Effect of Sodium Nitroprusside on Morphophysiological Characteristics and Essential Oil Percentage of Basil at Different Hoagland Concentrations

Pages 71-86

F. Hashemi[1], S-A. Bolandnazhar *[2], S. Alizadeh Salteh[3] and A. Motallebi-Azar[4]

1, 2 , 3 & 4) Department of Horticultural Science and Engineering, University of Tabriz, Tabriz, Iran.

*Corresponding author**: bolandnazar@tabrizu.ac.ir**

Received date: 2024.06.30 **Accepted date: 2024.10.05**

Abstract

Considering the nutritional and medicinal value of basil, the aim of this study was to investigate the effect of different concentrations of triacantanol at two different Hoagland concentrations on the growth characteristics and essential oil percentage of this plant. In this experiment, to achieve the highest biomass to increase the active ingredient, plants were cultivated hydroponically and application of nutrient solution was performed with two concentrations of complete Hoagland and half-strength Hoagland, and the elicitor sodium nitroprusside was used in three concentrations (concentrations of 0, 13 and 26 mg/L), and the yield of vegetative and physiological traits and the percentage of essential oil were measured. The results of comparing the average data showed that sodium nitroprusside improved the physiological characteristics and essential oil percentage when using complete Hoagland in hydroponic cultivation, so that the highest chlorophyll index, flavonoid and essential oil percentage were obtained in the treatment of 26 mg/L sodium nitroprusside in complete Hoagland nutrient solution, and the lowest values of these traits were obtained in conditions without spraying and without using Hoagland nutrient solution. Therefore, with the aim of increasing the yield and also increasing the essential oil percentage, the use of a concentration of 26 mg/L sodium nitroprusside is recommended. Considering that the use of complete Hoagland nutrient solution in hydroponic cultivation conditions improved the physiological characteristics and increased the amount of essential oil of the plant, which can be economically and pharmacologically justified and can be used to increase secondary metabolites in basil plants

Keywords: Growth stimulants, flavonoids, secondary metabolites and foliar spraying**.**

تأثیر سدیم نیتروپروساید بر خصوصیات مورفوفیزیولوژیکی و درصد اسانس ریحان در غلظت‌های متفاوت هوگلند

شماره صفحات
۷۱-۸۶

فاطمه هاشمی[۱]، صاحبعلی بلندنظر*[۲]، سعیده علیزاده سالطه [۳] و علیرضا مطلبی‌آذر[۴]

۱، ۲ و ۳) گروه علوم و مهندسی باغبانی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.

*. نویسنده مسئول: **bolandnazar@tabrizu.ac.ir:**

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۴/۱۰ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۷/۱۴

چکیده

با توجه به ارزش غذایی و دارویی ریحان، هدف از انجام این تحقیق، بررسی تاثیر غلظت های مختلف سدیم نیتروپروساید در دو غلظت مختلف هوگلند بر خصوصیات رشدی و درصد اسانس این گیاه بود. در این آزمایش برای دستیابی به بیشترین بیوماس جهت افزایش ماده موثره، گیاهان به صورت هیدروپونیک کشت شدند و محلول‌دهی توسط دو غلظت هوگلند کامل و ۱/۲ هوگلند صورت پذیرفت و از الیسیتور سدیم نیتروپروساید در سه غلظت (غلظت۰، ۱۳ و ۲۶ میلی‌گرم در لیتر) استفاده شد و عملکرد صفات رویشی و فیزیولوژیکی و درصد اسانس اندازه‌گیری شد. نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که سدیم نیتروپروساید باعث بهبود خصوصیات فیزیولوژیکی و درصد اسانس در هنگام استفاده از هوگلند کامل در کشت هیدروپونیک شد، به طوری که بیشترین میزان شاخص کلروفیل، فلاونوئید و درصد اسانس در تیمار ۲۶ میلی‌گرم در لیتر سدیم نیتروپروساید در محلول غذایی هوگلند کامل به دست آمد و کمترین مقدار این صفات در شرایط بدون محلول پاشی و بدون استفاده از محلول غذایی هوگلند به دست آمد. بنابراین با هدف افزایش عملکرد و همچنین افزایش درصد اسانس، استفاده از غلظت ۲۶ میلی‌گرم در لیتر سدیم نیتروپروساید پیشنهاد می‌شود. با توجه به اینکه استفاده از محلول غذایی هوگلند کامل در شرایط کشت هیدروپونیک، باعث بهبود خصوصیات فیزیولوژیکی و افزایش میزان اسانس گیاه شد که می‌تواند از نظر اقتصادی و دارویی قابل توجیه و قابل استفاده برای افزایش متابولیت‌های ثانویه در گیاه ریحان باشد.

واژه‌های کلیدی: محرک‌های رشد، فلاونوئید، متابولیت‌های ثانویه و محلول‌پاشی.

مقدمه

گیاه دارویی ریحان گیاهی علفی، یکساله و معطر بوده و متعلق به تیره نعناع است که حدود ۱۵۰ گونه بوته‌ای و علفی برای این جنس معرفی شده است. ریحان همانند سایر گیاهان خانواده نعناع منبع ترکیبات مختلف از قبیل اسانس است که دافع حشرات بوده و عملکرد ضدانگلی، ضدباکتریایی، ضدقارچی و آنتی‌اکسیدانی دارد و در صنایع آرایشی و بهداشتی نیز استفاده می‌شود. همچنین از برگ این گیاه برای تقویت حافظه و اعصاب استفاده می‌شود. گیاه ریحان دیرباز به طور سنتی به عنوان یگ گیاه زینتی و دارویی در درمان بیماری‌هایی چون سردرد، سرفه، اسهال، ناراحتی‌های کلیوی و همچنین برای مداوای بزرگ شدن طحال مورد استفاده قرار می‌گیرد (Juliani and Simon, 2002; Jayasinghe *et al*., 2003). کشت بدون خاک یکی از موثرترین راهکارهای افزایش کارایی مصرف آب و استفاده بهینه از کودها و امکانات موجود در راستای پرورش گیاهان می‌باشد که در مقایسه با کشت خاکی سبب افزایش عملکرد به ازای واحد سطح، افزایش کیفیت آن و کاهش آلودگی‌های میکروبی و شیمیایی می‌گردد (Gonnella, 2003). با رشد جمعیت و افزایش نیاز غذایی جوامع، نیاز به تولید بیشتر و کیفیت بالاتر گیاهان دارویی می‌باشد. لذا کشت هیدروپونیک و استفاده از الیسیتورهایی که تولید متابولیت‌های ثانویه را بالا می‌برند، حائز اهمیت می‌باشد. امروزه استفاده از انواع اسیدهای آلی برای بهبود خصوصیات کمی و کیفی محصولات زراعی و باغی رواج پیدا کرده است (Heidari and Minaei, 2014). الیسیتورها، محرک‌های فیزیکی یا ترکیبات شیمیایی با منشأ زیستی و غیرزیستی هستند که می‌توانند پاسخ‌هایی را در گیاه القاء کرده که باعث سنتز و تجمع متابولیت‌های ثانویه در سلول‌ها شوند. الیسیتورها برای گیاه، یک سری پیام‌های شیمیایی را ارسال نموده که سبب رها شدن پاسخ‌های فیزیولوژیکی و مورفولوژیکی می‌شود. طی پاسخ به سیگنال الیسیتور، سیستم دفاعی گیاه فعال می‌شود و درنتیجه بیان ژن‌های دفاعی، متابولیت‌های ثانویه تجمع می‌یابند (Bharti *et al*., 2023). استفاده از الیسیتورها یکی از مؤثرترین راهکارها برای افزایش تولید ترکیبات ثانویه مطلوب در اندام و سلول گیاهان است. الیسیتورها ممکن است ژن جدیدی را فعال نموده که آنزیم‌ها و درنهایت مسیرهای بیوسنتزی مختلفی را راه‌اندازی و باعث تشکیل متابولیت‌های ثانویه شود. شروع پاسخ‌های دفاعی در گیاه شبکه‌ای از انتقال سیگنال را القاء می‌کند که با تشخیص الیسیتور توسط پذیرنده‌های سطح سلول شروع می‌شود (Thakur *et al*., 2019). سدیم نیتروپروساید یک رادیکال نسبتاً پایدار و یک ترکیب رهاکننده نیتریک اکسید است که به عنوان تنظیم کننده رشد در گیاهان، در پژوهش‌های مختلف مورد توجه قرار گرفته است (Duan *et al*., 2007). این ترکیب در انگیزش تندش بذر، تقسیم یاخته‌ای، افزایش مقدار سبزینه و بسیاری از فرایندهای دیگر یاخته دخالت داشته و با واکنش با گونه‌های فعال اکسیژن آسیب ناشی از آن‌ها را کاهش می‌دهد (Corpas *et al*., 2011; Hayat *et al*., 2010; Liu *et al*., 2018). اکسید نیتریک یک مولکول فعال زیستی می‌باشد که در گیاهان توسط مسیرهای آنزیمی و غیر آنزیمی تحت شرایط تنش در اندام‌های مختلف گیاه تولید می‌شود و واکنش‌های دفاعی گیاه را تنظیم و تعدیل می‌کند (Lei *et al*., 2007). اثر کاربرد سدیم نیتروپروساید در بهبود رشد گیاهان مختلف تحت تنش‌های

محیطی از طریق افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدان و متابولیت‌های ثانویه توسط پژوهشگران متعددی گزارش شده است (Laspina *et al*., 2005: Li *et al*., 2008: Nasibi and Kalantari, 2009: Tian. and Li, 2006; Maurya and Rani, 2017; Sandalio *et al*., 2012). مولکول اکسید نیتریک به‌عنوان یک پیام رسان ثانویه، باعث افزایش فعالیت آنزیم فنیل آلانین آمونیالیاز در گیاه گوجه فرنگی شده که این آنزیم باعث افزایش ساخت ترکیبات فنلی باعث افزایش تحمل گیاه در برابر تنش‌های اسمزی می‌گردد (Nasibi and Kalantari, 2009). به نظر می‌رسد اکسید نیتریک با افزایش تولید متابولیت‌های دفاعی از جمله ترکیبات فنلی در گیاه موجب افزایش مقاومت در برابر تنش‌های مختلف محیطی می‌گردد (Laspina *et al*., 2005). Fan *et al*. (2012) در بررسی اثرات کاربرد خارجی NO در *Dendrobium huoshanense* گزارش نمودند که تیمار با ۵۰ میکرومولار SNP محتوای نسبی آب و آنزیم‌های آنتی اکسیدانت را افزایش داده است، اما غلظت‌های بالاتر آن اثرات تنش خشکی را تشدید نموده است. محلول پاشی گیاهان با SNP گیاهان را از صدمات اکسیداتیو به وسیله محدود کردن آنیون سوپراکسید و رادیکال لیپید و فعال سازی آنزیم‌های آنتی اکسیدانت و بیان ژن محافظت می‌نماید. Laspina *et al* (2005) گزارش کردند که رشد بوته‌های آفتابگردان پیش تیمار شده با ۰/۵ میلی مولار سدیم نیتروپروساید در شرایط تنش بهتر از گیاهان تیمار نشده بود و علائمی از قبیل کلروزه شدن و لکه‌های نکروزه در برگ‌ها، کاهش در کلروفیل و محتوای نسبی آب برگ با کاربرد این ماده کاهش یافت. با توجه به اثرات مثبت سدیم نیتروپروساید بر گیاهان و اهمیت گیاه ریحان از لحاظ دارویی و غذایی، این پژوهش با هدف بررسی میزان تأثیر سدیم نیتروپروساید بر بهبود خواص فیتوشیمیایی گیاه دارویی ریحان در کشت هیدروپونیک در محلول غذایی هوگلند کامل و ۱/۲ هوگلند مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

تحقیق حاضر به منظور بررسی تأثیر سدیم نیتروپروساید (۰، ۱۳، ۲۶ میلی‌گرم در لیتر) و دو غلظت محلول غذایی (هوگلند کامل و ۱/۲ هوگلند) (جدول ۱) در سه تکرار بر برخی از خصوصیات مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی و درصد اسانس گیاه ریحان به صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در سال زراعی ۱۳۹۸ – ۱۳۹۷ در گلخانه تحقیقاتی هیدروپونیک دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز با عرض جغرافیایی ۳۸ درجه و ۲۷ دقیقه عرض شمالی، ۴۶ درجه و ۲۷ دقیقه طول شمالی و با ارتفاع ۱۵۷۶ متر از سطح دریا انجام گرفت. مطالعات آزمایشگاهی نیز در آزمایشگاه فیزیولوژی سبزی‌ها و گیاهان دارویی دانشکده کشاورزی انجام شد. در این پژوهش، بذرها از شرکت پاکان بذر اصفهان تهیه شد. در هفته اول رویش تا استقرار کامل گیاه، آب و محلول غذایی هوگلند ۱/۲ اعمال شد. برای این منظور ابتدا بذرهای یکسان با سدیم هیپوکلریت ۰/۵ درصد به مدت یک دقیقه ضدعفونی شده و بذرها در سینی نشا کشت شده و بعد از رشد بذرها، زمانی که گیاه به اندازه ۴ تا ۵ برگی رسید، نشاهای آماده به گلدان‌هایی با اندازه شماره ۱۰ با حجم ۷/۵ لیتر و بستر کشت پرلایت با اندازه متوسط و کوکوپیت به نسبت ۳ به ۱ انتقال داده شدند. پس از انتقال نشا به گلدان‌ها، تیمارهای محلول غذایی اعمال شدند. نسبت عناصر پرمصرف و کم

مصرف در محلول غذایی هوگلند کامل در جدول ۲ آورده شده است. محلول‌های غذایی با اضافه کردن نمک‌ها به مقدار تعیین شده به بشکه‌های ۲۰۰ لیتری تهیه شدند. محلول‌رسانی به گیاهان به صورت دستی و روزانه صورت پذیرفت. pH محلول غذایی با استفاده از اسید فسفریک و اسید نیتریک در محدوده ۶ نگهداری شد. EC محلول غذایی نیز به طور مداوم کنترل شده و هر ۷ تا ۱۰ روز یکبار به منظور جلوگیری از تجمع نمک، آبشویی بستر کشت صورت گرفت. برای ممانعت از رشد جلبک و رسیدن نور به محلول غذایی از پوشش‌های نایلونی تیره بر روی بشکه‌های حاوی محلول غذایی استفاده شد. لازم به ذکر است در زمان استفاده، pH هوگلند کامل ۵/۹۹ و EC آن ۱/۷۸ دسی زیمنس بر متر مربع بود. در مورد هوگلند ۱/۲ این مقادیر به ترتیب عبارت بودند از: ۵/۹۳ و ۱/۰۲ دسی زیمنس بر متر مربع.

جدول ۱. غلظت عناصر در محلول‌های غذایی هوگلند کامل و ۱/۲ هوگلند (mg/L)

Table 1. Nutrient element levels in complete and ½-diluted Hoagland solutions (mg/L)

عناصر غذایی Nutrient Element	هوگلند کامل Full Hoagland	۱/۲ هوگلند ½ Hoagland
N	232.6	116.3
K	230	115
Ca	179	89.5
P	24	12
S	113	56.5
Mg	49	24.5
Fe	3.0	1.5
Cl	1.8	0.9
B	0.3	0.15
Mn	0.1	0.05
Zn	0.01	0.005
Cu	0.03	0.015
Mo	0.03	0.015

جدول۲- مقادیر نمک‌های تشکیل‌دهنده محلول غذایی هوگلند کامل

Table 2- Quantities of salts composing the complete Hoagland nutrient solution.

ترکیبات Compounds	غلظت محلول استوک (mg/L) Stock Solution Concentration (mg/L)	مقدار نهایی (ml/L) Final Amount (ml/L)
Macronutrients		
KH_2PO_4	135	1
KNO_3	101	5
$Ca(NO_3)_2$	236	5
$MgSO_4$	246	2
	Micronutrients	
H_3BO_3	2.86	
$MnCl_2$	1.86	
$ZnSO_4$	0.22	1
$CuSO_4$	0.08	
H_2MoO_4	0.02	
Iron Chelate	5	1

بررسی فاکتورهای مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی گیاه

بعد از اتمام آزمایش در مرحله گلدهی، تعداد شاخه‌های فرعی گل‌دهنده در یک بوته شمارش شد. قطر شاخه اصلی با

کولیس و برحسب میلی‌متر انداه‌گیری شد. همچنین ارتفاع هر نمونه در گلدان اندازه‌گیری شد، به این صورت، که ارتفاع هر شاخه از سطح بستر (تقریباً یقه) تا جوانه انتهایی با خط‌کش اندازه‌گیری شد. پس از برداشت قسمت رویشی در پایان آزمایش یعنی در زمان قبل از گلدهی، وزن تر اندام هوایی اندازه‌گیری شد و سپس در شرایط سایه و در دمای اتاق (دمای تقریبی ۲۵ درجه سانتی‌گراد) به مدت ۷ روز نگهداری شده تا خشک شوند، سپس وزن هوا خشک آن‌ها اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری وزن تر ریشه، پس از بیرون آوردن از محلول غذایی ابتدا با آب معمولی و سپس با آب مقطر شسته شدند. رطوبت اضافی ریشه‌ها با کاغذ خشک‌کن گرفته شد و سپس وزن تر آن‌ها اندازه‌گیری شد.

شاخص کلروفیل

شاخص نسبی کلروفیل با استفاده از دستگاه SPAD-Hansatech مدل Cl-01 قرائت شد.

کلروفیل a، b، کلروفیل کل و کاروتنوئید

میزان کلروفیل a، b، کل و کاروتنوئید با استفاده از روش پورا (۲۰۰۲) با نمونه‌گیری تصادفی از برگ‌های بالغ و عصاره‌گیری با استون ۸۰ درصد اندازه‌گیری شد. برای این کار ابتدا حدود ۰/۲۵ گرم از نمونه برگی هر گلدان به‌صورت تصادفی جدا شد و در داخل فویل آلومینیومی پیچیده و پس از قرار دادن بر روی یخ، به آزمایشگاه منتقل شدند. سپس ۰/۲۵ گرم نمونه برگی را در هاون چینی با ۵ میلی‌لیتر استون ۸۰ درصد ساییده شد تا به‌صورت محلول یکنواختی درآمد. نمونه‌ها به لوله‌های سانتریفیوژ منتقل و به‌مدت ده دقیقه با سرعت ۳۵۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ شدند. در مرحله بعد میزان جذب نور محلول با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج‌های ۴۷۰، ۶۴۵ و ۶۶۲ نانومتر قرائت گردید. در نهایت مقدار جذب نمونه‌ها در روابط جاگذاری و مقدار کلروفیل a (رابطه ۱)، کلروفیل b (رابطه ۲)، کلروفیل کل (رابطه ۳) و کاروتنوئید (رابطه ۴) محاسبه شد. گزارش نهایی مقادیر بر حسب میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ بیان شده است.

رابطه ۱: $\mathrm{Chl_a\ (mg/g)} = [(12.25 \times \mathrm{A_{662}}) - (2.55 \times \mathrm{A_{645}})] \times [\mathrm{V/W}]$

رابطه ۲: $\mathrm{Chl_b\ (mg/g)} = [(20.31 \times \mathrm{A_{645}}) - (4.91 \times \mathrm{A_{662}})] \times [\mathrm{V/W}]$

رابطه ۳: $\mathrm{Chl_t (mg/g)} = \mathrm{Chl_a} + \mathrm{Chl_b}$

رابطه ۴: $\mathrm{Chl(x+c)(mg/g)} = (1000\ \mathrm{A_{470}} - 2.27\ \mathrm{C_a} - 81.4\ \mathrm{C_b})/227$

Chla: کلروفیل a، Chlb: کلروفیل b، Chlt: کلروفیل کل، Chl(x+c): کاروتنوئید (گزانتوفیل + کاروتن).

فلاونوئید

محتوای فلاونوئید کل عصاره‌ها با استفاده از روش Chang *et al* (2002) به روش رنگ سنجی کلرید آلومینیوم اندازه‌گیری

شد. برای این منظور، بر روی ۵ میکرولیتر از عصاره متانولی گیاه، ۱۵۰میکرولیتر نیتریت سدیم ۵ درصد، ۳۰۰ میکرولیتر کلرید آمونیوم ۱۰ اضافه شد. پس از ۵ دقیقه، یک میلی‌لیتر هیدروکسید سدیم ۱ مولار اضافه شد و درنهایت با آب مقطر به حجم ۵ میلی‌لیتر رقیق شد. پس از ۴۰ دقیقه نگهداری در دمای اتاق، میزان جذب عصاره نمونه‌ها در طول موج ۳۸۰ نانومتر توسط دستگاه اسپکتروفتومتر قرائت شد.

درصد اسانس

به‌منظور تعیین ویژگی کمی اسانس، استخراج اسانس از آن در مرحله گلدهی به صورت تقطیر با آب و توسط دستگاه کلونجر انجام شد. بدین منظور ۲۵ گرم از اندام هوایی گیاه (که قبلاً در معرض هوای آزاد و سایه کاملاً خشک شده) توزین گردید و با استفاده از آسیاب برقی خرد گردید و در بالن یک لیتری ریخته شد و به حجم یک سوم بالن آب مقطر اضافه شد و با استفاده از دستگاه کلونجر نمونه‌ها اسانس‌گیری شدند. مدت اسانس‌گیری سه ساعت در نظر گرفته شد.

رابطه ۵: $$\text{درصد اسانس} = \frac{\text{جرم اسانس}}{\text{وزن اندام هوایی}} \times 100$$

تجزیه و تحلیل داده‌ها

تجزیه واریانس داده‌ها با استفاده از نرم افزار SPSS (Ver. 20) در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد. همچنین مقایسه میانگین تیمارها توسط آزمون چند دامنه ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد انجام شد و برای رسم نمودارها از نرم افزار اکسل (Excel) استفاده شد.

نتایج و بحث

تجزیه و تحلیل آماری و بررسی تجزیه واریانس صفات مورفولوژیک که تحت تیمار سدیم نیتروپروساید قرار گرفته‌اند، نشان می‌دهد که تجزیه واریانس صفت مورفولوژیک تعداد شاخه‌های جانبی تحت تاثیر اثر متقابل محلول غذایی هوگلند و سدیم نیتروپروساید در سطح احتمال ۵٪ دارای معنی‌دار بود (جدول ۳). در حالی که اثر متقابل محلول هوگلند و تیمار سدیم نیتروپروساید بر سایر صفات معنی دار نبود. بیشترین تعداد شاخه جانبی تحت تیمار هوگلند کامل و ۱۳ میلی‌گرم در لیتر سدیم نیتروپروساید مشاهده گردید (جدول ۴). همان طور که در جدول (۵) نشان داده شده است، میانگین سایر صفات مورفولوژیک مورد بررسی شامل، قطر شاخه اصلی، طول ساقه، وزن تر گیاه، وزن خشک گیاه، درصد ماده خشک، سطح کل بوته، تعداد برگ و وزن ریشه نسبت به دو محلول غذایی هوگلند کامل و هوگلند ۱/۲ مورد مقایسه و تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفتند. نتایج آنالیز آماری نشان می‌دهد که محلول غذایی هوگلند کامل تاثیر مثبت و معنی داری در افزایش سطح این صفات می‌تواند ایفا کند. تجزیه واریانس صفات مورفولوژیک تعداد شاخه جانبی، قطر شاخه اصلی، سطح کل بوته، وزن ریشه نشان دهنده اختلاف معنی دار این صفات در غلظت‌های مختلف سدیم نیتروپروساید بود (جدول ۳). با توجه به مقایسه میانگین داده ها، افزایش

غلظت سدیم نیتروپروساید به میزان ۱۳ میلی‌گرم بر لیتر در مقایسه با شاهد بیشترین میزان صفات مورفولوژیک را در برداشته است (جدول ۶).

جدول ۳: تجزیه واریانس اثر محلول غذایی هوگلند و سدیم نیترو پروساید بر صفات مورفولوژیک ریحان

Table 3: Analysis of variance (ANOVA) of the effects of Hoagland nutrient solution and sodium nitroprusside on morphological traits of basil

S.O.V	df	میانگین مربعات Mean Square				
		تعداد شاخه جانبی Branch number	قطر شاخه اصلی Stem diameter (mm)	طول ساقه Stem length (cm)	وزن تر گیاه Fresh weight (g)	وزن خشک گیاه Dry weight (g)
هوگلند Hoagland	1	1.389 ns	4.857 **	105.125 *	2038.457 **	67.454 **
SNP	2	21.056 **	0.459 *	15.337 ns	116.693 ns	0.018 ns
SNP × هوگلند Hoagland × SNP	2	7.389 *	0.080 ns	4.594 ns	100.545 ns	1.687 ns
خطا Error	12	1.111	0.070	13.257	49.769	0.704

ns، * و ** به ترتیب غیرمعنی دار، معنی دار در سطح ۵٪ و معنی دار در سطح ۱٪

*, **,ns : Non-significant, significant at 5% level, and significant at 1% level, respectively.

ادامه جدول ۳: تجزیه واریانس اثر محلول غذایی هوگلند و سدیم نیترو پروساید بر صفات مورفولوژیک ریحان

Table 3 (continued): Analysis of variance for Hoagland solution and sodium nitroprusside effects on basil morphological traits

S.O.V	df	میانگین مربعات Mean Square					
		درصد ماده خشک Dry matter (%)	سطح کل بوته Canopy area (mm^2)	سطح برگ Leaf area (mm^2)	تعداد برگ Leaf number	وزن ریشه Root weight (g)	طول ریشه Root length (cm)
هوگلند Hoagland	1	23.619 **	234324.888 **	4.440 ns	1263.066 *	214.728 **	56.003 ns
SNP	2	3.670 ns	77262.816 **	1.929 ns	433.066 ns	43.806 *	1.167 ns
اثر متقابل Hoagland × SNP	2	2.446 ns	25516.254 ns	10.319 ns	88.654 ns	1.776 ns	13.014 ns
خطا Error	12	1.801	7511.321	3.901	137.114	12.233	18.608

ns، * و ** به ترتیب غیرمعنی دار، معنی دار در سطح ۵٪ و معنی دار در سطح ۱٪

*, **,ns : Non-significant, significant at 5% level, and significant at 1% level, respectively.

جدول ۴: مقایسه میانگین صفات اثر متقابل سدیم نیتروپروساید و هوگلند

Table 4: Mean comparison of interaction effects between sodium nitroprusside and Hoagland solution on measured traits

No.	غلظت محلول غذایی هوگلند Hoagland Solution	غلظت SNP SNP (mg/L)	میانگین تعداد شاخه جانبی Mean Lateral Branches
1	Full Hoagland	0	15.6667^{d}
2	Full Hoagland	13	21.3333^{a}
3	Full Hoagland	26	20.0000^{ab}
4	½ Hoagland	0	17.6667^{c}
5	½ Hoagland	13	19.3333^{bc}
6	½ Hoagland	26	18.3333^{bc}

جدول ۵: مقایسه میانگین صفات اندازه گیری شده در دو غلظت محلول هوگلند

Table 5: Mean comparison of measured traits under two Hoagland solution concentrations

Hoagland Concentration	قطر شاخه اصلی Stem Diameter (mm)	طول ساقه Stem Length (cm)	وزن تر گیاه Fresh Weight (g)	وزن خشک گیاه Dry Weight (g)	درصد ماده خشک Dry Matter (%)	سطح کل بوته Canopy Area (mm²)	تعداد برگ Leaf Number	وزن تر ریشه Root Fresh Weight (g)
Hoagland (100%)	6.039 a	42.111 a	71.143 a	9.020 a	12.754 a	87124.8 a	82.445a	31.058a
½ Hoagland (50%)	5.000 b	37.278 b	49.860 b	5.148 b	10.463 b	64301.6 b	65.692b	24.150 b

جدول ۶: مقایسه میانگین صفات اندازه گیری شده در ۳ غلظت سدیم نیترو پروساید

Table 6: Comparison of the mean measured traits at 3 sodium nitroprusside concentrations

Treatment	غلظت SNP SNP Concentration (mg/L)	قطر شاخه اصلی Main Stem Diameter (mm)	سطح کل بوته Total Plant Area (mm²)	وزن تر ریشه Fresh Root Weight (g)
1	0	5.2417b	6.2648b	25.2650 b
2	13	7.7950a	8.3110a	30.5617 a
3	26	5.5217 ab	8.1380a	26.9850 ab

احتمالاً غلظت‌های زیاد سدیم نیتروپروساید با تولید گونه‌های فعال نیتروژن اثرات بازدارندگی گونه‌های فعال اکسیژن را شدیدتر کرده و احتمالاً به دستگاه فتوسنتزی گیاه آسیب رسانده و منجر به کاهش رشد گیاه می‌شود (Jasid *et al.*, 2006). به نظر می‌رسد که سدیم نیتروپروساید به علت نقش اصلی در تقویت فعالیت‌های بیولوژیک مانند رشد و نمو، فتوسنتز، جذب و انتقال یون‌ها و تغییر فعالیت برخی آنزیم‌های مهم موجب بهبود صفات رشدی شده است (El-Tayeb, 2005). در پژوهشی گزارش شده است که کاربرد سدیم نیتروپروساید می‌تواند باعث افزایش مقدار ماده خشک و وزن تر ریشه شود (Yasir et al., 2021). در گزارش دیگری نقش مثبت سدیم نیتروپروساید روی فلفل مشاهده شد (Ye *et al.*, 2019). نتایج پژوهش‌های متعدد نشان می‌دهد که استفاده از سدیم نیتروپروساید باعث افزایش شاخص‌های رشد و عملکرد گیاهان می‌شود (Mohasseli & Sadeghi, 2019; Brito et al., 2021). بر اساس نتایج تجزیه واریانس، میانگین شاخص کلروفیل، کاروتنوئید، فلاونوئید و میزان اسانس در اثرات متقابل محلول غذایی هوگلند و سدیم نیتروپروساید معنی‌دار می‌باشد (جدول ۷).

جدول ۷: تجزیه واریانس اثر محلول غذایی هوگلند و سدیم نیتروپروساید بر صفات فیزیولوژیک ریحان

Table 7: Analysis of variance (ANOVA) of the effect of Hoagland's solution and sodium nitroprusside on physiological traits of basil

منبع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean Square				
		کلروفیل a Chl-a	کلروفیل b Chl-b	کلروفیل کل Total Chl	کاروتنوئید Carotenoid	فنل کل Total Phenol
هوگلند Hoagland	1	130.919ns	179.2910ns	729.6570ns	1.525ns	161.039ns
سدیم نیتروپروساید SNP	2	480.960 ns	361.310ns	705.673ns	141.158ns	182.994ns
اثر متقابل Hoagland × SNP	2	564.201ns	2086.006ns	2250.977ns	1002.789*	220.494ns
خطای آزمایش Error	12	779.549	2275.980	3974.822	238.848	169.523

ns،*، ** به ترتیب غیرمعنی دار، معنی دار در سطح ۵٪ و معنی دار در سطح ۱٪

*, **,ns **:** Non-significant, significant at 5% level, and significant at 1% level, respectively.

جدول ۷ (ادامه): تجزیه واریانس اثر محلول غذایی هوگلند و سدیم نیتروپروساید بر صفات فیزیولوژیک ریحان

Table 7 (continued): Analysis of variance of the effect of Hoagland's solution and sodium nitroprusside on physiological traits of basil

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean Square			
		شاخص کلروفیل Chlorophyll Index	فلاونوئید Flavonoids	فعالیت آنتی‌اکسیدانی Antioxidant Activity	میزان اسانس Essential Oil Content
هوگلند Hoagland	1	133.879**	75799.604**	337.759**	0.021**
SNP	2	5.63*	1013.329*	14.705ns	0.004**
اثر متقابل Hoagland × SNP	2	38.232**	7577.775**	71.728ns	0.005**
خطای آزمایش Error	12	1.299	159.783	25.442	0.001

ns،*، ** به ترتیب غیرمعنی دار، معنی دار در سطح ۵٪ و معنی دار در سطح ۱٪

*, **,ns **:** Non-significant, significant at 5% level, and significant at 1% level, respectively.

جدول ۸: مقایسه میانگین اثر متقابل سدیم نیتروپروساید و هوگلند بر صفات فیزیولوژیک

Table 8: Mean comparison of interaction effects between sodium nitroprusside and Hoagland on physiological traits

تیمار Treatment	غلظت محلول غذایی هوگلند Hoagland Conc.	غلظت SNP (mg/L)	شاخص کلروفیل Chlorophyll Index	کاروتنوئید Carotenoid (mg/g)	فلاونوئید Flavonoid (mg/L)	میزان اسانس Essential Oil
1	هوگلند کامل Full Hoagland	0	31.22b	28.9637 b	2.9731 b	0.12 d
2	هوگلند کامل Full Hoagland	13	36.7667a	57.3548ab	3.4060 a	0.175 bcd
3	هوگلند کامل Full Hoagland	26	37.3a	61.4116 a	3.4722 a	0.225 ab
4	هوگلند ۱/۲ 1/2 Hoagland	0	31.4233b	59.3636 a	2.4168 c	0.25 a
5	هوگلند ۱/۲ 1/2 Hoagland	13	29.7bc	44.3340 ab	2.0417 d	0.22 ab
6	هوگلند ۱/۲ 1/2 Hoagland	26	27.8c	45.7791 ab	1.4992 e	0.25 a

بر اساس نتایج مقایسه میانگین اثرات متقابل هوگلند و سدیم نیتروپروساید، سطح کاروتنوئیدها در محلول غذایی هوگلند ۱/۲ با افزایش غلظت سدیم نیتروپروساید به میزان ۲۶ میلی‌گرم بر لیتر کاهش یافت؛ این در حالی است که استفاده از محلول غذایی هوگلند کامل منجر به افزایش سطح کاروتنوئیدها تا سطح سه برابر نمونه شاهد گردید. همچنین استفاده از محلول غذایی هوگلند کامل و افزایش غلظت سدیم نیترو پروساید باعث افزایش شاخص کلروفیل شد (جدول ۸). با توجه به نتایج مقایسه میانگین داده‌ها با افزایش غلظت سدیم نیتروپروساید، شاخص کلروفیل در گیاهان تغذیه شده با محلول غذایی هوگلند کامل افزایش یافت، ولی در محلول غذایی ۱/۲ هوگلند با افزایش غلظت سدیم نیتروپروساید میزان فلاونوئید کاهش یافت (جدول ۸). در ارتباط با تأثیر مثبت سدیم نیتروپروساید بر بهبود شاخص کلروفیل می‌توان اظهار داشت سدیم نیتروپروساید یک ترکیب رها کننده اکسید نیتریک است، اکسید نیتریک خود یک گونه فعال نیتروژن است که می‌تواند به عنوان یک عامل آنتی اکسیدان، گونه‌های اکسیژن فعال را جمع‌آوری کند و از بین برد (Asadi sanam *et al*., 2014). پروتئین‌هایی که در متابولیسم کلروفیل شرکت می‌کنند نیز می‌توانند هدف ROSها قرار گرفته و تخریب شوند. همچنین در برخی بررسی‌ها گزارش شده

است که در حضور سدیم نیتروپروساید دسترسی گیاه به آهن بیشتر است و این نیز می‌تواند یکی از نقش‌های نیتریک اکسید در حفظ محتوای کلروفیل گیاه باشد (Beligni and Lamattina, 2000; Fan *et al.*, 2014). در پژوهشی مشخص شد که پیش تیمار گیاه با غلظت‌های ۱۰۰ میکرومولار با کمتر سدیم نیتروپروساید می‌تواند از طریق تداخل با گونه‌های اکسیژن فعال یا القای آنزیم‌های آنتی اکسیدان نقش حفاظتی داشته باشد (Nasibi and Kalantari, 2010). همچنین بررسی تأثیر محلول پاشی سدیم نیتروپروساید بر رنگیزه‌های فتوسنتزی نشان داد که محلول پاشی با هر دو غلظت ۵۰ و ۱۰۰ میکرومولار سدیم نیترو پروساید کلروفیل را افزایش داد (Arab *et al.*, 2015). در مطالعه‌ای دیگر پژوهش گران پی بردند که کاربرد مقدار ۰/۱ میلی مول سدیم نیتروپروساید، پیری برگ‌های گوجه فرنگی را با جلوگیری از تخریب کلروفیل و پروتئین‌های محلول به ویژه روبیسکو به تاخیر انداخت (Shehab *et al.*, 2010). کاربرد سدیم نیتروپروساید با رهاسازی نیتریک اکسید در گیاه باعث افزایش فعالیت H^+- ATPase غشا می‌شود و از این طریق جذب یون‌های معدنی توسط ریشه و در نتیجه تغذیه گیاه را بهبود می‌بخشد (Palmgren and Harper, 1999) و این امر می‌تواند در بهبود سنتز رنگیزه‌های فتوسنتزی در گیاه موثر باشد. نتایج مطالعه Arshan *et al.* (2023) نشان داد که بیشترین میزان کلروفیل در نعناع فلفلی در کاربرد سدیم نیتروپروساید ۰/۲ میلی‌مولار به‌دست آمد. همچنین در این پژوهش اثر محلول غذایی بر فعالیت آنتی اکسیدانی در سطح یک درصد معنی دار بود (جدول ۷). بیشترین میزان فعالیت آنتی اکسیدانی در غلظت ۱/۲ هوگلند به دست آمد (۰/۱۷۴۳) در حالی که در غلظت کامل هوگلند این میزان ۰/۱۴۶۹ بود. این نتیجه در راستای هدف این پژوهش مبنی بر افزایش فعالیت آنتی اکسیدانی تحت غلظت کمتر محلول هوگلند و دسترسی مواد غذایی بود. در ارتباط با سطح فلاونوئید نیز می‌توان به این نکته اشاره نمود که سطح فلاونوئید در محلول غذایی هوگلند کامل در تیمار با غلظت‌های مختلف سدیم نیتروپروساید روند افزایشی را نشان داد، در حالی که استفاده از محلول غذایی هوگلند ۱/۲ همراه با تیمارهای مختلف منجر به ایجاد روند کاهشی در سطح فلاونوئید گردید، به طوری که با افزایش غلظت سدیم نیتروپروساید، میزان فلاونوئید در محلول غذایی هوگلند کامل افزایش یافت، ولی در محلول غذایی ۱/۲ هوگلند با افزایش غلظت سدیم نیتروپروساید میزان فلاونوئید کاهش یافت (جدول ۸). Wu و همکاران (۲۰۱۲) نشان دادند که در میوه *Myrica rubra* Seib آغشته کردن میوه‌ها به ۲۰ میلی گرم بر لیتر سدیم نیتروپروساید باعث افزایش فعالیت ترکیبات فنلی می‌شود. همچنین این تحقیق نشان داد که تیمار با سدیم نیتروپروساید باعث افزایش سنتز ترکیبات آنتی اکسیدان می‌شود. Duan و همکاران (۲۰۰۷) گزارش کردند که غوطه وری میوه‌های لیچی در ۱ میلی مولار سدیم نیتروپروساید باعث افزایش فعالیت آنتی اکسیدانی این میوه‌ها و همچنین حفظ و افزایش میزان ترکیبات فنلی بعد از ۶ روز نگهداری در دمای ۲۸ درجه سانتی‌گراد شد. ترکیبات فنلی دارای اثرات بیولوژیکی چندگانه‌ای هستند که از آن جمله می‌توان به فعالیت آنتی اکسیدانی آن‌ها اشاره کرد (Loliger, 1991). فعالیت آنتی اکسیدانی ترکیبات فنلی به دلیل داشتن خصوصیات اکسایش-کاهش آن‌ها می‌باشد. Ganjewala و همکاران (۲۰۰۸) گزارش کردند که تیمار سدیم نیتروپروساید در برگ‌های نخود باعث افزایش

فلاونوئیدها می‌شود که این احتمالا از طریق مهار اثرات فتوسنتزی است. سدیم نیتروپروساید به عنوان آزاد کننده نیتریک اکسید، به طور قابل توجهی از وارد شدن آسیب اکسیداتیو به لوپین (Kopyra and Gwozdz, 2003) و کدو (Fan et al., 2007) جلوگیری می‌کند. اثرگذاری نیتریک اکسید به زمان استفاده، مرحله رشد گیاه نوع واریته و شرایط زیست محیطی بستگی دارد (Wu *et al*., 2010). در گزارش اسماعیل‌زاده بهابادی و همکاران (۲۰۱۵) میزان ترکیبات فنولی تحت تأثیر غلظت‌های مختلف سدیم نیتروپروساید افزایش یافت. به نظر می‌رسد که رادیکال نیتروژن آزاد شده از سدیم نیتروپروساید به طور غیرمستقیم با تحت تأثیر قرار دادن سوخت و ساز کربوهیدرات‌ها، این ترکیبات را به سمت تولید ترکیبات فنولی هدایت می‌کند (Nasibi *et al*., 2009). بر اساس نتایج مقایسه میلانگین داده ها، میزان اسانس در محلول غذایی هوگلند کامل نسبت به هوگلند ۱/۲ به میزان معنی داری افزایش یافت. در صورتی که در محلول غذایی هوگلند ۱/۲ با افزایش غلظت سدیم نیتروپروساید در سطح اسانس معنی دار نیست. باتوجه به نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نشان داده شد که استفاده از سدیم نیتروپروساید تأثیر معنی‌داری روی درصد اسانس گذاشت، به طوری که با افزایش غلظت سدیم نیتروپروساید درصد اسانس بیشتر شد. با توجه به نتایج به دست آمده بیشترین میزان درصد اسانس در غلظت ۲۶ میلی‌گرم بر لیتر سدیم نیتروپروساید در محلول غذایی هوگلند کامل به دست آمد و کمترین میزان مربوط به شرایط بدون محلول‌پاشی بود (جدول ۸). افزایش میزان اسانس در اثر مصرف سدیم نیترو پروساید به دلیل نقش مهم نیتروژن در توسعه و تقسیم سلول‌های جدید حاوی اسانس، کانال‌های اسانس، مجاری ترشحی و کرک‌های غده‌ای می‌باشد که این اثرات را می‌توان به ترکیب نیتروژن رها شده از سدیم نیترو پروساید نسبت داد (Nasibi, 2011; Gohari et al., 2020; Farouk, and Al-Huqail, 2020). سدیم نیتروپروساید به عنوان تنظیم‌کننده رشد گیاهی، سبب تحریک تولید متابولیت‌های ثانویه از جمله اسانس می‌شود (Gohari *et al*., 2020). نتایج گرگینی شبانکاره و خراسانی-نژاد (۱۳۹۵) نشان داد که استفاده از سدیم نیتروپروساید باعث افزایش درصد اسانس در مرزه شد. در مطابقت با پژوهش حاضر، در پژوهش‌های متعددی به اثرهای مثبت سدیم نیتروپروساید بر تولید ترکیبات مؤثره مانند اسانس در گیاهان دارویی اشاره دارد (Mohasseli and Sadeghi, 2019; Asadi-Sanam *et al*., 2014).

نتیجه‌گیری

بنابر نتایج به دست آمده از این پژوهش، کاربرد ۲۶ میلی‌گرم در لیتر سدیم نیتروپروساید تأثیر مثبتی بر خصوصیات فیزیولوژیکی و درصد اسانس ریحان داشت. با توجه به افزایش روزافزون کاربرد گیاهان دارویی به ویژه ریحان در صنایع مختلف و تقاضای زیاد این گیاه، به منظور تولید بیشترین درصد اسانس، کاربرد ۲۶ میلی‌گرم در لیتر سدیم نیتروپروساید پیشنهاد می‌شود. همچنین برای افزایش میزان بیوماس و عملکرد گیاه غلظت ۱۳ میلی‌گرم در لیتر سدیم نیتروپروساید پیشنهاد می‌شود. در این تحقیق با توجه به مزایای استفاده از سیستم هیدروپونیک در ایجاد شرایط مناسب کشت گیاهان به خصوص به صورت تجاری و اهمیت تأمین محلول غذایی مناسب جهت رشد مناسب گیاه، از سیستم هیدروپونیک همراه با دو غلظت محلول غذایی

۱/۲ هوگلند و کامل استفاده گردید. بر اساس نتایج، استفاده از محلول غذایی هوگلند کامل تأثیر بسزایی در افزایش و بهبود خصوصیات فیزیولوژیکی دارد. بنابراین بر اساس نتایج می‌توان ادعا نمود که استفاده از محلول غذایی هوگلند کامل در شرایط کشت هیدروپونیک منجر به افزایش خصیوصیات فیزیولوژیک و افزایش میزان اسانس گیاه می‌گردد که می‌تواند از نظر اقتصادی و دارویی قابل توجیه باشد.

منابع

Arab, S., Baradaran Firouzabadi, M., & Asgharipour, M. (2015). The effect of ascorbic acid and sodium nitro prusside sprayed on photosynthetic pigments and some traits of safflower in terms of deficit irrigation. Journal agriculture of Plant Production, 38(4), 14-25. (In Persian).

Arshan, K., Samsampour, D., & Pasalari, H. (2023). Effect of sodium nitroprusside (SNP) on morpho-physiological characteristics of peppermint (*Mentha piperita* L.) under salinity stress. *Journal of Plant Production Research*, *30*(1), 85-102. [In Persian] https://doi.org/10.22069/jopp.2022.20194.2931

Asadi Sanam, S., Zavareh, M., Pirdashti, H., & Hashempour, A. (2014). The effect of sodium nitroprusside (SNP) on some biochemical properties of barley seedlings in salinity. Journal of Plant Production Research, 21(3), 19-32. (In Persian).

Beligni, M.V., & Lamattina, L. (2000). Nitric oxide stimulates seed germination and de-etiolation, and inhibits hypocotyl elongation, three light inducible responses in plants. *Planta*, *210*, 215–221. https://doi.org/10.1007/pl00008128

Bharti, P. K., Singh, S. K., & Kumari, S. (2023). Elicitors: Role in secondary metabolite production in medicinal plants. In: Genetic Manipulation of Secondary Metabolites in Medicinal Plant. Pp. 147-178. Springer Nature, Singapore.

Brito, C., Gonçalves, A., Silva, E., Martins, S., Pinto, L., Rocha, L., Arrobas, M., ˆAngelo Rodrigues, M., Moutinho-Pereira, J.M., & Correia, C. (2021). Kaolin foliar spray improves olive tree performance and yield under sustained deficit irrigation. Scientia Horticulturae, 277: 109795.

Chang, C.C., Yang, M.H., Wen, H.M., & Chern, J.C. (2002). Estimation of total flavonoid content in propolis by two complementary colorimetric methods. *Journal of food and drug analysis*, 10(3), 178-182. https://doi.org/10.38212/2224-6614.2748

Corpas, F. J., Leterrier, M., Valderrama, R., Airaki, M., Chaki, M., Palma, J. M., & Barroso, J. B. (2011). Nitric oxide imbalance provokes a nitrosative response in plants under abiotic stress. Plant Science, 181(5), 604-611.

Duan, X., Su, X., You, Y., Qu, H., Li, Y., & Jiang, Y. (2007). Effect of nitric oxide on pericarp browning of harvested longan fruit in relation to phenolic metabolism. Food Chemistry, 104(2), 571-576.

Duan, X., Su, X., You, Y., Qu, H., Li, Y. & Jiang, Y. (2007). Effect of nitric oxide on pericarp browning of harvested longan fruit in relation to phenolic metabolism. Food Chemistry, 104(2), 571-576.

El-Tayeb, M.A. (2005). Response of barley grains to the interactive effect of salinity and salicylic acid. Plant Grows. Reg. 45: 3. 215-224.

Esmaeilzadeh Bahabadi, S., Rezaei, A., & Najafi, S.H. (2015). Nitric oxide Effect on growth and some physiological parameters of *In vitro* cultured lemon balm (*Melissa officinalis* L.). J. Cell. Tissue. 6: 195-203.

Fan, H., Guo, S., Jiao, Y., Zhang, R., & Li, J. (2007). Effects of exogenous nitric oxide on growth, active oxygen species metabolism, and photosynthetic characteristics in cucumber seedlings under NaCl stress. Front Agriculture China. 1:308–314.

Fan, H., Li, T., Guan, L., Li, Z., Cai, Y., & Lin, Y. (2012). Effect of exogenous nitric oxide on antioxidant and DNA methylation of Dendrobium huoshanense grown under drought stress. Plant Cell Tiss Organ Cult. 109: 307-314.

Fan, H.F., Du, C.X., Ding, L., & Xu, Y.L. (2014). Exogenous nitric oxide promotes waterlogging tolerance as related to the activities of antioxidant enzymes in cucumber seedlings. Russian Journal of Plant Physiology 61(3): 366-373.

Farouk, S., & Al-Huqail, A. A. (2020). Sodium nitroprusside application regulates antioxidant capacity, improves phytopharmaceutical production and essential oil yield of marjoram herb under drought. Industrial Crops and Products, 158, 113034.

Gohari, G., Alavi, Z., Esfandiari, E., Panahirad, S., Hajihoseinlou, S., & Fotopoulos, V. (2020). Interaction between hydrogen peroxide and sodium nitroprusside following chemical priming of Ocimum basilicum L. against salt stress. Physiologia plantarum, 168(2), 361-373.

Gonnella, M., F. Serio, G. Conversa., & Santamaria, P. (2003). Yield and Quality of Lettuce Grown in Floating System Using Different Sowing Density and Plant Spatial Arrangements, Acta Hort. 614:687-692.

Gregini, Sh., & Khorasaninejad, S. (2017). Effects of sodium nitroprusside on physiological, biochemical and essence characteristics of savory (*Satureja khuzestanica*) under deficit water regimes. *Journal of Plant Production Research*, *24*(3), 55-70.

Grob, F., Durner, J., & Gaupels, F. (2013). Nitric oxide, antioxidants and prooxidants in plant defence responses. Plant Science. doi: 10.3389/fpls.

Hayat, S., M. Mori, J. Pichtel., & Ahmad, A. (2010). Nitric Oxide in Plant Physiology. Wiley-VCH -Weinheim. 210 p.

Heidari, M., & Minaei, A. (2014). The effect of drought stress and humic acid on flower yield and concentration of high nutrients in borage (*Borago officinalis* L). *Journal of Plant Production Research*, 21(1), 167-182. (In Persian with English abstract) https://dorl.net/dor/20.1001.1.23222050.1393.21.1.9.9

Jayasinghe, C., Gotoh, N., Aoki, T., & Wada, S. (2003). Phenolics composition and antioxidant activity of sweet basil (*Ocimum basilicum* L.). Journal of Agricultural and Food chemistry, 51(15): 4442-4449.

Juliani, H.R., & Simon, J.E. (2002). Antioxidant activity of basil. Trends in new crops and new uses. ASHS Press, Alexandria, Vesicular-Mucorrizae, 9: 575-579.

Karplus P.A., Daniels M.J., & Herriot, J.R. (1991). Atomic structure of ferredoxin-NadpC reductase, prototype for a structurally novel flavoenzyme family. Science 251:60–66.

Kopyra, M., & Gwozdz, E. A. (2003). Nitric oxide stimulates seed germination and counteracts the inhibitory effect of heavy metals and salinity on root growth of Lupinus luteus. Plant Physiology and Biochemistry, 41: 1011–1017.

Laspina, N.V., Groppa, M.D., Tomaro, M.L., & Benavides, M.P. (2005). Nitric oxide protects sunflower leaves against Cd induced oxidative stress. Journal of Plant Sciences, 169, 323-330.

Li, Q.Y., Niu, H.B., Yin, J., Wang, M.B., Shao, H.B., Deng, D.Z., Chen, X.X., Ren, J.P., & Li, Y.C. (2008). Protective role of exogenous nitric oxide against oxidative stress induced by salt stress in barley (*Hordeum vulgare*). Colloids and Surfaces B: Biointerfa. 56: 220-225.

Loliger. J. (1991). The use of antioxidants in food. In Free Radicals and Food Additives; Aruoma, O. I, Halliwell, B, Eds; Taylor and Francis: London, pp: 129-150.

Maurya, A. K., & Rani, A. (2017) Nitric oxide (NO) and physio-biochemical adaptation in plants against stress. In:

Mittler, R. (2002). Oxidative stress, antioxidants and stress tolerance. Trends Plant Science. 7: 405-410.

Mohasseli, V., & Sadeghi, S. (2019). Exogenously applied sodium nitroprusside improves physiological attributes and essential oil yield of two drought susceptible and resistant specie of Thymus under reduced irrigation. Industrial Crops and Products, 130: 130-136.

Nasibi, F., & Kalantari, K.M. (2009). Influence of nitric oxide in protection of tomato seedling against oxidative stress induced by osmotic stress. Acta. Physiol. Planta. 31: 1037-1044.

Nasibi, F., & Kalantari, K. M. (2010). Influence of nitric oxide in protection of tomato seedling against oxidative stress induced by osmotic stress. Acta Physiology Plant, 31, 1037-1044.

Nasibi, P. (2011). The effect of different concentrations of sodium nitroprusside (SNP) at a discount oxidative damage induced by drought stress in tomato plants. J. Plant Biol. 2 (9): 74-63.

Palmgren, M. G., & Harper, J. F. (1999) Pumping with plant P-type ATPases. Journal of Experimental Botany, 50, 883-893.

Sandalio, L. M., Rodriguez-Serrano, M., Gupta, D. K., Archilla, A., Romero-Puertas, M. C., & del Rio, L. A. (2012) Reactive oxygen species and nitric oxide in plants under cadmium stress: from toxicity to signaling. In: Environmental Adaptations and Stress Tolerance of Plants in the Era of Climate Change (eds. Ahmad, P. and Prasad, M.) Springer, New York, NY.

Shehab, G.G., Ahmad, O.K., & EL- Beltagi, H.S. (2010). Effects of various chemical agents for alleviation of drought stress in rice plants. Notulae Botanicae Horti Agrobotanici, 38(1), 130-148.

Thakur, M., Bhattacharya, S., Khosla, P. K., & Puri, S. (2019). Improving production of plant secondary metabolites through biotic and abiotic elicitation. Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants, 12, 1-12.

Tian, X., & Li, Y. (2006). Nitric oxide treatment alleviates drought stress in wheat seedlings. Biol. Planta. 50: 775-778.

Wu, F., Yang, H., Chang, Y., Cheng, j., Bai, sh., & Yin, j. (2012). Effects of nitric oxide on reactive oxygen species and antioxidant capacity in Chinese Bayberry during storage. Scientia Horticulturae. 135, 106–111.

Yasir, T.A., Khan, A., Skalicky, M., Wasaya, A., Rehmani, M.I.A., Sarwar, N., Mubeen, K., Aziz, M., Hassan, M.M., Hassan, F.A., & Iqbal, M.A. (2021). Exogenous sodium nitroprusside mitigates salt stress in lentil (*Lens culinaris* medik.) by affecting the growth, yield, and biochemical properties. Mole. 26: 9. 1-13.

Ye, L., Zhao, X., Bao, E., Cao, K., & Zou, Z. (2019). Effects of arbuscular mycorrhizal fungi on watermelon growth, elemental uptake, antioxidant, and photosystem II activities and stressresponse gene expressions under salinity-alkalinity stresses. Front. Plant Sci. 10: 2. 863-872.