Journal of Vegetables Sciences, Autumn & Winter 2022, Vol 5, No 10(2), Pages 19-34

doi: 10.22034/iuvs.2021.534620.1172 Article Type: Research Online ISSN: 2676-4822

Effect of Foliar Application of Sucrose and Certain Mineral Elements on Flower Abortion, Carbohydrate Partitioning and Quality of *Capsicum annuum* L.

Reza Salehi Molkabadi[1*] and Kamran Ghasemi[2]

1- M.Sc. Graduate, Department of Horticultural Sciences and Engineering, Faculty of Crop Sciences, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran

2- Assistant Professor, Department of Horticultural Sciences and Engineering, Faculty of Crop Sciences, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran

[*]**Corresponding author:** rezasalehi.m94@gmail.com

(**Received:** 31 July 2021 **Revise:** 16 October 2021 **Accepted:** 6 November 2021)

Extended Abstract

1. Introduction: Bell pepper (*Capsicum annuum* L.) is one of the most important greenhouse vegetables which need high light intensity. For indoor culture, light is a limiting factor in north of Iran, so low yield due to flower abortion and disordered fruit set is a serious concern of greenhouse owners in this district. Sucrose is considered as a main soluble and transferable form of carbohydrate which move in phloem vessels. Also, potassium and magnesium are frequently reported as underlying factors for phloem loading and transportation of carbohydrates. Because of this, a research was conducted to evaluate sucrose and minerals spraying to alleviate low light intensity stress leading to flower abscission control and more yield flourishing in Bell pepper growing in glasshouses without artificial light.

2. Material and Methods: This experiment was carried out in factorial format based on completely randomized design with two factors: sucrose (0 and 2 ٪) and mineral fertilizers (boric acid 0.1, magnesium nitrate 0.5, and potassium nitrate 0.5 ٪) in four replications and three samples. Seeds of Bell pepper, variety of California Wonder, were sown in a mixture culture medium comprising coco fiber and perlite (1:1) then transferred to bigger pots after four real leaves developed completely. For nutrition of plants, a nutrition solution based on Singh *et al*. (2018) was used by nutrition method. Each week, two times nutrition and one time distilled water were applied. The treatments were sprayed after the appearance of reproductive organs and replicated every week till end of the experiment. Evaluated parameters included flower abscission percentage, yield and yield components, vitamin C, and total antioxidant activity.

3. Results and discussion: The highest flower abscission of 31.2٪ was recorded in control plants but its difference with boron and magnesium treatments was not statistically significant. Maximum number of fruit per plant (with 31.16 fruits) was produced in treatments of sucrose+ potassium and sucrose+ magnesium without significant difference between each other. The highest yield of 3653.85 g fruit per plant was observed in Sucrose+ Potassium which was significantly more than all tested treatments. In contrast, the lowest yield was produced in control plants and plants treated by solely boron. The treatments of solely sucrose and solely potassium caused moderate yield without significant difference between themselves. Total carbohydrates of generative organs including flowers and fruits was highest in sucrose+ potassium treatment with no significant difference with sucrose+ magnesium treatment indicating the importance of potassium and magnesium for sucrose translocation. All used treatments in this experiment caused more phenolic contents in comparison with control, therefor applying sucrose and minerals can elevate the nutritional value of Bell pepper fruits. Although the highest total antioxidant activity was achieved in plants treated by sucrose+ potassium, the difference among other treatments was not statistically significant. Treatment of sucrose+ potassium contributed to 180 mg vitamin C per 100 g extraction which was significantly more than all other treatments except sucrose+ magnesium. Results obviously showed that sucrose spraying in 2% concentration led to significant increment of total soluble solids in Bell pepper fruits.

4. Conclusions: Results showed that exogenous sucrose can partly supply Bell pepper carbohydrate need. Sucrose treatment alongside with potassium could decrease flower abscission and increase yield, antioxidant properties, and vitamin C, so it can be concluded that the mixture of sucrose and potassium can ameliorate the stress of low light intensity in Bell pepper especially in greenhouse cultivation. Moreover, evidences indicated that both potassium and magnesium have a crucial role in sucrose transportation from source to sink. Because of this, spray of sucrose plus potassium and magnesium can be absolutely recommended.

Keywords: Boron, Flower abscission, Magnesium, Potassium, Physiological sink and source.

Citation: Salehi Molkabadi, R. & Ghasemi, K. (2022). Effect of foliar application of sucrose and certain mineral elements on flower abortion, carbohydrate partitioning and quality of *Capsicum annuum* L. *Journal of Vegetables Sciences*, 10(2), 19-34. doi: 10.22034/iuvs.2021.534620.1172

Copyrights:
Copyright for this article is retained by the author(s), with publication rights granted to Journal of Vegetables Sciences. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (http://creativecommons.org/licenses/ by/4.0).

دوفصلنامه علمی علوم سبزی‌ها، سال ۵، دوره ۱۰، شماره ۲، پاییز و زمستان ۱۴۰۰، صفحات (۳۴-۱۹)

شاپا الکترونیکی: ۴۸۲۲-۲۶۷۶ نوع مقاله: پژوهشی doi: 10.22034/iuvs.2021.534620.1172

تأثیر تغذیه برگی ساکارز و برخی عناصر غذایی بر ریزش گل، تسهیم کربوهیدرات و صفات کیفی فلفل دلمه‌ای (*Capsicum annuum* L.)

رضا صالحی ملک‌آبادی[1*] و کامران قاسمی[2]

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد علوم و مهندسی باغبانی، دانشکده علوم زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران

۲- استادیار گروه علوم و مهندسی باغبانی، دانشکده علوم زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران

[*]نویسنده مسئول: rezasalehi.m94@gmail.com

(**تاریخ دریافت:** ۱۴۰۰/۰۵/۰۹ **تاریخ بازنگری:** ۱۴۰۰/۰۷/۲۴ **تاریخ پذیرش:** ۱۴۰۰/۰۸/۱۵)

چکیده

فلفل دلمه‌ای (*Capsicum annuum* L.) از جمله مهمترین سبزی‌های گلخانه‌ای است که با توجه به محدودیت نور در مناطق شمالی کشور، کاهش عملکرد ناشی از ریزش گل و میوه از نگرانی‌های اصلی گلخانه‌داران این محصول است. جهت رفع این مشکل، این آزمایش به‌صورت فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی با دو فاکتور ساکارز (صفر و دو درصد) و عناصر معدنی (بور ۱۷۵، منیزیم ۸۲۰ و پتاسیم ۱۹۳۳ میلی‌گرم در لیتر از منابع اسید بوریک، نیترات‌منیزیم و نیترات‌پتاسیم) در گلخانه پژوهشی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری در سال ۱۳۹۸ اجرا شد. گیاهان در سیستم کشت هیدروپونیک باز و بستر جامد (کوکوپیت+ پرلیت با نسبت ۱:۱) کشت شدند و محلول‌پاشی تیمارهای مورد نظر، بعد از ظاهر شدن نخستین اندام‌های زایشی آغاز شد. نتایج نشان داد که بیشترین ریزش گل به‌میزان ۳۱/۲ درصد، در بوته‌های شاهد مشاهده شد؛ هر چند با تیمارهای بور و منیزیم تفاوت معنی‌دار نداشت و کمترین ریزش گل به‌مقدار ۲۲/۶ درصد در تیمار ساکارز+ پتاسیم مشاهده گردید که با تیمار ساکارز+ منیزیم اختلاف معنی‌داری نداشت. بیشترین تعداد میوه به تعداد ۳۱/۱۶ عدد در بوته بدون اختلاف معنی‌دار در دو تیمار ساکارز+ پتاسیم و ساکارز+ منیزیم به‌دست آمد. بیشترین عملکرد میوه در بوته به‌میزان ۳۶۵۳/۹ گرم، متعلق به تیمار ساکارز+ پتاسیم بود که به‌طور معنی‌داری نسبت به سایر تیمارها برتر بود. بیشترین کربوهیدرات کل در ساختارهای زایشی در تیمار ساکارز+ پتاسیم مشاهده شد که اختلاف معنی‌داری با تیمار ساکارز+ منیزیم نشان نداد. بیشترین میزان فعالیت آنتی‌اکسیدانی کل در تیمار ساکارز+ پتاسیم حاصل شد که به‌طور معنی‌داری نسبت به سایر تیمارهای دیگر برتر بود. بیشترین میزان ویتامین ث در تیمار ساکارز+ پتاسیم به‌دست آمد که اختلاف معنی‌داری با تیمار ساکارز+ منیزیم نداشت. در مجموع نتایج بیانگر آن است که پتاسیم و منیزیم در انتقال کربوهیدرات‌ها از منبع به مخزن نقش اصلی دارند؛ بنابراین محلول‌پاشی ساکارز به همراه این دو عنصر می‌تواند تنش کمبود نور در گلخانه‌ها را تا اندازه‌ای تعدیل نماید و قابل‌توصیه هستند.

واژه‌های کلیدی: بور، پتاسیم، ریزش گل، منبع و مقصد فیزیولوژیکی، منیزیم.

استناد: صالحی ملک‌آبادی، ر. و قاسمی، ک. (۱۴۰۰). تأثیر تغذیه برگی ساکارز و برخی عناصر غذایی بر ریزش گل، تسهیم کربوهیدرات و مؤلفه‌های کیفی فلفل دلمه‌ای (*Capsicum annuum* L.). *علوم سبزی‌ها*، ۱۰(۲)، ۳۴-۱۹.

حق چاپ:

حق چاپ برای نویسنده (گان) این مقاله محفوظ است. بر اساس قوانین انتشارات با دسترسی آزاد، تمام مطالعات چاپ شده در این مجله به‌صورت آزاد در وب سایت مجله برای عموم بدون پرداخت هزینه قابل‌دسترس است.

مقدمه

فلفل دلمه‌ای (*Capsicum annuum* L.) متعلق به خانواده Solanaceae، از جمله مهمترین سبزی‌های میوه‌ای گلخانه‌ای و بومی مناطق گرمسیری و نیمه‌گرمسیری است (Medal *et al*., 2011). میوه‌ی فلفل به سبب محتوای بالای برخی از ترکیبات آنتی‌اکسیدانی از قبیل ویتامین ث، ترکیبات فنولی، کاروتنوئیدها و همچنین عناصر معدنی مانند پتاسیم، دارای ارزش غذایی بالایی می‌باشند (Kantar *et al*., 2016).

به‌طور کلی، بروز تنش در فاکتورهای محیطی مانند نور، دما، دی‌اکسید کربن، رطوبت نسبی، مواد غذایی و آب قابل‌دسترس و همچنین تنش‌های زیستی مانند حمله عوامل بیماری‌زا می‌تواند بر ریزش اندام زایشی گیاهان تأثیرگذار باشد و تولیدات گیاهی را تحت‌الشعاع قرار دهد. هر یک از این عوامل با اثر مستقیم یا غیرمستقیم بر سرعت تنفس و فتوسنتز و ایجاد اختلال در روابط بین منابع و مخازن فیزیولوژیکی، گیاه را به سمت ریزش اندام زایشی سوق می‌دهند (Ascough *et al*., 2005). در پرورش فلفل، کاهش تشکیل میوه به سبب ریزش گل ناشی از مواجه شدن با دمای بالا (بیشتر از ۳۲ درجه سانتی‌گراد) و شدت نور پایین، به‌صورت یک پدیده رایج مشاهده می‌شود (Lang *et al*., 2020). تحت شرایط رشد بهینه، اکسین تولید شده توسط اندام‌های زایشی، از به‌وجود آمدن لایه ریزش-جداگر که در ابتدای پایه گل تشکیل می‌شود، جلوگیری می‌کند اما تحت شرایط تنش، اتیلن توسط ساختارهای زایشی تولید می‌گردد که یکی از اعلان‌های تولید این هورمون، برهم خوردن تعادل بین سرعت تنفس و فتوسنتز می‌باشد (Ascough *et al*., 2005). مطالعات مختلفی نشان داده‌اند که در گیاهان علفی و چوبی، افزایش سنتز اتیلن، سطوح اکسین را در اندام در معرض ریزش کاهش داده و در حرکت قطبی اکسین نیز اختلال ایجاد می‌کند و همچنین با اثر مستقیم خود بر سلول‌های ناحیه پایه دم‌گل، در به‌وجود آمدن لایه ریزش گل تأثیر می‌گذارد (Wien *et al*., 1991).

آوند آبکش در انتقال مواد فتوسنتزی از مخازن و بافت‌های فتوسنتزکننده به بافت‌ها و اندام‌هایی که خودشان قادر به فتوسنتز نیستند، نقشی حیاتی ایفا می‌کند. وضعیت بارگیری آوند آبکش و تسهیم مواد فتوسنتزی بین مخازن فیزیولوژیکی می‌تواند تأثیر قابل‌توجهی در تعادل فعالیت‌های فتوسنتزی داشته باشد (Ainsworth & Bush, 2011). همه گیاهان، ساکارز را به‌عنوان قند قابل‌انتقال اصلی، توسط بافت آوندی آبکش خود انتقال می‌دهند، هر چند در برخی از گیاهان رافینوز، استاچیوز و قندهای الکلی نیز ممکن است در مقادیر قابل‌توجهی از طریق بافت آبکش انتقال یابند (Dreyer *et al*., 2017). مطالعات متعددی اثرات مثبت محلول‌پاشی برگی ساکارز در تولید محصولات مختلف گیاهی را بیان کرده‌اند (Salehi *et al*., 2021). در خصوص خانواده Solanaceae و کاربرد خارجی ساکارز، تمرکز روی گوجه‌فرنگی (*Solanum lycopersicum* L.) بوده است. Javanmardi و Emami (۲۰۱۳) در یک مطالعه با ارزیابی اثر کاربرد ساکارز بر کیفیت نشای گوجه‌فرنگی، بیان کردند که کاربرد ۲۵ درصد ساکارز، سبب افزایش وزن‌تر و خشک شاخه، وزن تر ریشه و درصد وزن خشک شاخه و ریشه گردید ولی استقرار مناسب گیاه پس از نشاکاری و گلدهی مطلوب با کاربرد ۱۵ درصد ساکارز حاصل شد. در مطالعه‌ای دیگر، بهبود وضعیت میوه گوجه‌فرنگی برای مصارف تازه‌خوری، بر اثر استفاده از محلول‌پاشی برگی ۱۵ درصد ساکارز+ ۰/۲ درصد اسید بوریک گزارش شد (Ghorbani *et al*., 2015). همچنین Mashayekhi و همکاران (۲۰۱۶) با مطالعه در خصوص تغذیه نشای گوجه‌فرنگی، گزارش کردند که افزایش وزن خشک ساقه نشا و غلظت کاروتنوئیدها بر اثر محلول‌پاشی ۱۰ درصد ساکارز+ ۰/۲ درصد اسید بوریک و تشکیل بیشترین تعداد میوه در بوته با تیمار پنج درصد ساکارز+ ۰/۲ درصد اسید بوریک حاصل شد.

وضعیت تغذیه‌ای پتاسیم و منیزیم به‌صورت کاملاً محسوس بر بارگیری ساکارز توسط آوند آبکش مؤثر است و کمبود این دو عنصر، به‌شدت انتقال

کربوهیدرات‌ها را مخصوصاً به مخازن دورتر، دچار اختلال می‌کند (Trankner *et al*., 2018). منیزیم به‌عنوان یک کوفاکتور، فعالیت بیش از ۳۰۰ آنزیم را از جمله ATP_{ase} کنترل می‌کند (Farhat *et al*., 2016). در پژوهشی Cakmak و Yazici (۲۰۱۰) بیان داشتند که اهمیت منیزیم در بارگیری آوند آبکش، به اثر متقابل آن با مصرف ATP و فعالیت آنزیم‌های ناحیه پمپ پروتونی H^+-ATP_{ase} مربوط می‌شود و در ورود ساکارز به بافت آبکش تأثیرگذار است. بور نیز یکی از عناصر غذایی است که برای رشد بهینه و همچنین کیفیت محصولات حائز اهمیت است (Ferreira *et al*., 2021). علاوه بر اینکه بخش اعظم نقش‌های بور در گیاهان با ساختار و یکپارچگی دیواره سلولی در ارتباط است، در ساختار پروتئین و فعالیت آنزیمی مربوط به ناحیه غشا سلولی دخالت دارد و تمامیت غشا را بهبود می‌بخشد (Shireen *et al*., 2018). در پژوهشی Goldbach و Wimmer (۲۰۰۷) بیان کردند که کمبود بور پتانسیل فعالیت H^+-ATP_{ase} را کاهش می‌دهد. در مطالعه‌ای بر روی باقلا (*Vicia faba*) مشاهده شد که اثر مستقیم بور بر پمپ پروتونی H^+-ATP_{ase}، بار یون‌های H^+، K^+، PO_4^{3-}، Rb^+ و Ca^{2+} را در عرض غشا سلولی تحت‌الشعاع قرار می‌دهد (Shireen *et al*., 2018). در پژوهشی Ziest و همکاران (۲۰۱۸) گزارش کردند که افزایش سرعت فتوسنتز و همچنین تعداد میوه‌های بازارپسند، بر اثر محلول‌پاشی برگی بور در فلفل دلمه‌ای مشاهده شد.

با توجه به محدودیت نور در مناطق شمالی کشور به‌ویژه در فصل زمستان و در کشت‌های گلخانه‌ای، عملکرد فلفل دلمه‌ای بسیار پایین‌تر از میانگین‌های جهانی بوده و ریزش گل و عدم‌تشکیل میوه کافی از دغدغه‌های اصلی گلخانه‌داران این منطقه می‌باشد؛ بنابراین این پژوهش به‌منظور ارزیابی اثر تغذیه برگی ساکارز و عناصر معدنی انتقال‌دهنده کربوهیدرات (شامل پتاسیم، منیزیم و بور) بر تعدیل تنش کمبود نور و اثرگذاری مثبت بر شاخص‌های عملکردی، کیفی و بیوشیمیایی فلفل دلمه‌ای صورت گرفته است.

مواد و روش‌ها

این پژوهش طی زمستان ۱۳۹۸ و بهار ۱۳۹۹ در گلخانه پژوهشی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، به‌صورت فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی، با دو فاکتور ساکارز (در دو سطح صفر و دو درصد) و نمک‌های معدنی (در سه سطح ۱۷۵ میلی‌گرم بر لیتر بور از منبع اسید بوریک (H_3BO_3)، ۸۲۰ میلی‌گرم بر لیتر منیزیم از منبع نیترات‌منیزیم ($Mg(NO_3)_2$) و ۱۹۳۳ میلی‌گرم بر لیتر پتاسیم از منبع نیترات‌پتاسیم (KNO_3) با چهار تکرار و سه نمونه در هر تکرار صورت گرفت. به‌منظور آماده‌سازی تیمارهای غذایی، از نمک‌های تجاری شرکت Agrimel با خلوص ۹۸ درصد استفاده گردید. غلظت بهینه استفاده شده برای ساکارز (Salehi *et al*., 2021)، پتاسیم (El-Bassiony *et al*., 2010)، منیزیم (Ahmed *et al*., 2011) و بور (Ziest *et al*., 2018) و همچنین بر اساس دیگر آزمایش‌ها مقدماتی صورت گرفته در دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، تعیین و به‌کار گرفته شد.

بذرهای فلفل رقم California wonder، در بستر کوکوپیت+ پرلیت (به نسبت مساوی) کاشته شده و پس از رسیدن به مرحله چهار برگ حقیقی به گلدان‌های اصلی در شرایط سیستم هیدروپونیک باز با بستر جامد کوکوپیت+ پرلیت (به نسبت مساوی) منتقل شدند. به‌منظور تغذیه فلفل از محلول غذایی مطابق دستورالعمل Singh و همکاران (۲۰۱۸) استفاده شد. گیاهان در طی دوره رشد، در فاصله‌های دو روزه، یک مرتبه کود آبیاری و یک مرتبه آبیاری توسط آب‌مقطر شدند. پس از ظهور نخستین ساختارهای اندام زایشی، محلول‌پاشی در بین ساعات ۱۶ الی ۱۸ صورت گرفت و در فواصل زمانی هفت روزه تکرار شد.

درصد ریزش گل، تعداد میوه در بوته، وزن تک‌میوه (گرم) و عملکرد بوته (گرم) به‌عنوان پارامترهای کمی و عملکردی در طی کل دوره رشد مورد ارزیابی قرار گرفتند.

اندازه‌گیری رنگیزه‌های فتوسنتزی

به‌منظور عصاره‌گیری برای ارزیابی رنگیزه‌ها، توسط

حلال متانول، از روش Carter و Knapp (۲۰۰۱) استفاده شد. به این ترتیب، ابتدا وزن مشخصی از برگ، در هشت میلی‌لیتر متانول خالص قرار داده شده و در محیط تاریک و دمای ۳۰ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۲۴ ساعت قرار گرفتند. سپس توسط دستگاه اسپکتوفتومتر (مدل Cary 7000 UMS)، جذب عصاره‌ها در طول موج ۶۶۵/۲، ۶۵۲/۴ و ۴۷۰ نانومتر قرائت گردیده و توسط روابط بیان شده توسط Lichtenthaler و Buschmann (۲۰۰۱) محاسبات مربوط به اندازه‌گیری کلروفیل a، کلروفیل b و کاروتنوئیدها (گزانتوفیل+کاروتن) انجام شد.

رابطه (۱) کلروفیل a (میکروگرم در میلی‌لیتر)

$$C_a: 16.72\ A_{665.2} - 9.16\ A_{652.4}$$

رابطه (۲) کلروفیل a (میکروگرم در میلی‌لیتر)

$$C_b: 34.09\ A_{652.4} - 15.28\ A_{665.2}$$

رابطه (۳) کلروفیل a (میکروگرم در میلی‌لیتر)

$$C_{(x+c)}: (1000A_{470} - 1.63C_a - 104.96C_b)/221$$

در این روابط، C_a: کلروفیل a، C_b: کلروفیل b و $C_{(x+c)}$: کاروتنوئیدها (گزانتوفیل+کاروتن) هستند.

اندازه‌گیری کربوهیدرات کل محلول

اندازه‌گیری قند کل محلول بافت‌های ریشه، ساقه، برگ، گل و میوه فلفل دلمه‌ای، توسط معرف آنترون و با استفاده از روش McCready و همکاران (۱۹۵۰) انجام شد. به‌منظور ساخت محلول آنترون، میزان ۱۵۰ میلی‌گرم آنترون، در ۱۰۰ میلی‌لیتر سولفوریک اسید رقیق حل گردید و همچنین برای تهیه ۱۰۰ میلی‌لیتر سولفوریک اسید رقیق، مقدار ۷۶ میلی‌لیتر اسید غلیظ با ۳۸ میلی‌لیتر آب مقطر مخلوط شد. برای اندازه‌گیری قندهای محلول، مقدار ۱۰۰ میکرولیتر از عصاره را در لوله آزمایش ریخته و به آن سه میلی‌لیتر محلول آنترون اضافه شد. مخلوط به‌دست آمده برای ۲۰ دقیقه در درجه حرارت ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد در حمام آب‌جوش قرار گرفت. اندازه‌گیری قندهای محلول با استفاده از روش اسپکتروفتومتری و در طول موج ۶۲۰ نانومتر صورت گرفت و با رسم منحنی استاندارد توسط غلظت‌های معین گلوکز، محتوی قند بر حسب میلی‌گرم بر گرم وزن خشک محاسبه شد.

ظرفیت کل آنتی‌اکسیدانی

از طریق روش اندازه‌گیری مهار رادیکال پایدار دی‌فنیل‌پیکریل‌هیدرازیل یا DPPH این اندازه‌گیری صورت پذیرفت (Ghasemi *et al.*, 2009). بعد از اضافه کردن حجم معینی از عصاره، به همان اندازه DPPH (دو میلی‌لیتر عصاره به دو میلی‌لیتر محلول DPPH) و اعمال ۱۵ دقیقه تاریکی، عدد جذب محلول‌ها در طول موج ۵۱۷ نانومتر قرائت گردید. همچنین DPPH خالص به‌عنوان شاهد در نظر گرفته شد و توسط رابطه ۴، ظرفیت آنتی‌اکسیدانی در مهار رادیکال‌های آزاد DPPH، محاسبه گردید.

رابطه (۴) $\text{DPPH}: \frac{(C-A)\times 100}{C}$

در این رابطه C: عدد جذب شاهد و A: عدد جذب نمونه است.

فنول و فلاونوئید کل

به‌مقدار ۰/۵ میلی‌لیتر عصاره، پنج میلی‌لیتر فولین‌سیوکالتیو (۱ به ۱۰ رقیق‌شده با آب مقطر) و سپس چهار میلی‌لیتر کربنات‌سدیم یک مولار اضافه شد. برای شاهد نیز به‌جای عصاره، به حلال، فولین‌سیوکالتیو و کربنات‌سدیم اضافه شد. محلول فوق، ۱۵ دقیقه در تاریکی قرار گرفته و سپس در طول موج ۷۶۵ عدد جذب قرائت شد. توسط غلظت‌های مشخص گالیک‌اسید، معادله خط رسم و محتوی فنول محاسبه گردید (Ghasemi *et al.*, 2009).

در ابتدا به ۰/۵ میلی‌لیتر عصاره، ۱/۵ میلی‌لیتر متانول و بعد از آن ۰/۱ میلی‌لیتر آلومینیوم‌کلرید ۱۰ درصد در اتانول و سپس ۰/۱ میلی‌لیتر استات‌پتاسیم یک مولار و سرانجام ۲/۸ میلی‌لیتر آب مقطر اضافه شد. پس از آن مخلوط به‌دست آمده در ۳۰ دقیقه تاریکی قرار گرفت و در طول موج ۴۱۵ نانومتر عدد جذب آن خوانده شد. مطابق با معادله خط رسم شده به‌واسطه غلظت‌های معین کوئسترین، مقدار فلاونوئید عصاره‌ها محاسبه گردید (Ghasemi *et al.*, 2009).

ویتامین ث و اندازه‌گیری اسیدیته قابل‌تیتراسیون

به‌منظور ارزیابی محتوی ویتامین ث یا اسکوربیک اسید، از روش تیتراسیون توسط دیکلروفنول ایندوفنول استفاده گردید (Premuzic *et al.*, 1998). به‌منظور ارزیابی محتوی اسید قابل‌تیتر، میزان پنج میلی‌لیتر از عصاره میوه‌ها برداشته و توسط آب مقطر به حجم ۴۰ میلی‌لیتر رسید. میزان pH محلول اندازه‌گیری شد و در نهایت توسط هیدروکسیدسدیم ۰/۱ نرمال تا رسیدن به pH ۸/۲، تیتر شد (Shabani *et al.*, 2011).

مقادیر و درصد ماده خشک بافت‌های مورد بررسی، پس از خشک کردن بافت در دمای ۳۷ درجه سانتی‌گراد در دستگاه آون (مدل UF750) ساخت کشور آلمان اندازه‌گیری شدند. میزان مواد جامد محلول میوه‌ها توسط دستگاه رفرکتومتر دیجیتال (مدل PAL-α) ساخت کشور ژاپن، سنجیده شد. به‌منظور ارزیابی سفتی بافت میوه، دستگاه سفتی‌سنج دیجیتال (STEP SYSTEM ساخت کشور آلمان) مورد استفاده قرار گرفت. برای تعیین مقدار pH عصاره میوه‌ها نیز از دستگاه pHمتر (مدل Milwaukee، ساخت ایتالیا) استفاده گشت.

آنالیز آماری

برای آنالیز داده‌ها از نرم‌افزار SAS نسخه 9.1 استفاده شد. مقایسه میانگین‌ها از طریق آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح پنج و یک درصد صورت پذیرفت و نمودارها نیز توسط نرم‌افزار Excel رسم گردید.

نتایج و بحث

پارامترهای کمی و عملکرد

بیشترین ریزش گل (۳۱/۲ درصد) در بوته‌های شاهد (که ساکارز و تغذیه عناصر معدنی نداشتند) مشاهده شد؛ هر چند اختلاف آن با تیمارهای بور و منیزیم معنی‌دار نبود (جدول ۱). به بیان دیگر تغذیه معدنی با عناصر بور و منیزیم به‌تنهایی نمی‌تواند تأثیر معنی‌داری بر کاهش ریزش گل فلفل داشته باشد. در مقابل تمامی تیمارهای ترکیبی که در آن‌ها از ساکارز استفاده شد به‌طور معنی‌داری ریزش گل کمتری نسبت به شاهد داشتند که این خود گویای تأثیر شگرف ساکارز بر این اختلال می‌باشد. کمترین میزان ریزش گل در تیمار ساکارز+ پتاسیم مشاهده شد که اختلاف آن با تیمار ساکارز+ منیزیم معنی‌دار نبود (جدول ۱).

بوته‌هایی که ریزش گل بالایی داشتند دارای تعداد میوه کمی نیز بودند به‌طوری‌که کمترین تعداد میوه در بوته متعلق به شاهد، تغذیه بور و تغذیه منیزیم بود (جدول ۱). بیشترین تعداد میوه (۳۱/۱۶ عدد در بوته) بدون اختلاف معنی‌دار در دو تیمار ساکارز+ پتاسیم و ساکارز+ منیزیم حاصل شد (جدول ۱).

بیشترین عملکرد میوه در بوته به‌میزان ۳۶۵۳/۸۵ گرم، متعلق به تیمار ساکارز+ پتاسیم بود که به‌طور معنی‌داری از تمامی تیمارهای دیگر برتر بود و در رتبه‌های بعدی ساکارز+ منیزیم و ساکارز+ بور قرار گرفتند (جدول ۱). کمترین عملکرد میوه به‌میزان ۲۶۰۲/۷۸ گرم در بوته مربوط به گیاهان شاهد بود که اختلاف معنی‌داری با تیمار ساکارز صفر+ بور نشان نداد ولی میزان عملکرد با تغذیه پتاسیم اندکی بهبود یافت و توانست عملکردی به‌اندازه ساکارز تنها ایجاد نماید (جدول ۱).

در پژوهشی Aloni و همکاران (۱۹۹۶) بیان کردند که دو رقم Maor و 899 فلفل دلمه‌ای که قابلیت پایین‌تری در ذخیره قند کل محلول داشتند، درصد بالاتری از ریزش گل را نیز نسبت به سایر ارقام مورد بررسی‌نشان دادند؛ بنابراین پیشنهاد دادند که قابلیت گل‌ها در ذخیره‌سازی قندها و نشاسته، ارتباط مستقیمی با قدرت حفظ، بقا گل‌ها و تشکیل میوه دارد. نتایج مشابهی نیز در پژوهش Turner و Wien (۱۹۹۴) مشاهده شد که بیان کردند ریزش گل در فلفل دلمه‌ای تحت تأثیر بروز اختلال در تسهیم کربوهیدرات‌ها و انتقال آن‌ها به گل، افزایش و درصد تشکیل میوه کاهش می‌یابد.

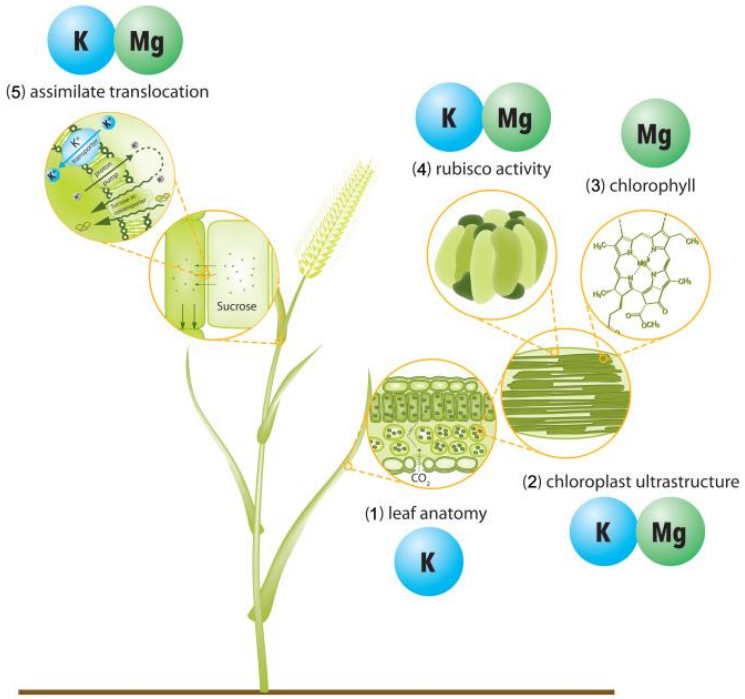
جدول ۱- تأثیر محلول‌پاشی ساکارز و عناصر معدنی بر ریزش گل و عملکرد فلفل دلمه‌ای
Table 1- The effect of sucrose and some mineral foliar spraying on flower abscission and yields parameters in Sweet Pepper

ساکارز Sucrose	عناصر معدنی Mineral elements	ریزش گل (٪) Flower abscission**	تعداد میوه در بوته Number of Fruit (per plant)*	عملکرد بوته (گرم) Yield (g)*
۰ درصد ساکارز 0 ٪ Sucrose	شاهد Control	31.2^{ed}	23.33^{d}	2602.87^{g}
	بور Boron	31.4^{ed}	23.83^{d}	2654.05^{fg}
	منیزیم Magnesium	29.2^{cd}	23.50^{d}	2702.23^{ef}
	پتاسیم Potassium	28.1^{c}	25.00^{c}	2895.20^{d}
۲ درصد ساکارز 2 ٪ Sucrose	شاهد Control	25.7^{b}	25.83^{c}	2920.41^{d}
	بور Boron	25.6^{b}	28.33^{b}	3141.62^{c}
	منیزیم Magnesium	23.5^{ab}	30.16^{ab}	3421.31^{b}
	پتاسیم Potassium	22.6^{a}	31.16^{a}	3653.85^{a}

*و **: به‌ترتیب معنی‌داری در سطح احتمال پنج و یک درصد. در هر ستون اعداد با حروف مشترک، بر اساس آزمون دانکن با هم اختلاف معنی‌داری ندارند.
*, **: Statistically Significant at 5 and 1% probability level. In each column, means followed by same letter are not significantly different according Duncan test.

طبق فرضیه مونش که در سال ۱۹۳۰ مطرح شد، حرکت مواد حل‌شونده در آوند آبکش یک شیب فشار هیدرواستاتیکی به‌وجود می‌آورد که ناشی از اختلاف غلظت مواد حل‌شونده است. پتاسیم به‌عنوان فراوان‌ترین کاتیون در آوند آبکش، به همراه ساکارز و ترکیبات آمینو-نیتروژن مهمترین ترکیبات اسمزی در شیره پرورده می‌باشند که در سرعت انتقال آوند آبکش مؤثر هستند (Nieves-Cordones *et al.*, 2016; Trankner *et al.*, 2018). پتاسیم علاوه بر نقش در انتقال کربوهیدرات در آوند آبکش، دارای نقش‌های دیگری نظیر تعیین آناتومی برگ و باز شدن روزنه‌ها، زیرساخت کلروپلاست و همچنین فعال‌سازی آنزیم روبیسکو می‌باشد که همگی موجب افزایش ساخت فرآورده‌های فتوسنتزی و در نهایت انتقال آن به مقاصد فیزیولوژیکی می‌گردد (Trankner *et al.*, 2018) (شکل ۱). در مطالعه‌ای El-Bassiony و همکاران (۲۰۱۰) افزایش معنی‌دار رشد رویشی، عملکرد، کیفیت محصول و ترکیبات شیمیایی فلفل دلمه‌ای رقم California wonder را بر اثر استفاده اسپری برگی هومات پتاسیم با غلظت چهار گرم بر لیتر اعلام کردند.

ورود ساکارز به آوند آبکش برخلاف شیب غلظت و با صرف انرژی حاصل از فعالیت H^+-ATP_{ase} انجام می‌شود. مشخص شده است که کمبود منیزیم موجب اختلال در فعالیت H^+-ATP_{ase} در سلول‌های همراه آوند آبکش شده و از این طریق بارگیری ساکارز را مختل می‌کند. در حقیقت کمپلکس ATP-Mg که برای فعالیت ATP_{ase}های غشایی ضروری هستند تشکیل نشده و به همین دلیل فعالیت H^+-ATP_{ase} کاهش می‌یابد (Farhat *et al.*, 2016)؛ بنابراین منیزیم نیز همانند پتاسیم، نقشی مهم در انتقال کربوهیدرات در آوند آبکش ایفا می‌کند. سایر نقش‌های منیزیم در ارتباط با فتوسنتز و ساخت کربوهیدرات‌ها در شکل ۱ بیان شده است.



شکل ۱- نقش آناتومیکالی، فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی پتاسیم و منیزیم در ارتباط با فتوسنتز و انتقال مواد فتوسنتزی (Trankner *et al*., 2018)

Figure 1- Anatomical, Physiological and Biochemical function of potassium and magnesium in photosynthesis and photo products transport (Trankner *et al*., 2018)

غلظت کربوهیدرات کل محلول در اندام‌های مختلف

ارزیابی کربوهیدرات کل فلفل نشان داد که بیشترین مقدار قند در ساقه (۱۳/۱۳ میلی‌گرم بر گرم وزن خشک) مربوط به تیمار ساکارز+ پتاسیم بود که با سایر تیمارهای ساکارزی اختلاف معنی‌داری نداشت (جدول ۲). از آنجایی که ساکارز توانست با نفوذ به داخل گیاه قند کل محلول بخش هوایی را افزایش دهد بنابراین می‌توان از این تیمار جهت افزایش ذخیره قندی به‌ویژه در شرایطی مانند نور کم گلخانه که تولیدات فتوسنتزی پایین است بهره برد.

بیشترین کربوهیدرات کل در ساختارهای زایشی (گل و میوه) در تیمار ساکارز+ پتاسیم مشاهده شد که اختلاف معنی‌داری با تیمار ساکارز+ منیزیم نشان نداد (جدول ۲). از آنجایی که تمامی چهار تیمار حاوی ساکارز توانستند میزان کربوهیدرات کل شاخساره را افزایش دهند ولی تنها ساکارز+ پتاسیم و ساکارز+ منیزیم موجب افزایش کربوهیدرات میوه فلفل گردید می‌توان این‌گونه استنباط نمود که دو عنصر پتاسیم و منیزیم به‌عنوان عناصر مهم در انتقال ساکارز عمل کرده و توانستند ساکارز را به ساختارهای زایشی برسانند بنابراین مصرف محلول‌پاشی ساکارز کافی نبوده و انتقال قند به گل و میوه نیز باید تسهیل گردد تا قند کافی به این اندام‌ها برسد. مکانیسم کاهش ریزش گل و همچنین افزایش عملکرد در تیمار ساکارز+ پتاسیم نیز دقیقاً به همین تغذیه ساکارزی و انتقال مطلوب آن از منبع به مخزن فیزیولوژیکی برمی‌گردد. همان‌طور که بیان شد کمبود دو عنصر پتاسیم و منیزیم به‌طور قابل‌توجهی کارایی انتقال راه دور کربن را در گیاهان کاهش می‌دهد به‌طوری‌که نقص در رابطه منبع- مخزن و تخصیص کربن در شرایط کمبود این دو عنصر در گیاهان متعددی گزارش شده است (Nieves-Cordones *et al*., 2016; Trankner *et al*., 2018; Pandey & Mahiwal, 2020).

هر چند اثر متقابل تیماری ساکارز و تغذیه معدنی بر میزان قند کل محلول برگ معنی‌دار نبود ولی اثر

ساده ساکارز در این صفت معنی‌دار بود و نشان داد که محلول‌پاشی ساکارز ۲ درصد توانست میزان قند کل محلول برگ را به‌طور معنی‌داری افزایش دهد (شکل ۲). دلیل عدم تأثیر تغذیه معدنی بر میزان قند محلول برگ نیز پر واضح است زیرا برگ‌ها اصلی‌ترین محل نفوذ مواد محلول‌پاشی شده و ساکارز هستند بنابراین نیاز به جابه‌جایی نداشته و نیازمند عناصر معدنی نیز نخواهند بود. این در حالی است که در خصوص میزان قند کل محلول ریشه کاملاً عکس این مسئله صادق است. همان‌طور که شکل ۳ نشان می‌دهد اثر ساده تغذیه معدنی بر میزان قند ریشه معنی‌دار شد و تیمار پتاسیم بیشترین قند ریشه گیاه فلفل را موجب گردید هر چند اختلاف آن با تغذیه منیزیم معنی‌دار نبود. این مسئله گویای آن است که به‌دلیل دور بودن ریشه از برگ‌ها که هم محل تولید کربوهیدرات و هم محل جذب ساکارز محلول‌پاشی شده می‌باشد، وجود عناصری که انتقال ساکارز از منبع به مقصد فیزیولوژیکی را تسهیل می‌کنند بسیار با اهمیت می‌باشد و حتی این اهمیت بیش از محلول‌پاشی ساکارز است؛ چرا که اثر ساده ساکارز و اثر متقابل ساکارز- تغذیه معدنی بر قند کل محلول ریشه معنی‌دار نشد. در پژوهشی Doman و Gieger (۱۹۷۹) با بررسی اثر محلول‌پاشی برگی پتاسیم بر بارگیری آوند آبکش چغندر قند (*Beta vulgaris* L.) بیان کردند که افزایش غلظت پتاسیم در محلول‌پاشی برگی تا ۳۰ میلی‌مولار، در انتقال کربوهیدرات‌های فتوسنتزی تأثیر مثبت دارد. گزارش‌ها متعددی وجود دارد که کمبود پتاسیم موجب عدم‌بارگیری آوند آبکش و تجمع کربوهیدرات‌ها در برگ می‌گردد (Zorb *et al*., 2014). از سوی دیگر منیزیم نیز در انتقال کربوهیدرات‌ها از منبع به مقصد فیزیولوژیکی[1] دخالت دارد و به‌نوعی تعیین‌کننده تسهیم کربوهیدرات است؛ به‌طوری‌که تجمع قندها در برگ یکی از اولین واکنش‌های گیاه به کمبود منیزیم محسوب می‌گردد (Farhat *et al*., 2016).

جدول ۲- تأثیر محلول‌پاشی ساکارز و عناصر معدنی بر کربوهیدرات بخش‌های مختلف گیاه فلفل دلمه‌ای

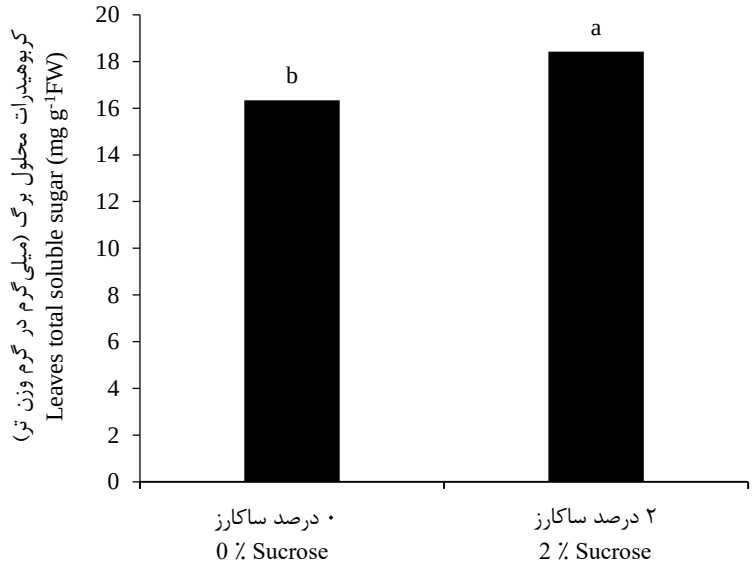
Table 2- The effect of sucrose and some mineral foliar spraying on carbohydrates content of stem, flower and fruits tissue in Bell pepper

ساکارز Sucrose	عناصر معدنی Mineral elements	قند کل محلول ساقه (میلی‌گرم بر گرم وزن خشک) Total soluble sugar of stem (mg g^{-1}.dw)	قند کل محلول گل (میلی‌گرم بر گرم وزن خشک) Total soluble sugar of flower (mg g^{-1}.dw)	قند کل محلول میوه (میلی‌گرم بر گرم وزن خشک) Total soluble sugar of fruits (mg g^{-1}.dw)
۰ درصد ساکارز 0 % Sucrose	شاهد Control	10.18^{c}	11.23^{d}	25.27^{c}
	بور Boron	10.61^{c}	11.47^{d}	25.15^{c}
	منیزیم Magnesium	10.43^{c}	11.20^{d}	25.21^{c}
	پتاسیم Potassium	11.54^{b}	12.43^{c}	27.02^{b}
۲ درصد ساکارز 2 % Sucrose	شاهد Control	12.24^{ab}	13.16^{b}	26.09^{b}
	بور Boron	12.09^{ab}	13.04^{b}	26.65^{b}
	منیزیم Magnesium	12.15^{ab}	13.27^{ab}	29.62^{a}
	پتاسیم Potassium	13.13^{a}	13.85^{a}	29.82^{a}

در هر ستون اعداد با حروف مشترک، بر اساس آزمون دانکن معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد با هم اختلاف معنی‌داری ندارند.

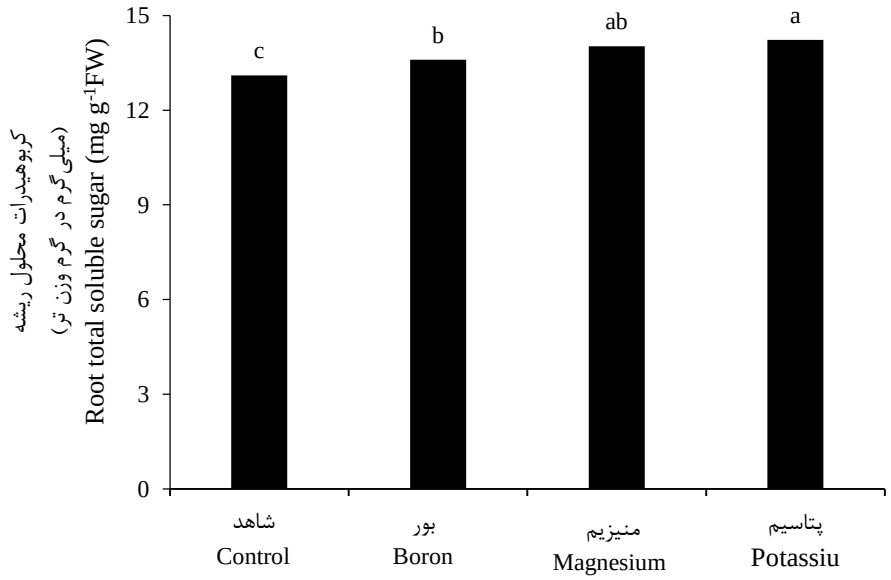
In each column, means followed by same letter are not significantly different sSignificant at 5 and probability level according Duncan test.

1. Source to sink



شکل ۲- اثر محلول‌پاشی ساکارز بر میزان کربوهیدرات محلول برگ در فلفل دلمه‌ای (معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد)

Figure 2- The effect of Sucrose foliar spraying on carbohydrates content in leaves of Bell pepper (Significant at 1% probability level)



شکل ۳- اثر محلول‌پاشی عناصر معدنی بر میزان کربوهیدرات محلول ریشه در فلفل دلمه‌ای (معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد)

Figure 3- The effect of some minerals foliar spraying on carbohydrates content in root of Bell pepper (Significant at 5% probability level)

صفات کیفی میوه

از نظر میزان فنول کل در میوه فلفل، تمامی تیمارها فنول بیشتری نسبت به شاهد داشتند و این گویای تأثیرگذاری معنی‌دار تیمارهای مورد بررسی بوده است (جدول ۳). بیشترین میزان فنول کل به‌مقدار ۲۷/۸۱ (میلی‌گرم گالیک اسید بر گرم وزن خشک) مربوط به تیمار ساکارز+ بور بود که اختلاف آن با سه تیمار بور تنها، ساکارز+ منیزیم و ساکارز+ پتاسیم معنی‌دار نبوده است (جدول ۳). از آنجایی که تنها تیماری که بدون ساکارز توانست میزان فنول را افزایش دهد عنصر بور بوده است و همچنین بیشترین مقدار عددی فنول نیز در اثر ترکیب تیماری ساکارز+ بور به‌دست آمد بنابراین تأثیر بی‌بدیل عنصر بور در متابولیسم فنول اثبات می‌گردد.

بیشترین میزان فعالیت آنتی‌اکسیدانی کل نیز به‌میزان ۶۱/۳۲ (درصد بازدارندگی رادیکال‌های DPPH) در تیمار ساکارز+ پتاسیم حاصل شد که به‌طور معنی‌داری نسبت به تمامی تیمارهای دیگر برتر بود ولی اختلاف بین سایر تیمارها از لحاظ آماری معنی‌دار نبود (جدول ۳). از آنجایی که روند تغییرات فنول با مقادیر آنتی‌اکسیدان کل چندان مطابقت ندارد، می‌توان این‌گونه استدلال نمود که اجزای درگیر در آنتی‌اکسیدان میوه فلفل متعدد بوده و جزء فنولی نقش قابل‌توجهی در این بخش ندارد. از سایر اجزای آنتی‌اکسیدانی گزارش شده در فلفل می‌توان به اسید آسکوربیک و کاروتنوئیدهایی نظیر کپسانتین، فیتوئین، لوتئین و بتاکریپتوگزانتین اشاره نمود (Lekala *et al.*, 2019).

از نظر ویتامین ث میوه فلفل دلمه‌ای، بیشترین میزان این ویتامین در تیمار ساکارز+ پتاسیم مشاهده شد که مقدار آن ۱۸۰ (میلی‌گرم بر ۱۰۰ گرم عصاره) اختلاف معنی‌داری با تیمار ساکارز+ منیزیم نداشت (جدول ۳). معمولاً برگ‌های بالغ چون مقدار بالایی اسید آسکوربیک داشته و ورودی ندارند به‌عنوان منبع فیزیولوژیکی برای این ویتامین محسوب می‌شوند. در گوجه‌فرنگی انتقال اسید آسکوربیک از برگ‌های بالغ به میوه‌های نارس و سبز صورت می‌گیرد (Ntagkas *et al.*, 2018). از آنجایی که گلوکز به‌عنوان پیش‌ماده اولیه در مسیر اصلی سنتز اسید آسکوربیک مطرح می‌باشد بنابراین در برخی گیاهان نظیر کلم بروکلی (*Brassica oleracea*) و گوجه‌فرنگی اسپری‌کردن ساکارز موجب افزایش میزان اسید آسکوربیک شده است هر چند در نخودفرنگی (*Pisum Sativum*) و جو (*Hordeum vulgare*) چنین اثری مشاهده نشد بنابراین تأثیر کربوهیدرات بر میزان ویتامین ث وابسته به نوع گیاه است (Ntagkas *et al.*, 2018).

جدول ۳- تأثیر محلول‌پاشی ساکارز و عناصر معدنی بر خواص آنتی‌اکسیدانی میوه فلفل دلمه‌ای

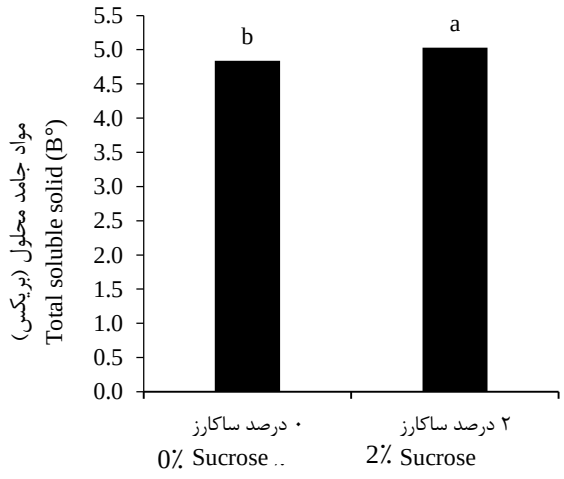
Table 3- The effect of sucrose and some mineral foliar spraying on antioxidant properties of fruit of Bell pepper

ساکارز Sucrose	عناصر معدنی Mineral elements	محتوی کل فنول (میلی‌گرم گالیک اسید بر گرم وزن خشک) Total phenols content (mg Gallic acid g^{-1}.dw)*	ظرفیت آنتی‌اکسیدانی کل (درصد مهار رادیکال‌های DPPH) Total antioxidant capacity (% DPPH radicals inhabitation)*	ویتامین C (میلی‌گرم بر صد گرم عصاره) Vitamin C (mg $100g^{-1}$ extract)**
۰ درصد ساکارز 0 % Sucrose	شاهد Control	20.02^{c}	58.26^{b}	162^{b}
	بور Boron	24.26^{ab}	59.03^{b}	159^{b}
	منیزیم Magnesium	22.41^{b}	58.89^{b}	160^{b}
	پتاسیم Potassium	22.36^{b}	58.24^{b}	173^{ab}
۲ درصد ساکارز 2 % Sucrose	شاهد Control	22.55^{b}	58.19^{b}	168^{b}
	بور Boron	27.81^{a}	59.12^{b}	156^{b}
	منیزیم Magnesium	24.53^{ab}	58.52^{b}	174^{ab}
	پتاسیم Potassium	24.29^{ab}	61.32^{a}	180^{a}

*و ** به‌ترتیب معنی‌داری در سطح احتمال پنج و یک درصد. در هر ستون اعداد با حروف مشترک، بر اساس آزمون دانکن با هم اختلاف معنی‌داری ندارند.

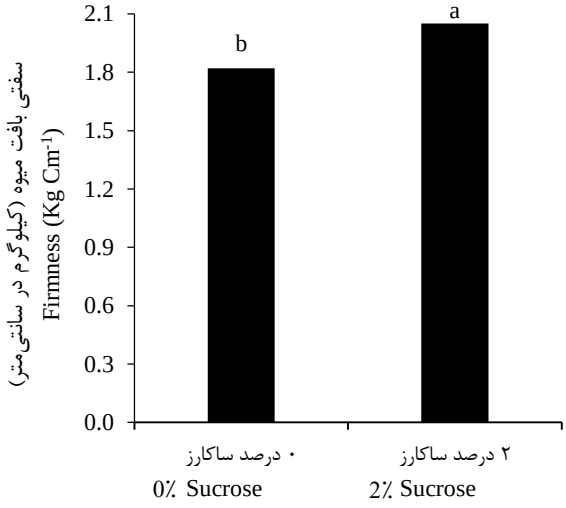
*, **: Significant at 5 and 1% probability level. In each column, means followed by same letter are not significantly different according Duncan test.

نتایج نشان داد که اعمال دو درصد ساکارز موجب افزایش معنی‌دار مواد جامد محلول در میوه گردید (شکل ۴). همچنین سفتی میوه و ماده خشک میوه نیز با محلول‌پاشی دو درصد ساکارز به‌طور معنی‌داری از شاهد بیشتر بودند (شکل‌های ۵ و ۶). از نتایج این‌گونه برمی‌آید که استفاده از ساکارز به روش محلول‌پاشی می‌تواند موجب افزایش کربوهیدرات میوه گردد و قاعدتاً بخشی از این کربوهیدرات‌ها به‌صورت ذخیره‌ای مانند نشاسته تجمع می‌یابند که در نهایت موجبات افزایش ماده خشک میوه و سفتی بافت را فراهم می‌کنند. سفتی بافت و ماده خشک زیاد شاخص‌هایی هستند که می‌توانند عمر انباری میوه را تحت تأثیر قرار دهند به‌طوری‌که میوه‌های با بافت مستحکم‌تر و ماده خشک بالاتر دارای عمر انباری بیشتری نیز هستند (Tsegay *et al.*, 2013). در پژوهشی به‌منظور ارزیابی تأثیر محلول‌پاشی برگی منیزیم بر تجمع ماده خشک در فلفل شیرین، Meng و همکاران (۲۰۲۰) گزارش کردند که اسپری برگی منیزیم با غلظت چهار درصد از منبع سولفات‌منیزیم، بسیاری از شاخص‌های کمی و کیفی فلفل را بهبود می‌بخشد.



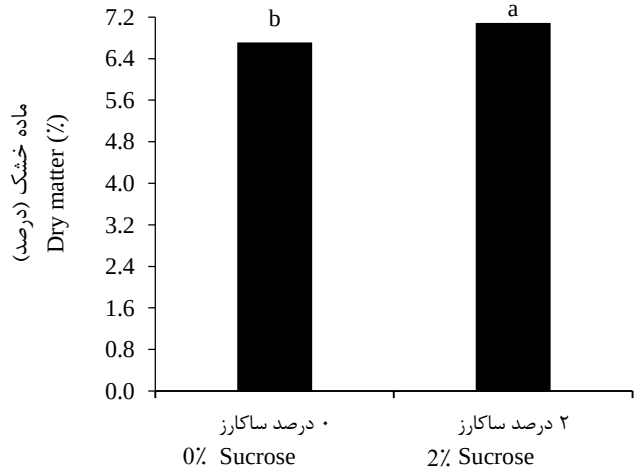
شکل ۴- اثر محلول‌پاشی ساکارز بر مواد جامد محلول میوه فلفل دلمه‌ای (معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد)

Figure 4- The effect of sucrose foliar spraying on total soluble solid in fruit of Bell pepper (Significant at 5% probability level)



شکل ۵- اثر محلول‌پاشی ساکارز بر سفتی میوه فلفل دلمه‌ای (معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد)

Figure 5- The effect of sucrose foliar spraying on firmness in fruit of Bell pepper (Significant at 5% probability level)



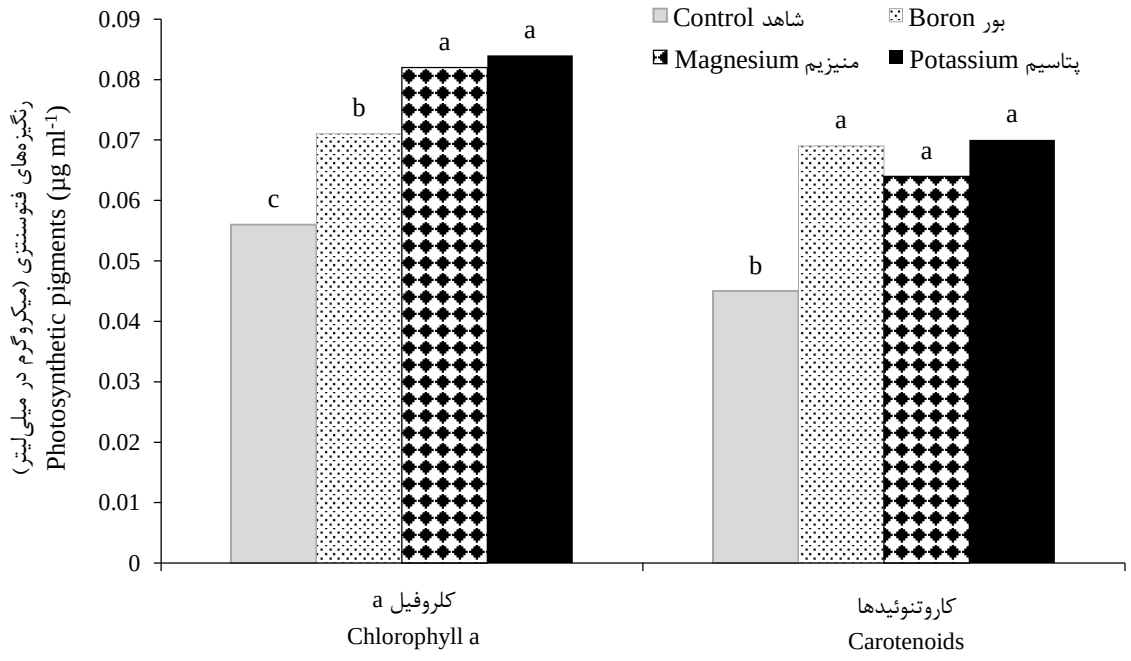
شکل ۶- اثر محلول‌پاشی ساکارز بر درصد ماده خشک میوه فلفل دلمه‌ای (معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد)

Figure 6- The effect of sucrose foliar spraying on percentage of dry matter in fruit of Bell pepper (Significant at 5% probability level)

رنگیزه‌های فتوسنتزی

هر چند اثر متقابل ساکارز و تغذیه عناصر معدنی بر میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی معنی‌دار نشد ولی اثر ساده عناصر غذایی بر میزان کلروفیل a و کاروتنوئید در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (شکل ۷). بیشترین میزان کلروفیل a در برگ گیاهان تیمار شده با پتاسیم مشاهده شد که اختلاف معنی‌داری با تغذیه منیزیم نشان نداد (شکل ۷)؛ اما در کاروتنوئیدها تمامی تیمارهای تغذیه‌ای به‌طور معنی‌داری نسبت به شاهد برتری داشتند ولی اختلافی با هم نشان ندادند (شکل ۷).

به‌نظر می‌رسد که عناصر معدنی در تنظیم میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی نقش مهمتری نسبت به کربوهیدرات‌ها داشته باشد، به‌ویژه دو عنصر پتاسیم و منیزیم که هر دو موجب افزایش معنی‌دار کلروفیل a شدند. گزارش‌ها زیادی وجود دارد که در شرایط کمبود پتاسیم میزان کلروفیل نیز کاهش می‌یابد (Lu *et al.*, 2016). فرض بر این است نقش پتاسیم مستقیم نبوده بلکه کمبود پتاسیم موجب تولید گونه‌های فعال فتوسنتزی شده و در نهایت تجزیه کلروفیل رخ می‌دهد (Cakmak, 2005). منیزیم نه‌تنها به‌عنوان اتم مرکزی در رنگیزه کلروفیل نقش ساختاری دارد بلکه در بیوسنتز کلروفیل نیز نقش دارد بنابراین منطقی است که تغذیه این عنصر میزان کلروفیل گیاه را افزایش دهد (Trankner *et al.*, 2018). همچنین مطالعات متعددی کاهش کلروفیل در شرایط کمبود منیزیم گزارش شده است (Trankner *et al.*, 2016; Trankner *et al.*, 2018).



شکل ۷- اثر محلول‌پاشی عناصر معدنی بر میزان کلروفیل a و کاروتنوئید در برگ فلفل دلمه‌ای (معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد)

Figure 7- The effect of some minerals foliar spray on chlorophyll and carotenoids content in leaves of Bell pepper (Statistically Significant at 1% probability level)

نتیجه‌گیری کلی

نتایج این پژوهش نشان داد که کاربرد خارجی ساکارز می‌تواند تأمین‌کننده بخشی از نیاز کربوهیدراتی گیاه فلفل دلمه‌ای باشد. کاربرد ساکارز به همراه عنصر پتاسیم توانست علاوه بر کاهش ریزش گل و افزایش عملکرد بر ارزش غذایی فلفل دلمه‌ای مانند خواص

آنتی‌اکسیدانی و ویتامین ث نیز تأثیر مثبت و معنی‌داری بگذارد؛ بنابراین کاربرد ساکارز می‌تواند به‌عنوان تیماری جهت تعدیل تنش ناشی از نور کم در گلخانه‌ها مورد استفاده قرار گیرد. همچنین شواهد گویای آن است که نقش عناصر پتاسیم و منیزیم در انتقال کربوهیدرات‌ها از منبع به مخزن قطعی بوده بنابراین محلول‌پاشی ساکارز به همراه کاربرد عناصر پتاسیم و منیزیم قابل‌توصیه هستند.

سپاسگزاری

نویسندگان این مقاله، بدین وسیله از آقای میلاد حبیبی و کارشناسان آزمایشگاه‌های گروه گیاه‌پزشکی و علوم باغبانی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، بابت همکاری در پیشبرد این پژوهش و انجام آزمایش‌ها، کمال تشکر را ابراز می‌دارند.

References

- Ahmed, M. E., Elzaawely, A. A. & El-Sawy, M. B. (2011). Effect of the foliar spraying with molybdenum and magnesium on vegetative growth and curd yields in cauliflower (*Brassica oleraceae var. botrytis* L.). *World Journal of Agricultural Sciences*, 7(2), 149-156.
- Aloni, B., Karni, L., Zaidman, Z. & Schaffer, A. A. (1996). Changes of carbohydrates in Pepper (*Capsicum annuum* L.) flowers in relation to their abscission under different shading regimes. *Annals of Botany*, 78(2), 163-168.
- Ainsworth, E. A. & Bush, D. R. (2011). Carbohydrate export from the leaf: a highly regulated process and target to enhance photosynthesis and productivity. *Plant Physiology*, 155(1), 64-69.
- Ascough, G. D., Nogemane, N., Mtshali, N. P., Van Staden, J., & Bornman, C. H. (2005). Flower abscission: environmental control, internal regulation and physiological responses of plants. *South African Journal of Botany*, 71(3), 287-301.
- Cakmak, I. (2005). The role of potassium in alleviating detrimental effects of abiotic stresses in plants. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 168(4), 521-530.
- Cakmak, I. & Yazici, A. M. (2010). Magnesium: a forgotten element in crop production. *Better Crops*, 94(2), 23-25.
- Carter, G. A. & Knapp, A. K. (2001). Leaf optical properties in higher plants: linking spectral characteristics to stress and chlorophyll concentration. *American Journal of Botany*, 88(4), 677-684.
- Dreyer, I., Gomez-Porras, J. L. & Riedelsberger, J. (2017). The potassium battery: a mobile energy source for transport processes in plant vascular tissues. *New Phytologist*, 216(4), 1049-1053.
- Doman, D. & Geiger, D. (1979). Effect of exogenously supplied foliar potassium on phloem loading in *Beta vulgaris* L. *Plant Physiology*, 64(4), 528-533.
- El-Bassiony, A. M., Fawzy, Z. F., Abd El-Samad, E. H. & Riad, G. S. (2010). Growth, yield and fruit quality of sweet pepper plants (*Capsicum annuum* L.) as affected by potassium fertilization. *Journal of American Science*, 6(12), 722-729.
- Farhat, N., Elkhouni, A., Zorrig, W., Smaoui, A., Abdelly, C. & Rabhi, M. (2016). Effects of magnesium deficiency on photosynthesis and carbohydrate partitioning. *Acta Physiologiae Plantarum*, 38(6), 1-10.
- Ferreira, G. A., Hippler, F. W., Prado, L. A. D. S., Rima, J. A., Boaretto, R. M., Quaggio, J. A. & Mattos-Jr, D. (2021). Boron modulates the plasma membrane H^+-ATPase activity affecting nutrient uptake of Citrus trees. *Annals of Applied Biology*, 178(2), 293-303.
- Ghasemi, K., Ghasemi, Y. & Ebrahimzadeh, M. A. (2009). Antioxidant activity, phenol and flavonoid contents of 13 citrus species

peels and tissues. *Pakistan Journal of Pharmaceutical Sciences*, 22(3), 277-281.
- Ghorbani Dehkordi, A., Mashayekhi, K. & Kamkar, B. (2015). Effect of foliar application of sucrose, boron, potassium nitrate and salicylic acid on yield and yield components of Tomato var. Super A. *Research in Crop Ecosystems*, 2(1), 43-52.
- Goldbach, H. E. & Wimmer, M. A. (2007). Boron in plants and animals: is there a role beyond cell-wall structure?. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 170(1), 39-48.
- Javanmardi, J. & Emami, S. (2013). Application of sucrose on tomato seedlings improves transplant quality, crop establishment, cold and dark hardiness. *Advances in Horticultural Science*, 122-126.
- Kantar, M. B., Anderson, J. E., Lucht, S. A., Mercer, K., Bernau, V., Case, K. A. & Baumler, D. J. (2016). Vitamin variation in *Capsicum* spp. provides opportunities to improve nutritional value of human diets. *PLoS One*, 11(8), e0161464.
- Lang, K. M., Nair, A. & Moore, K. J. (2020). Cultivar selection and placement of shadecloth on Midwest high tunnels affects colored Bell pepper yield, fruit quality, and plant growth. *HortScience*, *55*(4), 550-559.
- Lekala, C. S., Madani, K. S. H., Phan, A. D. T., Maboko, M. M., Fotouo, H., Soundy, P. & Sivakumar, D. (2019). Cultivar-specific responses in red sweet peppers grown under shade nets and controlled-temperature plastic tunnel environment on antioxidant constituents at harvest. *Food Chemistry*, 275, 85-94.
- Lichtenthaler, H. K. & Buschmann, C. (2001). Chlorophylls and carotenoids: Measurement and characterization by UV-VIS spectroscopy. *Current Protocols in Food Analytical Chemistry*, 1(1), F4-3.
- Lu, Z., Lu, J., Pan, Y., Lu, P., Li, X., Cong, R. & Ren, T. (2016). Anatomical variation of mesophyll conductance under potassium deficiency has a vital role in determining leaf photosynthesis. *Plant, Cell & Environment*, 39(11), 2428-2439.
- Mashayekhi, K., Keykha, Z., Movahedi Naeini, S. A., Kamkar, B. & Mousavizadeh, S. J. (2016). Seedling and fruit quality of tomato (*Solanum lycopersicum* Var. SuprA) in response to spraying sucrose and boric acid. *Journal of Vegetables Sciences*, 2(2), 61-73. (In Persian)
- McCready, R. M., Guggolz, J., Silviera, V. & Owens, H. S. (1950). Determination of starch and amylose in vegetables. *Analytical Chemistry*, 22(9), 1156-1158.
- Medal, J., Bustamante, N., Bredow, E., Pedrosa, H., Overholt, W., Diaz, R. & Cuda, J. (2011). Host specificity of *Anthonomus tenebrosus* (Coleoptera: Curculionidae), a potential biological control agent of tropical soda apple (Solanaceae) in Florida. *Florida Entomologist*, 94(2), 214-225.
- Meng, X., Huang, X., Li, J., Hou, W., Jiao, J., Xie, R. & Zheng, C. (2020). Effects of foliar magnesium application on dry matter accumulation, nutrient utilization and yield of facility sweet peppers. *Journal of Southern Agriculture*, 51(8), 1953-1959.
- Nieves-Cordones, M., Shiblawi, A., Razzaq, F. & Sentenac, H. (2016). Roles and transport of sodium and potassium in plants. In *The alkali metal ions: Their Role for Life* (pp. 291-324). Springer, Cham.
- Ntagkas, N., Woltering, E. J. & Marcelis, L. F. (2018). Light regulates ascorbate in plants: An integrated view on physiology and biochemistry. *Environmental and Experimental Botany*, 147, 271-280.
- Pandey, G. K., & Mahiwal, S. (2020). *Role of potassium in plants*. Cham: Springer.
- Premuzic, Z., Bargiela, M., Garcia, A. &

Iorio, A. (1998). Calcium, iron, potassium, phosphorus and vitamin C content of organic and hydroponic tomatoes. *HortScience: a Publication of the American Society for Horticultural Science (USA)*.

- Salehi Molkabadi, R., Nezamdoost Darsetani, D., & Ghasemi, K. (2021). The effect of foliar spray of sucrose and certain mineral nutrients on carbohydrates partitioning in radish (*Rhaphunus sativus* var. sativus). *Horticultural Plants Nutrition*, 7(1), 79-96. (In Persian)
- Shabani, T., Peyvast, G. & Olfati, J. (2011). Effect of different substrates on quantitative and qualitative traits of three pepper cultivars in soilless culture. *Journal of Statistical Planning and Inference*, 2(2), 11-21. (In Persian)
- Shireen, F., Nawaz, M. A., Chen, C., Zhang, Q., Zheng, Z., Sohail, H. & Bie, Z. (2018). Boron: functions and approaches to enhance its availability in plants for sustainable agriculture. *International Journal of Molecular Sciences*, 19(7), 1856.
- Singh, H., Dunn, B. L., Payton, M. & Brandenberger, L. (2019). Selection of fertilizer and cultivar of sweet pepper and eggplant for hydroponic production. *Agronomy*, 9(8), 433-439.
- Tsegay, D., Tesfaye, B., Mohammed, A. & Yirga, H. (2013). Effects of harvesting stage and storage duration on postharvest quality and shelf life of sweet Bell pepper varieties under passive refrigeration system. *International Journal of Biotechnology and Molecular Biology Research*, 4(7), 98-104.
- Trankner, M., Tavakol, E. & Jakli, B. (2018). Functioning of potassium and magnesium in photosynthesis, photosynthate translocation and photoprotection. *Physiologia Plantarum*, 163(3), 414-431.
- Turner, A. D. & Wien, H. C. (1994). Photosynthesis, dark respiration and bud sugar concentrations in pepper cultivars differing in susceptibility to stress-induced bud abscission. *Annals of Botany*, 73(6), 623-628.
- Wien, H. C. & Zhang, Y. (1991). Prevention of flower abscission in Bell pepper. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 116(3), 516-519.
- Zeist, A. R., Zanin, D. S., Camargo, C. K., de Resende, J. T., Ono, E. O. & Rodrigues, J. D. (2018). Fruit yield and gas exchange in Bell peppers after foliar application of boron, calcium, and Stimulate. *Horticultura Brasileira*, 36, 498-503.
- Zorb, C., Senbayram, M. & Peiter, E. (2014). Potassium in agriculture-status and perspectives. *Journal of Plant Physiology*, 171(9), 656-669.