Archive of SID

Iranian Journal of Plant Biology, Vol. 11, No. 1, 2019

Effect of different spraying concentrations of jasmonic acid and titanium dioxide nanoparticles on some physiological traits and antioxidant system activity of Sage (*Salvia officinalis* L.)

Ayoub Mazarie[1], Seyed Mohsen Mousavi-nik[2], Ahmad Ghanbari[3], Leila Fahmideh[4*]

[1.] Department of Plant Breeding and Biotechnology, Faculty of Agriculture, University of Zabol, Iran

[2.] Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, University of Zabol, Iran

[3.] Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, University of Zabol, Iran

[4.] Department of Plant Breeding and Biotechnology, Faculty of Agriculture, University of Zabol, Iran

Abstract

In order to evaluate the effects of various concentrations of Jasmonic acid and nano-titanium dioxide (NTD), as two elicitors, on the activity of antioxidant defensive system (enzymatic and non-enzymatic) and physiological traits of sage, a factorial experiment in a completely randomized design with three replications was conducted at the University of Zabol. Trial treatments consisted of three concentrations of Jasmonic acid (0 as control, 75 and 150 mg/L) and titanium dioxide (0 as control, 50 and 100 mg/L), respectively. Comparing the mean values showed that increasing the concentration of NTD would result in a significant increase of the concentrations of traits examined so that with increasing the concentration of NDT (treatment with 100 mg/L), traits such as essential oil, chlorophyll a, chlorophyll b and total chlorophyll, relative water content, proline, phenol, peroxidase, ascorbate peroxidase, guaiacol peroxidase, superoxide dismutase and catalase would also have an increasing trend compared to the control treatment. Also, with increasing the concentration of Jasmonic acid (treatment with 150 mg/L), traits such as relative water content, chlorophyll a, chlorophyll b and chlorophyll total, proline, essential oil, phenol, peroxidase, ascorbate peroxidase, guaiacol peroxidase, superoxide dismutase and catalase would have an increasing trend compared to the control treatment. The results of correlation showed a significant positive correlation ($P<0.01$) between the concentration of essential oil and phenolic compounds with that of total chlorophyll and also among antioxidant enzymes. According to the results, using Jasmunic acid and titanium dioxide individually, would have positive effects on the activity of antioxidant system and physiological traits of Sage**.**

Keywords: Antioxidant enzyme, Essential oil, Growth regulators, Photosynthetic pigments, Nanoparticles

* Corresponding Author: leila.fahmideh@yahoo.com/l.fahmideh@uoz.ac.ir

Copyright©2019, University of Isfahan. This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (http://creativecommons.org/licenses/BY-NC-ND/4.0), which permits others to download this work and share it with others as long as they credit it, but they cannot change it in any way or use it commercially.

www.SID.ir

Archive of SID

زیست‌شناسی گیاهی ایران، سال یازدهم، شمارهٔ سی و نهم، بهار ۱۳۹۸، صفحهٔ ۲۲-۱
تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۷/۰۲/۱۰
تاریخ بازنگری:۱۳۹۷/۰۷/۰۲ و ۱۳۹۷/۰۷/۲۴
تاریخ پذیرش نهایی: ۱۳۹۷/۰۸/۲۶

تأثیر محلول‌پاشی غلظت‌های مختلف جاسمونیک‌اسید و نانوذرات دی‌اکسیدتیتانیوم بر برخی صفت‌های فیزیولوژیکی و فعالیت آنتی‌اکسیدانی مریم‌گلی (*Salvia officinalis* L.)

ایوب مزارعی[۱]، سید محسن موسوی نیک[۲]، احمد قنبری[۳]، لیلا فهمیده[۴*]
[۱] گروه اصلاح نباتات و بیوتکنولوژی، دانشکدهٔ کشاورزی، دانشگاه زابل، ایران
[۲] گروه زراعت، دانشکدهٔ کشاورزی، دانشگاه زابل، ایران
[۳] گروه زراعت، دانشکدهٔ کشاورزی، دانشگاه زابل، ایران
[۴] گروه اصلاح نباتات و بیوتکنولوژی، دانشکدهٔ کشاورزی، دانشگاه زابل، ایران

چکیده

به‌منظور ارزیابی تأثیر غلظت‌های جاسمونیک‌اسید و دی‌اکسیدتیتانیوم در القای فعالیت سیستم دفاع آنتی‌اکسیدانی (آنزیمی و غیرآنزیمی) و بر صفت‌های فیزیولوژیکی مریم‌گلی آزمایشی به‌شکل فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار انجام شد. تیمارهای آزمایشی شامل سه سطح محلول‌پاشی صفر (شاهد)، ۷۵ و ۱۵۰ میلی‌گرم‌درلیتر جاسمونیک‌اسید و صفر (شاهد)، ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم‌درلیتر دی‌اکسیدتیتانیوم بودند. نتایج مقایسهٔ میانگین داده‌ها نشان دادند با افزایش میزان مصرف نانو دی‌اکسیدتیتانیوم مقدار صفت‌های بررسی‌شده به‌طور معناداری افزایش می‌یابد؛ به‌طوری‌که با افزایش غلظت نانو دی‌اکسیدتیتانیوم (۱۰۰ میلی‌گرم‌درلیتر) مقدار صفت‌های بررسی‌شده ازجمله اسانس، کلروفیل‌های a، b و کل، محتوای نسبی آب برگ، پرولین، فنول کل، آنزیم‌های پراکسیداز، آسکوربات‌پراکسیداز، گایاکول‌پراکسیداز، سوپراکسیددیسموتاز و کاتالاز نسبت به شاهد روند افزایشی داشتند. همچنین با افزایش غلظت جاسمونیک‌اسید (۱۵۰ میلی‌گرم‌در لیتر) مقدار صفت‌های بررسی‌شده ازجمله محتوای نسبی آب برگ، کلروفیل‌های a، b و کل، پرولین، اسانس، فنول، کاتالاز، آسکوربات‌پراکسیداز، گایاکول‌پراکسیداز، پراکسیداز و سوپراکسیددیسموتاز نسبت به شاهد روند افزایشی داشتند. نتایج همبستگی نشان دادند میزان اسانس و ترکیبات فنولی با میزان کلروفیل کل و همچنین بین آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی، همبستگی مثبت و معنی‌داری وجود دارد. باتوجه‌به نتایج، استفاده از جاسمونیک‌اسید و دی‌اکسیدتیتانیوم به‌تنهایی دارای اثر مثبت بر فعالیت سیستم آنتی‌اکسیدان و صفت‌های فیزیولوژیکی مریم‌گلی است.

واژه‌های کلیدی: آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی، اسانس، تنظیم‌کننده‌های رشد، رنگیزه‌های فتوسنتزی، نانوذرات

* نگارندهٔ مسؤول: نشانی پست الکترونیک: leila.fahmideh@yahoo.com/l.fahmideh@uoz.ac.ir، شمارهٔ تماس:۰۵۴۳۱۲۳۲۱۰۰

Copyright©2017, University of Isfahan. This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (http://creativecommons.org/licenses/BY-NC-ND/4.0), which permits others to download this work and share it with others as long as they credit it, but they cannot change it in any way or use it commercially.

www.SID.ir

Archive of SID

مقدمه

مریم‌گلی (*Salvia officinalis* L.) گیاهی چندساله و نیمه‌خشبی (نیمه‌چوبی) از تیرهٔ نعناعیان (Lamiaceae) است. ریشهٔ مریم‌گلی کم‌وبیش ضخیم است و به‌طور مستقیم در خاک فرو می‌رود. ساقهٔ این گیاه مستقیم و چهارگوش و ارتفاع آن بین ۵۰ تا ۸۰ سانتی‌متر است. اندام‌های هوایی گیاه به‌ویژه برگ‌ها حاوی اسانس هستند که مقدار آن در شرایط اقلیمی مختلف متفاوت و بین ۱ تا ۲/۵ درصد است. اصلی‌ترین ترکیبات (ترکیبات شاخص) موجود در این گیاه عبارتند از: توژان (۳۰ تا ۵۰ درصد)، سینئول (۱۰ تا ۱۵ درصد)، کامفور (۶ تا ۱۰ درصد) و بورنئول (۶ تا ۱۴ درصد). پینن (۱ تا ۲ درصد) یکی دیگر از ترکیبات اسانس موجود در این گیاه است (Omidbaigi, 2005). گزارش شده است اسانس مریم‌گلی به‌ویژه برخی ترکیبات موجود در آن ازجمله سینئول، توژان و کامفور دارای ویژگی ضدمیکروبی، آنتی‌اکسیدانی و ضدسرطانی است (Carta *et al*., 1996).

در کشاورزی پیشرفتهٔ امروزی شناخت عوامل مختلف مؤثر بر رشد و عملکرد گیاهان و شیوهٔ تأثیرآنها بر کمیت و کیفیت محصول از مهم‌ترین جنبه‌های موفقیت به شمار می‌آید (Hashemi Dezfoli *et al*., 1993)؛ ازاین‌رو، امروزه استفاده از مواد فعال و سازگار با محیط برای حفظ نباتات و افزایش رشد آنها امری ضروری برای سیستم‌های کشاورزی مدرن محسوب می‌شود. یکی از روش‌هایی که به‌تازگی توجه پژوهشگران را به خود معطوف کرده است استفاده از فناوری‌های مدرنی مانند علم نانوفناوری است که جایگاه شاخصی در علوم مختلف ازجمله علوم گیاهی و کشاورزی یافته است (Scrinis and Lyons, 2007).

موادی با اندازهٔ کمتر از ۱۰۰ نانومتر که حداقل یکی از ابعاد آنها این مقدار باشد در گروه نانوذرات طبقه‌بندی می‌شوند. اندازهٔ کوچک نانوذرات به آنها اجازه می‌دهد ازنظر فیزیکی، شیمیایی و زیستی ویژگی‌های منحصربه‌فردی را از خود نشان دهند و فرایندها و آثار متفاوتی نسبت به ذرات درشت‌دانه ایجاد کنند. استفاده از نانوذرات در زمینه‌های کشاورزی بسیار جدید است و نیاز به پژوهش‌های بیشتری دارد؛ به‌طوری‌که عملکرد نانوذرات در سطح مولکولی در سیستم‌های زیستی تا حد زیادی ناشناخته است. مطالعه‌ها و اطلاعات بسیار اندکی دربارهٔ آثار مثبت و منفی نانوذرات بر گیاهان آوندی وجود دارد (Monica and Cremonini, 2009).

پاسخ گیاهان به نانوذرات بر اساس نوع گونه، مرحلهٔ رویشی، سن و ماهیت نانوذرات متفاوت است؛ باوجوداین، آثار مثبت برخی نانوذرات ازجمله دی‌اکسیدتیتانیوم در برخی گیاهان اثبات شده است (Zhang *et al*., 2005). نانو دی‌اکسیدتیتانیوم باعث بهبود جذب نور و فعالیت آنزیم روبیسکو (Mingyu *et al*., 2007)، افزایش جذب نیترات (Yang *et al*., 2006) و تسریع تبدیل مواد غیرآلی به مواد آلی (Nair *et al*., 2010) گیاه می‌شود. دی‌اکسیدتیتانیوم از طریق افزایش فتوسنتز و کاهش خسارت ناشی از آفت‌ها و بیماری‌ها باعث افزایش محصول تا ۳۰ درصد می‌شود (Chao and Choi, 2005)؛

www.SID.ir

Archive of SID

همچنین کاربرد آن در محلول غذایی و یا محلول‌پاشی روی برگ‌های گیاه باعث افزایش زیست‌توده و رشد گونه‌های مختلف گیاهی می‌شود (Nair *et al.*, 2010). پژوهش دربارهٔ سازوکار نانو دی‌اکسیدتیتانیوم نشان می‌دهد این ماده باعث افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی نظیر سوپراکسیددیسموتاز و کاتالاز و کاهش تجمع رادیکال‌های اکسیژن و سطح مالون‌دی‌آلدهید می‌شود (Hong *et al.*, 2005).

نتایج پژوهش‌های Moaveni و همکاران (۲۰۱۱C) روی گیاه همیشه‌بهار *Calendula officinalis*) نشان دادند نانوذرات تیتانیوم سبب افزایش فعالیت آنزیم سوپراکسیددیسموتاز و کاتالاز می‌شوند. همچنین طی پژوهشی روی گیاه ذرت گزارش شد اثر نانوذرات تیتانیوم روی فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و سوپراکسیددیسموتاز معنادار است و بیشترین میانگین فعالیت آنزیم‌های یادشده از محلول‌پاشی نانو تیتانیوم ۰/۰۳ درصد حاصل می‌شود (Moaveni *et al.*, 2011b). نتایج پژوهش‌های Lu و همکاران (۲۰۰۲) نشان دادند محلول‌پاشی دی‌اکسیدسیلیس و دی‌اکسیدتیتانیوم فعالیت آنزیم نیترات‌ردوکتاز را در سویا و محلول‌پاشی دی‌اکسیدتیتانیوم عملکرد دانهٔ سویا را افزایش می‌دهد. Salehi (۲۰۰۸) گزارش کرد محلول‌پاشی نانوذرات نیترات‌نقره سبب افزایش ترکیبات پلی‌فنولی در گیاه گل‌گاوزبان می‌شود.

جاسمونیک‌اسید و مشتقات آن که معمولاً با عنوان جاسمونات‌ها شناخته می‌شوند تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی پیچیده‌ای هستند که بر طیف وسیعی از واکنش‌های فیزیولوژیکی و نموی گیاه اثر می‌گذارند (Wasternack, 2007). در دههٔ ۱۹۶۰ جاسمونات به‌شکل متابولیت ثانویه در اسانس گیاه گل یاس مشاهده شد. دو دهه پس‌از شناسایی اولیهٔ جاسمونات‌ها، تأثیر فیزیولوژیکی آنها شناسایی و به‌عنوان ترکیبات پیش‌برندهٔ پیری، بازدارندهٔ رشد و محرک‌هایی برای متابولیسم ثانویه در گیاهان عالی شناخته شدند (Koo and Howe, 2009). جاسمونیک‌اسید ترکیبی است که از اسیدچرب لینولئیک‌اسید مشتق می‌شود و ممانعت از پیری و ریزش برگ گیاه مهم‌ترین نقش آن است (Rahman *et al.*, 2009). این هورمون پس‌از زخم‌شدن گیاه به‌سرعت در بافت‌های زخمی و غیرزخمی تجمع می‌یابد (Yu *et al.*, 2007) و با افزایش فعالیت آنتی‌اکسیدان‌ها آسیب‌های ناشی از فعالیت رادیکال‌های آزاد را در گیاه کاهش می‌دهد (Gupta *et al.*, 1993). گزارش شده است جاسمونیک‌اسید بر رشد شاخساره، رشد طولی ریشه، فعالیت آنزیم روبیسکو (Paquin and Lechasseur, 1979) نقش دارد و دارای آثار القایی بر تشکیل ریشه‌های نابجا (Zhang et al., 2006)، تجزیهٔ کلروفیل، پیری و ریزش برگ، انسداد روزنه‌ها، بیوسنتز اتیلن و تحریک سیستم‌های دفاعی گیاه (سیستم‌های آنزیمی یا بازدارنده‌ها) است (Rohwer and Erwin, 2008).

باتوجه‌به مطالب یادشده دربارهٔ نقش جاسمونیک‌اسید و نانو دی‌اکسیدتیتانیوم در بهبود و افزایش متابولیت ثانویهٔ برخی گیاهان و ازآنجاکه تاکنون پژوهش چندانی در زمینهٔ کاربرد این مواد و بررسی تأثیر آنها بر ویژگی‌های فیزیولوژیکی، آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و میزان اسانس مریم‌گلی

www.SID.ir

Archive of SID

انجام نشده است، در پژوهش حاضر اثر محلول‌پاشی جاسمونیک‌اسید و دی‌اکسیدتیتانیوم به‌طور مجزا و توأم روی برخی صفت‌های فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گیاه دارویی مریم‌گلی بررسی شد.

مواد و روش‌ها

پژوهش حاضر طی سال ۱۳۹۵-۱۳۹۴ به‌شکل فاکتوریل بر پایهٔ طرح کاملاً تصادفی و با سه تکرار در گلخانهٔ تحقیقاتی دانشگاه زابل واقع در چاه‌نیمه اجرا شد. تیمارهای آزمایشی شامل فاکتور اول: محلول‌پاشی نانوذارت دی‌اکسیدتیتانیوم در سه سطح صفر (بدون محلول‌پاشی)، ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم‌درلیتر و فاکتور دوم: محلول‌پاشی جاسمونیک‌اسید در سه سطح صفر (بدون محلول‌پاشی)، ۷۵ و ۱۵۰ میلی‌گرم‌درلیتر بودند. در هر گلدان ۲۰ عدد بذر کاشته و عمل تنک‌کردن در مرحلهٔ چهار برگی انجام شد. پس‌از استقرار کامل بوته‌ها، تیمارهای محلول‌پاشی با دی‌اکسیدتیتانیوم و جاسمونیک‌اسید اعمال شدند (مدت زمان اعمال تیمارها سه هفته بود). نمونه‌برداری از همهٔ برگ‌های گیاه در مرحلهٔ گیاهچه‌ای انجام شد.

اندازه‌گیری میزان اسانس: استخراج اسانس به روش تقطیر با آب و توسط دستگاه Clevenger (مدل هیتر Gerhardt) انجام شد. به این منظور، ۲۰ گرم نمونه از هر تیمار وزن و پس‌از آسیاب‌شدن به نسبت ۱ به ۱۰ (به ازای هر گرم مادهٔ خشک ۱۰ میلی‌لیتر آب به بالن اضافه شد) به‌مدت ۲ ساعت درون دستگاه Clevenger جوشانده شد (Sefidkon, 2001; Kapoor *et al*., 2004).

اندازه‌گیری میزان پرولین: میزان پرولین در نمونه‌های گیاهی به روش Bates و همکاران (۱۹۷۳) اندازه‌گیری شد.

اندازه‌گیری فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی

عصارهٔ آنزیمی: ۰/۵ گرم از نمونهٔ برگی با استفاده از هاون چینی کاملاً سرد و نیتروژن مایع هموژن شد و سپس ۵ میلی‌لیتر بافر فسفات سرد (اسیدیتهٔ ۷/۵) حاوی EDTA ۰/۵ میلی‌مولار به آن اضافه شد. نمونه‌ها پس‌از انتقال به لوله‌های آزمایش به‌مدت ۱۵ دقیقه در دمای ۴ درجهٔ سلسیوس با سرعت ۱۵۰۰۰ دوردردقیقه سانتریفوژ شدند (Sairam and Saxena, 2000).

سنجش آنزیم کاتالاز: برای اندازه‌گیری آنزیم کاتالاز ۵۰ میکرولیتر عصارهٔ آنزیمی، ۶۰۰ میکرولیتر بافر فسفات‌سدیم (اسیدیتهٔ ۷)، ۰/۱۵ میکرولیتر EDTA، ۵۴۹/۸۵ میکرولیتر آب مقطر درون تیوپ ریخته و ۳۸۲/۵ میکرولیتر آب‌اکسیژنه به آن اضافه شد (۳۸۲/۵ میکرولیتر آب‌اکسیژنه در ۲/۵ میلی‌لیتر آب مقطر ریخته شد تا آب‌اکسیژنهٔ ۰/۷۵ مولار حاصل شود؛ سپس ۳۰ میکرولیتر در مخلوط واکنش ریخته شد تا آب‌اکسیژنهٔ ۱۵ میلی‌مولار حاصل شود) و بی‌درنگ میزان جذب آن در طول موج ۲۴۰ نانومتر با دستگاه طیف‌سنج نوری خوانده شد. میزان جذب پس‌از سپری‌شدن زمان ۱ دقیقه دوباره یادداشت شد (Beers and Sizer, 1952).

سنجش آنزیم آسکوربات‌پراکسیداز: برای اندازه‌گیری آنزیم آسکوربات‌پراکسیداز ۵۰ میکرولیتر عصارهٔ آنزیمی، ۳۷/۵ میکرولیتر آسکوربات، ۱۱۱۸/۸۵ میکرولیتر آب در تیوپ ریخته و ۱۵۳ میکرولیتر آب‌اکسیژنه به آن اضافه

www.SID.ir

Archive of SID

شد. بی‌درنگ میزان جذب آن در طول موج ۲۹۰ نانومتر با دستگاه طیف‌سنج نوری خوانده و فعالیت آنزیمی بر حسب واحددرگرم وزن تر بیان شد (Nakano and Asada, 1981).

سنجش آنزیم گایاکول‌پراکسیداز: برای سنجش فعالیت آنزیم گایاکول‌پراکسیداز ۵۰ میکرولیتر عصارهٔ آنزیمی، ۸۰۰ میکرولیتر بافر سدیم، ۰/۲ میکرولیتر EDTA، ۵۰ میکرولیتر گایاکول، ۷۹۹/۸ آب درون لولهٔ آزمایش ریخته شد و ۷۶۵ میکرولیتر آب‌اکسیژنه به آن اضافه شد. بی‌درنگ میزان جذب آن در طول موج ۴۷۰ نانومتر با دستگاه طیف‌سنج نوری خوانده شد (Urbanek *et al*., 1991).

سنجش آنزیم پراکسیداز: فعالیت آنزیم پراکسیداز بر اساس روش هولی (Holy, 1972) اندازه‌گیری شد. به این منظور ابتدا ۲ میلی‌لیتر استات ۰/۲ مولار (اسیدیتهٔ ۵)، ۰/۲ میلی‌لیتر آب‌اکسیژنه ۰/۳ درصد، ۰/۱ میلی‌لیتر بنزیدین ۰/۲۰ مولار محلول در متانول ۵۰ درصد در حمام یخ مخلوط شدند. سپس ۰/۱ میلی‌لیتر از عصارهٔ آنزیمی برگ به این مخلوط واکنش اضافه شد و بی‌درنگ میزان جذب آن در طول موج ۵۳۰ نانومتر با دستگاه طیف‌سنج نوری خوانده شد.

سنجش آنزیم سوپراکسیددیسموتاز: فعالیت آنزیم سوپراکسیددیسموتاز بر اساس روش Beauchamp و Fridovich (۱۹۷۱) در طول موج ۵۶۰ نانومتر با دستگاه طیف‌سنج نوری اندازه‌گیری شد.

محتوای رنگیزه‌های فتوسنتزی برگ: محتوای رنگیزه‌های فتوسنتزی برگ به روش Prochazka و همکاران (۱۹۹۸) و از رابطه‌های زیر محاسبه شد:

Chl a=۱۲/۲۵A۲/۷۹-۶۶۳A۶۴۶

Chl b=۲۱/۲۱A۵/۱-۶۴۶A۶۶۳

Total Chl=Chl a+Chl b

سنجش میزان فنول: مقدار فنول کل در نمونه‌های عصارهٔ گیاهی به روش Folin Sivcultive اندازه‌گیری شد (McDonald *et al*., 2001).

پس‌از اندازه‌گیری ترکیبات فنولی کل، میزان فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی، مقدار پرولین و محتوای رنگیزه‌های فتوسنتزی داده‌های حاصل بر مبنای طرح فاکتوریل در قالب کاملاً تصادفی با سه تکرار تجزیه واریانس و مقایسهٔ میانگین (روش دانکن) شدند. برای تجزیهٔ آماری، نرمال‌بودن داده‌ها با نرم‌افزار Minitab بررسی شد و پس‌ازآن داده‌ها تجزیه و نمودارها با نرم‌افزارهای SAS ver 9.1 و Excel ترسیم شدند.

نتایج

رنگدانه‌های فتوسنتزی: باتوجه‌به نتایج تجزیه واریانس داده‌ها مشاهده شد اثر محلول‌پاشی جاسمونیک‌اسید و دی‌اکسیدتیتانیوم بر مقدار کلروفیل‌های a، b و کل در سطح ۱ درصد معنادار است اما اثر متقابل آنها تأثیری بر محتوای رنگیزه‌های فتوسنتزی ندارد (جدول ۱). نتایج مقایسهٔ میانگین آثار ساده (جدول ۳) نشان دادند با افزایش غلظت محلول‌پاشی بر میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی افزوده می‌شود؛ به‌طوری‌که محلول‌پاشی با جاسمونیک‌اسید باعث افزایش ۲۲/۲۲، ۲۹/۷۴ و ۲۶/۸۵ درصدی به‌ترتیب کلروفیل‌های a، b و کل نسبت به شاهد و محلول‌پاشی با دی‌اکسیدتیتانیوم

www.SID.ir

Archive of SID

سبب افزایش ۱۶/۷۷، ۲۰/۲۲ و ۱۸/۷۵ درصدی به‌ترتیب کلروفیل‌های a، b و کل در مقایسه با شاهد می‌شود.

پرولین: بر اساس نتایج تجزیه واریانس داده‌ها اثر سطوح مختلف محلول‌پاشی جاسمونیک‌اسید و دی‌اکسیدتیتانیوم بر مقدار پرولین برگ در سطح ۱ درصد معنادار است ولی نتایج تجزیه واریانس اثر متقابل آنها معنادار نیست (جدول ۱). مقایسهٔ میانگین آثار ساده (جدول ۲) نشان داد در سطوح جاسمونیک‌اسید و دی‌اکسید تیتانیوم با افزایش غلظت محلول‌پاشی بر میزان پرولین افزوده می‌شود؛ به‌طوری‌که محلول‌پاشی با جاسمونیک‌اسید و دی‌اکسیدتیتانیوم به‌ترتیب باعث افزایش ۲۲ و ۲۰ درصدی پرولین نسیت به شاهد می‌شود و کمترین میزان پرولین در سطح اول (بدون کاربرد جاسمونیک‌اسید و دی‌اکسیدتیتانیوم) مشاهده می‌شود.

محتوای نسبی آب برگ: نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان دادند اثر محلول‌پاشی جاسمونیک‌اسید و دی‌اکسیدتیتانیوم بر روابط آبی گیاه در سطح یک معنادار است؛ درحالی‌که نتایج اثر متقابل آنها معنادار نیست (جدول ۱). نتایج مقایسهٔ میانگین آثار ساده نشان دادند با افزایش غلظت محلول‌پاشی بر محتوای نسبی آب برگ افزوده می‌شود؛ به‌طوری‌که در محلول‌پاشی با جاسمونیک‌اسید محتوای نسبی آب برگ بیشتری نسبت به شاهد حاصل می‌شود. محلول‌پاشی با غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم‌درلیتر دی‌اکسیدتیتانیوم نیز باعث افزایش ۵۷/۳۵ درصدی محتوای نسبی آب برگ نسبت به شاهد شد (جدول ۳).

میزان اسانس: باتوجه‌به نتایج تجزیه واریانس داده‌ها مشاهده شد اثر محلول‌پاشی جاسمونیک‌اسید و دی‌اکسیدتیتانیوم بر مقدار اسانس مریم گلی در سطح ۱ درصد معنادار است اما اثر متقابل آنها تأثیری بر مقدار اسانس ندارد (جدول ۱). نتایج مقایسهٔ میانگین آثار ساده نشان دادند با افزایش غلظت محلول‌پاشی بر میزان اسانس افزوده می‌شود؛ به‌طوری‌که محلول‌پاشی با جاسمونیک‌اسید و دی‌اکسیدتیتانیوم به‌ترتیب باعث افزایش ۱۷/۴۲ و ۱۹/۷۰ درصدی میزان اسانس نسبت به شاهد می‌شود (شکل‌های ۱ و ۲).

جدول ۱- نتایج تجزیه واریانس برخی ویژگی‌های بررسی‌شدهٔ گیاه دارویی مریم‌گلی تیمارشده با محلول‌پاشی جاسمونیک‌اسید و دی‌اکسیدتیتانیوم

منابع تغییرات S.O.V	درجهٔ آزادی	مقدار اسانس	کلروفیل a	کلروفیل b	کلروفیل کل	محتوای نسبی آب برگ	پرولین
جاسمونیک‌اسید (JA)	۲	۰/۱۰۹**	۰/۲۶**	۱/۵۶**	۳/۱۱**	۲۵۲۳/۹۳**	۰/۱۱**
دی‌اکسیدتیتانیوم (TiO_2)	۲	۰/۱۶**	۰/۱۳۵**	۰/۶۵**	۱/۳۷**	۸۴۹/۴۴**	۰/۰۲۶**
$JA \times TiO_2$	۴	۰/۶۴^{ns}	۰/۰۱۲ ^{ns}	۰/۱۲۹^{ns}	۰/۲۲ ^{ns}	۳۱۱/۲۵^{ns}	۰/۷۵^{ns}
خطا	۱۸	۰/۰۱۲	۰/۰۱۶	۰/۰۳۸	۰/۰۵۱	۳۵/۲۲	۰/۰۰۸
ضریب تغییرات		۹/۰۶	۲/۹	۸/۱۷	۵/۹۸	۷/۹۳	۶/۴۵

ns، * و ** به‌ترتیب نشان‌دهندهٔ عدم اختلاف معنادار، اختلاف معنادار در سطح ۵ درصد و اختلاف معنادار در سطح ۱ درصد

www.SID.ir

Archive of SID

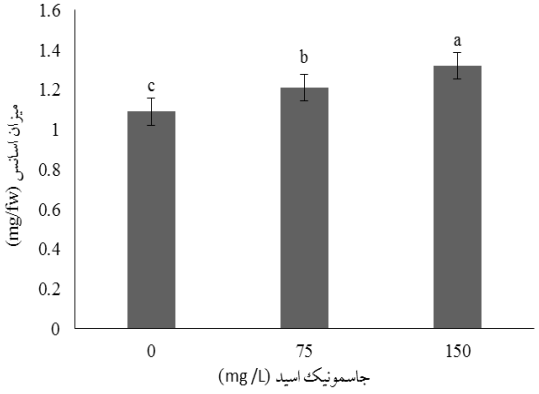
جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس فعالیت برخی آنزیم‌های سیستم دفاع آنتی‌اکسیدانی گیاه دارویی مریم‌گلی تیمارشده با محلول‌پاشی جاسمونیک‌اسید و دی‌اکسیدتیتانیوم

منابع تغییرات S.O.V	درجهٔ آزادی	کاتالاز	گایاکول‌پراکسیداز	پراکسیداز	آسکوربات‌پراکسیداز	سوپراکسیددیسموتاز	فنول
جاسمونیک‌اسید (JA)	۲	۰/۰۶۱**	۰/۱۶**	۰/۱۴**	۰/۰۲۸**	۱۷/۳۷**	۳۳۴۹/۱۳**
دی‌اکسیدتیتانیوم (TiO_2)	۲	۰/۱۷**	۰/۳۶**	۰/۳۴**	۰/۰۱۸**	۰/۱۹**	۳۴۳/۰۴**
$JA \times TiO_2$	۴	۱/۴۸^{ns}	۰/۸۸^{ns}	۰/۶^{ns}	۰/۰۴^{ns}	۱۲/۳^{ns}	۸۶/۵۸^{ns}
خطا	۱۸	۰/۰۰۵	۰/۰۱۱	۰/۰۰۲	۰/۰۴۵	۰/۰۰۱۷	۵۲/۶۱
ضریب تغییرات		۶/۷۸	۷/۵۸	۵/۲	۸/۸۷	۸/۴۲	۱۳/۲۷

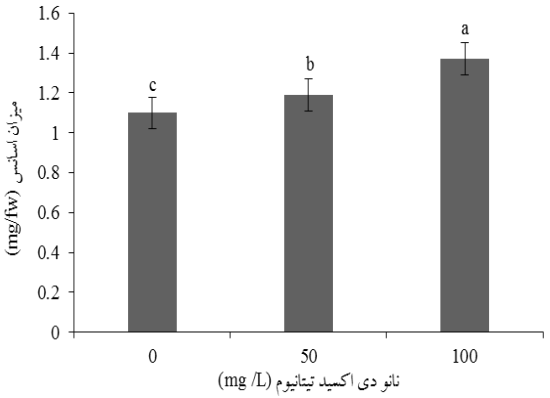
ns، * و ** به‌ترتیب نشان‌دهندهٔ عدم اختلاف معنادار، اختلاف معنادار در سطح ۵ درصد و اختلاف معنادار در سطح ۱ درصد

جدول ۳- مقایسهٔ میانگین تیمارهای محلول‌پاشی دی‌اکسیدتیتانیوم و جاسونیک‌اسید بر برخی ویژگی‌های بررسی‌شدهٔ گیاه دارویی مریم‌گلی

تیمارها	محتوای نسبی آب برگ	کلروفیل a	کلروفیل b	کلروفیل کل	پرولین	فنول
جاسمونیک‌اسید						
۰	۵۵/۵۲+۱/۹۷۸c	۱/۱۹±۰/۰۱۳c	۱/۹۶±۰/۰۶۶c	۳/۱۶±۰/۰۷۶c	۱/۲۲±۰/۰۳c	۳۶/۵۶±۲/۹۷c
۷۵	۸۳/۰۸+۱/۹۷۸b	۱/۴۱±۰/۰۱۳b	۲/۴۷±۰/۰۶۶b	۳/۸۸±۰/۰۷۶b	۱/۳۲±۰/۰۳b	۵۲/۴۳±۲/۹۷b
۱۵۰	۸۵/۸۶+۱/۹۷۸a	۱/۵۳±۰/۰۱۳a	۲/۷۹±۰/۰۶۶a	۴/۳۲±۰/۰۷۶a	۱/۵۶±۰/۰۳a	۷۴/۹۵±۲/۹۷a
دی‌اکسیدتیتانیوم						
۰	۵۳/۶۴+۱/۹۷۸c	۱/۲۴±۰/۱۳c	۲/۱۳±۰/۰۶۶c	۳/۳۸±۰/۰۷۶c	۱/۲±۰/۰۳b	۴۸/۷۵±۲/۹۷c
۵۰	۷۶/۴۵+۱/۹۷۸b	۱/۴±۰/۰۱۳b	۲/۴۲±۰/۰۶۶b	۳/۸۲±۰/۰۷۶b	۱/۴۷±۰/۰۳b	۵۴/۱۱± ۲/۹۷b
۱۰۰	۸۲/۵۷+۱/۹۷۸a	۱/۴۹±۰/۰۱۳a	۲/۶۷±۰/۰۶۶a	۴/۱۶±۰/۰۷۶a	۱/۵±۰/۰۳a	۶۷/۰۷±۲/۹۷a



شکل ۱- اثر جاسمونیک‌اسید بر میزان اسانس مریم‌گلی (مقادیر میانگین سه تکرار±انحراف معیار هستند. حروف مشابه بیان‌کنندهٔ عدم‌تفاوت معنادار در سطح P<۰/۰۱ براساس آزمون دانکن هستند)



شکل ۲- اثر نانو دی اکسیدتیتانیوم بر میزان اسانس مریم گلی (مقادیر میانگین سه تکرار±انحراف معیار هستند. حروف مشابه بیان‌کنندهٔ عدم‌تفاوت معنادار در سطح P<۰/۰۱ براساس آزمون دانکن هستند)

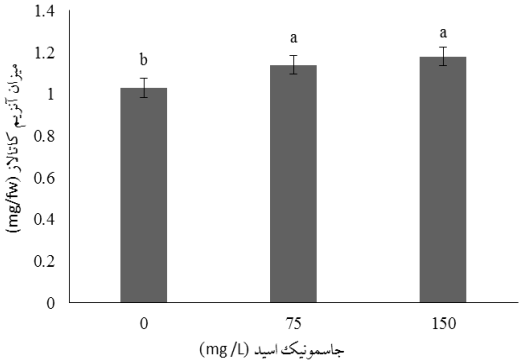
www.SID.ir

Archive of SID

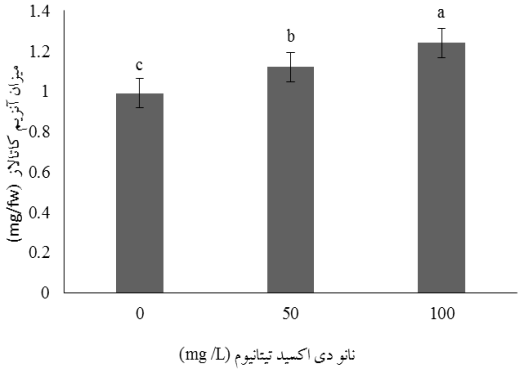
ترکیبات آنتی‌اکسیدانی

فنول کل: نتایج تجزیه واریانس نشان دادند اثر سطوح مختلف محلول‌پاشی جاسمونیک‌اسید و دی‌اکسیدتیتانیوم بر مقدار فنول کل بخش هوایی گیاه معنادار است اما اثر متقابل آنها معنادار نیست (جدول ۲). مقایسهٔ میانگین آثار ساده (جدول ۲) نشان داد با افزایش میزان جاسمونیک‌اسید و دی‌اکسیدتیتانیوم بر میزان فنول کل افزوده می‌شود و بیشترین میزان آن نسبت به شاهد از محلول‌پاشی غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم نانو دی‌اکسید تیتانیوم و ۱۵۰ میلی‌گرم‌درلیتر جاسمونیک‌اسید حاصل می‌شود (جدول ۳).

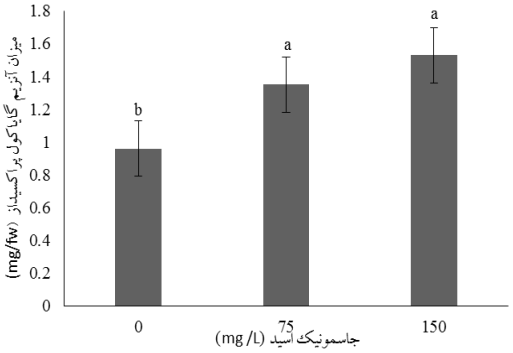
آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی: نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان دادند میزان فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی (پراکسیداز، آسکوربات‌پراکسیداز، گایاکول‌پراکسیداز، سوپراکسیددیسموتاز و کاتالاز) تحت‌تأثیر سطوح مختلف محلول‌پاشی دی‌اکسیدتیتانیوم و جاسمونیک‌اسید قرار می‌گیرد و اختلاف ازنظر آماری در سطح ۱ درصد معنادار است؛ درحالی‌که اثر متقابل آنها معنادار نیست (جدول ۱). مقایسهٔ میلانگین آثار سادهٔ جاسمونیک‌اسید و دی‌اکسیدتیتانیوم نشان داد با افزایش غلظت محلول‌پاشی نانو دی‌اکسیدتیتانیوم و جاسمونیک‌اسید میزان فعالیت آنزیم‌های یادشده افزایش می‌یابد؛ به‌طوری‌که کمترین میزان کاتالاز (شکل‌های ۳ و ۴)، گایاکول‌پراکسیداز (شکل‌های ۵ و ۶)، پراکسیداز (شکل‌های ۷ و ۸)، آسکوربات‌پراکسیداز (شکل‌های ۹ و ۱۰) و سوپراکسیددیسموتاز (شکل‌های ۱۱ و ۱۲) در سطح اول (بدون کاربرد) نانو دی‌اکسیدتیتانیوم و جاسمونیک‌اسید مشاهده می‌شود.



شکل ۳- اثر جاسمونیک‌اسید بر میزان آنزیم کاتالاز (مقادیر میانگین سه تکرار±انحراف معیار هستند. حروف مشابه بیان‌کنندهٔ عدم‌تفاوت معنادار در سطح P<۰/۰۱ براساس آزمون دانکن هستند)



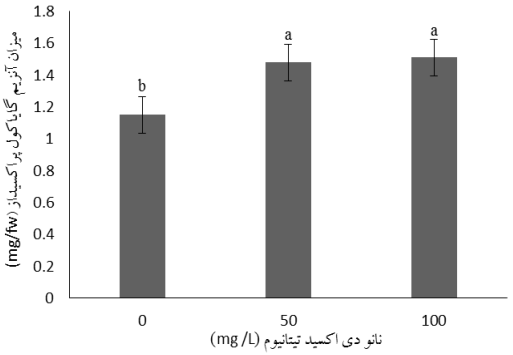
شکل ۴- اثر نانو دی‌اکسیدتیتانیوم بر میزان آنزیم کاتالاز (مقادیر میانگین سه تکرار±انحراف معیار هستند. حروف مشابه بیان‌کنندهٔ عدم‌تفاوت معنادار در سطح P<۰/۰۱ براساس آزمون دانکن هستند)



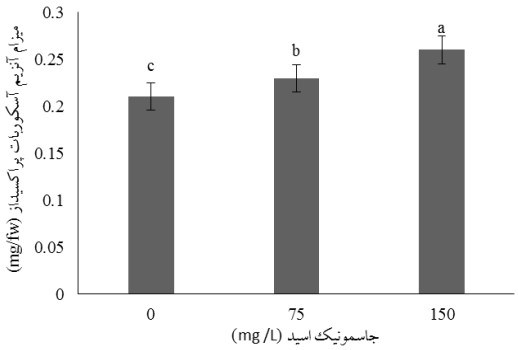
شکل ۵- اثر جاسمونیک‌اسید بر میزان آنزیم گایاکول‌پراکسیداز (مقادیر میانگین سه تکرار±انحراف معیار هستند. حروف مشابه بیان‌کنندهٔ عدم‌تفاوت معنادار در سطح P<۰/۰۱ براساس آزمون دانکن هستند)

www.SID.ir

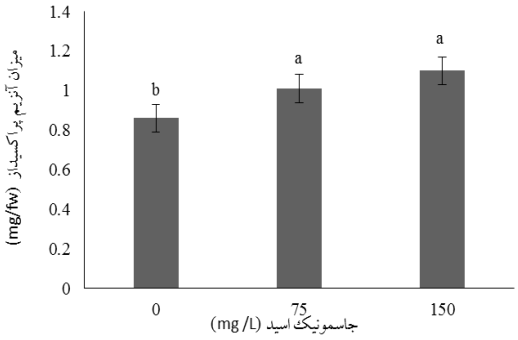
Archive of SID



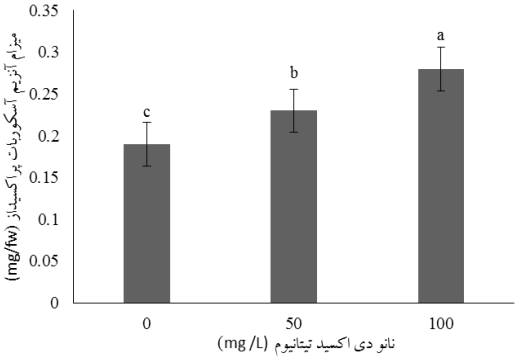
شکل ۶- اثر نانو دی‌اکسیدتیتانیوم بر میزان آنزیم گایاکول‌پراکسیداز (مقادیر میانگین سه تکرار±انحراف معیار هستند. حروف مشابه بیان‌کنندهٔ عدم‌تفاوت معنادار در سطح P<۰/۰۱ براساس آزمون دانکن هستند)



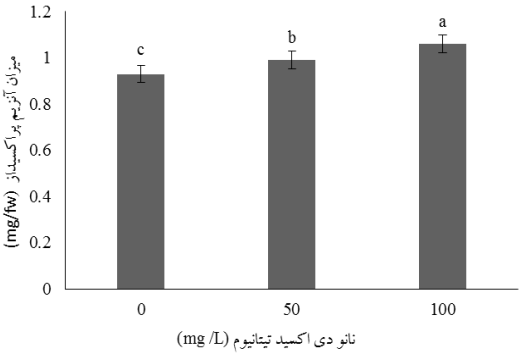
شکل ۹- اثر جاسمونیک‌اسید بر میزان آنزیم آسکوربات‌پراکسیداز (مقادیر میانگین سه تکرار±انحراف معیار هستند. حروف مشابه بیان‌کنندهٔ عدم‌تفاوت معنادار در سطح P<۰/۰۱ براساس آزمون دانکن هستند)



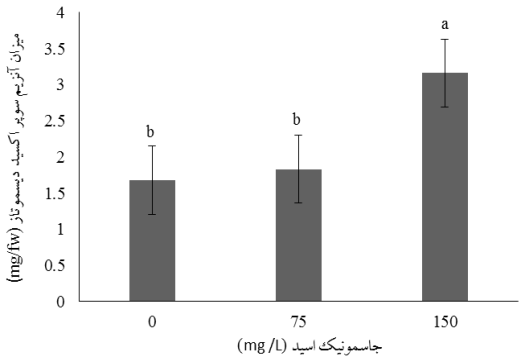
شکل ۷- اثر جاسمونیک‌اسید بر میزان آنزیم پراکسیداز (مقادیر میانگین سه تکرار±انحراف معیار هستند. حروف مشابه بیان‌کنندهٔ عدم‌تفاوت معنادار در سطح P<۰/۰۱ براساس آزمون دانکن هستند)



شکل ۱۰- اثر نانو دی‌اکسیدتیتانیوم بر میزان آنزیم آسکوربات‌پراکسیداز (مقادیر میانگین سه تکرار±انحراف معیار هستند. حروف مشابه بیان‌کنندهٔ عدم‌تفاوت معنادار در سطح P<۰/۰۱ براساس آزمون دانکن هستند)



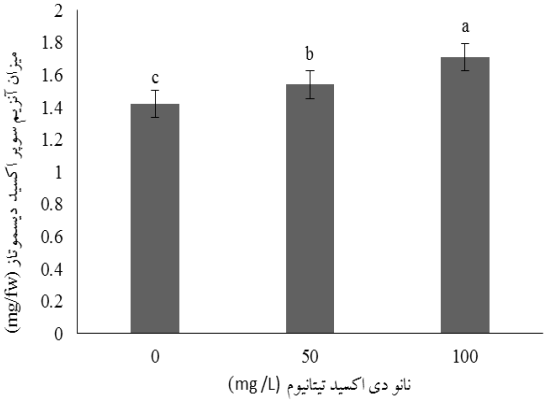
شکل ۸- اثر نانو دی‌اکسیدتیتانیوم بر میزان آنزیم پراکسیداز (مقادیر میانگین سه تکرار±انحراف معیار هستند. حروف مشابه بیان‌کنندهٔ عدم‌تفاوت معنادار در سطح P<۰/۰۱ براساس آزمون دانکن هستند)



شکل ۱۱- اثر جاسمونیک‌اسید بر میزان آنزیم سوپراکسیددیسموتاز (مقادیر میانگین سه تکرار±انحراف معیار هستند. حروف مشابه بیان‌کنندهٔ عدم‌تفاوت معنادار در سطح P<۰/۰۱ براساس آزمون دانکن هستند)

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۱۲- اثر نانو دی‌اکسیدتیتانیوم بر میزان آنزیم سوپراکسیددیسموتاز (مقادیر میانگین سه تکرار±انحراف معیار هستند. حروف مشابه بیان‌کنندهٔ عدم‌تفاوت معنادار در سطح P<۰/۰۱ براساس آزمون دانکن هستند)

همبستگی بین صفت‌ها: ارزیابی همبستگی بین صفت‌های مطالعه‌شده در پژوهش حاضر با استفاده از ضریب پیرسون در جدول ۴ نشان داده شده است. تجزیه‌وتحلیل همبستگی ارتباط مثبت و منفی صفت‌ها با یکدیگر را در شرایط محلول‌پاشی نشان می‌دهد؛ به‌طوری‌که آنزیم‌های کاتالاز، گایاکول‌پراکسیداز، پراکسیداز، آسکوربات‌پراکسیداز و سوپراکسیددیسموتاز بیشترین میزان همبستگی را باهم داشتند و ارتباط معناداری بین میزان اسانس و ترکیبات فنولی با رنگیزه‌های فتوسنتزی وجود داشت.

بحث

رنگدانه‌های فتوسنتزی: محتوای کلروفیل یکی از عوامل مهم حفظ ظرفیت فتوسنتزی (Jiang and Huang, 2001) و تعیین‌کنندهٔ سرعت فتوسنتز در گیاهان زنده است (Ghosh *et al.*, 2004). نتایج Zhang و همکاران (۲۰۰۵) نشان دادند تیمار نانوذرات دی‌اکسیدتیتانیوم تشکیل کلروفیل، فعالیت آنزیم روبیسکو و سرعت فتوسنتز را در گیاه اسفناج افزایش می‌دهد. محلول‌پاشی با نانوپتاسیم موجب افزایش میزان کلروفیل‌های a و b در مقایسه با شاهد می‌شود (Niakan *et al.*, 2004). در پژوهش حاضر حداکثر مقدار کلروفیل‌های a، b و کل از محلول‌پاشی ۱۰۰ میلی‌گرم‌درلیتر دی‌اکسیدتیتانیوم به دست آمد که با یافته‌های Baiazidi Aghdam (۲۰۱۴) مبنی بر به‌دست‌آمدن حداکثر مقدار کلروفیل‌های a و b در گیاه کتان به‌ترتیب از محلول‌پاشی ۱۰۰ و ۱۰ میلی‌گرم‌درلیتر نانوذرات دی‌اکسیدتیتانیوم همخوانی دارد. Martínez-Sánchez و همکاران (۱۹۹۳) در پژوهشی بیان کردند نانو دی‌اکسیدتیتانیوم با افزایش جذب نیتروژن سبب افزایش کلروفیل می‌شود.

نتایج متفاوتی درمورد نقش جاسمونات بر مقدار رنگیزه‌های فتوسنتزی ذکر شده‌اند. در گزارشی بیان شده است جاسمونات‌ها باعث تجمع کلروفیل در نوعی جلبک (*Chlorella vulgaris*) می‌شوند (Czerpak *et al.*, 2006). گزارش شده است جاسمونیک‌اسید هیچ تأثیری بر مقدار کلروفیل و فتوسنتز گیاه صنوبر ندارد (Babst *et al.*, 2005). نتایج مطالعهٔ حاضر نشان دادند کاربرد جاسمونیک‌اسید در گیاه دارویی مریم‌گلی سبب افزایش ۱۶/۷۷، ۲۰/۲۲ و ۱۸/۷۵ درصدی به‌ترتیب کلروفیل‌های a، b و کل نسبت به گیاهان شاهد می‌شود؛ این نتایج با نتایج Piekielek و Fox (۱۹۹۲) که بیان کردند محلول‌پاشی با غلظت ۰/۱ میکرومولار جاسمونات باعث ترمیم رنگیزه‌های فتوسنتزی ازجمله کلروفیل a و کاروتنوئیدها می‌شود همخوانی دارند. Piotrowska و همکاران (۲۰۰۹) گزارش کردند محلول‌پاشی با جاسمونیک‌اسید سبب

www.SID.ir

Archive of SID

افزایش محتوای کلروفیل و فعالیت آنزیم روبیسکوی برگ‌های جو می‌شود. Sunkar (۲۰۱۰) در پژوهشی بیان کرد جاسمونیک‌اسید و متیل‌جاسمونات با تشکیل آمینولوولینیک‌اسید سبب بیان ژن‌های آنزیم‌های کلیدی در بیوسنتز کلروفیل می‌شوند و از این طریق میزان کلروفیل را افزایش می‌دهند که با نتایج پژوهش حاضر همخوانی دارد.

پرولین: Jiang و Huang (۲۰۰۰) در مطالعه‌ای بیان کردند آمینواسیدهایی مانند پرولین ممکن است نقش محافظت‌کننده برای تیلاکوئیدهای کلروپلاست و دیگر سیستم‌های غشایی داشته باشند. پرولین با تحت‌تأثیر قراردادن حلالیت پروتئین‌ها و آنزیم‌های مختلف از تغییر ماهیت آنها جلوگیری می‌کند.

در گزارشی بیان شده است محلول‌پاشی با نانوذرات تیتانیوم تأثیر فزاینده‌ای بر میزان پرولین ندارد؛ درحالی‌که نتایج پژوهش حاضر نشان دادند محلول‌پاشی با نانوذرات تیتانیوم سبب افزایش ۲۰ درصدی میزان پرولین در گیاهان تیمارشده نسبت به گیاهان شاهد می‌شود (Zarafshar *et al*., 2015). نتایج مطالعهٔ حاضر با یافته‌های Amirjani و همکاران (۲۰۱۴) که بیان کردند افزایش غلظت‌های نانواکسیدروی مقدار پرولین را در اندام‌های هوایی گیاه دارویی پریوش افزایش می‌دهد همخوانی دارند.

در گزارش Guo و همکاران (۲۰۰۶) بیان شده است جاسمونیک‌اسید با تحریک سنتز بازدارندهٔ پروتئیناز و بیان ژن آن سبب پایداری پروتئین‌های گیاهان می‌شود. نتایج مطالعهٔ حاضر نشان دادند میزان پرولین با کاربرد جاسمونیک‌اسید ۲۱/۷۹ درصد نسبت به گیاهان شاهد افزایش می‌یابد و به نظر می‌رسد جاسمونیک‌اسید با تنظیم افزایشی بیان ژن‌های پروتئین‌های بازدارنده به‌ویژه پرولین سبب افزایش میزان این آمینواسید در گیاهان می‌شود (Wang *et al*., 2009). در مطالعه‌ای Gupta و همکاران (۱۹۹۳) بیان کردند متیل‌جاسمونات با القای آنزیم سنتزکنندهٔ پرولین باعث افزایش تولید پرولین می‌شود؛ این نتیجه با نتایج پژوهش حاضر مطابقت دارد.

محتوای نسبی آب برگ: محتوای نسبی آب برگ شاخصی برای نشان‌دادن وضعیت آبی گیاه است. نتایج Ashkavand و همکاران (۲۰۱۵) دربارهٔ زالزالک نشان دادند محلول‌پاشی با نانوذرات سیلیکون تأثیر فزاینده‌ای بر محتوای نسبی آب برگ دارد هرچند این تأثیر نسبت به شاهد معنادار نیست؛ برخلاف نتایج یادشده، یافته‌های مطالعهٔ حاضر نشان دادند با افزایش غلظت محلول‌پاشی نانو دی‌اکسیدتیتانیوم محتوای نسبی آب برگ گیاهان تیمارشده نسبت به شاهد افزایش بیشتری نشان می‌دهد و افزایش ۵۷/۳۵ درصدی نسبت به شاهد در غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم‌درلیتر مشاهده می‌شود؛ نتایج یادشده با نتایج Haghighi و Pessarakli (۲۰۱۳) که نشان دادند با افزایش غلظت محلول‌پاشی نانوذرات سیلیکون محتوای نسبی آب برگ گونهٔ *Solanum lycopersicum* افزایش می‌یابد همخوانی دارد.

نتایج Salimi و همکاران (۲۰۱۵) نشان دادند بیشترین محتوای نسبی آب برگ گیاه بابونهٔ آلمانی با محلول‌پاشی غلظت ۷۵ میکرومولار در بین غلظت‌های مختلف صفر (شاهد)، ۷۵، ۱۵۰، ۲۲۵ و ۳۰۰ میکرومولار متیل‌جاسمونات به دست می‌آید؛ این در حالیست که یافته‌های مطالعهٔ حاضر نشان دادند اختلاف معناداری بین محلول‌پاشی با غلظت‌های ۷۵ و ۱۵۰ میلی‌گرم‌درلیتر وجود ندارد. نتایج مطالعهٔ Zabet و همکاران (۲۰۰۳) نیز نشان

www.SID.ir

Archive of SID

دادند محلول‌پاشی با متیل‌جاسمونات موجب افزایش محتوای نسبی آب برگ گیاه *Vigna radiata* می‌شود که با یافته‌های مطالعهٔ حاضر همخوانی دارد.

ترکیبات آنتی‌اکسیدانی: افزایش ترکیبات آنتی‌اکسیدانی یکی از مهم‌ترین سازوکارهای دفاعی گیاهان در رویارویی با شرایط نامساعد است. سیستم دفاع آنتی‌اکسیدانی شامل آنتی‌اکسیدان‌های غیرآنزیمی ازجمله ترکیبات فنولی، بتاکاروتن، آسکوربیک‌اسید (AA)، آلفاتوکوفرول (α-toc)، گلوتاتیون (GSH) و آنزیمی شامل سوپراکسیددیسموتاز (SOD)، گایاکول‌پراکسیداز (GPX)، آسکوربات‌پراکسیداز (APX)، کاتالاز (CAT)، پلی‌فنول‌اکسیداز (PPO) و گلوتاتیون‌ردوکتاز هستند (Daneshmand, 2014). همکاری این اجزا با یکدیگر سبب تشکیل چرخه‌های بسیار مهمی می‌شود (Omidbaigi and Hasani, 2002) که اجرای آنها به‌عنوان سازوکارهای دفاعی سلول را قادر می‌کند از تولید گونه‌های فعال اکسیژن پیشگیری کند و یا آنها را جمع‌آوری کند و آثار مضر آنها را کاهش دهد (Ashraf and Iram, 2005).

نتایج تجزیه‌وتحلیل همبستگی نشان دادند رابطهٔ مستقیم و معناداری در سطح ۱ درصد بین آنزیم‌های کاتالاز، آسکوربات‌پراکسیداز، سوپراکسیددیسموتاز، پراکسیداز و گایاکول‌پراکسیداز وجود دارد؛ این نتیجه با یافته‌های Omidbaigi و Hasani (۲۰۰۲) که بیان کردند همکاری این اجزا با یکدیگر سبب تشکیل چرخه‌های بسیار مهمی می‌شود همخوانی دارد.

جدول ۴- تجزیهٔ همبستگی بین صفت‌ها

	کاتالاز	گایاکول‌پراکسیداز	پراکسیداز	آسکوربات‌پراکسیداز	سوپراکسیددیسموتاز	فنول	اسانس	کلروفیل a	کلروفیل b	کلروفیل کل
کاتالاز	۱									
گایاکول پراکسیداز	۰/۹۱۳۸۵**	۱								
پراکسیداز	۰/۹۱۳۸۹**	۰/۸۴۱۸۳**	۱							
آسکوربات پراکسیداز	۰/۹۱۹۷۵**	۰/۸۷۹۳۲**	۰/۹۱۰۶۸**	۱						
سوپراکسید دیسموتاز	۰/۹۱۲۴۶**	۰/۹۹۷۰۶**	۰/۸۱۴۴۷**	۰/۸۵۸۳۸**	۱					
اسانس	۰/۹۴۹۶۲**	۰/۹۴۸۹۲**	۰/۹۲۸۵۰**	۰/۹۴۴۵۱**	۰/۹۳۷۷۴**		۱			
کلروفیل a						۰/۸۱۷۸۷**		۱		
کلروفیل b						۰/۸۲۰۱۱**		۰/۹۸۹۲۴**	۱	
کلروفیل کل						۰/۸۲۱۲۹**	۰/۹۳۳۲۴**	۰/۹۹۴۶۱**	۰/۹۹۹۰۸**	۱

* و ** به ترتیب معنادار در سطح ۵ درصد و ۱ درصد

www.SID.ir

Archive of SID

ترکیبات غیرآنزیمی

ترکیبات فنولی: ترکیبات فنولی به‌علت ویژگی آنتی‌اکسیدانی قوی رادیکال‌های آزاد را به دام می‌اندازند و گیاهان این ترکیبات را در پاسخ به برخی ترکیبات پیام‌رسان دارای نقش دفاعی مهم آزاد می‌کنند (Sheraphti chaleshtari *et al.*, 2008. Kovacik و همکاران (۲۰۰۹) در گزارشی بیان کردند ترکیبات فنولی نقش آنتی‌اکسیدانی خود را با سازوکارهایی مانند پاکروبی رادیکال‌های آزاد، دادن هیدروژن، کلات‌کردن یون‌های فلزی و یا در همکاری با پراکسیدازها برای جمع‌آوری یا حذف پراکسیدهیدروژن ایفا می‌کنند. ترکیبات فنولی با شرکت در واکنش حذف رادیکال‌های آزاد به رادیکال فنوکسیل اکسید می‌شوند و سپس از طریق واکنش رادیکال‌های فنوکسیل با آسکوربات به حالت اولیه برمی‌گردند (Silva *et al.*, 2007). نتایج مطالعهٔ حاضر نشان دادند میزان فنول با بیشترشدن غلظت نانو دی‌اکسیدتیتانیوم ۲۰/۱۷ درصد نسبت به شاهد (بدون کاربرد محلول‌پاشی) افزایش می‌یابد؛ این نتایج در تأیید یافته‌های Oloumi و همکاران (۲۰۱۵) است که گزارش کردند نانوذرات مس و روی آثار مثبتی بر محتوای ترکیبات فنولی نهال‌های شیرین‌بیان دارند.

نتایج پژوهش حاضر نشان دادند محلول‌پاشی با جاسمونیک‌اسید سبب افزایش ۵۱/۲۲ درصدی فنول کل نسبت به گیاهان شاهد می‌شود. کاربرد متیل‌جاسمونات مقدار ترکیبات فنولی را در برخی گیاهان نظیر مارچوبه (Reyes and Cisneros-Zevallos, 2003) و لوبیا سبز (Basilio Heredia and Luis Cisneros-Zevallos, 2009) افزایش می‌دهد که با نتایج مطالعهٔ حاضر مطابقت دارد.

ترکیبات آنزیمی: آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان نقش بسیار مهمی در غیرفعال‌کردن رادیکال‌های آزاد اکسیژن در سلول گیاه دارند و میزان فعالیت آنها در گیاه بسته به گونهٔ گیاهی تغییر می‌کند (Apel and Hirt, 2004). آنزیم‌های کاتالاز، پراکسیداز و آسکوربات‌پراکسیداز از مهم‌ترین آنزیم‌های دخیل در فرایند جمع‌آوری و خنثی‌سازی گونه‌های فعال اکسیژن هستند (Sunkar, 2010). شواهدی وجود دارد که نشان می‌دهند جاسمونیک‌اسید و متیل‌جاسمونات به‌عنوان مولکول‌های هشداردهنده در گیاهان فعالیت می‌کنند (Memelink, 2009). گزارش‌های مختلفی نیز مبنی بر تأثیر متیل‌جاسمونات بر فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان در گیاه آرابیدوپسیس (Jung, 2004) و بادام زمینی (Comparot *et al.*, 2002) ارائه شده‌اند. گزارش‌های ارائه‌شده نشان می‌دهند متیل‌جاسمونات سطوح رادیکال‌های آزاد را از طریق افزایش آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان در گیاهان کاهش می‌دهد. غلظت‌های ۱۰۰ و ۲۵۰ میکرومولار متیل‌جاسمونات موجب افزایش فعالیت آنزیم‌های سوپراکسیددیسموتاز، کاتالاز و پراکسیداز در گیاهچهٔ بادام زمینی می‌شوند (Kumari *et al.*, 2006). در پژوهشی Hare و Walling (۲۰۰۶) اثر متیل‌جاسمونات را بر فعالیت آنزیم گایاکول‌پراکسیداز بررسی و گزارش کردند متیل‌جاسمونات اثری بر فعالیت آنزیم گایاکول در تاتوره (*Datura wrightii*) ندارد.

www.SID.ir

Archive of SID

نتایج پژوهش حاضر نشان می‌دهند میزان فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، آسکوربات‌پراکسیداز، گایاکول‌پراکسیداز، پراکسیداز و سوپراکسیددیسموتاز با افزایش غلظت جاسمونیک‌اسید به‌ترتیب ۱۲/۷۱، ۱۹/۲۳، ۳۷/۲۵، ۸۱/۲۱ و ۴۶/۸۳ درصد نسبت به شاهد افزایش می‌یابد. نتایج مطالعهٔ Brooke Melan و همکاران (۲۰۱۶) نشان می‌دهند میزان فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان کاتالاز، آسکوربات‌دیسموتاز و پراکسیداز با افزایش غلظت محلول‌پاشی جاسمونیک‌اسید افزایش می‌یابد؛ این نتایج با نتایج پژوهش حاضر مطابقت دارند. در مطالعه‌ای روی گیاه آفتابگردان بیان شده است محلول‌پاشی با متیل‌جاسمونات باعث افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی مانند گایاکول‌پراکسیداز، آسکوربات‌پراکسیداز و کاتالاز می‌شود که با نتایج پژوهش حاضر مطابقت دارد (Parra-Lobato *et al*., 2009).

در گزارشی بیان شده است تیمار گیاه دارویی پریوش با نانو اکسیدروی سبب افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی کاتالاز، سوپراکسیددیسموتاز و گایاکول‌پراکسیداز می‌شود (Amirjani *et al*., 2014). کاربرد نانوذرات دی‌اکسیدتیتانیوم محتوای پراکسیدهیدروژن و مالون‌دی‌آلدهید را در گیاه کتان کاهش می‌دهد (Baiazidi Aghdam, 2014). پژوهش‌های پیشین نشان می‌دهند نانوذرات دی‌اکسیدتیتانیوم آثار مخرب افزایش رادیکال‌های آزاد (Lei *et al*., 2008) و میزان نشت الکترولیت در سلول گیاهی (Zarafshar *et al*., 2015) را با تقویت سیستم آنتی‌اکسیدانی به‌طور درخور توجهی کاهش می‌دهد. در مطالعهٔ حاضر فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان در گیاهان تیمارشده نسبت به شاهد بیشتر بود؛ به‌طوری‌که فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، سوپراکسیددیسموتاز، گایاکول‌اکسیداز، آسکوربات‌اکسیداز و پراکسیداز در گیاهان محلول‌پاشی‌شده با نانو تیتانیوم به‌ترتیب ۲۰/۱۶، ۱۶/۹۵، ۲۳/۸۴، ۳۲/۱۴ و ۱۲/۲۶ درصد نسبت به شاهد افزایش داشت.

نتایج مطالعه‌ای روی گلابی نشان می‌دهند بیشترین فعالیت آنزیم پراکسیداز در محلول‌پاشی با ۱۰۰ میلی‌گرم‌درلیتر دی‌اکسیدتیتانیوم به دست می‌آید (Zarafshar *et al*., 2015)؛ درحالی‌که نتایج پژوهش حاضر نشان می‌دهند فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی با افزایش غلظت محلول‌پاشی افزایش می‌یابد و در غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم‌درلیتر نانو دی‌اکسیدتیتانیوم بیشترین فعالیت به آنزیم سوپراکسیددیسموتاز تعلق دارد. نتایج مطالعهٔ Moaveni و همکاران (۲۰۱۱a) روی گیاه ذرت (*Zea mays*) نشان می‌دهند بیشترین میزان فعالیت آنزیم سوپراکسیددیسموتاز طی محلول‌پاشی با نانوذرات دی‌اکسیدتیتانیوم ۰/۰۳ درصد حاصل می‌شود و کمترین میزان به تیمار شاهد تعلق دارد. افزایش تجمع رادیکال سوپراکسید در پی کاهش فعالیت آنزیم سوپراکسیددیسموتاز رخ می‌دهد؛ این رادیکال با پراکسیدهیدروژن ترکیب می‌شود و با اجرای واکنش هابر–ویز (Haber-Weiss Reaction) رادیکال بسیار خطرناک هیدروکسیل را به وجود می‌آورد (Sairam and Saxena, 2000). کاهش کارایی چرخهٔ مهلر (Mehler

www.SID.ir

Archive of SID

(Reaction در کلروپلاست سبب افزایش شدت آسیب به مولکول‌های زیستی حیاتی ازجمله غشاها می‌شود و کاهش کارایی چرخهٔ یادشده از کاهش فعالیت آنزیم سوپراکسیددیسموتاز ناشی می‌شود؛ علاوه‌براین، تجمع رادیکال سوپراکسید فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و پراکسیدازها را کاهش می‌دهد (Beauchamp and Fridovich, 1971). آنزیم‌های یادشده نقش ویژه‌ای در جمع‌آوری پراکسیدهیدروژن موجود در سلول دارند (Sairam and Saxena, 2000).

اسانس‌ها متابولیت‌های ثانویه‌ای هستند که در دورهٔ رویشی و زایشی گیاهان دارویی تولید می‌شوند و از گروه شیمیایی ترپن‌ها هستند یا منشأ ترپنی دارند که واحدهای سازندهٔ آنها نیاز شدیدی به NADPH و ATP دارند. نتایج مطالعهٔ حاضر نشان می‌دهند رابطهٔ مستقیم و معناداری در سطح ۱ درصد بین میزان اسانس و رنگیزه‌های فتوسنتزی وجود دارد که با نتایج مطالعهٔ Moghadam و همکاران (۲۰۱۶) همخوانی دارد. نتایج مطالعهٔ آنها نشان دادند رابطهٔ مستقیمی بین فتوسنتز و فراورده‌های فتوسنتزی با تولید اسانس در گیاهان وجود دارد؛ به‌طوری‌که همبستگی بین فتوسنتز و تولید اسانس نشان می‌دهد گلوکز به‌عنوان پیش‌مادهٔ مناسب در سنتز اسانس به‌ویژه مونوترپن‌ها عمل می‌کند؛ ازاین‌رو به نظر می‌رسد گلوکز حاصل از فتوسنتز پیش‌مادهٔ لازم برای تأمین انرژی و سنتز ترکیبات مؤثر در اسانس را فراهم می‌کند. عوامل بسیاری وجود دارند که سبب تغییر کمیت و کیفیت اسانس می‌شوند که یکی از آنها مصرف عناصر غذایی است. گیاهان دارویی در طول دورهٔ رویش برای تولید مناسب اسانس و مواد مؤثره به مقدار کافی عناصر غذایی نیاز دارند؛ به‌طوری‌که تأمین این عناصر غذایی میزان و عملکرد اسانس را به‌طور درخور توجهی افزایش می‌دهد (Moghadam *et al.*, 2016).

استفاده از فناوری نانوذرات یکی از مهم‌ترین راهکارها در تغذیهٔ گیاهان است (Rezai *et al.*, 2010)؛ استفاده از ترکیبات نانو با ویژگی‌های مطلوب مانند غلظت مؤثر، قابلیت حل‌پذیری مناسب، ثبات و تأثیرگذاری زیاد و رهایش کنترل‌شده سبب افزایش کارایی عناصر غذایی می‌شود (Naderi *et al.*, 2013). نانوذرات اتم‌ها یا مولکول‌هایی با ابعاد بین ۱ تا ۱۰۰ نانومتر هستند و این اندازهٔ کوچک اجازه می‌دهد جذب و انتقال آنها از طریق برگ به‌سهولت انجام شود (Liu *et al.*, 2006)؛ این امر به‌علت اندازهٔ کوچک ذرات و میزان نفوذ زیاد آنها در سلول‌های گیاه است. کاهش اندازهٔ ذرات سبب افزایش انرژی و فعالیت سطحی آنها نسبت به ذرات معمولی می‌شود و این امر میزان و سرعت حل‌شدن در آب را افزایش می‌دهد (Ma *et al.*, 2012).

طبق گزارش Martínez-Sánchez و همکاران (۱۹۹۳) کاربرد تیتانیوم به‌شکل محلول‌پاشی روی برگ‌های فلفل باعث افزایش آسکوربیک‌اسید و کاپسانتین در این گیاه می‌شود که با نتایج مطالعهٔ حاضر همخوانی دارد. در مطالعهٔ حاضر میزان اسانس با افزایش غلظت نانوذرات دی‌اکسیدتیتانیوم افزایش یافت؛ این نتایج با نتایج Amirjani و همکاران (۲۰۱۴) که بیان کردند محلول‌پاشی با نانوذارت اکسیدروی سبب افزایش میزان آلکالوئید در گیاه دارویی پریوش می‌شود مطابقت دارد؛ ازسویی

www.SID.ir

Archive of SID

Amuamuha و همکاران (۲۰۱۲) در گزارشی بیان کردند محلول‌پاشی با نانوذرات آهن سبب افزایش عملکرد گل و اسانس گیاه همیشه‌بهار در مقایسه با شاهد می‌شود.

در گزارشی بیان شده است کاربرد نانو نقره در گیاه شمعدانی عطری (*Pelargonium graveolens*) میزان اسانس را افزایش می‌دهد؛ این نتیجه با نتایج مطالعهٔ حاضر که نشان دادند محلول‌پاشی با نانوذرات تیتانیوم سبب افزایش ۱۹/۷۰ درصدی میزان اسانس می‌شود و با نتایج Dastmalchi و همکاران (۲۰۰۷) که بیان کردند کاربرد نانو نقره در گیاه شمعدانی عطری (*Pelargonium graveolens*) میزان اسانس را افزایش می‌دهد همخوانی دارد. در پژوهش دیگری کاربرد نانو دی‌اکسیدتیتانیوم در گیاه دارویی مریم‌گلی (*Salvia officinalis*) میزان فلاونوئید کل را به‌طور معناداری در مقایسه با شاهد افزایش داد (Ghorbanpour *et al*., 2015)؛ ازاین‌رو به نظر می‌رسد نانو دی‌اکسیدتیتانیوم با تأثیر مستقیم بر کلروفیل و سایر عوامل مؤثر بر فتوسنتز (Chao and Choi, 2005) و تأثیر غیرمستقیم بر افزایش سطح فتوسنتزی باعث افزایش ظرفیت فتوسنتزی گیاه می‌شود (Rombol *et al*., 2005) و این افزایش ظرفیت فتوسنتزی سبب افزایش گلوکز می‌شود. ازآنجاکه گلوکز پیش‌مادهٔ مناسب سنتز اسانس و به‌ویژه مونوترپن است مواد غذایی بیشتری به مسیرهای ساخت ترپن‌ها اختصاص می‌یابند (Rombol *et al*., 2005)؛ ازاین‌رو، فتوسنتز و تولید فراورده‌های فتوسنتزی ارتباط مستقیمی با تولید اسانس دارند (Niakan *et al*., 2004).

مطالعه‌های انجام‌شده نشان می‌دهند کاربرد ترکیباتی مانند جاسمونات‌ها که به‌طور طبیعی یافت می‌شوند باعث افزایش متابولیت‌های ثانویه می‌شود (Wang *et al*., 2009). Popova و همکاران (۲۰۰۳) بیان کردند جاسمونیک‌اسید و مشتقات آن دارای نقش دوگانه در تکامل و دفاع هستند؛ این ترکیبات با القای مسیرهای علامت‌رسانی باعث فعال‌شدن واکنش‌های دفاعی در گیاه و درنتیجه افزایش تولید متابولیت‌های ثانویه در گیاهان می‌شوند. مطالعه‌های انجام‌شده در زمینهٔ اثر متیل‌جاسمونات بر ترکیبات ثانویهٔ ریحان شیرین نشان می‌دهند افزایش غلظت متیل‌جاسمونات سبب افزایش میزان اسانس در ریحان می‌شود (Kim *et al*., 2005).

Ghasemi pirbeloti و همکاران (۲۰۱۲) گزارش کردند جاسمونیک‌اسید و متیل‌جاسمونات بر میزان ترکیبات و مواد مؤثرهٔ آویشن دنایی تأثیرگذار است؛ به‌طوری‌که غلظت‌های مختلف به‌کاررفته نوع و مقدار ترکیبات ثانویهٔ اسانس را افزایش می‌دهند؛ یافته‌های یادشده با نتایج مطالعهٔ حاضر که نشان می‌دهند محلول‌پاشی جاسمونیک‌اسید سبب افزایش میزان اسانس مریم‌گلی می‌شود همخوانی دارد؛ بنابراین افزایش ۱۷/۴۲ درصدی مقدار اسانس مریم‌گلی پس‌از تیمار جاسمونیک‌اسید نشان می‌دهد این ترکیب از یک سو به‌عنوان پیام‌رسان کلیدی در فرایند القای منجر به تولید متابولیت‌های ثانویه نقش دارد و از سوی دیگر با تحریک علامت‌رسانی در سلول‌ها سبب افزایش مقدار اسانس مریم‌گلی می‌شود (Szepesi *et al*., 2005).

www.SID.ir

Archive of SID

نتیجه‌گیری

نانو دی‌اکسیدتیتانیوم و جاسمونیک‌اسید میزان کلروفیل را با افزایش محتوای رنگیزه‌های فتوسنتزی افزایش می‌دهند، با فعال‌کردن سیستم دفاع آنتی‌اکسیدان آنزیمی و غیرآنزیمی گیاه باعث کاهش پراکسیداسیون لیپیدها می‌شود و با حفظ تعادل آبی سلول و افزایش محتوای تنظیم‌کننده‌های اسمزی (پرولین) سبب افزایش محتوای نسبی آب برگ در گیاه مریم‌گلی می‌شوند؛ اما کاربرد توأم دی‌اکسیدتیتانیوم و جاسمونیک‌اسید بر فرایندهای یادشده در این گیاه تأثیری ندارد. ازآنجاکه پژوهش‌های مشابه در این زمینه اندک هستند تأیید دقیق‌تر نتایج یادشده مستلزم بررسی‌های بیشتر آزمایشگاهی به‌ویژه ازنظر مولکولی و تجزیه‌وتحلیل بیان ژن است.

References

Amirjani, M. R., Askari, M. and Askari, P. (2014) The effect Nano oxide Zinc on the amount of alkaloids, enzymatic and non-enzymatic antioxidants and some indicators of Physiology *Catharantus roseu*. Cells and Tissues Journal 5(2): 173-183 (in Persian).

Amuamuha, L., Pirzad, A. and Hadi, H. (2012) Effect of varying concentration and time of nano iron foliar pplication on the yield and essential oil of pot marigold (*Calendula officinalis*). International Research Journal of Applied and Basic Sciences 3(10): 2085-2090.

Apel, K. and Hirt, H. (2004) Reactive oxygen species: metabolism, oxidative stress and signal transduction. Annual Review of Plant Biology 55: 373-399.

Ashkavand, P., Tabarsi kocheksaraei, M., Zarafshar, M. and Ghanbari, A. (2015) Effect of silica nanosilver (SiO_2 NPs) on vegetative and physiological traits of seedlings of *Crataegus aronia*. Journal of Science and Technology of Wood and Forest 23(11): 41-61 (in Persian).

Ashraf, M. and Iram, A. (2005) Drought stress induced changes in some organic substances in nodules and other plant parts of two potential legumes differing in salt tolerance. Flora 200: 446-535.

Babst, B. A., Ferrieri, R. A., Gray, D. W., Lerdau, M., Schlyer, D. J., Schueller, M., Thrope, M. R. and Orians, C. M. (2005) Jasmonic acid induces rapid changes in carbon transport and partitioning in Populus. Journal New Phytologist 167: 63-72

Baiazidi Aghdam, M. T. (2014) The effect of titanium dioxide nanoparticles under conditions of drought stress on morphological and physiological characteristics of *Linum usitatissimum*. MSc thesis, University of Shahid Madani, Azarbaijan, Iran.

Basilio Heredia, J. and Luis Cisneros-Zevallos, L. (2009) The effects of exogenous ethylene and methyl jasmonate on the accumulation of phenolic antioxidants in selected whole and wounded fresh produce. Food Chemistry 115: 1500-1508.

Bates, L. S., Waldern, R. P. and Teave, I. D. (1973) Rapid determination of free proline for water stress studies. Plant and soil 39: 107-205.

Beauchamp, C. and Fridovich, I. (1971) Superoxide dismutase: improved assays and an assay applicable to acrylamide gels. Annual Journal of Biochemistry 44: 276-287.

Beers, G. R. and Sizer, I. V. (1952) A spectrophotometric method for measuring the break down of hydrogen peroxide by catalase. Journal of Biological Chemistry 195: 133-140.

Brooke melan, A., Hasani, L., Abdollahi, B., Darveshzade, R., Kharadmand, F. and Hasani, A. (2016) The effect of different concentrations of methyl jasmonate on the activity of antioxidant enzymes and total protein content *Ocimum bascilicum*. Journal of Crop Improvment 18(1): 103-115 (in Persian).

www.SID.ir

Archive of SID

Carta, C., Moretti, M. D. and Peana, A. T. (1996) Activity of oil *Salvia officinalis* against Botrytis cinerea. Journal of Essential Oil Research 8: 399-404.

Chao, S. H. L. and Choi. H. S. (2005) Method for Providing Enhanced Photosynthesis. Korea Research Institute of Chemical Technology, Jeonju.

Comparot, S. M., Graham, C. M. and Reid, D. M. (2002) Methyl jasmonate elicits a differential antioxidant response in light and dark grown canola (*Brassica napus*) roots and shoots. Journal Plant Growth Regulation 38: 21-30.

Czerpak, R., Piotrowska, A. and Szulecka, K. (2006) Jasmonic acid affects changes in the growth and some components content in alga *Chlorella vulgaris.* Acta Physiologia Plantarum 28: 195-203.

Daneshmand, F. (2014) Response of antioxidant system of tomato to water deficit stress and its interaction with ascorbic acid. Iranian Journal of Plant Biology 6(19): 57-72.

Dastmalchi, K., Dorman, H. G., Kosar, M. and Hiltunen, R. (2007) Chemical composition and in vitro antioxidant evaluation of a water soluble Moldavian balm (*Dracocephalum moldavica*) extract. Journal of Food Science and Technology 40: 239-48.

Ghasemi pirbeloti, A., Ashrafi, M., Rahim malek, M. and Hamedi, B. (2012) The effect of jasmonic acid spraying on the percentages and essential oils of thyme. Journal of Herbal medications 2: 75-80 (in Persian).

Ghorbanpour, M. (2015) Major essential oil constituents, total phenolics and flavonoids content and antioxidant activity of *Salvia officinalis* plant in response to nano-titanium dioxide. Indian Journal of Plant Physiology 20(3): 249-256.

Ghosh, P. K., Ajay, K. K., Manna, K. C., Mandal, A. K. and Hati. K. M. (2004) Comparative affective of cattle manure, pultry manure, phospocompost and fertilizer- NPK on three cropping system in vertisols of semi- arid tropics. Dry matter yield, nodulation, chlorophyll, Content and Enzyme Activity. Bioresource Technology 95: 85-93.

Guo, Z., Ouw Lu, S. and Zhong, Q. (2006) Differential responses of antioxidative system to chilling and drought in four rice cultivars differing in sensitivity. Plant Physiology and Biochemistry 44: 828-836.

Gupta, A. K., Singh, J., Kaur, N. and Singh, R. (1993) Effect of polyethylene glycol induced water stress on uptake introversion and transport of sugars in chickpea seedling. Plant Physiology and Biochemistry 31: 743-747.

Haghighi, M. and Pessarakli, M. (2013) Influence of silicon and nano-silicon on salinity tolerance of cherrytomatoes (*Solanum lycopersicum*) at early growth stage. Scientia Horticulturae 161: 111-117 (in Persian).

Hare, J. D. and Walling, L. L. (2006) Constitutive and jasmonate-inducible traits of Datura wrightii. Journal of Chemical Ecology 32: 29-45

Hashemi Dezfoli, A., kocheki, A. and Benaiean, M. (1993) Increasing the yield of crops. Publications University of Mashhad, Mashhad.

Holy, M. C. (1972) Indole acetic acid oxidase: a dual catalytic enzyme. Journal of Plant Physiology 50: 15-18.

Hong, F., Zhou, J., Liu, C., Yang, F., Wu, C., Zheng, L. and Yang, P. (2005) Effects of Nano TiO_2 on photochemical reaction of chloroplasts of Spinach. Journal Biological Trace Element Research 105: 269-279.

Jiang, Y. and Huang, B. (2000) Effects of drought or heat stress alone and in combination on Kentucky bluegrass. Crop Science 40: 1358-1362.

Jiang, Y. and Huang, N. (2001) Drought and heat sress injury to two cool-season turfgrasses in relation to antiaxdant metabolism and lipid peroxidation. Crop Science 41: 436-442.

www.SID.ir

Archive of SID

Jung, S. (2004) Effect of chlorophyll reduction in Arabidopsis thaliana by methyl jasmonate or norflurazon on antioxidant systems. Plant Physiology and Biochemistry 42(3): 225-231.

Kapoor, R., Giri, B. and Mukerji, K. G. (2004) Improved growth and essential oil yield and quality in (*foeniculum vulgare* Mill.) on mycorrhizal inoculation supplemented with p-fertilizer. Bioresource Technology 93: 307-311.

Kim, H. J., Chen, F., Wang, X. and Rajapakse, N. C. (2005) Effect of chitosan on the biological properties of sweet basil (*Ocimum basilicum*). Journal of Agricucture and Food Chemistry 53: 3696-3701.

Koo, A. J. K. and Howe, G. A. (2009) The wound hormone jasmonate. **J**ournal of Photochemistry and Photobiology 70: 1571-1580.

Kovacik, J., Backor, M., Strnad, M. and Repcak, M. (2009) Salicylic acid induced changes to growth and phenolic metabolism in Matricaria chamomilla plants. Plant Cell Report 28: 135-143.

Kumari, G. J., Reddy, A. M., Naik, S. T., Kumar, S. G., Prasanthi, J., Sriranganayakulu, G., Reddy, P. C. and Sudhakar, C. (2006) Jasmonic acid induced changes in protein pattern, antioxidative enzyme activities and peroxidase isozymes in peanut seedlings. Biologia Plantarum 50: 219-226.

Lei, Z., Su, M. Y., Wu, X. C., Qu, C. X., Chen, L., Huang, H., Liu, X. Q. and Hong, F. S. (2008) Antioxidant stress is promoted by Nano-anatase in spinach chloroplasts under UV- Beta radiation. Biological Trace Element Research 121: 69-79.

Liu, X., Feng, Z., Zhang, S., Zhang, J., Xiao, Q. and Wang, Y. (2006) Preparation and testing of cementing nano-sub nanocomposites of slower controlled release of fertilizers. Scientia Agricultura Sinica 39: 1598-604.

Lu, C. M., Zhang, C. Y., Wu, J. Q. and Tao, M. X. (2002) Research of the effect of nanometer on germination and growth enhancement of Glycine max and its mechanism. Soybean Science 21:168-172.

Ma, X., Lee, J. G., Deng, Y. and Kolmakov, A. (2012) Interactions between engineered nanoparticles and plants: Phytotoxicity, uptake and accumulation. Science of the Total Environment 408(16): 3053-3061.

Martínez-Sánchez, F., Nunez, M., Amoros, A., Gimenez, J. L. and Alcaraz, C. F. (1993) Effect of titanium leaf spray treatments on ascorbic acid levels of *Capsicum annuum* L. fruits. Journal of Plant Nutrition 16(5): 975-981.

McDonald, S., Prenzler, P. D., Autolovich, M. and Robard, S. (2001) Phenolic content and antioxidant activity of olive extracts. Food and Chemical Toxicology 73: 73-84.

Memelink, J. (2009) Regulation of gene expression by jasmonate hormones. Phytochemistry 70: 1560-1570.

Mingyu, S., Hong, F., Liu, C., Wu, X., Liu, X. and Chen, L. (2007) Effects of nano-anatase TiO_2 on absorption, distribution of light and photo reduction activities of chloroplast membrane of spinach. Biological Trace Element Research 118: 120-130.

Moaveni, P., Lotfi, M., Aliabadi Farahani, H. and Maroufi, K. (2011a) Effect of spraying TiO_2 nano particles on some of physiological and chemical parameters in maize (*Zea mays*). International Journal of Biological Sciences 1(4): 63-67.

Moaveni, P., Talebi, R., Farahani, H. A. and Maroufi, K. (2011b) Study of TiO_2 nanoparticles spraying effect on the some physiological parameters in barley (*Hordem Vulgare* L.). Advances in Environmental Biology 5(7): 1663-1667.

Moaveni, P., Valadabadi, S. A., Aliabadi Farahani, H. and Maroufi, K. (2011c).

www.SID.ir

Archive of SID

Nanoparticles TiO_2 spraying affected on calendula (*Calendula Officinalis*) under field condition. Advances in Environmental Biology 5(8): 2242-2244.

Moghadam, E., Mahmoodi Sourestani, Z., Ramazani, M., Farrokhian Firoozi, Z. and Eskandari, F. (2016) Effects of iron foliar application on the number and size of glandular trichomes and essential oil content and composition of holy basil (*Ocimum sanctum* L.) at first and second harvests. Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants 32(1): 174-188.

Monica, R. C. and Cremonini, R. (2009) Nanoparticles and higher plants. Caryologia 62(2): 161-165.

Naderi, M., Danesh-Shahraki, A. and Naderi, R. (2013) The role of nanotechnology in improving the use efficiency of nutrients and chemical fertilizers. Nanotechnol 11(12): 16-32.

Nair, R., Varghese, S. H., Nair, B. G., Maekawa, T., Yoshida, Y. and Kumar, D. S. (2010) Nanoparticulate material delivery to plants. Plant Science 179: 154-163.

Nakano, Y. and Asada, K. (1981) Hydrogen peroxide is scavenged by ascarbate specific peroxidases in spinach Chloroplasts. Plant and Cell Physiology 22(5): 867-880.

Niakan, M., Khavarynejad, R. A. and Rezaee, M. B. (2004) Effect of different rates of N/P/K fertilizer on leaf fresh weight, dry weight, leaf area and oil content in *Mentha piperita*. Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research 20(2): 131-148 (in Persian).

Oloumi, H., Soltaninejad, R. and Baghizadeh, A. (2015) The comparative effects of nano and bulk size particles of CuO and ZnO on glycyrrhizin and phenolic compounds contents in *Glycyrrhiza glabra* seedlings. Journal of Plant Physiology 20: 157-161.

Omidbaigi, R. (2005) Production and processing of medicinal plants. vol. 3. Astan Quds Razavi press, Mashhad.

Omidbaigi, R. and Hasani, A. (2002) Effects of water stress on some morphological, physiological and metabolic Occimum basilicom. Journal of Agricultural Knowledge 12(3): 47-59 (in Persian).

Paquin, R. and Lechasseur, P. (1979) Observation surune method dosage dela proline libredans les extraits plants. Canadian Journal of Botany 57(18): 1851-1854.

57: 1851-1854.

Parra-Lobato, M. C., Fernandez-Garcia, N., Olmos, E., Alvares-Tinaut, M. and GomezJimenez, C. (2009) Methyl jasmonate-induced antioxidant defence in root apoplast from sunflower seedlings. Environmental and Experimental Botany 66: 9-17.

Piekielek, W. P. and Fox, R. H. (1992) Use of a chlorophyll meter to predict sidedress nitrogen requirements for maize. Agronomy Journal 84: 59-65.

Piotrowska, A., Bajguz, A. and Czerpak, R. (2009) Jasmonic acid modulator of lead toxicity in aquatic plant *Wolffia arrhiza* (Lemnaceae). Journal of Horticultural Science and Biotechnology 66: 507-513.

Popova, L. P., Ananieva, E., Hristova, V., Christov, K., Georgieva, K., Alexieva, V. and Stoinova. Z. H. (2003) Salicylic acid and methyl jasmonate induced protection on photosynthesis to paraquat oxidative stress. Journal of Plant Physiology 133-152.

Prochazka, S., Machaackova, I., Kreekule, J. and Sebanek, J. (1998) Plant Physiology. Academia, Praha.

Rahman, A., Seth, D., Mukhopadhyaya, S. K., Brahmachary, R. L., Ulrichs, C. and Rao, P. B. (2009) Nanoparticle-virus complex shows enhanced immunological effect against baculovirus. Journal of Nanoscience Nanotechnol 9(9): 5567-5571.

Reyes, L. and Cisneros-Zevallos. F. (2003) Wounding stress increases the phenolic content and antioxidant capacity of

www.SID.ir

Archive of SID

purpleflesh potatoes. Journal of Agronomy and Crop Science 51: 5296-5300.

Rezai, R., Hoseyni, S. M., Shabanali, H. and Safa, L. (2010) Identify and analyze the barriers to the development of nanotechnology in the agricultural sector from the perspective of researchers. Journal of Science and Technology Policy in China 2(1): 17-26.

Rohwer, C. L. and Erwin, J. E. (2008) Horticultural applications of jasmonates. Journal of Horticultural Science and Biotechnology 83: 283-304.

Rombol, A. D., Gogorcena, Y., Larbi, A., Morales, F., Baldi, E., Marangoni, B., Tagliavini, M. and Abad, J. (2005) Iron deficiency-induced changes in carbon fixation and leaf elemental composition of sugar beet (*Beta vulgaris*) plants. Plant and Soil 271: 39-45.

Sairam, R. K. and Saxena, D. C. (2000) Oxidative stress and antioxidants in wheat genotypes: possible mechanism of water stress tolerance. Journal of Agronomy and Crop Science 184: 55-61.

Salehi, M. (2008) Pretreatment effect of nanosilver on germination and seedling growth of wheat under salt stress. 1st Iranian Congress in Seed Sciences and Technology, Gorgan, Iran.

Salimi, F., Shekari, F. and Hamzeie, G. (2015) Effect of Methyl jasmonat salinity stress on some characteristics of Matricaria chamomilla. College of Horticulture 29(1): 87-94 (in Persian).

Scrinis, G. and Lyons, K. (2007) The emerging nano-corporate paradigm: Nanotechnology and the transformation of nature, food and Agri-food systems. International Journal of Agriculture and Food 15(2): 22-44.

Sefidkon, F. (2001) Evaluation of Qualitative and Quantitative essential oil fennel (*Foeniculum vulgare Mill*) in different stages of growth. Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants 7:85-104(in Persian).

Sheraphti chaleshtari, F., Sheraphti chaleshtari, R. and Momeni, M. (2008) The antimicrobial effects of aqueous extract and ethanol plant *Scrophularia striata* on *E. coli* in Laboratory. University of medical sciences shaher Kord 10(4): 32-37 (in Persian).

Silva M. A., Jifon, J. L., Silva, J. A. G. and Sharma, V. (2007) Use of physiological parameters as fast tools to screen for drought tolerance in sugarcane. Journal of Plant Physiology 19: 193-201.

Sunkar, R. (2010) Plant stress tolerance methods and protocols, Humana Press, Oklahoma.

Szepesi, A., Csiszar, J., Bajkan, S., Gemes, K., Horvath, F., Erdei, L., Deer, A. K., Simon, M. L. and Tari, I. (2005) Role of salicylic acid and jasmonic acid pre-treatments on the acclimation of tomato plants to salt and osmotic stress. Acta Biologica Szegediensis 49: 123-125.

Urbanek, H., Kuzniak-Gebarowska, E. and Herka, K. (1991) Elicitation of defense responses in bean leaves by Botrytis cinerea polyglacturonase. Acta Physiology Plant 13: 43-50.

Wang, W. B., Kim, Y. H., Lee, H. S., Kim, K. Y., Deng, X. P. and Kwak, S. (2009) Analysis of antioxidant enzyme activity during germination of alfalfa under salt and drought stresses. Plant Physiology and Biochemistry 47: 570-577.

Wasternack, C. (2007) Jasmonates: An update on biosynthesis, signal transduction and action in plant stress response, growth and development. Annals of Botany 74: 1090-1093.

Yang, F., Hong, F., You, W., Liu, C., Gao, F., Wu, C. and Yang, P. (2006) Influence of nanoanatase TiO_2 on the nitrogen metabolism of growing spinach. Biological Trace Element Research 110(2): 179-190.

Yu, X., Du, X. and Song, L. (2007) Effects of water stress on the growth and ecophysiology of seedlings of the Rhus typhina. Science Silvge Sinicae 43: 57-61.

www.SID.ir

Archive of SID

Zabet, M., Hosein zade, A. H., Ahmadi, A. and Khialparast, F. (2003) Effect of water stress on different traits and determination of the best water stress index in mung bean (*Vigna radiata*). Iranian Journal Agricultural. Science 34: 889-898.

Zarafshar, M., Akbarinia, M., Askari, F., Hosseini, M. and Rahaie, M. (2015) The effect of the application of titanium dioxide nanoparticles under drought stress in Pyrus biosseriana buhse. Journal of Plant Ecosystem Conservation 3(6): 94-81 (in Persian).

Zhang, L., Hong, F., Lu, S. and Liu, C. (2005) Effects of nano-TiO_2 on strength of naturally aged seeds and growth of spinach. Biological Trace Element Research 105: 83-91.

Zhang, Z. J., Zhou, W. J., Li, H. Z., Zhang, G. Q., Subrhamaniyan, K. and Yu, J. Q. (2006) Effect of jasmonic acid on in vitro explant growth and microtuberization in potato. Biologia Plantarum 50: 453-456.

www.SID.ir