Research Article

Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research
Vol. 41, No. 1, Page 66-77 (2025)

DOI:10.22092/ijmapr.2024.364469.3414

Investigating changes in quantitative and qualitative characteristics of lemon grass (*Cymbopogon citratus* (DC.) Stapf) under the influence of different levels of salicylic acid and nitrogen fertilizer

Lida Barhamandzadeh [1], Alireza Abdali Mashhadi [2*], Abdolmahdi Bakhshandeh [3], Alireza Shafeinia [3] Amin Lotfi Jalal Abadi [3] and Narges Soltani [4]

1. Ph.D. student, Department of Plant Production Engineering and Genetics, Faculty of Agriculture, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan, Mollasani, Khuzestan, Iran
2*. Corresponding author, Department of Plant Production Engineering and Genetics, Faculty of Agriculture, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan, Mollasani, Khuzestan, Iran, E-mail: alirezaabdali@asnrukh.ac.ir
3. Department of Plant Production Engineering and Genetics, Faculty of Agriculture, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan, Mollasani, Khuzestan, Iran
4. Department of Plant Production Engineering and Genetics, Faculty of Agriculture, Shahid Chamaran University of Ahvaz, Khuzestan, Iran

Received: January 2024 Revised: June 2024 Accepted: August 2024

Abstract

Background and Objectives: Lemongrass (*Cymbopogon citratus* (DC.) Stapf), a perennial plant from the Gramineae family, is renowned for its rich polyphenol compounds, having significant medicinal, cosmetic, and culinary applications. Enhancing the quantitative and qualitative yield of lemongrass is of considerable economic importance. Salicylic acid, a key regulator of physiological and biochemical processes, acts as an elicitor to enhance the accumulation of secondary metabolites in plants. Similarly, nitrogen plays a vital role in plant growth, improving yield quantity and quality. This study investigated the effects of nitrogen fertilizer and salicylic acid on various quantitative and qualitative traits of lemongrass.

Methodology: A factorial experiment based on a randomized complete block design was conducted in 2021 at the Agricultural Sciences and Natural Resources research farm of the University of Khuzestan, Ahvaz, Iran. The experiment evaluated the effects of different levels of salicylic acid (0, 10 µM, and 100 µM) and nitrogen fertilizer (0, 50, 100, 150, and 200 kg/ha from a urea source) on lemongrass. Each treatment was replicated three times. In each fertilizer treatment, 20% of the nitrogen was applied after plant establishment, with the remainder applied in four stages alongside irrigation water to minimize leaching losses based on soil nitrogen content. Salicylic acid was applied via foliar spraying using a backpack sprayer when 70% of each plot was covered by lemongrass, with a second application 15 days later. Each plot measured 3 meters in width with six planting lines, each 3 meters long, 60 cm apart, and plants within lines were spaced 40 cm apart. The soil had a silty clay texture, pH of 7.5, and electrical conductivity of 2.6 dS/m. The studied traits included chlorophyll a, b, and total chlorophyll, carotenoid content, total fresh and dry weight, antioxidant activity percentage, total phenol content, and essential oil percentage and yield.

Results: The interaction between salicylic acid and nitrogen fertilizer significantly influenced all studied traits except antioxidant activity percentage. Nitrogen fertilizer alone significantly affected antioxidant activity, with the highest percentage (89.8%) observed at 150 kg/ha of

Copyright: © 2025 by the authors. This is an open access, peer-reviewed article published by Research Institute of Forests and Rangelands (http://ijmapr.areeo.ac.ir/) and distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.

nitrogen. The highest levels of chlorophyll a, b, and total chlorophyll were achieved with no salicylic acid and 150 kg/ha of nitrogen, showing increases of 140%, 42%, and 116%, respectively, compared to the control (no salicylic acid or nitrogen). The highest total fresh and dry weight was obtained with 100 µM salicylic acid and 100 kg/ha of nitrogen, representing a 75% increase over the control. The highest essential oil percentage (0.87%) and yield (65.6 g/m²) were observed with 10 µM salicylic acid and 150 kg/ha of nitrogen. In contrast, the lowest essential oil yield (18.29 g/m²) and percentage (0.45%) were recorded in the absence of salicylic acid and nitrogen and with no salicylic acid but 150 kg/ha of nitrogen, respectively.
Conclusion: Applying nitrogen fertilizer and salicylic acid enhanced the yield and percentage of essential oil, total dry matter, and total phenol content in lemongrass leaves compared to the control. The highest essential oil yield was achieved with 10 µM salicylic acid and 150 kg/ha of nitrogen fertilizer, demonstrating the synergistic effects of these treatments on lemongrass productivity and quality.

Keywords: Essential oil, foliar spraying, medicinal plants, total phenol.

بررسی تغییرات خصوصیات کمی و کیفی علف‌لیمو (*Cymbopogon citratus* (DC.) Stapf) تحت تأثیر سطوح مختلف اسید سالیسیلیک و کود نیتروژن

لیدا برهمندزاده[۱]، علیرضا ابدالی مشهدی[۲*]، عبدالمهدی بخشنده[۳]، علیرضا شافعی‌نیا[۴]، امین لطفی جلال‌آبادی[۵] و نرگس سلطانی[۶]

۱- دانشجوی دکتری، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، ملاثانی

۲*- نویسنده مسئول، استاد، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، ملاثانی،

پست‌الکترونیک: alirezaabdali@asnrukh.ac.ir

۳- استاد، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، ملاثانی

۴- استادیار، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، ملاثانی

۵- دانشیار، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، ملاثانی

۶- دکترای بیوتکنولوژی کشاورزی، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز

تاریخ دریافت: دی ۱۴۰۲ تاریخ اصلاح نهایی: خرداد ۱۴۰۳ تاریخ پذیرش: مرداد ۱۴۰۳

چکیده

سابقه و هدف: علف‌لیمو گیاهی چند ساله و متعلق به خانواده گندمیان است. این گیاه دارای ترکیب‌های پلی‌فنولی ارزشمند است که کاربردهای دارویی، آرایشی و خوراکی دارند. استفاده از عواملی که بتوانند باعث افزایش عملکرد کمی و کیفی علف‌لیمو شوند از جنبه اقتصادی مهم است. اسید سالیسیلیک یک تنظیم‌کننده فرایندهای فیزیولوژیک و بیوشیمیایی است که می‌تواند در نقش یک الیسیتور باعث افزایش تجمع متابولیت‌های ثانویه در گیاهان شود. همچنین نیتروژن نقش مهمی در رشد گیاهان دارد و می‌تواند باعث افزایش کمیت و کیفیت عملکرد شود. در این آزمایش اثر کاربرد کود نیتروژن و اسید سالیسیلیک بر برخی خصوصیات کمی و کیفی علف‌لیمو بررسی شد.

مواد و روش‌ها: به منظور بررسی تغییرات برخی خصوصیات کمی و کیفی علف‌لیمو تحت تأثیر سطوح مختلف اسید سالیسیلیک و کود نیتروژن در شرایط آب و هوایی اهواز، آزمایشی به‌صورت فاکتوریل بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با پنج سطح کود نیتروژن (۰، ۵۰، ۱۰۰، ۱۵۰، ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار) از منبع اوره و سه سطح اسید سالیسیلیک (۰، ۱۰ میکرومولار و ۱۰۰ میکرومولار) با سه تکرار در مزرعه پژوهشی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان در سال ۱۴۰۱-۱۴۰۰ اجرا گردید. در هر تیمار کودی، ۲۰ درصد کود اوره پس از استقرار گیاه و بقیه آن جهت کاهش تلفات آبشویی، در چهار مرحله به همراه آب آبیاری و با توجه به درصد نیتروژن موجود در خاک اعمال گردید. محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک وقتی که ۷۰ درصد سطح هر پلات توسط علف‌لیمو پوشانده شد توسط سمپاش پشتی انجام گردید و ۱۵ روز بعد تکرار شد. هر کرت آزمایشی سه متر عرض داشت و شامل شش خط کاشت به طول سه متر بود و فاصله بین کرت‌ها نیم متر در نظر گرفته شد. فاصله خطوط کشت از یکدیگر ۶۰ سانتی‌متر و فاصله بین بوته‌ها روی خط کشت ۴۰ سانتی‌متر بود. خاک محل آزمایش دارای بافت سیلتی کلی، اسیدیته ۷/۵ و هدایت الکتریکی ۲/۶ دسی‌زیمنس بر متر بود. صفات مورد بررسی شامل کلروفیل a، b و کل، کارتنوئید، وزن تر و خشک کل، درصد آنتی‌اکسیدان، فنول کل، درصد و عملکرد اسانس بود.

نتایج: اثر متقابل اسید سالیسیلیک و کود نیتروژن بر همه صفات مورد بررسی بجز درصد فعالیت آنتی‌اکسیدانی معنی‌دار شد. اثر کاربرد کود نیتروژن بر درصد فعالیت آنتی‌اکسیدانی معنی‌دار بود. بالاترین درصد فعالیت آنتی‌اکسیدانی (۸۹/۸ درصد) مربوط به کاربرد ۱۵۰ کیلوگرم کود نیتروژن در هکتار بود. بالاترین و کمترین مقدار کلروفیل a، کلروفیل b و کلروفیل کل به ترتیب با عدم کاربرد اسید سالیسیلیک × کاربرد ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن و عدم کاربرد اسید سالیسیلیک × عدم کاربرد کود نیتروژن به‌دست آمد که به ترتیب ۱۴۰، ۴۲ و ۱۱۶ درصد تفاوت داشتند. بالاترین وزن تر و خشک کل با کاربرد ۱۰۰ میکرومولار اسید سالیسیلیک و

۱۰۰ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن به‌دست آمد که نسبت به عدم کاربرد اسید سالیسیلیک و کود نیتروژن ۷۵ درصد بیشتر بود. بالاترین درصد و عملکرد اسانس در تیمار کاربرد ۱۰ میکرومولار اسید سالیسیلیک و ۱۵۰ کیلوگرم کود نیتروژن به‌ترتیب با میانگین ۰/۸۷ درصد و ۶۵/۶ گرم در مترمربع مشاهده شد. همچنین در میان سطوح فاکتورهای آزمایش، کمترین عملکرد اسانس (۱۸/۲۹ گرم در مترمربع) با عدم کاربرد اسید سالیسیلیک و کود نیتروژن به‌دست آمد که در مقایسه با حداکثر عملکرد با کاربرد ۱۰ میکرومولار اسید سالیسیلیک و ۱۵۰ کیلوگرم کود نیتروژن ۲۶۰ درصد کمتر بود. کمترین درصد اسانس (۰/۴۵ درصد) با عدم کاربرد اسید سالیسیلیک و کاربرد ۱۵۰ کیلوگرم کود نیتروژن به‌دست آمد.

نتیجه‌گیری: به‌طورکلی، کاربرد کود نیتروژن و اسیدسالیسیلیک باعث افزایش عملکرد و درصد اسانس، ماده خشک کل و فنل کل برگ نسبت به شاهد شد. بالاترین عملکرد اسانس با کاربرد ۱۰ میکرومولار اسید سالیسیلیک و ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن به‌دست آمد.

واژه‌های کلیدی: اسانس، محلول‌پاشی، گیاهان دارویی، فنول کل.

مقدمه

گیاه علف‌لیمو با نام علمی *Cymbopogon citratus* (DC.) Stapf، گیاهی چندساله و متعلق به خانواده گندمیان و بومی جنوب‌شرق آسیا (کشورهای سریلانکا و هند) می‌باشد (Mirzaei *et al*., 2020). علف‌لیمو به‌صورت توده‌های متراکم رشد می‌کند. ارتفاع آن تا ۱/۸ متر و قطر تاج پوشش آن به حدود ۱/۲ متر می‌رسد. این گیاه دارای ساقه‌ای بلند و برگ‌های خشن، باریک و دراز که در صورت شکسته شدن بوی خوبی از آنها متصاعد می‌شود. معمولاً تمام قسمت‌های علف‌لیمو (ریشه، ساقه و برگ) استفاده می‌شود (Alizadeh *et al*., 2023).

علف‌لیمو یکی از گراس‌های معطر با ترکیب‌های پلی‌فنولی ارزشمند، مانند سیترال است که کاربردهای بسیاری در صنایع دارویی، آرایشی و بهداشتی دارد. از این‌رو عواملی که موجب افزایش مجموع ترکیب‌های این گیاه گردد، همواره مورد توجه پژوهشگران و تولیدکنندگان بوده است (Sani Khani *et al*., 2021). یکی از مهمترین فنولیک‌های گیاهی، اسید سالیسیلیک (SA) است که به عنوان تنظیم‌کننده فرایندهای فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی مانند تجمع رنگدانه، فتوسنتز، فعالیت آنزیمی و جذب مواد مغذی عمل می‌کند و باعث افزایش تجمع متابولیت‌های ثانویه در گیاهان می‌شود (Ali & atrakchii, 2022). در بررسی تأثیر سطوح اسید سالیسیلیک (۰، ۰/۵ و ۱ میلی‌مولار) بر آرتیشو، مشخص شد که بیشترین میزان فنول کل و فلاونوئید کل (۲/۴۸ و ۰/۰۸۹ میلی‌گرم در گرم) در سطح ۱ میلی‌مولار و کمترین میزان (۲/۱۹ و ۰/۰۵۱ میلی‌گرم در گرم) در شاهد به‌دست آمد (Bagherifard *et al*., 2015). کاربرد مناسب عناصر غذایی در طول مراحل رشد و نمو گیاهان دارویی، نقش عمده‌ای در افزایش کمیت و کیفیت مواد مؤثر آنها دارد (Bagherifard *et al*., 2015). اولین عنصری که گیاهان، به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک با کمبود آن مواجه هستند، نیتروژن است (Pushtdar *et al*., 2019). نیتروژن یک عنصر ضروری است که به بسیاری از بیومولکول‌های گیاهی مانند کلروفیل، اسیدهای آمینه، پروتئین‌ها و آنزیم‌ها کمک می‌کند. نه تنها در اکوسیستم‌های طبیعی، بلکه حتی در اکوسیستم‌های کشاورزی، در دسترس بودن نیتروژن یک عامل محدودکننده برای بهره‌وری گیاه است (Heidari *et al*., 2020). کاربرد کود نیتروژنی از طریق تولید زیست توده بیشتر، ترکیب‌های استخراج شده از آنها را افزایش می‌دهد. تحقیقات نشان دادند که کمبود نیتروژن با کاهش وزن تر محصول و کاهش اسانس همراه است (Melkamu, 2019). گزارش شده که با افزایش سطح برگ، درصد اسانس برگ به‌صورت خطی افزایش داشته است؛ به‌طوری‌که به ازاء افزایش هر سانتی‌متر مربع سطح

برگ، درصد اسانس برگ حدود ۸٪ بیشتر بود (Izadi *et al.*, 2010). در مورد اثر سطوح کود نیتروژن (۵۰، ۷۵ و ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار) بر نعناع فلفلی (*Mentha piperita* L.)، مشخص شد که مقدار ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار باعث افزایش عملکرد گیاه می‌گردد (Pushtdar *et al.*, 2017). از آن‌جایی‌که خاک‌های مناطق خشک و نیمه‌خشک مشابه خاک‌های ایران از لحاظ میزان مواد آلی و نیتروژن فقیر می‌باشند، به‌همین دلیل واکنش گیاهان نسبت به مصرف نیتروژن در مقایسه با سایر عناصرغذایی بیشتر است (Pushtdar *et al.*, 2019). بررسی تغییرات متابولیت‌های علف‌لیمو، به‌ویژه پس از کاربرد الیسیتورها که ممکن است بر سنتز متابولیت‌ها و بیوشیمی گیاه نیز مؤثر باشند، ضرورت دارد. در این آزمایش سطوح مختلف نیتروژن و تأثیر غلظت‌های اسید سالیسیلیک بر خصوصیات بیوشیمیایی و عملکردی این گیاه دارویی در شرایط آب و هوایی اهواز، طراحی و اجرا گردید.

مواد و روش‌ها

به منظور بررسی تغییرات خصوصیات کمی و کیفی علف‌لیمو تحت تأثیر سطوح مختلف اسید سالیسیلیک و کود نیتروژن در شرایط آب و هوایی اهواز، آزمایشی در مزرعه پژوهشی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان واقع در ۳۶ کیلومتری شمال‌شرقی شهرستان اهواز با عرض جغرافیایی ۳۱ درجه و ۳۶ دقیقه، طول جغرافیایی ۴۸ درجه و ۵۳ دقیقه و ۲۲ متر ارتفاع از سطح دریا در سال ۱۴۰۱-۱۴۰۰ اجرا گردید. محل اجرای آزمایش از نظر اقلیمی (براساس مقایسه دومارتن) جزء مناطق خشک و نیمه‌خشک محسوب می‌شود. این آزمایش به‌صورت فاکتوریل در پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام گردید. تیمارهای آزمایش شامل سطوح کود نیتروژن (صفر، ۵۰، ۱۰۰، ۱۵۰، ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار) از منبع اوره به عنوان عامل اول و سطوح اسید سالیسیلیک (صفر، ۱۰ و ۱۰۰ میکرومولار) به عنوان عامل دوم در نظر گرفته شد. در هر تیمار کودی، ۲۰ درصد کود اوره پس از استقرار گیاه و بقیه آن برای کاهش تلفات آبشویی، در چهار مرحله به همراه آب آبیاری و با توجه به درصد نیتروژن موجود در خاک اعمال گردید. برای محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک، غلظت‌های مورد نظر (۱۰ و ۱۰۰ میکرومولار) با حل کردن مقادیر محاسبه شده اسید سالیسیلیک در آب مقطر انجام شد. برای سطح صفر بدون محلول‌پاشی از آب مقطر استفاده شد. محلول‌پاشی گیاهان از مرحله ۷۰ درصد سطح سبز در هر واحد آزمایشی و در دو نوبت به فاصله هر ۱۵ روز یکبار با سمپاش پشتی انجام شد. هر کرت آزمایشی شامل شش خط کاشت به طول سه متر و عرض سه متر بود و فاصله بین کرت‌ها نیم متر در نظر گرفته شد. خطوط کشت از یکدیگر ۶۰ سانتی‌متر و بین بوته‌ها روی خط کشت ۴۰ سانتی‌متر فاصله داشتند. عملیات آماده‌سازی زمین شامل شخم عمیق و بعد یک دیسک عمود بر آن برای خرد کردن کلوخه‌ها و بعد عملیات تسطیح در پاییز انجام شد. کشت پاجوش علف‌لیمو در تاریخ ۲۰ اسفند انجام گردید. اولین آبیاری نیز بلافاصله پس از کاشت و آبیاری‌های بعدی با توجه به نیاز گیاه در کل فصل رشد انجام شد. خصوصیات خاک مزرعه محل آزمایش در جدول یک ارائه شده است.

جدول۱- خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک مورد استفاده در آزمایش

Table 1. Physicochemical characteristics of experimental soil

Soil texture	K ($mg.kg^{-1}$)	P ($mg.kg^{-1}$)	Total N (%)	Organic carbon (%)	E.C. ($dS.m^{-1}$)	pH
Silty Clay	267	7.2	0.05	0.76	2.6	7.5

میزان کلروفیل، براساس روش معرفی شده توسط آرنون (Arnon, 1949) و با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر (Spekol 2000 شرکت Analytic Jena) تعیین گردید. برای سنجش مقدار کارتنوئیدها، مقدار جذبی برحسب میلی‌گرم بر گرم، در رابطه زیر قرار داده شد (Ashraf *et al*., 1994).

کلروفیل a =[۱۲/۷ (جذب در ۶۶۳nm) – ۲/۶۹ (جذب در ۶۴۵nm)] v/(۱۰۰۰×w)

کلروفیل b =[۲۲/۹ (جذب در ۶۴۵nm) – ۴/۶۹ (جذب در ۶۶۳nm)] v/(۱۰۰۰×w)

کلروفیل کل =[۲۰/۲ (جذب در ۶۴۵nm) +۸/۰۲ (جذب در ۶۶۳nm)] v/(۱۰۰۰×w)

کاروتنوئید =(۱۰۰۰A_1- ۴۷۰/۸ CL_a - ۸۵/۰۲ CL_b) × ۱۹۸

ارزیابی درصد فعالیت آنتی‌اکسیدانی یا میزان مهار رادیکال آزاد diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) با استفاده از روش Suhanya و همکاران (2009) انجام شد. میزان فنول کل نیز براساس روش رنگ‌سنجی فولین–سیوکالتیو اندازه‌گیری شد (Maizura *et al*., 2011).

برداشت گیاهان در حداکثر رشد گیاه و با حذف حاشیه از یک مترمربع در اواخر خرداد ماه انجام شد. وزن تر و وزن خشک پس از خشک کردن نمونه‌ها در آون به مدت ۷۲ ساعت در دمای ۷۰ درجه، انجام شد. اسانس‌گیری نیز پس از خشکاندن گیاهان برداشت شده در سایه (۳۰ گرم نمونه به روش تقطیر با آب، با استفاده از دستگاه کلونجر به‌مدت سه ساعت بعد از جوش آمدن در آزمایشگاه گیاهان دارویی دانشکده کشاورزی دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان) انجام شد و بازده اسانس براساس وزن خشک نمونه محاسبه گردید.

رابطه ۱: میزان اسانس (درصد) = (وزن اسانس / وزن خشک گیاه (۳۰ گرم)) ×۱۰۰

رابطه۲: عملکرد اسانس (گرم در مترمربع) = ماده خشک برگ (گرم در مترمربع) × درصد اسانس

قبل از انجام تجزیه وتحلیل داده‌ها، ابتدا آزمون نرمال بودن داده‌ها انجام و بعد عمل تجزیه واریانس انجام شد. میانگین‌های بدست آمده با آزمون دانکن در سطح احتمال خطای پنج درصد مورد مقایسه قرار گرفتند. محاسبات آماری با استفاده از نرم‌افزار SAS نسخه ۹/۱ انجام شد.

نتایج

اثر متقابل کود نیتروژن و اسید سالیسیلیک در همه صفات مورد بررسی بجز درصد فعالیت آنتی‌اکسیدانی معنی‌دار شد (جدول ۲).

به‌طوری‌که برهم‌کنش اسید سالیسیلیک و کود نیتروژن بر کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل و کاروتنوئید در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد. اثرهای اصلی تنها در سطوح نیتروژن در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار گردید ولی اثر اصلی اسید سالیسیلیک معنی‌دار نشد (جدول ۲).

جدول ۲- تجزیه واریانس تأثیر اسید سالیسیلیک و نیتروژن بر صفات گیاه دارویی علف‌لیمو

Table 2. ANOVA of salicylic acid and nitrogen effects on lemongrass traits

S.O.V.	d.f.	Mean Squares									
		Chlorophyll *a*	Chlorophyll *b*	Total Chlorophyll	Carotenoids	Total fresh weight	Total dry weight	Antioxidant activity percentage	Leaf total phenols	Essential oil percentage	Essential oil yield
Replication	2	0.00002^{ns}	0.00000002^{ns}	0.00002^{ns}	0.49*	90005^{ns}	155^{ns}	122*	8.48*	0.01*	31.6*
Salicylic acid (S)	2	0.00006^{ns}	0.000004^{ns}	0.00005^{ns}	0.15^{ns}	227^{ns}	23723^{ns}	2.05^{ns}	24.5**	0.01*	227**
Nitrogen (N)	4	0.0024**	0.00003**	0.0030**	2.96**	19005560**	1302634**	79.9*	62.8**	0.03**	1572**
S × N	8	0.0003**	0.00001**	0.0004**	0.91**	750603**	112898**	36.4^{ns}	19.7**	0.04**	271**
Experimental error	28	0.00007	0.000002	0.00007	0.16	118388	21143	32.9	2.91	0.003	9.87
C.V. (%)		9.17	16.3	8.68	12.0	9.06	13.7	6.64	8.69	7.95	8.28

^{ns}, *, and **: non-significant, significant at 5, and 1% probability levels, respectively.

نتایج مقایسه میانگین تیمارها (جدول ۳) نشان داد که بالاترین میزان کلروفیل a، کلروفیل b و کلروفیل کل در تیمار شاهد (عدم کاربرد) اسید سالیسیلیک و تیمار ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن به ترتیب با میانگین ۰/۱۲، ۰/۰۱ و ۰/۱۳ میلی‌گرم به گرم و کمترین میزان در تیمار شاهد کود نیتروژن و عدم کاربرد اسید سالیسیلیک به ترتیب با میانگین ۰/۰۵، ۰/۰۰۷ و ۰/۰۶ میلی‌گرم به گرم مشاهده شد. تفاوت میان کمترین و بالاترین میزان کلروفیل a، کلروفیل b و کلروفیل کل به ترتیب ۱۴۰، ۴۲ و ۱۱۶ درصد بود. بیشترین مقدار کاروتنوئید در برهم‌کنش اسید سالیسیلیک و کود نیتروژن مربوط به تیمار شاهد (عدم کاربرد) اسید سالیسیلیک و تیمار ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن با میانگین ۴/۳۰ میلی‌گرم به گرم بود و کمترین میزان مربوط به تیمار شاهد کود نیتروژن و عدم کاربرد اسید سالیسیلیک با میانگین ۲/۲۳ بود (جدول ۳) که با بالاترین مقدار کاروتنوئید ۸۴ درصد اختلاف داشت. براساس نتایج (جدول ۲) برهم‌کنش اسید سالیسیلیک و کود نیتروژن و اثرهای اصلی کود نیتروژن تأثیر معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد بر روی وزن تر و خشک کل داشت. درصورتی که اثرهای اصلی اسید سالیسیلیک معنی‌دار نشد. بالاترین وزن تر کل با کاربرد ۱۰۰ میکرومولار اسید سالیسیلیک و ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن با میانگین ۵۴۴۷ گرم بر مترمربع به‌دست آمد. کمترین وزن تر کل با میانگین ۱۳۱۶ گرم بر مترمربع در تیمار شاهد (عدم کاربرد) اسید سالیسیلیک و تیمار عدم کاربرد کود نیتروژن مشاهده شد که با بالاترین وزن تر کل ۳۱۳ درصد تفاوت داشت. همچنین بیشترین میزان وزن خشک کل با کاربرد توأم ۱۰۰ میکرومولار اسید سالیسیلیک و ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن (۱۶۵۱ گرم بر مترمربع) و کمترین میزان وزن خشک کل (۳۷۱ گرم بر مترمربع) با عدم کاربرد اسید سالیسیلیک و عدم کاربرد کود نیتروژن به‌دست آمد (جدول ۳) که ۳۴۵ درصد با بالاترین میزان وزن خشک تفاوت داشت. نتایج نشان دادند (جدول ۴) که اثر کود نیتروژن بر درصد آنتی‌اکسیدان در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار شده است؛ در حالی که در شرایط برهم‌کنش اسید سالیسیلیک و کود نیتروژن و اثر اصلی اسید سالیسیلیک نتایج معنی‌داری مشاهده نشد. در بین سطوح کود مورد بررسی بیشترین میزان مربوط به تیمار ۱۵۰ کیلوگرم کود نیتروژن با میانگین ۸۹/۸ درصد می‌باشد و کمترین مربوط به تیمار ۵۰ کیلوگرم کود نیتروژن با میانگین ۸۲/۶ درصد است (جدول۴). نتایج تجزیه واریانس حکایت از اثر معنی‌دار اثرمتقابل اسید سالیسیلیک و کود نیتروژن و اثرهای اصلی کود نیتروژن و اسید سالیسیلیک در سطح احتمال یک درصد بر فنول کل داشت (جدول ۲). بالاترین مقدار فنول کل (۲۴/۶ میلی‌گرم گالیک اسید در گرم برگ خشک) از بکارگیری تیمار ۱۰۰ میکرومولار اسید سالیسیلیک و ۵۰ کیلوگرم کود نیتروژن به‌دست آمد و کمترین مقدار فنول کل با اختلاف ۷۰ درصد با کاربرد ۱۰ میکرومولار اسید

سالیسیلیک و ۱۰۰ کیلوگرم کود نیتروژن حاصل شد (جدول ۳). درصد و عملکرد اسانس نیز تحت تأثیر اثرمتقابل اسید سالیسیلیک و کود نیتروژن و اثرهای اصلی کود نیتروژن و اسید سالیسیلیک در سطح احتمال یک درصد قرار گرفت (جدول ۲).

بیشترین درصد اسانس با کاربرد ۱۰ میکرومولار اسید سالیسیلیک و ۱۵۰ کیلوگرم کود نیتروژن (۰/۸۷ درصد) و کمترین میزان آن با اختلاف ۴۲ درصد با عدم کاربرد اسید سالیسیلیک و ۱۵۰ کیلوگرم کود نیتروژن (۰/۴۵ درصد) مشاهده شد (جدول ۳). همچنین بالاترین عملکرد اسانس در تیمار ۱۰ میکرومولار اسید سالیسیلیک و ۱۵۰ کیلوگرم کود نیتروژن (۶۵/۶ گرم در مترمربع) و کمترین مقدار آن با اختلاف ۲۶۰ درصد با عدم کاربرد اسید سالیسیلیک و عدم کاربرد کود نیتروژن (۱۸/۲ گرم در مترمربع) به‌دست آمد (جدول ۳).

جدول ۳- مقایسه میانگین اثر متقابل اسید سالیسیلیک × نیتروژن بر برخی صفات گیاه دارویی علف‌لیمو

Table 3. Means comparison of salicylic acid × nitrogen interaction on lemongrass traits

Salicylic acid (mmol)	Nitrogen (kg.ha^{-1})	Chlorophyll *a* (mg.g^{-1})	Chlorophyll *b* (mg.g^{-1})	Total Chlorophyll (mg.g^{-1})	Carotenoids (mg.g^{-1})	Total fresh weight (g.m^{-2})	Total dry weight (g.m^{-2})	Leaf total phenols (mg gallic acid.g^{-1} DW)	Essential oil (%)	Essential oil yield (g.m^{-2})
0	0	0.05^{h}	0.0074^{e}	0.06^{h}	2.23^{i}	1316^{j}	371^{h}	20.4^{bc}	0.62^{fg}	18.2^{g}
	50	0.0917^{c-f}	0.0086^{c-e}	0.1003^{c-f}	3.51^{c-f}	2927^{j}	806^{g}	24.4^{a}	0.80^{a-c}	25.7^{f}
	100	0.0954^{cd}	0.0113^{ab}	0.1067^{cd}	3.80^{a-d}	4728^{c-e}	1287^{b-d}	16.8^{d-f}	0.82^{a-c}	48.9^{c}
	150	0.12^{a}	0.0129^{a}	0.13^{a}	4.30^{a}	4844^{b-d}	1293^{b-d}	14.7^{f}	0.45^{h}	29.2^{ef}
	200	0.0996^{bc}	0.0108^{a-c}	0.11^{bc}	3.78^{a-d}	5141^{a-c}	1338^{bc}	16.6^{c-e}	0.763^{b-d}	45.08^{c}
10	0	0.0799^{e-g}	0.0072^{e}	0.0872^{fg}	3.28^{d-g}	1405^{j}	431^{h}	19.1^{cd}	0.55^{g}	19.04^{g}
	50	0.1107^{ab}	0.0122^{ab}	0.1230^{ab}	4.09^{a-c}	4102^{fg}	1352^{b}	22.8^{ab}	0.68^{d-f}	29.3^{ef}
	100	0.0863^{c-g}	0.0083^{c-e}	0.0946^{d-g}	2.86^{f-i}	5327^{ab}	1383^{b}	14.4^{f}	0.64^{e-g}	35.1^{d}
	150	0.1142^{a}	0.0120^{ab}	0.1262^{a}	4.20^{ab}	3794^{gh}	1043^{e-g}	21.08^{bc}	0.87^{a}	65.6^{a}
	200	0.0843^{d-g}	0.005^{e}	0.0902^{e-g}	2.38^{hi}	4366^{d-g}	1283^{b-e}	16.05^{ef}	0.75^{b-d}	49.6^{c}
100	0	0.0776^{fg}	0.006^{e}	0.0837^{g}	3.04^{e-h}	1605^{j}	473^{h}	20.7^{bc}	0.65^{ef}	19.1^{g}
	50	0.0944^{cd}	0.0109^{a-c}	0.1054^{cd}	3.61^{b-e}	3377^{hj}	1051^{d-f}	24.6^{a}	0.73^{c-e}	34.4^{de}
	100	0.0766^{g}	0.0078^{de}	0.0844^{g}	2.64^{g-i}	5447^{a}	1651^{a}	22.6^{ab}	0.760^{b-d}	47.4^{c}
	150	0.1132^{ab}	0.0127^{ab}	0.1259^{a}	4.25^{ab}	4161^{e-g}	1102^{c-f}	16.9^{d-f}	0.78^{a-c}	45.8^{c}
	200	0.0933^{c-e}	0.0102^{b-d}	0.1035^{c-e}	3.18^{d-g}	4387^{d-f}	1021^{fg}	20.2^{bc}	0.84^{ab}	56.04^{b}

In each column, means with common letters are in the same statistical group at 5% probability level (Duncan test).

اثرمتقابل اسید سالیسیلیک و کود نیتروژن بر درصد فعالیت آنتی‌اکسیدانی معنی‌دار نشد اما اثر کود نیتروژن معنی‌دار گردید (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین سطوح کود نیتروژن (جدول ۴) نشان داد که بالاترین درصد فعالیت آنتی‌اکسیدانی مربوط به کاربرد ۱۵۰ کیلوگرم کود نیتروژن در هکتار بود (بدون تفاوت معنی‌دار با سطوح کودی ۱۰۰، ۲۰۰ و عدم کاربرد کود نیتروژن) و کمترین درصد فعالیت آنتی‌اکسیدان با اختلاف ۸/۷ درصد با کاربرد ۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار به‌دست آمد.

جدول ۴- مقایسه میانگین اثر متقابل اسید سالیسیلیک × نیتروژن بر فعالیت آنتی‌اکسیدانی گیاه دارویی علف‌لیمو

Table 4. Means comparison of salicylic acid × nitrogen interaction on lemongrass antioxidant activity

Salicylic acid (mmol)	Nitrogen (kg.ha^{-1})	Antioxidant activity (%)
0	0	81.3^{ab}
	50	86.7^{ab}
	100	87.6^{ab}
	150	89.5^{ab}
	200	85.01^{ab}
10	0	84.4^{ab}
	50	80.6^{ab}
	100	89.4^{ab}
	150	90.2^{a}
	200	89.1^{ab}
100	0	90^{ab}
	50	80.4^{b}
	100	89.8^{ab}
	150	89.6^{ab}
	200	81.2^{ab}

In each column, means with common letters are in the same statistical group at 5% probability level (Duncan test).

جدول ۵- مقایسه میانگین اثر نیتروژن و اسید سالیسیلیک بر فعالیت آنتی‌اکسیدانی گیاه دارویی علف‌لیمو

Table 5. Means comparison of nitrogen and salicylic acid effects on lemongrass antioxidant activity

		Antioxidant activity (%)
Nitrogen (kg.ha^{-1})	0	85.2^{ab}
	50	82.6^{b}
	100	88.9^{a}
	150	89.8^{a}
	200	85.1^{ab}
Salicylic acid (mmol)	0	86.6^{a}
	10	86.7^{a}
	100	86.2^{a}

In each column, means with common letters are in the same statistical group at 5% probability level (Duncan test).

بحث

نتایج این پژوهش تأثیر مثبت کاربرد کود نیتروژن بر رنگیزه‌های فتوسنتزی را نشان داد. اگر نیتروژن موجود کمتر یا بیشتر از نیاز گیاه باشد، می‌تواند باعث اختلال در فرایندهای حیاتی گیاه شود (Heidari *et al*., 2020). بیوسنتز کلروفیل بدون حضور نیتروژن یا کمبود آن در کلروپلاست اتفاق نمی‌افتد، بنابراین محدودیت و کمبود نیتروژن باعث کاهش سرعت فتوسنتز و بیوسنتز کلروفیل می‌شود. افزودن نیتروژن به محیط‌های تکثیر منجر به افزایش سرعت ظاهر برگ، تعداد برگ و محتوای کلروفیل برگ می‌شود (Heidari *et al*., 2020). اثر افزایشی کود نیتروژن و اسید سالیسیلیک بر وزن تر و خشک کل گیاه علف‌لیمو نشان از نقش ویژه نیتروژن در استقرار گیاه و کسب توانایی‌های فتوسنتزی و فیزیولوژیک متعدد دارد که در نهایت تأثیر مستقیم بر عملکرد دارد (Ghorbani Nasrabadi *et al*., 2022). در آزمایشی افزایش کود نیتروژن باعث افزایش تعداد برگ نعناع فلفلی گردید، زیرا نیاز گیاه را از لحاظ نیتروژن تأمین می‌کرد و سبب افزایش فراورده‌های فتوسنتزی و در نتیجه افزایش رشد رویشی و در نهایت افزایش زیست‌توده گیاه می‌شود (Izadi *et al*.,

2010). در پژوهشی، کاربرد اسید سالیسیلیک در مقایسه با شاهد، باعث افزایش وزن تر و خشک علف‌لیمو به میزان ۲۶.۱٪ و ۴۳.۴٪ گردید (Khan *et al.*, 2023). نتایج تحقیقی روی گیاه مرزه (*Satureja hortensis* L.) نشان داد که مصرف نیتروژن باعث افزایش تعداد برگ و شاخه‌دهی نسبت به نمونه شاهد شد؛ از این‌رو کاربرد کودهای آلی مناسب می‌تواند در افزایش بهبود خصوصیات کمی و کیفی گیاه مؤثر باشد (Arvin, 2019).

اثر معنی‌دار مصرف کود نیتروژن بر درصد فعالیت آنتی‌اکسیدانی می‌تواند بدلیل قابلیت دسترسی گیاه به عناصر غذایی و افزایش عملکرد گیاه و میزان فعالیت آنتی‌اکسیدان باشد (Nouri Hosseini *et al.*, 2018). به‌طوری‌که نتایج تحقیقی روی پنبه نشان داد فعل و انفعالات بین سطوح مناسب نیتروژن می‌تواند فعالیت آنزیم آنتی‌اکسیدانی پنبه را افزایش دهد (Shi *et al.*, 2023). هر چند اثر اسید سالیسلیک معنی‌دار نشد ولی اسید سالیسیلیک با توجه به غلظت، زمان و گیاه مورد استفاده دارای اثر دوگانه‌ای است و در غلظت‌های مناسب با کاهش تخریب رنگیزه‌های فتوسنتزی مانند کلروفیل‌ها، افزایش توان آنتی‌اکسیدانی سلول و سنتز پروتئین‌های جدید، از دستگاه فتوسنتزی حمایت می‌کند (Popova *et al.*, 2003).

در مورد کاهش محتوای فنول کل با کاربرد کود نیتروژن، می‌توان بیان کرد که با افزایش مقدار کود، تولید برگ‌ها و سایه‌انداز گیاه بیشتر می‌شود، از سوی دیگر توسعه برگ‌های جوان که در حال ساخت متابولیت‌های اولیه هستند (و کمتر به تبدیل متابولیت‌های اولیه به ثانویه می‌پردازند)، ممکن است منجر به کاهش محتوای فنول کل در برگ علف‌لیمو شود. در گزارشی سنتز منوترپن‌ها تا ۲۱ روز از عمر برگ نعناع فلفلی (*Mentha piperita* L.) به سرعت در حال افزایش بوده و پس از ۲۱ روز، تجمع منوترپن‌ها با سرعت ثابت ادامه داشته، از این‌رو برگ‌هایی که در حال توسعه هستند نسبت به برگ‌هایی که کاملاً رشد کرده‌اند، میزان منوترپن‌های کمتری دارند (Gershenzon *et al.*, 2000). اسید سالیسیلیک نیز به‌عنوان یک الیسیتور شیمیایی نقش مهمی در افزایش تولید ترکیب‌های فنولی، کربوهیدرات‌ها و اسیدهای آمینه نعناع فلفلی دارد (Figueroa *et al.*, 2014). گزارش شده است که کاربرد نیتروژن تأثیر منفی معنی‌داری بر سطوح ترکیب‌های فنولی گیاه ریحان (*Ocimum basilicum* L.) رقم اپال و جنوویس دارد، به‌طوری‌که بالاترین مقدار آن در ۰/۱ میلی‌مول نیتروژن مصرفی و کمترین آن در ۰/۵ میلی‌مول نیتروژن مصرفی به‌دست آمد (Nguyen & Niemeyer, 2008).

اگرچه تولید اسانس گیاهی تحت تأثیر فرایندهای ژنتیک می‌باشد ولی سنتز آنها به‌طور بارزی تحت تأثیر عوامل محیطی مانند مقدار و نوع تغذیه معدنی قرار می‌گیرد (Arvin, 2019). در آزمایشی محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک در شرایط تغذیه کودهای شیمیایی نیتروژنی باعث افزایش وزن خشک، رنگیزه‌های فتوسنتزی، عناصر غذایی و عملکرد اسانس در نعناع فلفلی شد (Abdou, 2014 & Mohamed). گزارش شده است که اسید سالیسیلیک، اسانس علف‌لیمو را از طریق تحریک پارامترهای رشد، افزایش جمعیت غده‌های ترشح اسانس و افزایش کربوهیدرات‌های گیاه افزایش داده است (Idrees *et al.*, 2010). در یک نتیجه‌گیری کلی می‌توان بیان کرد که مصرف مقدار صحیح از منبع مناسب کود نیتروژن در طول دوره رشد گیاه، نقش عمده‌ای در افزایش عملکرد و کارایی مصرف کود دارد. نتایج این آزمایش نشان داد که افزایش مصرف نیتروژن (مصرف ۱۰۰ تا ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار) در منطقه مورد مطالعه، نتیجه بهتری داشت، زیرا به نوعی کمبود نیتروژن را در خاک جبران کرد. همچنین براساس نتایج، غلظت‌های اسید سالیسیلیک در شرایط مصرف و عدم مصرف نیتروژن اغلب واکنش متضادی را به‌دنبال داشت. به‌طوری‌که در بیشتر موارد، غلظت بالای اسید سالیسیلیک (۱۰ تا ۱۰۰ میکرومولار) در زمان مصرف مقادیر بالای نیتروژن (۱۵۰ کیلوگرم در هکتار) تأثیر چشمگیری بر اغلب صفات مورد بررسی نشان داد، اما در زمان عدم مصرف کود، کاربرد غلظت بالای اسید سالیسیلیک (به‌عنوان یک الیسیتور) به نوعی با ایجاد تنش و کاهش فعالیت آنزیمی،

محتوای نیتروژن و سایر خصوصیات گیاه نتیجه مطلوبی درپی نداشت. بنابراین برای دستیابی به عملکرد مناسب (عملکرد تر و خشک و اسانس) در زراعت علف‌لیمو در شرایط آب و هوایی اهواز، مصرف ۱۰۰ تا ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن همراه با کاربرد غلظت‌های تا ۱۰۰ میکرومولار اسید سالیسیلیک توصیه می‌شود.

References

- Arvin, p., 2019. Study of Different Levels of Nitrogen, Phosphorus and Potassium on Physiological and Morphological Parameters and Essential Oils in Savory Plant (*Satureja hortensis* L.). Journal of Plant Research (Iranian Journal of Biology), 32(2): 260-279.
- Abdou, M. and Mohamed, M.A.H., 2014. Effect of plant compost, salicylic and ascorbic acids on *Mentha piperita* L. plants. Biological Agriculture and Horticulture, 30(2): 131-143.
- Ali, W.N. and atrakchii, A.O.Al., 2022. Effect of Gibberellic, Salicylic Acids, and NPK Fertilizers on growth and chemical constituents of Rosemary plants (*Rosmarinus officinalis* L.). Journal of Pharmaceutical Negative Results, 13(3): 1842-1850.
- Arnon, D.I., 1949. Copper enzymes in isolated chloroplasts. Poly phenoloxidase in beta vulgaris. Plant physiolojy, (24): 1-15.
- Ashraf, M.Y., Azim, A.R., Khan, H. and Ala, S.A., 1994. Effect of water stress and total phenols, peroxidase activity and chlorophyll content in wheat. Acta physiology plantarum, 16 (3): 185-191.
- Alizadeh, P., Sodaizadeh, H., Mosleh Arani, A. and Hakimzadeh, M.A., 2023. The effect of cultivation system on the morphological, physiological and biochemical characteristics of lemon grass (*Cymbopogon citratus*). Dry Bom Scientific Journal, 13(1): 1-19.
- Bagherifard, A., Bagheri, A., Sabourifard, H., Bagherifard, G. and Najar, M., 2015. The effect of salicylic acid on some morphological and biochemistry parameters under salt stress in herb artichoke (*Cynara scolymus* L.). Research Journal of Fisheries and Hydrobiology, 10(10): 745-750.
- Melkamu, H.S., Belstie, L. and Aynalem, G., 2019. Effects of Nitrogen and Phosphorous Fertilizers on Herbage Yield, Essential oil Yield and Essential Oil Content on Lemongrass (Cymbopogon Citratus L.). Academic Research Journal of Agricultural Science and Research, 7(5): 231-237
- Figueroa Perez, M.G., Rocha-Guzman, N.E., Mercado- Silva, E., Loarca-Pina, G. and Reynoso-Camacho, R., 2014. Effect of chemical elicitors on peppermint (*Mentha piperita*) plants and their impact on the metabolite profile and antioxidant capacity of resulting infusions. Food Chemistry, 156: 273-278.
- Ghorbani Nasrabadi, Q., Dardipour, I., Barani Mutlaq, M., Malekzadeh, E. and Koranjiki, A., 2022. Investigating the effect of nitrogen application management in combination with salicylic acid on the growth and yield of wheat in saline soils -a case study of Anbar Elum soils in Golestan province. Journal of soil management and sustainable production, 11(1): 149-164.
- Gershenzon, J., McConkey, M.E. and Croteau, R.B., 2000. Regulation of monoterpene accumulation in leaves of peppermint. Plant Physiology, 122: 205-213.
- Heidari, N., Shekari, F., Golchin, A. and Sehati, N., 2020. Interaction of nitrogen stress and salicylic acid on physiologic and photosynthetic characteristics of borage (*Borago officinials* L.). Journal of Plant Process and Function, 34(8): 37-48.
- Izadi, Z., Ahmadvand, G., Asna Ashri, M. and Piri, J., 2010. Effect of nitrogen and plant density on some growth characteristic, yield and essence in peppermint. Iranian Journal of Field Crops Research, 41: 824-836.
- Idrees, M., Khan, M.M.A., Aftab, T., Naeem, M. and Hashmi, N., 2010. Salicylic acid-induced physiological and biochemical changes in lemongrass varieties under water stress. Journal of Plant Interaction, 5: 293-303.
- Khan, M.M.A., Resalat, A., Naushin, Q., Nausheen, Kh. and Moin, U., 2023. Steam-mediated foliar application of catechol and plant growth regulators enhances the growth attributes, photosynthesis, and essential oil production of lemongrass [*Cymbopogon flexuosus* (Steud.) Wats]. Biocatalysis and Agricultural Biotechnology, 48. 102638P.
- Maizura, M., Aminah, A. and Wan Aida, W.M., 2011. Total phenolic content and antioxidant activity of Kesum (*Polygonum minus*), Ginger (*Zingiber officinale*) and Turmeric (*Curcuma longa*) extract. International Food Research Journal, 18(2): 529-534.
- Mirzaei, M., Ladan Moghadam, A., Hakimi, L. and Danaee, E., 2020. Plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) improve plant growth, antioxidant capacity, and essential oil properties of lemongrass (*Cymbopogon citratus*) under water stress. Iranian Journal of Plant Physiology, 10: 3155-

3166.
- Nouri Hosseini, S., M. Khorasani, R., Astarai, A., Rizvani Moghadam, P. and Zabihi, H., 2018. The effect of different fertilizer sources and humic acid on the morphological characteristics, yield and antioxidant content of black cumin seed (*Bunium persicum Boiss*). Agricultural Applied Research Journal, 29(4): 113.
- Nguyen, P.M. and Niemeyer, E.D., 2008. Effects of nitrogen fertilization on the phenolic composition and antioxidant properties of basil (*Ocimum basilicum* L.). Journal of Agricultural and Food Chemistry, 56: 8685-8691.
- Pushtdar, A., Abdali Mashhadhi, A., Moradi, F., Siadat, S.A. and Bakshandeh, A.M., 2019. Effects of salicylic acid and nitrogen application on biochemistry, qualitative and quantitative yield of peppermint (*Mentha piperita* L.). Iranian Journal of medicinal and aromatic plants, 34(2): 309-329.
- Pushtdar, A., Abdali Mashhadhi, A., Moradi, F., Siadat, S.A. and A., Bakshandeh, M., 2017. The effect of the type and amount of nitrogen fertilizer on the yield and efficiency of water and nitrogen consumption in peppermint (*Mentha piperita* L.). Journal of Agricultural Sciences of Iran, 18(1): 14-31.
- Popova, L., Ananieva, V., Hristova, V., Christov, K., Geovgieva, K., Alexieva, V. and Stoinova, Z., 2003. Salicylic acid and methyl jasmonate- induced protection on photosynthesis to paraquat oxidative stress. Bulgarian Journal of Plant Physiology, (Special Issue), 133-152.
- Suhanya, P., Juzaili, B., Azizi, R., Ismail, S., Sasidharan, S. and Mahsufi, M., 2009. Evaluation of antioxidant and antibacterial activities of aqueous, methanolic and alkaloid extracts from *Mitragyna speciosa* (Rubiaceae family) leaves. Molecules, 14: 3964-3974.
- Shi, F., Wang, F., Fu, J., Chen, B., Huanyong, H. and Honghai, L., 2023. Nitrogen fertilizer combined with DPC+ chemical topping agent can improve cotton yield by enhancing antioxidant enzyme activity and improving the endogenous hormone balance. Industrial Crops and Products, 116934.
- Sani Khani, M., Akbari, A. and Khairi, A., 2021. The effect of phenylalanine and tryptophan on morphological and physiological traits of Abu Jahl watermelon (*Citrullus colocynthis* L.). Journal of Plant Process and Function, 35(9): 317-327.