Iranian Journal of Horticultural Science
Vol 52, No 4, Winter 2022 (825-834)
DOI: 10.22059/ijhs.2020.282353.1653

علوم باغبانی ایران
دورهٔ ۵۲، شمارهٔ ۴، زمستان ۱۴۰۰ (ص ۸۳۴-۸۲۵)

نشریه پژوهشی:

تعدیل تنش شوری با محلول پاشی نانوذرات کربنات کلسیم در گل رز دلسویتا "*Rosa hybrida* L. cv. Dolce Vita"

عرفان امیدی[۱]، ندا دلیر[۲]، رسول راهنمایی[۳*] و علیرضا بابائی[۳]
۱، ۲ و ۳. کارشناسی ارشد، استادیار و دانشیار، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران
(تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۳/۱۲ - تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۰/۷)

چکیده
به منظور بررسی اثر محلول‌پاشی نانوذرات کربنات کلسیم و افزایش غیر مستقیم غلظت دی‌اکسید کربن حاصل از آن بر تعدیل تنش شوری گل رز رقم دلسویتا، آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک های کامل تصادفی به روش کشت بدون خاک با بستر مخلوط کوکوپیت و پرلیت، در سه تکرار اجرا شد. عامل اول شوری در دو سطح (۱/۸ و ۳/۲ دسی‌زیمنس بر متر با افزودن کلرید سدیم به محلول غذایی پایه) و عامل دوم محلول پاشی نانوذرات کربنات کلسیم در چهار سطح (صفر، ۳ ، ٦ و ۹ گرم بر لیتر با استفاده از کود لیتوویت) بودند. افزایش شوری و غلظت نانوذرات کربنات کلسیم اثری بر غلظت پتاسیم و سدیم برگ و میزان نشت الکترولیت سلول‌های برگ نداشت. شوری ۳/۲ دسی‌زیمنس بر متر رطوبت نسبی آب برگ را کاهش و ماده خشک و قند محلول را در برگ گیاه افزایش داد، اما اثری بر صفات مورفولوژیک مورد مطالعه نداشت. کاربرد نانوذرات کربنات کلسیم، رطوبت نسبی برگ در هر دو تیمار شور و غیر شور و میانگین تمام صفات مورفولوژیک (سطح برگ، قطر گل، طول ساقه و عملکرد گل) را به‌طور معنی‌داری افزایش داد. همچنین، کاربرد ٦ و ۹ گرم بر لیتر نانوذرات کربنات کلسیم غلظت کلروفیل، کارتنوئید و قند محلول برگ را به طور معنی داری افزایش داد، در حالی که شوری اثری بر این صفات نداشت. نتایج نشان داد محلول‌پاشی نانو ذرات کربنات کلسیم، با تاثیر بر ویژگی‌های فیزیولوژیک و مورفولوژیک و بهبود تغذیه گیاه، موجب تعدیل تنش شوری و بهبود شرایط رشد گل رز دلسویتا می‌شود.

واژه‌های کلیدی: **آبکشت، دی‌اکسید کربن، غنی‌سازی، هیدروپونیک.**

Alleviation of salinity stress on *Rosa hybrida* L. cv. '*Dolce Vita* by foliar application of calcium carbonate nanoparticles

Erfan Omidi[1], Neda Dalir[2], Rasoul Rahnemaie[3*] and Alireza Babaei[3]
1, 2, 3. M. Sc., Assistant Professor and Associate Professor, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran
(Received: June 02, 2019- Accepted: Dec. 27, 2020)

ABSTRACT
To investigate the effect of foliar application of calcium carbonate nanoparticles (CCN) and indirectly increasing carbon dioxide concentration on salt stress modulation of rose '*Dolce Vita*., a soilless culture experiment was conducted as a randomized complete blocks design with three replications, in which the pots were filled with a mixture of cocopeat and perlite. The first factor was salinity at two levels (1.8 and 3.2 dS m^{-1} by adding NaCl to the nutrient solution) and the second factor was foliar spraying of CCN at four levels (0, 3, 6 and 9 g L^{-1} by using Lithovit fertilizer). Increasing salinity and the concentration of CCN had no effect on potassium and sodium contents of leaves and electrolyte leakage of leaf cells. The salinity of 3.2 dS m^{-1} reduced the relative humidity of leaf and increased the dry matter percentage and soluble sugar content in the plant leaves; however, had no significant effect on studied morphological characteristics. The application of CCN significantly increased the relative humidity of leaves in both saline and non-saline treatments and the mean of morphological traits (leaf area, flower diameter, stem length and flower yield). In addition, the application of 6 and 9 g L^{-1} CCN significantly increased the concentration of chlorophyll, carotenoid, and leaf soluble sugar; however, salinity had no effect on these characteristics. Results showed that foliar application of CCN, by affecting physiological and morphological traits and improving plant nutrition, modulates salinity stress and improves the growth conditions of *Dolce Vita* rose.

Keywords: Carbon dioxide, enrichment, hydroponics.

* Corresponding author E-mail: rahnemaie@modares.ac.ir

مقدمه

ایران روی کمربند خشک و نیمه خشک کره زمین قرار دارد. از این رو، همواره دارای محدودیت دسترسی به منابع آب بوده و خواهد بود. پیامد این ویژگی اقلیمی شوری منابع آب و خاک و در نتیجه محدودیت توسعه کشاورزی است. کمبود منابع آب با کیفیت مناسب و توسعه شوری به دلیل برداشت نامتوازن از منابع آب کشور، ضرورت استفاده از آب‌های با کیفیت پایین‌تر از جمله آب‌های شور را ایجاب می‌کند.

تنش شوری با کاهش آب قابل دسترس گیاه علائمی شبیه تنش خشکی (همانند پژمردگی، برگ‌های تیره، ضخیم و برگ‌های با کوتیکول ضخیم) را در گیاه ایجاد می‌کند (Rhoades *et al*., 1992) که با ادامه تنش، برگ‌ها به‌تدریج خشک شده و این امر در نهایت منجر به مرگ گیاه می‌شود (Munns & Tester, 2008). تنش شوری با انسداد روزنه‌ای که یک واکنش سریع و اولیه گیاه نسبت به تنش شوری و کاهش پتانسیل آب خاک است، ورود دی‌اکسیدکربن به برگ را محدود کرده و فتوسنتز را کاهش می‌دهد. یکی دیگر از آثار مخرب شوری، اختلال در عملکرد غشای سلولی به‌دلیل جایگزینی کلسیم موجود در غشاء با سدیم می‌باشد. برای مثال در مطالعه‌ای بر روی گل رز، با افزایش شوری تا چهار دسی‌زیمنس بر متر، نفوذپذیری غشا از ۷/۸ به ۱۰/۷ درصد افزایش یافت (Ali *et al*., 2014).

یکی از عوامل موثر بر رشد و پرورش گیاهان غلظت دی‌اکسید کربن اتمسفر می‌باشد (Booker *et al*., 2005; Cheng *et al*., 2009) که اثرهای مثبت آن بر گیاهان گلدانی، شاخه بریده و سبزی‌ها از جمله افزایش ارتفاع، تعداد برگ و شاخه‌های جانبی در محیط‌های گلخانه‌ای گزارش شده است. افزایش غلظت دی‌اکسید کربن به‌طور مستقیم موجب تحریک و افزایش فتوسنتز و کاهش تنفس و در نتیجه افزایش و بهبود کارایی مصرف آب در گیاهان می‌گردد (Rozema *et al*., 1991). از طرف دیگر افزایش دی‌اکسید کربن با افزایش فتوسنتز و تولید کربوهیدرات (Mott, 1990) رشد گیاهان در شرایط شور را بهبود می‌بخشد.

در چند دهه اخیر، کشت و پرورش انواعی از گیاهان از جمله گل‌های شاخه بریده در بسترهای کشت بدون خاک گسترش یافته است، اما در شرایط گلخانه‌ای غلظت دی‌اکسیدکربن معمولاً یکی از عوامل محدودکننده حداکثر فتوسنتز گیاهان است. هر چند که تهویه هوای گلخانه باعث نوسازی هوا خواهد شد، اما اغلب این موضوع جبران‌کننده دی‌اکسیدکربن مصرف‌شده در جریان فتوسنتز گیاه نمی‌باشد. در گل‌ها و گیاهان زینتی با غنی‌سازی دی‌اکسیدکربن روزنه‌ها مدت زمان بیشتری بسته هستند و گیاه آب کمتری از دست می‌دهد، به‌طوری که در این شرایط مقدار پتانسیل آب برگ در گل رز افزایش می‌یابد (Urban *et al.,* 2002).

علاوه بر این، غنی‌سازی دی‌اکسیدکربن موجب افزایش مقاومت گیاهان به شوری می‌شود (Yu*et al*., 2015). این فرآیند باعث افزایش تثبیت دی‌اکسیدکربن و در نتیجه افزایش فتوسنتز و کاهش تنفس نوری در گیاه (به‌ویژه گیاهان سه کربنی) می‌شود، همچنین با کاهش تعرق و مقاومت روزنه‌ها، پتانسیل آب برگ و کارایی مصرف آب به ویژه در گیاهانی که در شرایط تنش شوری هستند افزایش می‌یابد (Li*et al*., 2019). در عین حال، اثر غنی‌سازی دی‌اکسیدکربن بر تعدیل تنش شوری به رقم گیاه و پارامترهای محیطی نظیر نور و دما نیز بستگی دارد (Perez-Lopez *et al*., 2010; Soletto *et al*., 2008).

علاوه بر روش متداول افزایش غلظت دی‌اکسید کربن، می‌توان از نمک‌های کربناتی محلول در آب، نظیر نانوذرات کربنات‌کلسیم نیز استفاده کرد. نانوذرات کربنات کلسیم به دلیل اندازه بسیار کوچکی که دارند می‌توانند با ورود به روزنه برگ موجب انتشار دی‌اکسید کربن به بافت برگ گیاهان شوند. لایه نازک باقیمانده روی سطح برگ نیز به تدریج جذب گیاه می‌شود. یکی از منابع تجاری نانوذرات کربنات‌کلسیم، ترکیبی به نام لیتوویت است که شامل کربنات‌های کلسیم و منیزیم و تعدادی از عناصر ریزمغذی است (Bilal, 2010). هرچند از لیتوویت به عنوان کودی موثر برای افزایش رشد گیاهان نام برده می‌شود (Balouchi *et al*., 2008; Moisa & Berar, 2015)، اما مکانیسم عمل آن به‌طور کامل شناخته نشده است. دو فرضیه در مورد چگونگی آزادسازی دی‌اکسیدکربن از کربنات‌کلسیم محلول‌پاشی‌شده روی سطح برگ مطرح می‌باشد. طبق فرضیه اول، در طی

شب کربنات کلسیم روی سطح برگ در واکنش با دی‌اکسیدکربن (تولیدشده ناشی از تنفس گیاه در طول شب و دی‌اکسیدکربن موجود در هوا) و آب موجود در سطح برگ (شبنم و تولیدشده توسط گیاه) به بی‌کربنات کلسیم تبدیل می‌شود. در طول روز با افزایش دما و تبخیر آب موجود روی سطح برگ، بی‌کربنات کلسیم به کربنات کلسیم تبدیل شده و در طی این واکنش دی‌اکسیدکربن با غلظتی بیشتر از دی‌اکسید کربن اتمسفر به‌طور مستقیم در اختیار برگ قرار می‌گیرد (House, 1981; Zhao*et al*., 2010, Bilal, 2010). در فرضیه دوم لیتوویت از طریق روزنه‌های برگی وارد گیاه می‌شود و واکنش شکستن کربنات کلسیم در فضاهای بین سلولی برگ انجام می‌شود (EL-Aal *et al*, 2018).

هرچند اثر تنش شوری و برهمکنش شوری و دی-اکسید کربن روی برخی از گیاهان زینتی مطالعه شده است، اما اطلاعات کمی درباره اثرات آن روی گل رز شاخه بریده در دسترس است. از طرف دیگر افزایش غلظت دی‌اکسید کربن با استفاده از محلول‌پاشی منابع تولید کننده دی‌اکسید کربن از جمله نانوذرات کربنات کلسیم نیز موضوع به نسبت جدیدی است و لذا به مطالعه و تحقیق بیشتری نیاز دارد. از این رو، با توجه به محدویت دسترسی به منابع آب با کیفیت و اهمیت اقتصادی و اجتماعی تولید گل رز شاخه بریده و اثرهای گزارش شده دی‌اکسیدکربن بر عملکرد گیاهان در شرایط تنش محیطی، در این تحقیق اثر غنی‌سازی دی‌اکسیدکربن به‌وسیله محلول‌پاشی نانوذرات کربنات کلسیم در شرایط تنش شوری بر تولید گل رز رقم دلسویتا، که یکی از ارقام مهم تجاری رز شاخه بریده در داخل و خارج از کشور است، مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

این تحقیق به صورت طرح فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی و با سه تکرار به روش آبکشت (هیدروپونیک) در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس در سال ۱۳۹۶-۱۳۹۵ انجام شد. قلمه‌های ریشه‌دار شده یکساله گل رز در گلدان‌های یونولیتی با اندازه ۴۰ × ۸۰ سانتی‌متر دارای کوکوپیت (۳۰ درصد) و پرلیت (۷۰ درصد) کشت شدند. در هر گلدان سه بوته کشت و میانگین مشاهدات به عنوان یک تکرار در نظر گرفته شد. به منظور یکنواختی رشد، بوته‌ها به مدت سه ماه با محلول غذایی یکسان تغذیه و سپس تیمارهای آزمایشی به مدت هفت ماه اعمال شدند. ترکیب یونی آب آبیاری گلخانه در آزمایشگاه اندازه‌گیری و در محاسبه فرمول غذایی لحاظ شد (جدول ۱).

تیمار شوری در دو سطح ۱/۸ و ۳/۲ دسی‌زیمنس بر متر و تیمار نانوذرات کربنات کلسیم به‌منظور غنی‌سازی دی‌اکسیدکربن روی سطح برگ (به روش محلول‌پاشی) در چهار سطح صفر، ۳، ۶ و ۹ گرم بر لیتر در سه تکرار اعمال شدند. ترکیب شیمیایی نانوذرات کربنات کلسیم مورد استفاده در جدول ۲ آورده شده است. هدایت الکتریکی محلول غذایی تیمار غیر شور (با در نظر گرفتن غلظت عناصر غیر غذایی نظیر سدیم، کلرید و بی کربنات) ۱/۸ دسی‌زیمنس بر متر بود. هدایت الکتریکی محلول غذایی تیمار شور، با افزودن نمک کلرید سدیم به محلول غذایی تیمار غیر شور، در سطح ۳/۲ دسی‌زیمنس بر متر تنظیم گردید. گلدان‌ها روزی پنج مرتبه آبیاری شدند. حجم آب آبیاری گلدان‌ها به گونه‌ای تنظیم شد که کسر آبشویی در بازه ۳۵-۳۰ درصد قرار گیرد و هدایت الکتریکی زه‌آب تقریبا ثابت باقی بماند. میزان تغییر در شوری (هدایت الکتریکی، EC)، واکنش (pH) و حجم زه‌آب گلدان‌ها در طول دوره آزمایش پایش گردید. در صورت نیاز، از نسبت آمونیم به نیترات برای تنظیم pH و تغییر در حجم آب آبیاری (محلول غذایی) برای تنظیم EC زه‌آب استفاده گردید.

اندازه‌گیری صفات مورفولوژیک

شاخص‌های مورفولوژیک گل رز شامل عملکرد، سطح برگ، قطر گل و طول ساقه در اواسط گلدهی اندازه‌گیری شد.

برای اندازه‌گیری درصد ماده خشک، پنج برگ از هر واحد آزمایشی انتخاب و با آب معمولی و سپس با آب مقطر شسته و پس از خشک شدن در هوای آزاد وزن شدند. سپس، برگ‌ها به مدت ۲۴ ساعت در آون و در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفته و دوباره وزن شدند و سپس درصد ماده خشک محاسبه گردید.

برای اندازه گیری محتوای نسبی آب برگ، در مراحل

پایانی اعمال تنش از هر واحد آزمایشی سه برگ انتخاب و وزن تر آن‌ها تعیین گردید. سپس برگ‌ها به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد در آب مقطر قرار گرفته و وزن اشباع آن‌ها اندازه‌گیری شد. برگ‌های آماس یافته در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت خشک شده و وزن خشک آن‌ها تعیین و رطوبت نسبی برگ محاسبه گردید.

به‌منظور اندازه‌گیری درصد پایداری غشای سلول‌های برگی، قطعاتی از برگ پس از شستشو در ۱۰ میلی‌لیتر آب مقطر در لوله‌های آزمایش غوطه‌ور شده و به مدت ۲۴ ساعت به شدت به‌هم زده شدند. پس از تعیین هدایت الکتریکی محلول، نمونه‌ها به مدت ۲۰ دقیقه در اتوکلاو با دمای ۱۲۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند و هدایت الکتریکی آن‌ها پس از سردشدن، اندازه‌گیری و درصد نشت یونی الکترولیت‌های برگ محاسبه گردید

به منظور اندازه گیری غلظت پتاسیم و سدیم برگ، تعداد پنج برگ کاملا توسعه یافته از قسمت‌های میانی شاخه و دور از محل رشد جمع‌آوری شد و پس از عصاره‌گیری به روش هضم‌تر غلظت پتاسیم و سدیم به روش نشر شعله‌ای اندازه‌گیری شد.

علاوه بر این، غلظت قند محلول به روش فنل-اسید سولفوریک (Sheligl, 1986) و غلظت رنگیزه‌های مختلف شامل کلروفیل‌های a، b و کاروتنوئید در پایان دوره آزمایش به روش اسپکتروسکپی اندازه‌گیری شد (Mousa *et al*., 2014; Sukran *et al.,* 1998).

تجزیه و تحلیل آماری

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها به وسیله نرم افزار SAS و مقایسهٔ میانگین داده‌ها توسط آزمون LSD در سطح احتمال ۵٪ انجام شد.

جدول ۱. ترکیب یونی (بر حسب میکرومول بر لیتر) آب آبیاری، محلول غذایی استفاده شده در دوره استقرار بوته‌های گل رز و محلول‌های غذایی دو تیمار آزمایشی با هدایت الکتریکی ۱/۸ و ۳/۲ دسی‌زیمنس بر متر.

Table 1. The ionic composition (in micromole per liter) of irrigation water, the nutrient solution used during the establishment of rose plants and the nutrient solutions of two experimental treatments with electrical conductivity of 1.8 and 3.2 dS m^{-1}.

Chemical forms	Irrigation water	Nutrient solution* (plant establishment period)	Nutrient solution (EC: 1.8 dS m^{-1})	Nutrient solution (EC: 3.2 dS m^{-1})
Ca	1100	2548	3028	3028
Mg	300	981	1166	1166
K	22	3532	4197	4197
NH_4	--	450	320	320
Na	4441	5623	4443	20000
NO_3	339	9625	11243	11243
SO_4	1635	1880	1655	1655
HCO_3	2060	<700	<700	<700
H_2PO_4	0.0	1250	1250	1250
Cl	1908	2100	1908	17467
Fe	--	40	40	40
Mn	--	10	10	10
Cu	--	3.5	3.5	3.5
Zn	--	6.0	6.0	6.0
B	24	24	24	24
Mo	--	1.1	1.1	1.1
EC	0.85	1.8	1.8	3.2
pH	7.92	5.5	5.5	5.5

جدول ۲. ترکیب شیمیایی نانوذرات کربنات کلسیم (لیتوویت) مورد استفاده در این مطالعه (بر اساس برچسب کود).

Table 2. The chemical composition of calcium carbonate nanoparticles (Lithovit) used in the study (as printed on the fertilizer label).

Component	Value (%)	Component	Value (%)
Calcium carbonate	77.9	Iron	0.7
Magnesium carbonate	8.7	Zinc	0.001
Potassium oxide	0.2	Manganese	0.02
Sulfate	0.03	Phosphate	0.02

نتایج و بحث

ویژگی‌های مورفولوژیک

نتایج تجزیه واریانس صفات مورفولوژیک تحت تأثیر تیمارهای شوری و نانوذرات کربنات کلسیم نشان داد که در شرایط آزمایش، افزایش هدایت الکتریکی محلول غذایی از ۱/۸ به ۳/۲ دسی‌زیمنس بر متر اثری بر میانگین صفات مورفولوژیک مورد بررسی (سطح برگ، قطر گل، طول ساقه و عملکرد) گل رز دلسویتا نداشته است. بنابراین اثر محلول‌پاشی نانوذرات کربنات کلسیم مستقل از دو سطح شوری به کار برده شده مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت که نتایج آن در جدول ۳ نشان داده شده است. همان‌طور که نتایج نشان می‌دهد با افزایش غلظت نانوذرات کربنات کلسیم، به میانگین صفات فوق افزوده شده است. این افزایش در تمام سطوح کربنات کلسیم به کار رفته در آزمایش معنی‌دار است. در بین چهار صفت اندازه‌گیری شده، قطر گل و طول ساقه حدود ۳۰ درصد و عملکرد حدود ۱۳ درصد افزایش (در بالاترین سطح کاربرد نانو ذرات کربنات کلسیم) را نشان می‌دهند. تجزیه کربنات کلسیم در روزنه‌ها و یا روی سطح برگ و افزایش غلظت دی‌اکسید کربن احتمالاً موجب افزایش فتوسنتز و رشد بوته‌های گل رز شده است (Bilal, 2010; EL-Aal *et al*, 2018). غلظت دی‌اکسید کربن موجود در هوا کمتر از ۰/۰۴ درصد و بسیار کمتر از مقدار مورد نیاز (حدود ۰/۱ درصد) برای رسیدن به حد بهینه فتوسنتز می‌باشد (Shallan *et al*., 2016). مطالعات بسیاری اثر مثبت افزایش غلظت دی‌اکسید کربن بر افـزایش فتوسنتز، تولید زیست تـوده و عملکـرد گیاه را نشان داده‌اند (Prasad *et al*., 2010; Ainsworth *et al*., 2005). در شرایط شور، واکنش مثبت گیاهان نسبت به افزایش غلظت دی‌اکسید کربن معمولا با افزایش وزن خشک، ارتفاع، تعداد برگ و شاخه‌های جانبی مشاهده می‌شود (Mavrogianopoulos *et al.,* 1999; Pandey *et al.,* 2009).

ویژگی‌های فیزیولوژیک

رطوبت نسبی برگ و نشت الکترولیت

افزایش هدایت الکتریکی محلول غذایی، کاهش معنی‌دار رطوبت نسبی برگ را سبب شد (جدول ۴) به‌طوری که میانگین محتوای نسبی آب برگ از ۹۱/۸۲ درصد در تیمار غیر شور (هدایت الکتریکی ۱/۸ دسی‌زیمنس بر متر) به ۸۵/۶۰ درصد در تیمار شور (هدایت الکتریکی ۳,۲ دسی‌زیمنس بر متر) کاهش پیدا کرد (این کاهش از لحاظ آماری در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار بود). رطوبت نسبی بالاتر به معنای توانایی برگ در حفظ مقادیر بیشتری آب در شرایط تنش است. در شرایط تنش شوری، توانایی ریشه در جذب آب کاهش می‌یابد و در چنین شرایطی گیاه دچار تنش آبی می‌شود. ادامه تنش منجر به کاهش رطوبت نسبی برگ در گیاه می‌شود. شوری باعث ایجاد تنش آبی در گیاه می‌شود و اولین واکنش گیاه در این شرایط بستن روزنه‌ها جهت جلوگیری از تعرق و کاهش آب در گیاه می‌باشد که در ادامه منجر به کاهش فشار جزئی CO_2 و در نهایت کاهش فتوسنتز و رشد گیاه می‌شود (Hamoda *et al.,* 2016). تنش شوری روی دیگر گیاهان نظیر گل محمدی نیز موجب کاهش رطوبت نسبی برگ می‌شود (Booker *et al.,* 2005).

جدول ۳. مقایسه میانگین اثر محلول‌پاشی نانوذرات کربنات کلسیم بر صفات مورفولوژیک گل رز رقم دلسویتا.

Table 3. Mean comparison effect of calcium carbonate nanoparticles spraying on morphological traits of cut rosa hybrida cv. "Dolce Vita".

Treatment	Leaf area	Flower diameter	Stem length	Yield (Number of branches)
Calcium carbonate nanoparticles (mg L^{-1})	(mm^2)	(mm)	(mm)	
0	173^{c}	32.5^{c}	49.8^{b}	8.3^{c*}
3	186^{ab}	33.5^{ab}	59.0^{a}	8.7^{b}
6	199^{ab}	38.6^{ab}	64.3^{a}	9.4^{a}
9	219^{a}	42.3^{a}	65.0^{a}	9.4^{a}

* در هر ستون میانگین‌هایی که حداقل یک حرف مشابه دارند، از نظر آماری مطابق آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی‌دار ندارند.
* In each column, the means with a common letter are not significantly different at 5% probability level basd on the LSD analysis

محلول‌پاشی نانوذرات کربنات کلسیم منجر به افزایش رطوبت نسبی برگ در هر دو تیمار شور و غیر شور شد. این افزایش در هدایت الکتریکی ۱/۸ دسی‌زیمنس بر متر با کاربرد ۹ گرم بر لیتر و در هدایت الکتریکی ۳/۲ دسی‌زیمنس بر متر با کاربرد ۶ و ۹ میلی‌گرم بر لیتر نانوذرات کربنات کلسیم نسبت به شاهد (بدون کاربرد نانوذرات کربنات کلسیم) معنی‌دار بود. به عبارت دیگر در شرایط شور، رطوبت نسبی برگ با کاربرد غلظت‌های کمتری از کربنات کلسیم افزایش می‌یابد. افزایش فشار جزئی دی‌اکسید کربن در نتیجه به کارگیری نانوذرات کربنات کلسیم باعث افزایش کارایی فتوسنتز و بهبود تغذیه گیاه شده و تنش ایجاد شده در گیاه تعدیل می‌گردد. همان‌طور که در جدول ۴ نشان داده شده است در شرایط این آزمایش تیمارهای به‌کاررفته از جمله شوری و کربنات کلسیم اثری معنی‌دار بر نشت الکترولیت سلول‌های برگ گل رز دلسویتا نداشت.

درصد ماده خشک

با توجه به نتایج مندرج در جدول ۴، به‌طور کلی درصد ماده خشک در تیمار ۳/۲ دسی زیمنس بر متر بیشتر از ۱/۸ دسی‌زیمنس بر متر می‌باشد. میانگین درصد ماده خشک برگ از ۱۷/۲۵ درصد در تیمار غیر شور (هدایت الکتریکی ۱/۸ دسی‌زیمنس بر متر) به ۲۰/۱۸ درصد در تیمار شور (هدایت الکتریکی ۳/۲ دسی‌زیمنس بر متر) افزایش یافته است. با توجه به کاهش رطوبت نسبی برگ ناشی از افزایش شوری محلول غذایی که در بخش قبلی توضیح داده شد، افزایش درصد ماده خشک برگ را می‌توان به کاهش محتوای آب برگ در اثر تنش شوری نسبت داد. در مقابل، نتایج نشان می‌دهد که در هر دو سطح شوری اعمال شده، با افزایش غلظت نانوذرات کربنات کلسیم درصد ماده خشک کاهش می‌یابد. با توجه به اثر مثبت کربنات کلسیم بر افزایش محتوای نسبی آب برگ (جدول ۴)، به نظر می‌رسد که اثر محلول‌پاشی نانوذرات کربنات کلسیم بر افزایش رطوبت نسبی آب برگ بیشتر از اثر آن در تولید ماده خشک در برگ بوده و لذا درصد ماده خشک برگ با افزایش غلظت نانوذرات کربنات کلسیم کاهش می‌یابد. از طرف دیگر از آنجایی که درصد ماده خشک برگ در طی دوره گلدهی اندازه‌گیری شده است این احتمال نیز وجود دارد که انتقال مواد فتوسنتزی به سمت اندام هدف (گل) باعث کاهش درصد ماده خشک اندازه‌گیری شده در برگ‌ها شده باشد.

کلروفیل و کارتنوئید

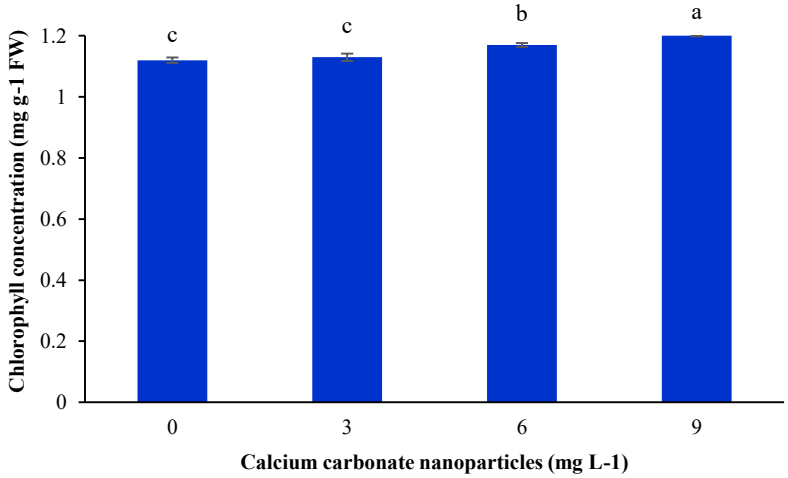
داده‌های جدول ۳ نشان می‌دهد که محلول‌پاشی نانوذرات کربنات کلسیم در دو سطح شوری ۱/۸ و ۳/۲ دسی‌زیمنس بر متر اثری معنی‌دار بر غلظت کلروفیل کل و کارتنوئید برگ نداشته است. اما نتایج تجزیه واریانس جداگانه اثر تیمارهای آزمایشی روی غلظت کلروفیل کل و کارتنوئید برگ نشان داد که در شرایط این آزمایش، اثر کربنات کلسیم بر غلظت کلروفیل و کارتنوئید برگ گل رز دلسویتا معنی‌دار است. بنابراین اثر محلول‌پاشی نانوذرات کربنات کلسیم مستقل از سطوح شوری از لحاظ آماری مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت که نتایج آن در شکل‌های ۱ و ۲ نشان داده شده است.

جدول ۴. مقایسه میانگین اثر متقابل شوری و محلول‌پاشی نانوذرات کلسیم بر صفات فیزیولوژیک گل رز رقم دلسویتا.
Table 4. Mean comparison interaction effect of salinity and calcium carbonate nanoparticles spraying on physiological traits of rosa hybrida cv. “Dolce Vita”.

Treatment		Relative water content	Dry matter	Electrolyte leakage	Chlorophyll	Carotenoid
Salinity ($dS\ m^{-1}$)	Calcium carbonate nanoparticles ($mg\ L^{-1}$)		(%)		($mg\ g^{-1}$ FW)	
1.8	0	91.65^{b}	19.03^{d}	8.38^{a}	1.13^{a}	0.80^{a*}
	3	91.71^{b}	17.83^{e}	8.38^{a}	1.14^{a}	0.82^{a}
	6	91.73^{b}	16.66^{f}	8.40^{a}	1.19^{a}	0.84^{a}
	9	92.20^{a}	15.20^{g}	8.41^{a}	1.20^{a}	0.85^{a}
3.2	0	84.71^{d}	20.78^{a}	8.42^{a}	1.12^{a}	0.79^{a}
	3	85.16^{d}	20.40^{b}	8.40^{a}	1.15^{a}	0.82^{a}
	6	86.16^{c}	19.88^{c}	8.39^{a}	1.18^{a}	0.85^{a}
	9	85.34^{c}	19.63^{c}	8.38^{a}	1.19^{a}	0.85^{a}

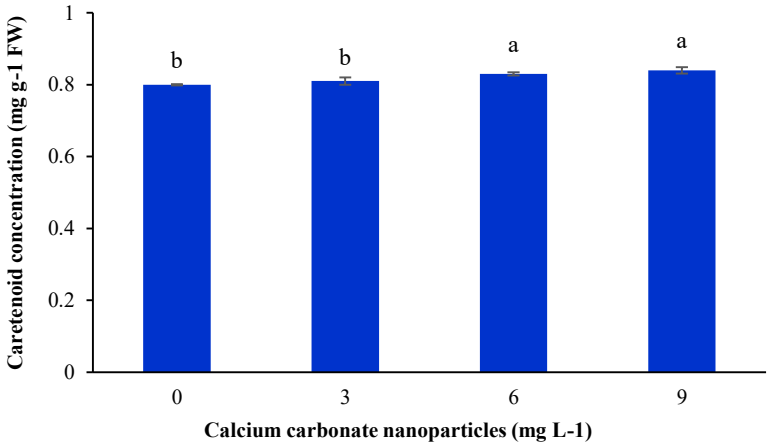
* در هر ستون میانگین‌هایی که حداقل یک حرف مشابه دارند، از نظر اماری مطابق آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی‌دار ندارند.
* In each column, the means with a common letter are not significantly different at 5% probability level basd on the LSD analysis

با توجه به این نتایج، کاربرد نانوذرات کربنات کلسیم در دو غلظت ۶ و ۹ میلی‌گرم بر لیتر غلظت کلروفیل و کارتنوئید برگ را به‌طور معنی‌دار افزایش می‌دهد. افزایش غلظت کلروفیل در هر دو سطح کربنات کلسیم نسبت به شاهد معنی‌دار است حال آن که در مورد کارتنوئید تفاوتی معنی‌دار بین غلظت‌های ۶ و ۹ میلی‌گرم بر لیتر کربنات کلسیم دیده نمی‌شود. علاوه بر غلظت، به نظر می‌رسد اثر دی‌اکسید کربن بر مقدار کلروفیل تحت تاثیر نوع گیاه نیز قرار می‌گیرد. به گونه‌ای که افزایش غلظت دی‌اکسید کربن (از ۴۰۰ به ۹۰۰ میلی‌گرم بر لیتر) مقدار کلروفیل آ و ب و کلروفیل کل را در برگ گندم دوروم کاهش می‌دهد (Balouchi *et al.*, 2008)، اما افزایش غلظت آن (از ۳۷۰ به ۷۱۳ میلی‌گرم بر لیتر) غلظت کلروفیل سویا را سه برابر افزایش می‌دهد (Heagle *et al.*, 1998). در شرایط شور، احتمالا افزایش غلظت دی‌اکسید کربن (در اینجا از طریق محلول‌پاشی نانوذرات کربنات کلسیم) با بهبود وضعیت تعادل یونی در گیاه موجب افزایش غلظت منیزیم و در نتیجه موجب افزایش فتوسنتز می‌شود (Penuelas *et al.*, 1997).



شکل ۱. مقایسه میانگین اثر محلول‌پاشی نانوذرات کربنات کلسیم بر غلظت کلروفیل برگ گل رز دلسویتا (نشانگرهای میله‌ای خطای استاندارد میانگین سه تکرار است).

Figure 1. Mean comparison effect of calcium carbonate nanoparticles spraying on leaf chlorophyll concentration of Rosa hybrida cv. “Dolce Vita”(Error bars in the figure indicate standard errors of three replications).



شکل ۲. مقایسه میانگین اثر محلول‌پاشی نانوذرات کربنات کلسیم بر غلظت کارتنوئید برگ گل رز دلسویتا

(نشانگرهای میله‌ای خطای استاندارد میانگین سه تکرار است).

Figure 2. Mean comparison effect of calcium carbonate nanoparticles spraying on leaf carotenoid concentration of Rosa hybrida cv. "Dolce Vita" (Error bars in the figure indicate standard errors of three replications).

ویژگی‌های بیوشیمیایی

میزان پتاسیم و سدیم برگ.

غلظت پتاسیم در محلول غذایی در هر دو سطح شوری ۱/۸ و ۳/۲ دسی‌زیمنس بر متر برابر با مقدار ثابت ۴/۲ میلی‌مولار بود اما مقدار سدیم در تیمار اول ۴/۴ و در تیمار دوم ۲۰ میلی‌مولار بود. نتایج اندازه‌گیری غلظت سدیم و پتاسیم در برگ گل رز (جدول ۵) نشان می‌دهد که تیمارهای آزمایشی (با هم یا جداگانه) اثری معنی‌دار بر غلظت این دو عنصر در برگ نداشته‌اند. با توجه به غلظت بالای سدیم و پتاسیم در شرایط این آزمایش احتمالا رقابتی بین Na و K در جذب توسط ریشه وجود نداشته است. در شرایطی که غلظت سدیم و پتاسیم در محیط در حد میلی‌مولار باشد جذب این یون‌ها صرف نظر از نقش آن‌ها در گیاه انجام می‌شود (Garciadeblás *et al*., 2003). علاوه بر این در غلظت بالای سدیم در محیط ریشه در شرایط شوری؛ جذب‌سدیم توسط سلول‌های ریشه از طریق کانال‌های غیر اختصاصی انجام می‌پذیرد (Almeida *et al*., 2017).

مقدار کل قند محلول برگ

داده‌های آزمایشی نشان می‌دهد که در هر یک از سطوح محلول‌پاشی نانوذرات کربنات کلسیم، افزایش شوری از ۱/۸ به ۳/۲ دسی‌زیمنس بر متر، مقدار کل قند محلول برگ را به‌طور معنی‌دار افزایش داده است (جدول ۵). محلول‌پاشی نانوذرات کربنات کلسیم نیز اثر مشابهی بر غلظت قند محلول در برگ داشته و کاربرد نانوذرات کربنات کلسیم افزایش غلظت قند محلول برگ را نسبت به شاهد (بدون محلول‌پاشی نانوذرات کربنات کلسیم) سبب شد. هرچند بین سطوح مختلف نانوذرات کربنات کلسیم تفاوتی معنی‌دار مشاهده نگردید. بالاترین غلظت قند محلول برگ در تیمار ۹ میلی‌گرم بر لیتر نانوذرات کربنات کلسیم و در سطح شوری ۳/۲ دسی‌زیمنس برمتر مشاهده گردید (۱۰/۱۶ درصد). تنش شوری با کاهش پتانسیل اسمزی و بر هم زدن تعادل یونی باعث بروز تنش آبی و همچنین تنش یونی در گیاه می‌شود. تغییر محتوای قندهای محلول یکی از واکنش‌های مهم گیاهان برای مقابله با تنش‌های شوری و خشکی است و در ساز و کارهای تحمل به تنش، همچون حفظ پتانسیل اسمزی و آماس دخالت دارد (Ingram & Bartels, 1996). تجمع کربوهیدرات‌هایی مانند قندها (گلوکز، فروکتوز و ساکاروز) و نشاسته در گیاهان تحت شرایط تنش باعث تنظیم فشار اسمزی و ذخیره کربن و پایداری متابولیسم می‌گردد. از سوی دیگر افزایش دسترسی گیاه به دی‌اکسید کربن با بهبود خصوصیات فیزیولوژیک گیاه (جدول ۴) و همچنین افزایش فتوسنتز در گیاه، منجر به افزایش رشد و بهبود فرایندهای متابولیک در گیاه می‌شود. بخشی از انرژی اضافی ناشی از غنی‌سازی دی‌اکسید کربن به منظور افزایش تحمل به شوری مصرف می‌گردد. افزایش غلظت قندهای محلول در برگ‌ها، یعنی اولین اندامی از گیاه که تحت تاثیر افزایش غلظت دی‌اکسید کربن قرار می‌گیرد، مکانیزم احتمالی افزایش مقاومت به نمک در غلظت زیاد دی‌اکسید کربن می‌باشد (Geissler *et al*., 2009). بنابراین کاربرد نانوذرات کربنات کلسیم با افزایش فشار جزئی دی‌کسید کربن و بهبود شرایط فتوسنتز موجب تعدیل تنش خشکی در گیاه می‌شود (Hamoda *et al*., 2016).

جدول ۵. مقایسه میانگین اثر متقابل شوری و محلول‌پاشی نانوذرات کلسیم بر صفات بیوشیمیایی گل رز رقم دلسویتا.

Table 5. Mean comparison interaction effect of salinity and calcium carbonate nanoparticles spraying on biochemical traits of Rosa hybrida cv. "Dolce Vita".

Treatment		Soluble sugar	Leaf potassium concentration	Leaf sodium concentration
Salinity ($dS\ m^{-1}$)	Calcium carbonate nanoparticles ($mg\ L^{-1}$)		(%)	
1.8	0	7.10^{d}	1.48^{a}	0.30^{a*}
	3	7.40^{c}	1.78^{a}	0.29^{a}
	6	7.46^{c}	1.79^{a}	0.28^{a}
	9	7.53^{c}	1.83^{a}	0.28^{a}
3.2	0	8.23^{b}	1.38^{a}	0.37^{a}

3	9.50[a]	1.48[a]	0.35[a]
6	10.00[a]	1.53[a]	0.34[a]
9	10.16[a]	1.70[a]	0.33[a]

* در هر ستون میانگین‌هایی که حداقل یک حرف مشابه دارند، از نظر آماری مطابق آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد تفاوتی معنی‌دار ندارند.
* In each column, the means with a common letter are not significantly different at 5% probability level basd on the LSD analysis

نتیجه‌گیری کلی

نتایج این تحقیق نشان داد که افزایش هدایت الکتریکی محلول غذایی از ۱/۸ به ۳/۲ دسی‌زیمنس بر متر کاهش رطوبت نسبی برگ و افزایش ماده خشک و قند محلول را در برگ گیاه سبب می‌شود. از طرف دیگر افزایش غلظت دی‌اکسید کربن ناشی از محلول‌پاشی نانوذرات کربنات کلسیم منجر به افزایش رطوبت نسبی برگ می‌شود و میانگین صفات مورفولوژیک (سطح برگ، قطر گل، طول ساقه و عملکرد گل) را به‌طور معنی‌دار افزایش می‌دهد. کاربرد نانوذرات کربنات کلسیم همچنین باعث افزایش معنی‌دار غلظت کلروفیل و کارتنوئید برگ می‌گردد. در مجموع می‌توان بیان کرد که کاربرد نانوذرات کربنات کلسیم با تاثیر مثبت بر خصوصیات فیزیولوژیک و مورفولوژیک و احتمالا بهبود وضعیت تغذیه گیاه در محیط کشت هیدروپونیک موجب تعدیل تنش شوری و بهبود شرایط رشد گل رز رقم دلسویتا می‌شود.

REFERENCES

1. Ainsworth, E.A. & Long, S.P. (2005). What have we learned from 15 years of free-air CO_2 enrichment (FACE)? A meta-analytic review of the responses of photosynthesis, canopy properties and plant production to rising CO_2. *New Phytologist*, *165*(2),351-372.
2. Ali, E., B. S.A., & Hassan F. (2014). Salinity tolerance of taif roses by gibberellic acid (GA3). *International Journal of Science and Research,* 3(11), 184-192.
3. Almeida, D.M., Oliveira, M.M. & Saibo, N.J. (2017). Regulation of Na^+ and K^+ homeostasis in plants: towards improved salt stress tolerance in crop plants. *Genetics and Molecular Biology*, *40*(1), 326-345.
4. Balouchi, H.R., Sanavy, S.M., Emam, Y. & BarzeGar, M (2008). Effect of water deficit, ultraviolet radiation and carbon dioxide enrichment on leaf qualitative characters of durum wheat (*Triticum turgidum* L.). *Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources*, 12(45), 167-181.
5. Bilal, A. B. (2010). Recommended application of lithovit on different plants. In *3rd e Conference on Agriculture Bio. Sciences IeCAB*. 1st- 15th June 2010.
6. Booker, F.L., J.E. Miller, E.L. Fiscus, W.A. Pursley, & Stefanski L.A. (2005). Comparative responses of container-versus ground-grown soybean to elevated carbon dioxide and ozone. *Crop Science*, 45(3), 883-895.
7. Cheng, W., Sakai, H., Yagi, K. & Hasegawa, T. (2009). Interactions of elevated [CO2] and night temperature on rice growth and yield. *Agricultural and Forest Meteorology*, 149(1), 51-58.
8. El-Aal, A. (2018). Effect of foliar spray with lithovit and amino acids on growth, bioconstituents, anatomical and yield features of soybean plant. Annals of Agricultural Science, Moshtohor, 56 (4th ICBAA), 187-202.
9. Garciadeblás, B., Senn, M.E., Bañuelos, M.A. & Rodríguez-Navarro, A. (2003). Sodium transport and HKT transporters: the rice model. The Plant Journal, 34(6), 788-801.
10. Geissler, N., Hussin, S. & Koyro, H.W. (2009). Interactive effects of NaCl salinity and elevated atmospheric CO2 concentration on growth, photosynthesis, water relations and chemical composition of the potential cash crop halophyte Aster tripolium L. *Environmental and Experimental Botany,* 65(2-3), 220-231.
11. Hamoda, S., A. Attia, E.-H. MH, & El-Sayed S.O. (2016). Effect of nano-fertilizer (lithovit) and potassium on growth, fruiting and yield of Egyptian cotton under different planting dates. *International Journal of Advanced Research in Biological Sciences*, 3(12), 361-372.
12. Heagle, A., J. Miller, & Booker F. (1998). Influence of ozone stress on soybean response to carbon dioxide enrichment: I. Foliar properties. *Crop Science,* 38(1), 113-121.
13. House, W.A. (1981). Kinetics of crystallisation of calcite from calcium bicarbonate solutions. *Journal of the Chemical Society, Faraday Transactions 1: Physical Chemistry in Condensed Phases*, 77(2), 341-359.
14. Ingram, J. & Bartels D. (1996). The molecular basis of dehydration tolerance in plants. *Annual Review of Plant Biology,* 47(1), 377-403.

15. Li, S., Li, Y., He, X., Li, Q., Liu, B., Ai, X., & Zhang, D. (2019). Response of water balance and nitrogen assimilation in cucumber seedlings to co2 enrichment and salt stress. *Plant Physiology and Biochemistry*, *139*, 256-263.
16. Mavrogianopoulos, G., J. Spanakis, & Tsikalas P. (1999). Effect of carbon dioxide enrichment and salinity on photosynthesis and yield in melon. *Scientia Horticulturae*, 79(1-2), 51-63.
17. Moisa, R. & Berar, V. (2015). Researches regarding the growth of tomato seedlings under different treatments with natural fertilizers. *Journal of Horticulture, Forestry and Biotechnology*, *19*(2), 82-86.
18. Mott, K. (1990). Sensing of atmospheric CO_2 by plants. *Plant, Cell and Environment,* 13(7), 731-737.
19. Mousa, H. A., Blum, J., El Senoun, G. A., Shakur, H., & Alfirevic, Z. (2014). Treatment for primary postpartum haemorrhage. *Cochrane Database of Systematic Reviews*, (2): Cd003249
20. Munns, R. & Tester M. (2008). Mechanisms of salinity tolerance. Annual Review of Plant Biology, 59, 651-681.
21. Pandey, R., Chacko, P.M., Prasad, K., Pal, M., & Choudhary, M. (2009). Physiological characterisation of two rose (Rosa hybrida L.) cultivars grown under different levels of CO2 enrichment. The Journal *of Horticultural Science and Biotechnology,* 84(1), 35-40.
22. Perez-Lopez, U., Robredo, A., Lacuesta, M., Muñoz-Rueda, A., & Mena-Petite, A. (2010). Atmospheric CO_2 concentration influences the contributions of osmolyte accumulation and cell wall elasticity to salt tolerance in barley cultivars. *Journal of Plant Physiology*, *167*(1), 15-22.
23. Penuelas, J., Idso, S.B., Ribas, A., & Kimball, B.A. (1997). Effects of long-term atmospheric CO_2 enrichment on the mineral concentration of Citrus aurantium leaves. *The New Phytologist,* 135(3), 439-444.
24. Prasad, P.V., Boote, K.J., Allen Jr, L.H. & Thomas, J.M. (2002). Effects of elevated temperature and carbon dioxide on seed-set and yield of kidney bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Global Change Biology*, *8*(8), 710-721.
25. Rhoades, J.D., Kandiah, A., & Mashali, A.M. (1992). The use of saline waters for crop production-FAO irrigation and drainage paper, 48. *FAO, Rome, 133.*
26. Rozema, J., Dorel, F., Janissen, R., Lenssen, G., Broekman, R., Arp, W. & Drake, B.G. (1991). Effect of elevated atmospheric CO_2 on growth, photosynthesis and water relations of salt marsh grass species. *Aquatic Botany,* 39, 45-55.
27. Shallan, M.A., Hassan, H.M.M., Namich, A.A.M. & Ibrahim, A.A. (2016). The influence of Lithovit fertilizer on the chemical constituents and yield characteristics of cotton plant under drought stress. *International Journal of ChemTech Research*, *9*, 1-11.
28. Sheligl, H. (1986). Die verwertung orgngischer souren durch chlorella lincht. *Planta*, 47-51.
29. Sukran, D.E.R.E., GÜNEŞ, T., & Sivaci, R. (1998). Spectrophotometric determination of chlorophyll-A, B and total carotenoid contents of some algae species using different solvents. *Turkish Journal of Botany*, *22*(1), 13-18.
30. Soletto, D., Binaghi, L., Ferrari, L., Lodi, A., Carvalho, J. C. M., Zilli, M., & Converti, A. (2008). Effects of carbon dioxide feeding rate and light intensity on the fed-batch pulse-feeding cultivation of Spirulina platensis in helical photobioreactor. *Biochemical Engineering Journal*, *39*(2), 369-375.
31. Urban, L., Six, S., Barthélémy, L. & Bearez, P. (2002). Effect of elevated CO_2 on leaf water relations, water balance and senescence of cut roses. *Journal of Plant Physiology,* 159(7), 717-723.
32. Yu, J., Sun, L., Fan, N., Yang, Z., & Huang, B. (2015). Physiological factors involved in positive effects of elevated carbon dioxide concentration on Bermudagrass tolerance to salinity stress. *Environmental and Experimental Botany, 115*, 20-27.
33. Zhao, D. F., Buchholz, A., Mentel, T. F., Müller, K. P., Borchardt, J., Kiendler-Scharr, A., & Wahner, A. (2010). Novel method of generation of Ca $(HCO_3)_2$ and $CaCO_3$ aerosols and first determination of hygroscopic and cloud condensation nuclei activation properties. *Atmospheric Chemistry and Physics*, *10*(17), 8601-8616.