروژن از ۲۵۰ به ۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر وزن تر و خشک، ارتفاع گیاه، نسبت بیوماس اندام هوایی به ریشه، قطر ساقه و جذب عناصر نیتروژن، پتاسیم و فسفر در گیاه اسطوخودوس (*Lavandula angustifolia* Mill.) (Chrysargyris et al., 2016)، نعناع سبز (*Mentha spicata* L.) (Chrysargyris et al., 2017) و *Anthriscus cerefolium* L. (El Gendy et al., 2015) کاهش یافت. همچنین *Chrysargyris* و همکاران (۲۰۱۷) نشان دادند که با افزایش سطح نیتروژن از ۱۵۰ به ۲۵۰ میلی‌گرم در لیتر از میزان مالون دی‌آلدئید گیاه نعناع سبز کاسته شد (Chrysargyris et al., 2017). در گیاه داتوره نیز نشان داده شد که کاربرد نیتروژن موجب افزایش معنی‌دار عملکرد این گیاه شد (Izadi et al., 2021). میزان اسانس گیاه نیز می‌تواند تحت تأثیر میزان نیتروژن قرار گیرد که این امر بخوبی در تحقیقی که بر روی نعناع‌فللی (Hokmalipour, 2017) و مرزه (Bashirifar et al., 2016) انجام شد مشهود است.

EC و pH آب تجمع یافته در زیرگلدانی اندازه‌گیری گردید و در صورت نیاز آبیاری برای گلدان‌ها انجام گردید. پس از گذشت دو ماه و نیم از زمان کشت نشاء و در مرحله رویشی صفات که شامل ویژگی‌های رشدی (تعداد برگ، تعداد شاخه فرعی، تعداد گره، طول میانگره، طول و عرض برگ، قطر ساقه، وزن تر و خشک ساقه و اندام هوایی، نسبت وزن خشک اندام هوایی به ریشه)، ویژگی‌های بیوشیمیایی (محتوای نسبی آب برگ، نشت الکترولیت، پرولین، مالون دی‌آلدئید)، بازده اسانس و جذب عناصر نیتروژن، پتاسیم و فسفر اندازه‌گیری شدند.

ویژگی‌های رشدی

اندازه‌گیری ویژگی‌های رشدی با روش‌های مرسوم انجام شد. بدین صورت که طول میانگره و طول و عرض برگ با خطکش و قطر ساقه با کولیس اندازه‌گیری گردید. وزن تر و خشک ساقه و اندام هوایی با ترازویی با دقت ۰/۰۱ گرم اندازه‌گیری شد و برای اندازه‌گیری وزن خشک نمونه‌ها به مدت ۴۸ ساعت درون آون با دمای ۷۲ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند. نسبت وزن خشک اندام هوایی به ریشه نیز از تقسیم وزن خشک اندام هوایی به ریشه بدست آمد.

ویژگی‌های بیوشیمیایی

محتوای نسبی آب برگ

برای اندازه‌گیری محتوای نسبی آب برگ (RWC) که شاخصی برای بررسی میزان آب گیاه است، ابتدا وزن تر نمونه برگ (FW) اندازه‌گیری شد و بعد نمونه به مدت ۲۴ ساعت در دمای اتاق و در شرایط بدون نور، داخل آب مقطر به حالت غوطه‌ور قرار داده شد و پس از این زمان وزن آماس نمونه (TW) قرائت شده و ۴۸ ساعت درون آون با دمای ۷۲ درجه سانتی‌گراد قرار گرفت و وزن خشک (DW) آنها بدست آمد و در فرمول زیر قرار داده شد و محتوای نسبی آب برگ محاسبه گردید (Sánchez et al., 1998).

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

با توجه به موارد ذکر شده و با توجه به اینکه تاکنون پژوهشی مبنی بر بررسی اثر سطوح مختلف نیتروژن بر مریم‌گلی در شرایط کشت هیدروپونیک وجود ندارد، هدف از این تحقیق بررسی اثر سطوح مختلف نیتروژن بر برخی ویژگی‌های رشدی، بیوشیمیایی، جذب برخی عناصر غذایی و بازده اسانس در گیاه دارویی مریم‌گلی در شرایط کشت هیدروپونیک و تعیین بهترین سطح آن برای کشت بدون خاک این گیاه می‌باشد.

مواد و روش‌ها

این تحقیق با هدف بررسی اثر سطوح مختلف نیتروژن بر برخی ویژگی‌های رشدی، بیوشیمیایی، جذب عناصر نیتروژن، فسفر و پتاسیم و بازده اسانس گیاه دارویی مریم‌گلی در شرایط کشت بدون خاک اجرا شد. بدین منظور آزمایشی گلدانی بر پایه طرح کاملاً تصادفی در گلخانه تحقیقاتی دانشگاه فردوسی مشهد در سال ۱۳۹۸ انجام شد. رطوبت نسبی گلخانه در طول آزمایش ۸۵-۷۰ درصد و دمای آن ۲۸-۲۲ درجه سانتی‌گراد بود. تیمار آزمایش شامل نیتروژن در ۴ سطح (صفر، ۷۰، ۱۴۰ و ۲۱۰ میلی‌گرم بر لیتر) و در ۴ تکرار بود. برای اجرای این طرح گلدان‌های ۱۲ کیلویی حاوی کوکوپیت و پرلیت (قبل از استفاده به خوبی ۲ بار شستشو داده شد) با نسبت ۷۰ به ۳۰ انتخاب شدند. در زیر هر یک از گلدان‌ها زیرگلدانی به منظور جمع شدن زه‌آب قرار گرفت. قبل از کشت ظرفیت زراعی گلدان‌ها برای تعیین نیاز آبیاری اندازه‌گیری شد و بعد به هر گلدان به تعداد ۴ نشاء مریم‌گلی (در مرحله ۴ برگی) منتقل شد. پس از انتقال نشاء به گلدان به منظور عدم تأثیرگذاری عناصر موجود در آب شهری، آبیاری با آب مقطر انجام شد. از آنجایی که در محیط کشت هیدروپونیک عناصر غذایی وجود ندارد، از این رو تغذیه گیاهان با محلول غذایی هوگلند ۴ بار در هفته و در مرحله ۶ برگی انجام شد (مشخصات محلول غذایی هوگلند در جدول ۱ آمده است). هر ۲ روز یک‌بار

نشت الکترولیت

پرولین

برای اندازه‌گیری اسید آمینه پرولین در گیاه نمونه خشک برگ با اسید سولفوسالیسیلیک ۳/۳٪ عصاره‌گیری شد. سپس عصاره تهیه شده به همراه معرف ناین هیدرین و اسید استیک گلاسیال در لوله آزمایش ریخته و در حمام آب گرم با دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد. پس از خروج از آب گرم و خنک شدن در زیر هود به محتوای هر یک از نمونه‌ها تولوئن اضافه شد و توسط ورتکس به خوبی مخلوط گردید. لوله‌ها مدتی در فضای اتاق ثابت باقی ماند و ۲ لایه مجزا از هم در لوله آزمایش تشکیل شد. به منظور اندازه‌گیری میزان پرولین لایه فوقانی (صورتی رنگ بود) نمونه‌ها در دستگاه اسپکتروفتومتر با طول موج ۵۲۰ نانومتر قرار گرفت (Farsaraei *et al.*, 2020).

اندازه‌گیری نشت الکترولیت به روش Lutts و همکاران (۱۹۹۵) انجام شد. بدین صورت که نمونه‌های برگ به طول ۲ سانتی‌متر انتخاب و پس از شستشو با آب مقطر به مدت ۲۴ ساعت درون تاریکی در شیشه‌هایی به حجم ۵۰ میلی‌لیتر و حاوی ۱۰ میلی‌لیتر آب مقطر قرار داده شدند. در این مرحله نشت اولیه (EC_1) به وسیله دستگاه هدایت‌سنج (EC متر) اندازه‌گیری شده و نمونه‌ها به مدت ۲۰ دقیقه درون اتوکلاو با دمای ۱۲۱ درجه سانتی‌گراد به منظور کشته شدن سلول‌های گیاهی قرار گرفتند و در نهایت نشت ثانویه (EC_2) قرائت شد. اعداد بدست آمده از دو قرائت در فرمول زیر قرار گرفته و نشت الکترولیت محاسبه می‌گردد.

$$EL = (EC_1 / EC_2) \times 100$$

مالون دی‌آلدئید

به منظور اندازه‌گیری غلظت مالون دی‌آلدئید (MDA)، به عصاره تهیه شده از گیاه محلول ۰/۵٪ (W/V) اسید تیوباربیتئوریک که حاوی اسید تری‌کلرواستیک ۲۰٪ است اضافه کرده و به مدت ۳۰ دقیقه در حمام آب گرم با دمای ۹۵ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد. سپس به منظور متوقف کردن واکنش به سرعت بعد از حمام گرم به حمام سرد به مدت ۳۰ دقیقه انتقال داده شد. مخلوط سرد شده با سرعت ۱۰۰۰ دور در دقیقه به مدت ۱۰ دقیقه سانتریفوژ شد و میزان جذب در دستگاه اسپکتروفتومتر در دو طول موج ۵۲۰ و ۶۰۰ نانومتر قرائت شد و در محاسبه مقدار (MDA) ضریب خاموشی برابر $155 \text{ mM}^{-1} \text{ Cm}^{-1}$ لحاظ گردید (Davey *et al.*, 2005).

جذب عناصر

نیتروژن: برای اندازه‌گیری درصد نیتروژن، ۰/۳ گرم از نمونه خشک آسیاب شده گیاه در لوله هضم ریخته شد.

جدول ۱- مشخصات محلول غذایی هوگلند

نام کود	غلظت عنصر (g/l)
KNO ₃	۰/۵۰۵
Ca(NO ₃) ₂	۰/۸۶۴
KH ₂ PO ₄	۰/۱۳۶
MgSO ₄	۰/۳۴۴۵
H ₃ BO ₃	۰/۰۰۱۸۶
MnSO ₄	۰/۰۰۸۴۵
CuSO ₄	۰/۰۰۰۱۴۹۷
ZnSO ₄	۰/۰۰۱۱۴۸
Na ₂ MoO ₄	۰/۰۰۰۱۲۱
FeEDDHA	۰/۰۲۵

عمل تقطیر انجام شد. بازده اسانس گیاه به صورت درصد حجمی - وزنی محاسبه و گزارش شد.

تجزیه و تحلیل آماری

داده‌ها توسط نرم‌افزار Minitab 17 و با روش آنالیز واریانس دوطرفه مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون Bonnferroni در سطح احتمال ۵٪ انجام شد. برای رسم نمودارها از نرم‌افزار Excel 2016 استفاده شد.

نتایج

ویژگی‌های رشدی

نتایج آنالیز واریانس داده‌ها نشان داد که اثر نیتروژن بر کلیه صفات مورد مطالعه در این تحقیق در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار شد (جدول‌های ۲، ۳ و ۴). نتایج این تحقیق همچنین نشان داد که بیشترین قطر ساقه (۵/۴۸ میلی‌متر)، تعداد شاخه فرعی (۴۹)، تعداد گره (۱۵/۷)، تعداد برگ (۲۰۷۳/۲۵)، طول میانگره (۶/۳ سانتی‌متر)، عرض برگ (۴/۰۳ سانتی‌متر) و طول برگ (۱۲/۷ سانتی‌متر) در غلظت ۲۱۰ میلی‌گرم در لیتر نیتروژن در محلول غذایی مشاهده شد و با کاهش غلظت نیتروژن، از مقدار این صفات نیز کاسته شد؛ به طوری که سطح بدون کاربرد نیتروژن به ترتیب موجب کاهش ۵۴/۱۹، ۷۲/۹۵، ۳۹/۴۹، ۸۲/۵۲، ۵۱/۴۲، ۷۱/۴۶ و ۷۲/۲۰ درصدی این صفات شد (جدول ۵). همچنین نتایج این تحقیق نشان داد که کمترین وزن تر ساقه (۱۳/۲۵ گرم در گیاه)، وزن خشک ساقه (۱۰/۶۳ گرم در گیاه)، وزن تر اندام هوایی (۳۱/۹ گرم در گیاه) و وزن خشک اندام هوایی (۱۸/۹۱ گرم در گیاه) در تیمار بدون کاربرد نیتروژن مشاهده شد (جدول ۵).

سپس مقدار ۱/۱ گرم کاتالیزور به همراه ۵ میلی‌لیتر اسید سولفوریک غلیظ به آن اضافه گردید و محتویات لوله به مدت دو ساعت روی دستگاه هضم قرار داده شد. در مرحله بعد پس از سرد شدن محتویات لوله، به نمونه هضم شده مقدار ۲۰ میلی‌لیتر سود ۱۰ نرمال و ۳۰ میلی‌لیتر محلول اسید بوریک افزوده گردید و بعد با استفاده از اسید سولفوریک ۰/۰۰۵ نرمال عمل تیتراسیون انجام و مقدار اسید سولفوریک مصرفی را داخل فرمول قرار داده و درصد نیتروژن موجود در نمونه با ماکروکودال محاسبه شد (Farsaraei et al., 2020).

$$\text{Ppm} = v \times 0.005 \times 50 \times 14 \times 1000 / (20 \times 0.3)$$

$$\%N = \text{PPM} / 10000$$

در این فرمول v برابر میلی‌لیتر اسید مصرفی برای تیتراسیون می‌باشد.

فسفر: فسفر با آمونیوم مولبیدات در محیط اسیدی و در طول موج ۳۴۰ نانومتر با اسپکتروفتومتر (مدل Bio Quest C250) اندازه‌گیری شد (Farsaraei et al., 2020).

پتاسیم: برای اندازه‌گیری پتاسیم ۲۵ میلی‌گرم از نمونه خشک برگ با HNO_3 ۰/۵٪ عصاره‌گیری شد و بعد به روش فلیم فتومتری میزان پتاسیم بدست آمد (Farsaraei et al., 2020).

بازده اسانس

اندازه‌گیری بازده اسانس گیاه به روش تقطیر با آب و با استفاده از دستگاه کلونجر انجام شد. بدین صورت که ۲۵ گرم نمونه خشک گیاهی به همراه ۶۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر در درون بالن دستگاه قرار داده شد و بعد به مدت ۳ ساعت

جدول ۲- آنالیز واریانس اثر نیتروژن بر برخی ویژگی‌های رشدی گیاه مریم‌گلی

میانگین مربعات													درجه آزادی	منابع تغییرات
نسبت وزن خشک اندام هوایی به وزن خشک ریشه	وزن خشک اندام هوایی	وزن تر اندام هوایی	وزن خشک ساقه	وزن تر ساقه	عرض برگ	طول برگ	طول میان‌گره	تعداد برگ	تعداد گره	تعداد شاخه فرعی	قطر ساقه			
۱۰/۷۹**	۴۰۰۲۸/۴*	۳۵۴۶۲۱**	۶۱۶۸/۵**	۴۵۷۸۳/۶**	۶/۵۴**	۶۱/۷۶**	۸/۰۴**	۲۲۴۱۰۱۰**	۲۸/۸۹**	۸۸۴/۸۹**	۶/۱۱۶**	۳	نیتروژن	
۰/۰۸	۱۶۵/۵	۶۰۹	۱۱۳/۸	۳۹/۶	۰/۰۳	۰/۳۶	۰/۰۶	۱۶۵۰۹	۰/۶۴	۴/۲۳	۰/۰۰۴	۱۲	خطا	
۱۰/۰۱	۹/۴۱	۶/۳۹	۱۷/۵۳	۴/۶۴	۶/۴۴	۶/۸۸	۵/۸۱	۸/۸۹	۶/۲۴	۶/۵۶	۱/۵۶		ضریب تغییرات	

** به معنی معنی‌داری در سطح احتمال ۱٪ می‌باشد.

ویژگی‌های بیوشیمیایی

نیترژن مشاهده شد و کاهش سطح نیترژن و رسیدن به سطح صفر به ترتیب موجب کاهش ۸/۷۳، ۷۲/۷۲ و ۱۲/۹۴ درصدی این صفات شد (جدول ۶). بیشترین درصد نشت الکترولیت (۱۸/۱۶٪) و مالون دی‌آلدئید (۰/۳۳ میلی‌گرم در گرم وزن تر برگ) نیز در سطح بدون کاربرد نیترژن مشاهده شد و با افزایش سطح نیترژن از میزان این صفات به طور معنی‌داری کاسته شد؛ به طوری که سطح ۲۱۰ میلی‌گرم در لیتر آن به ترتیب موجب کاهش ۳۰/۴۵ و ۵۱/۵۱ درصدی این صفات شد (جدول ۶).

نتایج مقایسه میانگین ویژگی‌های بیوشیمیایی این تحقیق نشان داد که با کاهش سطح نیترژن و رسیدن به سطح صفر آن از میزان محتوای نسبی آب برگ، پرولین و بازده اسانس کاسته شد و بر میزان نشت الکترولیت و مالون دی‌آلدئید افزوده شد؛ به طوری که بیشترین محتوای نسبی آب برگ (۷۸٪/۸۸)، پرولین (۰/۰۱۱ $\mu\text{Mpro/gDW}$) و بازده اسانس (۱/۳۹٪ حجمی-وزنی) در سطح ۲۱۰ میلی‌گرم در لیتر

جدول ۳- آنالیز واریانس اثر نیترژن بر برخی ویژگی‌های بیوشیمیایی گیاه مریم‌گلی

میانگین مربعات				محتوای نسبی آب برگ	درجه آزادی	منابع تغییرات
بازده اسانس	مالون دی‌آلدئید	پرولین	نشت الکترولیت			
۰/۰۲۸**	۰/۰۲۴۴**	۰/۰۰۰۰۴۵**	۲۳/۳۷**	۳۴/۶۸**	۳	نیترژن
۰/۰۰۲	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۰۰۱	۰/۲۰	۲/۸۱	۱۲	خطا
۲/۵۴	۴/۵۵	۷/۲۱	۲/۹۹	۳/۲۱		ضریب تغییرات

** به معنی معنی‌داری در سطح احتمال ۱٪ می‌باشد.

جدول ۴- آنالیز واریانس اثر نیترژن بر جذب نیترژن، فسفر و پتاسیم گیاه مریم‌گلی

میانگین مربعات			نیترژن	درجه آزادی	منابع تغییرات
پتاسیم	فسفر	نیترژن			
۱/۳۷۲**	۰/۳۲۹۴۸**	۱/۲۵۳۳**	۳	۳	نیترژن
۰/۰۰۲	۰/۰۰۰۰۴۱	۰/۰۰۰۰۱۲	۱۲	۱۲	خطا
۱/۴۵	۱/۹۸	۵/۶۹			ضریب تغییرات

** به معنی معنی‌داری در سطح احتمال ۱٪ می‌باشد.

مشاهده شد (شکل ۱- a, b, c).

جذب عناصر

طبق نتایج حاصل از این تحقیق میزان جذب عناصر نیترژن، فسفر و پتاسیم با کاهش میزان نیترژن در محلول غذایی به طور معنی‌داری کاهش یافتند و بیشترین میزان آنها در سطح ۲۱۰ میلی‌گرم در لیتر نیترژن در محلول غذایی

بحث

مطابق نتایج حاصل از این تحقیق *Chrysargyris* و همکاران (۲۰۱۶ و ۲۰۱۷) نشان دادند که ویژگی‌های

رشدی دو گیاه دارویی نعناع سبز (*Mentha spicata*) و اسطوخودوس (*Lavandula angustifolia*) با کاهش سطح نیتروژن کاهش یافتند که علت این امر را می‌توان چنین بیان کرد که نیتروژن در ساختمان گیاه نقش اساسی دارد (Bashirifar et al., 2016). نیتروژن بخش اصلی تشکیل دهنده پروتئین‌ها، اسیدهای نوکلئیک و ... می‌باشد و همچنین در ساختمان رنگیزه‌های فتوسنتزی نقش داشته و بر افزایش سطح برگ گیاه تأثیر مستقیم دارد (Barzegar et al., 2020). مصرف نیتروژن موجب افزایش قطر ساقه در گیاه چای ترش شد (Raesisarbijan et al., 2016) که با نتایج حاصل از این تحقیق مطابقت دارد و علت احتمالی آن نقش نیتروژن در فراهم نمودن مواد فتوسنتزی برای افزایش قطر ساقه از طریق افزایش تولید شاخ و برگ و افزایش دوام سطح برگ است (Raesisarbijan et al., 2016). علاوه بر این Moosavi و همکاران (۲۰۲۰) نشان دادند که با افزایش سطح نیتروژن بر میزان وزن تر و خشک شاخ و برگ گیاه دارویی چای ترش افزوده شد که با نتایج حاصل از این تحقیق مطابقت دارد و علت این افزایش احتمالاً این است که کاربرد نیتروژن می‌تواند موجب افزایش تعداد شاخه فرعی گیاه شده و به این طریق بر وزن تر و خشک شاخ و برگ گیاه می‌افزاید (Heidari & Mobseri Moghadam, 2014). به بیان دیگر می‌توان چنین گفت که نیتروژن به علت اینکه یکی از مهمترین عناصر غذایی و عامل کلیدی در دستیابی به عملکرد مطلوب گیاه می‌باشد، بنابراین کمبود آن کاهش به مراتب بیشتری نسبت به سایر عناصر در عملکرد گیاه خواهد داشت (Tabatabaei, 2013). به علاوه اینکه نیتروژن نقش مهمی در تولید سایتوکینین در ریشه و انتقال آن به اندام هوایی ایفاء می‌کند و علاوه بر آن نقش مهمی را در سنتز جیبرلین نیز برعهده دارد، از این رو با کاهش میزان نیتروژن تعادل هورمونی گیاه بهم ریخته و می‌تواند یکی دیگر از دلایل احتمالی اختلال در رشد گیاه مورد مطالعه در این تحقیق باشد (Kent & Reed, 1996). از سوی دیگر از آنجایی که در این تحقیق از کوکوبیت و پرلیت به عنوان بستر کشت استفاده شده است می‌توان چنین گفت که کوکوبیت به علت ظرفیت تبادل کاتیونی بالا و ظرفیت نگهداری بالای آبی که دارد به رشد بهتر گیاه کمک کرده و همین امر مزیت استفاده از کشت بدون خاک را اثبات می‌کند (Alu'datt et al., 2019). مطابق با نتایج این تحقیق نشان داده شد که با افزایش سطح نیتروژن بر محتوای نسبی آب برگ گندم (Mirseyedhoseini et al., 2004) و شمعدانی (Khandan-Mirkohi, 2014) افزوده شد که علت آن را می‌توان چنین بیان کرد که نیتروژن از طریق افزایش سنتز پروتئین‌ها و افزایش ضخامت دیواره سلولی باعث می‌شود تا آب بیشتری توسط پروتوپلاسم جذب شده، در نتیجه محتوای نسبی آب برگ بهبود یابد (Malakouti & Homayi, 2004). در مقابل نتایج این تحقیق حکایت از افزایش نشت الکترولیت با کاهش میزان نیتروژن داشت که علت آن را نیز می‌توان چنین بیان کرد که گیاه در مواجهه با کمبود نیتروژن زرد شده و رشد آن کاهش می‌یابد و به دنبال آن دچار پیری زودرس می‌شود که این پیری زودرس موجب کاهش مقاومت دیواره سلولی و در نتیجه افزایش نشت یونی می‌گردد (Goldani et al., 2016). در این تحقیق با کاهش سطح نیتروژن از میزان پرولین گیاه نیز کاسته شد، زیرا کاربرد نیتروژن نه تنها موجب تحت تأثیر قرار دادن رشد گیاه می‌شود بلکه موجب تحریک تولید مواد بیوشیمیایی مانند پرولین نیز می‌شود که مطابق با نتایج این تحقیق کاهش سطح نیتروژن موجب کاهش محتوای پرولین در چغندر قند نیز شد (Zakery-Asl et al., 2014)، زیرا نیتروژن در تولید آنزیم‌های سنتز کننده پرولین نقش دارد (Zakery-Asl et al., 2014). همچنین دلیل کاهش پرولین با کاهش و حذف نیتروژن را می‌توان اینگونه بیان کرد که نیتروژن یکی از عناصر متحرک در گیاه می‌باشد و به راحتی توسط آوند آبکش منتقل می‌شود، بنابراین کمبود آن در تغذیه گیاه موجب می‌شود تا

رشدی دو گیاه دارویی نعناع سبز (*Mentha spicata*) و اسطوخودوس (*Lavandula angustifolia*) با کاهش سطح نیتروژن کاهش یافتند که علت این امر را می‌توان چنین بیان کرد که نیتروژن در ساختمان گیاه نقش اساسی دارد (Bashirifar et al., 2016). نیتروژن بخش اصلی تشکیل دهنده پروتئین‌ها، اسیدهای نوکلئیک و ... می‌باشد و همچنین در ساختمان رنگیزه‌های فتوسنتزی نقش داشته و بر افزایش سطح برگ گیاه تأثیر مستقیم دارد (Barzegar et al., 2020). مصرف نیتروژن موجب افزایش قطر ساقه در گیاه چای ترش شد (Raesisarbijan et al., 2016) که با نتایج حاصل از این تحقیق مطابقت دارد و علت احتمالی آن نقش نیتروژن در فراهم نمودن مواد فتوسنتزی برای افزایش قطر ساقه از طریق افزایش تولید شاخ و برگ و افزایش دوام سطح برگ است (Raesisarbijan et al., 2016). علاوه بر این Moosavi و همکاران (۲۰۲۰) نشان دادند که با افزایش سطح نیتروژن بر میزان وزن تر و خشک شاخ و برگ گیاه دارویی چای ترش افزوده شد که با نتایج حاصل از این تحقیق مطابقت دارد و علت این افزایش احتمالاً این است که کاربرد نیتروژن می‌تواند موجب افزایش تعداد شاخه فرعی گیاه شده و به این طریق بر وزن تر و خشک شاخ و برگ گیاه می‌افزاید (Heidari & Mobseri Moghadam, 2014). به بیان دیگر می‌توان چنین گفت که نیتروژن به علت اینکه یکی از مهمترین عناصر غذایی و عامل کلیدی در دستیابی به عملکرد مطلوب گیاه می‌باشد، بنابراین کمبود آن کاهش به مراتب بیشتری نسبت به سایر عناصر در عملکرد گیاه خواهد داشت (Tabatabaei, 2013). به علاوه اینکه نیتروژن نقش مهمی در تولید سایتوکینین در ریشه و انتقال آن به اندام هوایی ایفاء می‌کند و علاوه بر آن نقش مهمی را در سنتز جیبرلین نیز برعهده دارد، از این رو با کاهش میزان نیتروژن تعادل هورمونی گیاه بهم ریخته و می‌تواند یکی دیگر از دلایل احتمالی اختلال در رشد گیاه مورد مطالعه در این تحقیق باشد (Kent & Reed, 1996). از سوی دیگر از آنجایی که در این تحقیق از کوکوبیت و پرلیت به عنوان بستر کشت استفاده شده است می‌توان چنین گفت که کوکوبیت به علت ظرفیت تبادل کاتیونی بالا و ظرفیت نگهداری بالای آبی که دارد به رشد بهتر گیاه کمک کرده و همین امر مزیت استفاده از کشت بدون خاک را اثبات می‌کند (Alu'datt et al., 2019). مطابق با نتایج این تحقیق نشان داده شد که با افزایش سطح نیتروژن بر محتوای نسبی آب برگ گندم (Mirseyedhoseini et al., 2004) و شمعدانی (Khandan-Mirkohi, 2014) افزوده شد که علت آن را می‌توان چنین بیان کرد که نیتروژن از طریق افزایش سنتز پروتئین‌ها و افزایش ضخامت دیواره سلولی باعث می‌شود تا آب بیشتری توسط پروتوپلاسم جذب شده، در نتیجه محتوای نسبی آب برگ بهبود یابد (Malakouti & Homayi, 2004). در مقابل نتایج این تحقیق حکایت از افزایش نشت الکترولیت با کاهش میزان نیتروژن داشت که علت آن را نیز می‌توان چنین بیان کرد که گیاه در مواجهه با کمبود نیتروژن زرد شده و رشد آن کاهش می‌یابد و به دنبال آن دچار پیری زودرس می‌شود که این پیری زودرس موجب کاهش مقاومت دیواره سلولی و در نتیجه افزایش نشت یونی می‌گردد (Goldani et al., 2016). در این تحقیق با کاهش سطح نیتروژن از میزان پرولین گیاه نیز کاسته شد، زیرا کاربرد نیتروژن نه تنها موجب تحت تأثیر قرار دادن رشد گیاه می‌شود بلکه موجب تحریک تولید مواد بیوشیمیایی مانند پرولین نیز می‌شود که مطابق با نتایج این تحقیق کاهش سطح نیتروژن موجب کاهش محتوای پرولین در چغندر قند نیز شد (Zakery-Asl et al., 2014)، زیرا نیتروژن در تولید آنزیم‌های سنتز کننده پرولین نقش دارد (Zakery-Asl et al., 2014). همچنین دلیل کاهش پرولین با کاهش و حذف نیتروژن را می‌توان اینگونه بیان کرد که نیتروژن یکی از عناصر متحرک در گیاه می‌باشد و به راحتی توسط آوند آبکش منتقل می‌شود، بنابراین کمبود آن در تغذیه گیاه موجب می‌شود تا

علاوه بر آن می توان چنین گفت که نیتروژن از طریق تأثیر مثبت بر افزایش تعداد برگ گیاه که محل تولید اسانس است، می تواند بر بازده اسانس گیاه نیز تأثیر مثبت داشته باشد (Ardalani *et al.*, 2017). تحقیقی که Yu و همکاران (۲۰۲۰) بر روی گیاه چای انجام دادند کاهش جذب عناصر غذایی را با کاهش سطح نیتروژن مشاهده کردند که در این تحقیق نیز این امر به خوبی قابل مشاهده است. همچنین *Chrysargyris* و همکاران (۲۰۱۷) نیز کاهش جذب عناصر با کاهش سطح نیتروژن را در گیاه دارویی نعناع سبز گزارش کردند. علت این کاهش در جذب عناصر را می توان چنین بیان کرد که گرسنگی نیتروژن در گیاهان موجب محدود شدن رشد گیاه، کاهش سطح نیتروژن و سایر عناصر غذایی می شود (Giorgi *et al.*, 2009؛ Kumar *et al.*, 2011)

به عنوان نتیجه گیری کلی می توان گفت که در این تحقیق به بررسی اثر سطوح مختلف نیتروژن بر برخی ویژگی های رشدی، بیوشیمیایی، بازده اسانس و جذب برخی عناصر غذایی گیاه دارویی مریم گلی در شرایط کشت بدون خاک (هیدروپونیک) پرداخته شد. نتایج نشان داد که کاهش سطح نیتروژن موجب کاهش تمامی صفات رشدی اندازه گیری شده و همچنین کاهش میزان جذب عناصر در مریم گلی شد. همچنین با کاهش مقدار نیتروژن کاهش در محتوای نسبی آب برگ، پرولین و بازده اسانس نیز مشاهده شد؛ اما بر میزان مالون دی آلدئید و نشت الکترولیت گیاه افزوده شد. در این پژوهش مشاهده شد که سطح ۲۱۰ میلی گرم در لیتر نیتروژن بیشترین تأثیر را در بهبود ویژگی های رشدی و بازده اسانس در این پژوهش داشت و کاربرد آن در شرایط کشت بدون خاک (هیدروپونیک) در گلخانه توصیه می شود. همچنین ارزیابی تأثیر سطوح مختلف نیتروژن بر کیفیت اسانس مریم گلی در پژوهش های بعدی پیشنهاد می گردد.

رنگیزه ها و اسیدهای آمینه از برگ های مسن به برگ های جوان گیاه انتقال یابند و در مجموع از میزان آنها در گیاه کاسته شود و علائم کمبود آن در برگ های مسن مشاهده گردد و همین امر کاهش محتوای پرولین گیاه را در طی کاهش میزان نیتروژن اثبات می کند، زیرا پرولین یک اسید آمینه بشمار می رود (Maathuis, 2009). همچنین می توان چنین گفت با کمبود نیتروژن فعالیت آنزیم دهیدروژناز در گیاه افزایش می یابد و این امر کاهش در میزان پرولین را در پی دارد (Zakery-Asl *et al.*, 2014). با افزایش سطح نیتروژن در این تحقیق از میزان مالون دی آلدئید گیاه کاسته شد که این کاهش را می توان چنین اثبات کرد که کاربرد میزان مناسب نیتروژن از بروز اثر تنش های احتمالی بر گیاهان جلوگیری کرده، در نتیجه گونه های فعال اکسیژن کمتری در گیاه ایجاد شده و از پراکسیداسیون لیپیدها کاسته می شود و در نتیجه از آنجایی که مالون دی آلدئید به عنوان شاخص پراکسیداسیون لیپید شناخته می شود کاهش می یابد (Foyer & Noctor, 2011). مطابق با نتایج حاصل از این تحقیق با افزایش سطح نیتروژن بر بازده اسانس گیاه ریحان (Nurzynska-Wierdak *et al.*, 2013) و نعناع سبز (Chrysargyris *et al.*, 2017) افزوده شد که علت آن می تواند این باشد که نیتروژن در ساختار اسیدهای آمینه و آنزیم ها نقش اساسی دارد و این ترکیب ها نیز نقشی اساسی در بیوسنتز ترکیب های مهمی از جمله اسانس ها دارند، از این رو با افزایش سطح نیتروژن محتوا و ترکیب های اسانس به طور غیرمستقیم تحت تأثیر قرار می گیرد (Koeduka *et al.*, 2006). به بیان دیگر می توان چنین گفت که نیتروژن با تأثیر مثبتی که بر فرایند ماده سازی و فتوسنتز دارد می تواند اسکلت کربنی مورد نیاز را برای بیوسنتز متابولیت های ثانویه تامین نموده و به دنبال آن افزایش در بازده اسانس حاصل می شود (El Gendy *et al.*, 2015).

جدول ۵- اثر نیتروژن بر برخی ویژگی‌های رشدی مریم‌گلی

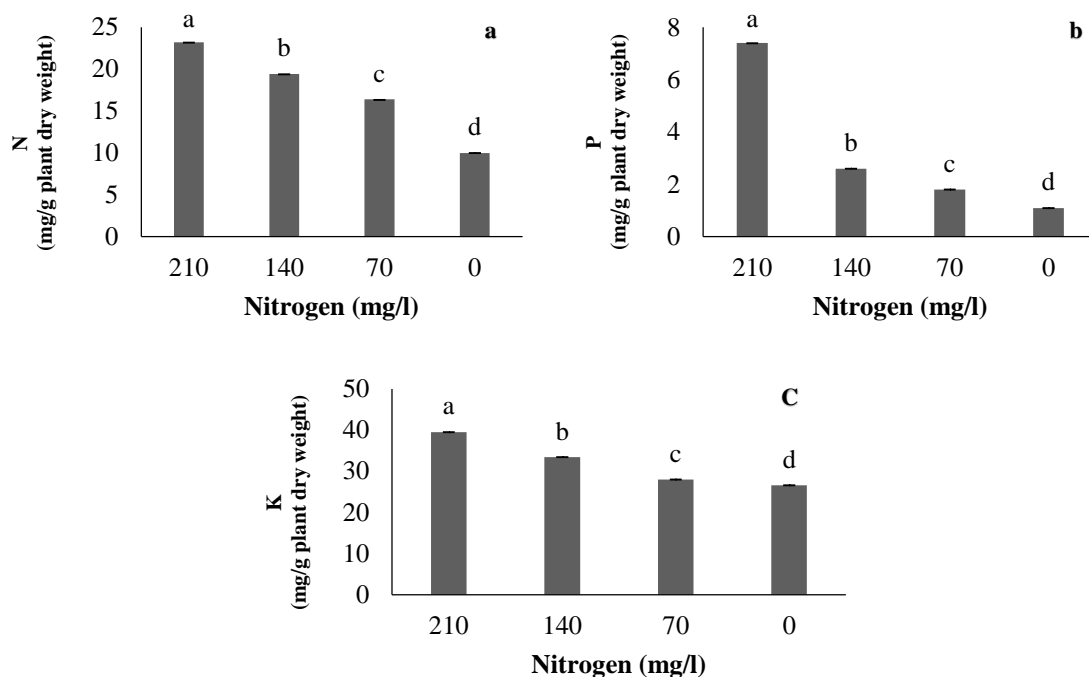
نسبت وزن خشک اندام هوایی به وزن خشک ریشه	وزن خشک اندام هوایی (g/plant)	وزن تر اندام هوایی (g/plant)	وزن خشک ساقه (g/plant)	وزن تر ساقه (g/plant)	عرض برگ (cm)	طول برگ (cm)	طول میانگره (cm)	تعداد برگ	تعداد گره	تعداد شاخه فرعی	قطر ساقه (mm)	نیتروژن (mg/l)
۰/۶۵c	۱۸/۹۱d	۳۱/۹d	۱۰/۶۳c	۱۳/۲۵c	۱/۱۵d	۳/۵۳d	۳/۰۶d	۳۶۲/۲۸c	۹/۵c	۱۳/۲۵d	۲/۵۱d	۰
۲/۷۲b	۹۴/۹۷c	۲۹۲/۳c	۵۷/۶۷b	۱۲۵/۰۲b	۲/۴۰c	۸/۱۵c	۳/۶۵c	۱۵۹۸/۵۰b	۱۲/۰b	۲۸/۰۰c	۴/۱۷c	۷۰
۴/۳۶a	۱۸۶/۸۸b	۴۸۱/۵b	۶۵/۰۲b	۱۲۸/۶۱b	۳/۵۳b	۱۰/۵۰b	۴/۶۸b	۱۷۴۵/۲۵b	۱۴/۰a	۳۵/۰۰b	۴/۴۹b	۱۴۰
۳/۹۳a	۱۴۵/۷۳a	۷۳۶/۳a	۱۰۹/۷۸a	۲۷۴/۴۳a	۴/۰۳a	۱۲/۷۰a	۶/۳۰a	۲۰۷۳/۲۵a	۱۵/۷a	۴۹/۰۰a	۵/۴۸a	۲۱۰

در هر ستون اعداد دارای حداقل یک حرف مشترک تفاوت معنی‌داری با هم ندارند.

جدول ۶- اثر نیتروژن بر برخی ویژگی‌های بیوشیمیایی مریم‌گلی

بازده اسانس (% v/w)	مالون‌دی‌آلدئید (mM g ⁻¹ FW)	پرولین (μMpro/g DW)	نشت الکترولیت (%)	محتوای نسبی آب برگ (%)	نیتروژن (mg/l)
۱/۲۱b	۰/۳۳a	۰/۰۰۳d	۱۸/۱۶a	۷۱/۹۹b	۰
۱/۲۵b	۰/۲۵b	۰/۰۰۶c	۱۵/۶۳b	۷۵/۴۲b	۷۰
۱/۳۵a	۰/۱۹c	۰/۰۰۸b	۱۳/۷۷c	۷۷/۱۵a	۱۴۰
۱/۳۹a	۰/۱۶d	۰/۰۱۱a	۱۲/۶۳d	۷۸/۸۸a	۲۱۰

در هر ستون اعداد دارای حداقل یک حرف مشترک تفاوت معنی‌داری با هم ندارند.



شکل ۱- اثر نیتروژن بر جذب نیتروژن (a)، فسفر (b) و پتاسیم (c) در گیاه مریم گلی

growth, essential oil composition and antioxidant status of lavender plant (*Lavandula angustifolia* Mill.). *Industrial Crops and Products*, 83: 577-586.

- Chrysargyris, A., Nikolaidou, E., Stamatakis, A. and Tzortzakis, N., 2017. Vegetative, physiological, nutritional and antioxidant behavior of spearmint (*Mentha spicata* L.) in response to different nitrogen supply in hydroponics. *Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants*, 111: 1-10.
- Davey, M.W., Stals, E., Panis., B., Keulemans, J. and Swennen, R.L., 2005. High-throughput determination of malondialdehyde in plant tissues. *Analytical Biochemistry*, 347(2): 201-207.
- Farsaraei, S., Moghaddam, M. and Ghasemi Pirbalouti, A., 2020. Changes in growth and essential oil composition of sweet basil in response of salinity stress and superabsorbents application. *Scientia Horticulturae*, 271: 1-12.
- El Gendy, A.G., El Gohary, A.E., Omer, E.A., Hendawy, S.F., Hussein, M.S., Petrova, V. and Stancheva, I., 2015. Effect of nitrogen and potassium fertilizer on herbage and oil yield of chervil plant (*Anthriscus cerefolium* L.). *Industrial Crops and Products*, 69: 167-174.
- Foyer, C.H. and Noctor, G., 2011. Ascorbate and glutathione the heart of the redox hub. *Plant Physiology*, 155: 2-18.

منابع مورد استفاده

- Alu'datt, M.H., Rababah, T., Alhamad, M.N., Al-Tawaha, A., Al-Tawaha, A.R., Gammoh, S., Ereifej, K.I., Al-Karaki, G., Hamasha, H.R., Tranchant, C.C. and Kubow, S., 2019. Herbal yield, nutritive composition, phenolic contents and antioxidant activity of purslane (*Portulaca oleracea* L.) grown in different soilless media in a closed system. *Industrial Crops and Products*, 141: 111746.
- Ardalani, H., Hadipanah, A., Pazoki, A. and Zolfaghar, M., 2017. Phytochemical, morphological and yield responses of *Mentha canadensis* to organic and nitrogen fertilizers. *Journal of Essential Oil Bearing Plants*, 20(3): 752-757.
- Barzegar, T., Mohammadi, S. and Ghahremani, Z., 2020. Effect of nitrogen and potassium fertilizer on growth, yield and chemical composition of sweet fennel. *Journal of Plant Nutrition*, 43: 1189-1204.
- Bashirifar, N., Aliasgharzad, N. and Zehtab Salmasi, S., 2016. Effects of nitrogen on growth and some morphological traits of inoculated savory plant (*Satureja hortensis* L.) with *Azospirillum irakense* and *Pseudomonas putida*. *Water and Soil Science*, 26(1): 79-91.
- Chrysargyris, A., Panayiotou, C. and Tzortzakis, N., 2016. Nitrogen and phosphorus levels affected plant

- Academy of Sciences of the United States of America, 103: 10128-10133.
- Kumar, P., Mishra, S., Malik, A. and Satya, S., 2011. Insecticidal properties of *Mentha* species: a review. *Industrial Crops and Products*, 34: 802-817.
 - Lutts, S., Kinet, J.M. and Bouharmont, J., 1995. Changes in plant response to NaCl during development of rice (*Oryza sativa* L.) varieties differing in salinity resistance. *Journal of Experimental Botany*, 46(12): 1843-1852.
 - Maathuis, F.J., 2009. Physiological functions of mineral macronutrients. *Current Opinion in Plant Biology*, 12: 250-258.
 - Malakouti, M.J. and Homayi, M., 2004. Soil fertility of arid and semi-arid regions (problems and solutions). *Tarbiat Modares University Press, Tehran*, 518p.
 - Mashayekhi, P. and Tatari, M., 2017. Effect of different concentrations of nitrogen, phosphorus and potassium on some quantitative and qualitative characteristics of strawberry cv. selva in hydroponic culture. *Iranian Journal of Soil Research*, 30(4): 391-402.
 - Menghini, L., Leporini, L., Pintore, G., Chessa, M. and Tirillini, B., 2013. Essential oil content and composition of three sage varieties grown in central Italy. *Journal of Medicinal Plants Research* 7: 480-489.
 - MirseyedHoseini, H., Fathi Gerdelidani, A., Kohestani, M. and Bihanta, M.R., 2004. Effect of CO₂ concentration and soil nitrogen availability on physiological and growth indices of wheat. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 49(4): 767-779.
 - Moosavi, G.R., Javadi, H., Seghatoleslami, M.J. and Salavati, M., 2020. Effect of nitrogen and plant density on morphological traits and yield components of roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.) in Iranshahr Climatic Conditions. *Journal of Plant Nutrition*, 3(1): 103-118.
 - Nurzynska-Wierdak, R., Borowski, B., Dzida, K., Zawislak, G. and Kowalski, R., 2013. Essential oil composition of sweet basil cultivars as affected by nitrogen and potassium fertilization. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 37: 427-436.
 - Putra, P.A. and Yuliando, H., 2015. Soilless culture system to support water use efficiency and product quality: a review. *Agricultural Science Procedia*, 3: 283-288.
 - Raeisisarbijan, A.R., Broomand, N. and Zaher, A., 2016. Effect of nitrogen and zinc foliar application on quantitative traits of tea roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.) under Jiroft zone. *Journal of Horticultural Science*, 30(1): 93-101.
 - Sánchez, F.J., Manzanares, M., de Andres, E.F., Tenorio, J.L. and Ayerbe, L., 1998. Turgor - Ghorbani, A., 2016. Sage (Chapter 19): 224-236. In: Ambrose, D.C., Manickavasagan, A. and Naik, R., (Eds.). *Leafy Medicinal Herbs: Botany, Chemistry, Postharvest Technology and Uses*. Oxfordshire, UK: CABI, 297p.
 - Giorgi, A., Mingozi, M., Madeo, M., Speranza, G. and Cocucci, M., 2009. Effect of nitrogen starvation on the phenolic metabolism and antioxidant properties of yarrow (*Achillea collina* Becker ex Rchb.). *Food Chemistry*, 114: 204-211.
 - Goldani, M., Zare, H. and Kamali, M., 2016. Evaluation of different levels of nitrogen and phosphorus fertilizers on shoot and root characteristics of *Echinacea purpurea*. *Journal of Horticultural Science*, 34(2): 366-375.
 - Hao, D.C., Gu, X. and Xiao, P.G., 2015. Phytochemical and biological research of *Salvia* medicinal resources: 587-639. In: Hao, D.C., Gu, X. and Xiao, P.G., (Eds.). *Medicinal Plants: Chemistry, Biology and Omics*, 681p.
 - Heidari, M. and Mobseri Moghadam, M., 2014. Effects of amount and timing of nitrogen application on yield production and quantitative characteristics of karela (*Momordica charantia* L.). *Iranian Journal of Aromatic and Medicinal Plants Research*, 30(4): 591-599.
 - Hokmalipour, S., 2017. Evaluate the effect of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) and nitrogen fertilizer on yield and some agronomic and physiological traits of medicinal plant of peppermint (*Mentha piperita* L.). *Journal of Plant Ecophysiology*, 9(28): 133-144.
 - Izadi, Z., Biabani, A., Sabouri, H. and Bahreyninejad, B., 2021. Effects of nitrogen and density on growth and *Datura stramonium* L. yield. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research*, 37(2): 315-328.
 - Khandan-Mirkohi, A.L., Kazemi, F., Babalar, M. and Naderi, R., 2014. Effect of different levels of nitrogen in nutrient solution on the qualitative and quantitative traits of geranium (*Pelargonium hortorum* cv. Bulles eye). *Journal of Crops Improvement*, 16(1): 157-168.
 - Kent, M.W. and Reed, D.W., 1996. Nitrogen nutrition of new *Guinea impatiens* 'Barbados' and *spathiphyllum* 'Petite' in a Subirrigation system. *American Society for Horticultural Sciences*, 121: 816-819.
 - Koeduka, T., Fridman, E., Gang, D.R., Vassao, D.G., Jackson, B.L., Kish, C.M., Orlova, I., Spassova, S.M., Lewis, N.G., Noel, J.P., Baiga, T.J., Dudareva, N. and Pichersky, E., 2006. Eugenol and isoeugenol characteristic aromatic constituents of spices, are biosynthesized via reduction of a coniferyl alcohol ester. *Proceedings of the National*

- Yu, F., Wang, X., Yao, Y., Lin, J., Huang, Y., Xie, D., Liu, K. and Li, Y., 2020. Manganese accumulation and plant physiology behavior of *Camellia oleifera* in response to different levels of potassium fertilization. *International Journal of Phytoremediation*, 22(10): 1075-1084.
- Zakery-Asl, M.A., Bolandnazara, S. and Oustanb, S., 2014. Effect of salinity and nitrogen on growth, sodium, potassium accumulation, and osmotic adjustment of halophyte *Suaedaegyptiaca* (Hasselq.). *Archives of Agronomy and Soil Science*, 60: 785-792.
- maintenance, osmotic adjustment and soluble sugar and proline accumulation in 49 pea cultivars in response to water stress. *Field Crops Research*, 59(3): 225-235.
- Tabatabaei, S.J., 2013. *Principles of Mineral Nutrition of Plants*. Tabriz: Tabriz University Press, 562p.
- Wang, H.D., Wu, L.F., Cheng, M.H., Fan, J.L., Zhang, F.C., Zou, Y.F., Chau, H., Gao, Z.J. and Wang, X.K., 2018. Coupling effects of water and fertilizer on yield, water and fertilizer use efficiency of drip-fertigated cotton in northern Xinjiang, China. *Field Crops Research*, 219: 169-179.

Changes in growth, biochemical, and nutrient uptake characteristics of *Salvia officinalis* L. in response to different levels of nitrogen

A. Abbasi Khammar¹, M. Moghaddam^{2*}, A. Asgharzade³ and M. Mahmoodi Sourestani⁴

1- Ph.D. student, Department of Horticultural Science, Shirvan Branch, Islamic Azad University, Shirvan, Iran

2*- Corresponding author, Department of Horticultural Science, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran, E-mail: m.moghadam@um.ac.ir; moghaddam75@yahoo.com

3- Department of Horticultural Science, Shirvan Branch, Islamic Azad University, Shirvan, Iran

4- Department of Horticultural Science, Faculty of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran

Received: April 2021

Revised: August 2021

Accepted: August 2021

Abstract

To study the effects of different nitrogen levels (0, 70, 140, and 210 mg l⁻¹) on some growth, biochemical, and nutrient uptake (nitrogen, phosphorus, and potassium) characteristics and essential oil content in sage (*Salvia officinalis* L.) under hydroponic conditions, a pot experiment was conducted based on a completely randomized design with four replications in the research greenhouse of Ferdowsi University of Mashhad in 2019. The results of means comparison showed that with increasing the nitrogen level, the plant growth characteristics increased, so that the 210 mg l⁻¹ N treatment decreased the stem diameter, number of branches, nodes, and leaves, length of internodes, length and leaf width, fresh and stem dry weight, fresh and aerial parts dry weight, and aerial parts dry weight to root dry weight ratio by 54.19, 72.59, 39.49, 82.52, 51.42, 72.20, 71.46, 95.17, 90.31, 95.82, 92.30, and 83.46%, respectively compared to the no N application. The application of 210 mg l⁻¹ N increased the relative content of leaf water (RWC), proline, and essential oil content by 9.57, 266.6, and 14.87% and decreased the electrolyte leakage and malondialdehyde by 30.45 and 51.51%, respectively compared to the no N application. Also, the lowest N level decreased the K, P, and N content by 32.65, 85.13, and 56.89%, respectively compared to the highest N level. The results of this experiment showed that different N levels could have different effects on the growth and essential oil content of sage. Based on the present research findings, the application of 210 mg l⁻¹ N could be recommended for the sage cultivation due to the improving effects on the studied traits of the plant.

Keywords: Proline, number of leaves, malondialdehyde, essential oil content.