

The effect of foliar spray of sucrose and certain mineral nutrients on carbohydrates partitioning in radish (*Rhaphanus sativus* var. *sativus*)

Reza Salehi Malekabadi¹, Delaram Nezamdoust Darestani^{2*}, Kamran Ghasemi³

1- Corresponding Author and M.Sc. Student of Horticultural Sciences, Department of Horticultural Sciences and Engineering, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Sari, Iran

rezasalehi.m94@gmail.com

2- B.Sc. Student of Plant Breeding, Department of Plant Breeding, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Sari, Iran.

darestani.nezamdoost.dell@gmail.com

3- Assistant Professors of Horticultural Sciences and Engineering Department, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Sari, Iran.

kamranghasemi63@gmail.com

Received Date: 2020/07/16

Accepted Date: 2020/11/25

Abstract

Introduction: Carbohydrate export from green leaves is a vital factor for growth and development of non-photosynthetic parts of plants, so both reinforcement of physiological sinks and assistance to carbohydrate translocation, can lead to more growth of physiological sources. Spray of exogenous sucrose has been evaluated in numerous studies and its positive influence was reported in various horticultural crops including tomato (Mashayekhi et al., 2016) and strawberry (Mendoza et al., 2005). In this experiment, it was aimed to manage sink-source relationships via exogenous sucrose spray and contributory elements for carbohydrate translocation comprising potassium (K), magnesium (Mg) and boron (B).

Material and methods: The experiment was carried out in factorial format based on completely randomized design in greenhouse conditions with 4 replications and 5 samples. The first factor was sucrose in two levels (control: S0 and 5 percent concentration: S1) and second factor was mineral nutrition in six levels consisting control (C), boric acid (BA), potassium sulfate (PS), potassium nitrate (PN), magnesium sulfate (MS) and magnesium nitrate (MN). An open hydroponic system was used for growing the radishes in cocopeat + perlite (1:1) medium culture. Biomass, photosynthetic pigments, photosynthesis parameters and carbohydrate allocation were determined to find the best treatment.

Results and discussion: The highest fresh weight of aerial part of radish was recorded in S0PS treatment that was significantly more than the others. Treatment of S1MN ranked in second for fresh weight of aerial part. Surprisingly, all of the sucrose treatments caused more fresh and dry weight of aerial parts in comparison with control (S0C). Maximum dry weight of aerial parts was seen in S0PS that was not significantly different with S1MN. Interaction of sucrose and mineral nutrition was statistically significant in fresh weight of tuber but not in dry weight of it. The lowest fresh weight and diameter of radish tuber was observed in S0MS that was not different with S0C and S1BA significantly. The significant lowest transpiration rate recorded in S0C treatment showed stomatal limitation of control plants, so it can be considered an obstacle for normal photosynthesis which removed in treated plants. Chlorophyll a and carotenoids in the radishes treated by sucrose were significantly more than control plants. The treatment of S1MN showed the highest percentage of tuber carbohydrate, although its difference was not statistically significant with S1PS and S1KN.

Conclusions: According to the results, spray of potassium sulfate can be recommended to achieve more edible yield of radish. Foliar application of sucrose at the concentration of 5% caused photosynthetic limitations and increased non-photochemical quenching. Because of this reason, lower concentration should be tested in future researches to find the best concentration.

Keywords: Phloem, Phloem sap, Potassium, Magnesium, Boron.

تأثیر محلول پاشی ساکارز و برخی عناصر غذایی بر تسهیم کربوهیدرات‌ها در گیاه تربچه (*Rhaphanus sativus* var. *sativus*)

رضا صالحی ملک‌آبادی^۱، دلارام نظام‌دوست دارستانی^{۲*}، کامران قاسمی^۳

۱- نویسنده مسئول و دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه علوم و مهندسی باغبانی، دانشکده علوم زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران.

rezasalehi.m94@gmail.com

۲- دانشجوی کارشناسی، گروه مهندسی اصلاح نباتات، دانشکده علوم زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران.

darestani.nezamdoost.dell@gmail.com

۳- استادیار گروه علوم و مهندسی باغبانی، دانشکده علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران.

kamranghasemi63@gmail.com

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۲/۲۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱۰/۰۴

چکیده

هرگونه تقویت بخش‌های فتوسنتزکننده و کمک به انتقال کربوهیدرات‌ها می‌تواند منجر به افزایش رشد مقاصد فیزیولوژیکی گردد. در این پژوهش سعی شد تا از طریق محلول‌پاشی خارجی ساکارز و عناصر معدنی دخیل در انتقال کربوهیدرات، روابط منبع و مخزن گیاه تربچه مدیریت شود. این آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با دو فاکتور ساکارز در دو سطح (صفر و پنج درصد) و نمک‌های معدنی در شش سطح (شاهد، سولفات پتاسیم (K_2SO_4))، نیترات پتاسیم KNO_3 ، سولفات منیزیم ($MgSO_4$)، نیترات منیزیم ($Mg(NO_3)_2$) و اسید بوریک (H_3BO_3) با چهار تکرار (و پنج گیاه برای هر تکرار)، در بستر جامد کوکوپیت + پرلیت (به نسبت مساوی) صورت پذیرفت. نتایج بدست آمده نشان داد که بیشترین وزن تر اندام هوایی تربچه در تیمار بدون ساکارز+سولفات پتاسیم دیده شد که به‌طور معنی‌داری از تمامی تیمارهای دیگر بیشتر بوده و تیمار ساکارز پنج درصد+نیترات منیزیم در رتبه دوم قرار گرفت. همچنین به‌طور جالب توجهی تمامی تیمارهای دارای ساکارز نسبت به شاهد (بدون کاربرد ساکارز و عناصر معدنی) از نظر وزن تر و خشک اندام هوایی دارای برتری معنی‌داری بودند. میزان پایین تعرق در گیاهان شاهد دیده شد که به‌طور معنی‌داری کمتر از تمامی ترکیبات تیماری مورد استفاده در این آزمایش بود. میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی شامل کلروفیل a و کاروتنوئیدها در گیاهان تیمار شده با ساکارز به‌طور معنی‌داری بیشتر از گیاهان شاهد بود. تیمار ساکارز+نیترات منیزیم به‌صورت معنی‌داری بیشترین درصد کربوهیدرات کل غده و کمترین درصد کربوهیدرات برگ را داشت؛ هرچند اختلاف آن از نظر آماری با دو تیمار ساکارز+سولفات پتاسیم و ساکارز+نیترات پتاسیم معنی‌دار نبود. به‌طور کلی جهت افزایش عملکرد خوراکی تربچه، میتوان از محلول‌پاشی سولفات پتاسیم به‌طور موثری استفاده نمود. همچنین غلظت پنج درصد محلول‌پاشی ساکارز برای تربچه زیاد بوده و محدودیت‌های فتوسنتزی در این گیاه را بدنبال دارد.

کلمات کلیدی: آوند آبکش، شیره پرورده، پتاسیم، منیزیم، بور.

مقدمه

تربیجه (*Rhaphanus sativus* L.) یکی از گونه‌های مهم خانواده Brassicaceae بوده که به‌عنوان سبزی برگ‌ری و ریشه‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرد (Lee and Park, 2017). این سبزی به سبب داشتن فیبرهای محلول و همچنین آنتی‌اکسیدان‌های گلوکوزینولیدی و ایزوتیوسیناتی، دارای ارزش غذایی قابل توجهی می‌باشد (Hara et al., 2009).

انتقال کربوهیدرات‌ها از برگ‌های فتوسنتزی (Sources)، عامل زنده ماندن، رشد و فعل و انفعالات بافت‌های غیرفتوسنتزی (Sinks) گیاه می‌باشد و بافت آبکش در حرکت کربوهیدرات‌ها، به‌عنوان سیستم انتقال‌دهنده عمل می‌کند. تقریباً ۵۰ تا ۸۰ درصد CO_2 تثبیت شده در برگ‌های بالغ فتوسنتزی، به‌منظور رفع نیاز اندام‌های غیرفتوسنتزی گیاه، توسط بافت آبکش انتقال می‌یابد (Anisworth and Bush, 2010). غلظت بالای قندها که غالباً هم ساکارز می‌باشد، در عناصر غربالی بافت منبع، فشار تورژسانس را افزایش می‌دهد، نتیجه این فشار هیدرواستاتیک، حرکت توده‌ای قندها به عناصر غربالی بافت‌های مخزن می‌باشد که در آنجا، قندها تخلیه و فشار تورژسانس کاهش می‌یابد. استراتژی‌های متفاوتی، برای بارگیری قندها در آوند آبکش بیان شده است که از نظر مسیر ورود قندها به آوند آبکش، و همچنین تامین انرژی مورد نیاز برای انباشت شدن با هم اختلاف دارند (Slewinski and Braun, 2010). در بسیاری از گونه‌های گیاهی، انتقال ساکارز از سلول‌های مزوفیل به بافت آبکش، از طریق مسیر آپوپلاستی صورت می‌گیرد که بصورت انتقال فعال به کمپلکس سلول همراه و عناصر غربالی بافت آبکش، از طریق سیمپورتر $Suc-H^+$ غشاء پلاسمایی، انتقال انجام می‌شود (Sauer, 2007).

مطالعات زیادی، اثرات مثبت محلول‌پاشی برگ‌ری ساکارز بر بهبود کمی و کیفی تولیدات گونه‌های مختلف گیاهی را اعلام کرده‌اند (Ghorbani et al., 2015). در پژوهشی Mendoza و همکاران (۲۰۰۵)، افزایش وزن

خشک ریشه و ساقه توت‌فرنگی رقم (*Fragaria x ananassa* Duch.) را بر اثر محلول‌پاشی برگ‌ری و برهمکنش ساکارز (۰/۸٪) و اوره (۰/۱٪)، گزارش کردند. همچنین در مطالعه دیگری، افزایش غلظت رنگیزه‌های فتوسنتزی، کربوهیدرات کل، گلوکز، ساکارز و اسید آسکوربیک میوه توت‌فرنگی بر اثر محلول‌پاشی برگ‌ری ساکارز ۱۰ درصد + اسید بوریک ۰/۱ و ۰/۲ درصد، گزارش گشت (Mashayekhi and Atashi, 2012). افزایش اندازه و وزن میوه گوجه فرنگی، بر اثر استفاده از محلول‌پاشی برگ‌ری ساکارز ۱۵ درصد + اسید بوریک ۰/۲ درصد نیز در پژوهشی گزارش شد (Ghorbani et al., 2015). درخصوص تغذیه نشاء گوجه‌فرنگی نیز، افزایش وزن خشک ساقه نشاء و غلظت کاروتنوئیدها بر اثر محلول‌پاشی ساکارز ۱۰ درصد + اسید بوریک ۰/۲ درصد مشاهده گشت. همچنین ساکارز ۵ درصد همراه با اسید بوریک ۰/۲ درصد، موجب تشکیل بیشترین تعداد میوه در بوته گشت (Mashayekhi et al., 2016).

در یکی دیگر از پژوهش‌ها Kovacic (۱۹۹۹)، بهبود پارامترهای کمی و کیفی تربچه را در پی محلول‌پاشی برگ‌ری ساکارز، بیان کرد. در مطالعه دیگری، بالاترین میزان وزن توده برگ تولید شده در تربچه و میزان آسکوربیک اسید، در تیمار محلول‌پاشی برگ‌ری ساکارز به همراه اوره، مولیدن و بنزیل آدنین اعلام گشت (Smolen and Sady, 2009).

بارگیری ساکارز، به‌عنوان فرم غالب کربوهیدرات مورد انتقال در گیاه، به‌طور قابل ملاحظه‌ای تحت تاثیر وضعیت تغذیه پتاسیم و منیزیم قرار می‌گیرد و کمبود هریک از این عناصر، به وضوح کارایی انتقال کربن را برای فواصل طولانی‌تر تحت‌الشعاع قرار می‌دهد (Trankner et al., 2018). براساس فرضیه جریان تحت فشار که نخستین مرتبه توسط Munch (۱۹۳۰) توضیح داده شد، حرکت مواد محلول در آبکش از شیب فشار هیدرواستاتیک پیروی می‌کند، که از اختلاف غلظت مواد محلول نشاء می‌گیرد. پتاسیم فراوان‌ترین کاتیون در آوند آبکش می‌باشد و در

گزارش گشت که کاربرد اسپری برگ‌ی منیزیم با غلظت های ۰/۵ و ۰/۷۵ درصد می‌توانند سبب افزایش ارتفاع گیاه، وزن تر و وزن خشک برگ، تعداد کوردهای بازار پسند و برخی ترکیبات شیمیایی موثر در برگ و کورد در کلم گل (*Brassica oleraceae* var. *botrytis* L.) گردد (Ahmed et al, 2011).

بور (Boron) نیز علاوه بر نقش در شکل‌گیری دیواره سلولی (Brown et al., 2002)، تقسیم و طول شدن سلول (Goldbach et al., 2001; Oliveira et al., 2006)، برخی از وظایف غشاء (Zhao and Oosterhuis, 2003)، در متابولیسم و انتقال کربوهیدرات‌ها نیز نقش دارد (Zhao and Oosterhuis, 2002; Sheng et al., 2009). مقدار و غلظت بهینه بور، فعالیت غشا پلاسمایی را بهبود می‌بخشد در صورتیکه کمبود بور، پتانسیل فعالیت H^+ -ATPase را کاهش می‌دهد (Goldbach and Wimmer, 2007). نتایج یک پژوهش نشان داد که شرایط کمبود بور، کاهش فعالیت H^+ -ATPase را، در ریشه گیاه نخود به دنبال داشته است (Lawrence et al., 1995). در پنبه (*Gossypium hirsutum* L.) مشاهده شد که کمبود بور، سبب افزایش غلظت CO_2 درونی گشته است، اما کاهش نرخ تعرق، هدایت روزنه‌ای و فتوسنتز را در پی داشته است. با وجود کاهش فتوسنتز، تجمع کربوهیدرات‌های غیرساختاری در برگ این گیاه مشاهده شده که به سبب کاهش انتقال این کربوهیدرات‌ها، در گیاهان تحت شرایط کمبود بور می‌تواند باشد (Bogiani et al., 2013).

هدف از این پژوهش، ارزیابی اثر محلول پاشی خارجی ساکارز و عناصر معدنی انتقال‌دهنده کربوهیدرات‌ها شامل پتاسیم، منیزیم و بور بر بعضی شاخص‌های مورفولوژیکی، فتوسنتزی و بیوشیمیایی تربچه بوده است. همچنین، قصد بر این بود که بتوان از این طریق، تغییراتی در تسهیم کربوهیدرات در بخشهای مختلف گیاه اعمال نمود و به نوعی قدرت و عملکرد منبع و مخزن فیزیولوژیکی را مدیریت نمود.

کنار ساکارز و ترکیبات Amino-N، از مهمترین اجزای اسمزی آبکش محسوب می‌شوند؛ از این رو در میزان انتقال مواد در بافت آبکش نقش بسزایی دارد (Lalonde et al., 2003). در پژوهشی Mengel and Haeder (1977)، بیان داشتند که غلظت یون پتاسیم درون آوند آبکش کرچک *Ricinus communis* هبستگی مثبتی با تیمار خارجی پتاسیم نشان می‌دهد. در بارگیری آپوپلاستی آوند آبکش، ساکارز توسط ترنسپورتهای خود برخلاف شیب غلظت از عرض غشاء پلاسمایی سلول‌های همراه و غربالی بافت آبکش، بصورت فعال عبور می‌کند. انرژی مورد نیاز، توسط H^+ -ATPase تولید می‌شود که یک شیب پروتونی در عرض غشاء پلاسمایی ایجاد می‌کند (Michelet and Boutry, 1995). غلظت پایین منیزیم سلولی، می‌تواند منجر به تفکیک کمپلکس $Mg.ATP$ گردد و فعالیت پمپ پروتونی H^+ -ATPase غشاء پلاسمایی را کاهش دهد (Hanstein et al., 2011). که در این شرایط، نرخ انتقال آبکش، کاهش یافته و انباشت ساکارز را در برگ‌ها، شاهد خواهیم بود (Trankner et al., 2018). علاوه بر اثر پتاسیم و منیزیم در انتقال کربوهیدرات‌ها، نقش این دو عنصر در فعالیت آنزیم ریبولوز-۱۵ بی فسفات کربوکسیلاز/ هیدروژناز (رویسکو) و زیرساخت کلروپلاست و همچنین نقش منیزیم در ساختار کلروفیل و پتاسیم در آناتومی برگ، موجب شده است که این عناصر در تولید کربوهیدرات‌ها و تثبیت کربن نیز نقش مهمی را ایفا می‌کنند (Trankner et al., 2018; Andersson, 2008). در پژوهشی، بهبود برخی از مولفه‌های رشدی، فیزیولوژیکی و فتوسنتزی تربچه‌های رشد یافته در سیستم آکوآپونیک تحت تاثیر محلول پاشی برگ‌ی پتاسیم با غلظت ۲ گرم بر لیتر، گزارش شد (Roosta, 2014). اثر محلول پاشی برگ‌ی سولفات منیزیم با غلظت ۱/۵ گرم بر لیتر، بر بهبود ویژگی‌های رشدی، غلظت رنگیزه‌های فتوسنتزی و همچنین افزایش غلظت عناصر نیتروژن، فسفر و پتاسیم در اندام هوایی و زیر زمینی تربچه مشاهده شد (Seeda et al, 2018). در پژوهشی دیگر نیز

مواد و روش‌ها

این پژوهش در زمستان ۱۳۹۸، بصورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی، با دو فاکتور ساکارز (در دو سطح: صفر و ۵ درصد) و نمک‌های معدنی (در شش سطح: شاهد، منیزیم ۸۲۰ پی‌پی‌ام از منبع نیترات منیزیم $(Mg(NO_3)_2)$ ، منیزیم ۸۲۰ پی‌پی‌ام از منبع سولفات منیزیم $(MgSO_4)$ ، پتاسیم ۱۹۳۳ پی‌پی‌ام از منبع نیترات پتاسیم (KNO_3) ، پتاسیم ۱۹۳۳ پی‌پی‌ام از منبع سولفات پتاسیم (K_2SO_4) و ۳۵۰ پی‌پی‌ام بور از منبع اسید بوریک (H_3BO_3)) با چهار تکرار و پنج نمونه در هر تکرار، در گلخانه پژوهشی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری صورت پذیرفت. غلظت بهینه استفاده شده برای ساکارز (Mashayekhi et al, 2016)، پتاسیم (Roosta, 2014)، منیزیم (Ahmed et al, 2011) و بور (Ghorbani et al., 2015) و همچنین براساس دیگر آزمایشات صورت گرفته در دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، تعیین و بکار گرفته شد. به منظور تهیه عناصر غذایی، از نمک‌های آزمایشگاهی تولید شرکت Merck آلمان استفاده شد (درصد خلوص تمامی نمک‌ها بیش از ۹۹/۹ درصد می‌باشد) که براساس مقدار عناصر مورد نظر در آن‌ها، محلول‌های غذایی مورد نظر تهیه گشت. بذرهاى تربچه در شرایط سیستم هیدروپونیک باز با بستر جامد کوکوپیت + پرلیت (به نسبت مساوی) کشت شده و با محلول یک سوم غلظت هوگلند بعد از ظهور و توسعه نسبی نخستین برگ‌های حقیقی (۱۲ روز بعد از کاشت)، به صورت کودآبیاری تغذیه شدند. گیاهان در طول دوره رشد، با فواصل زمانی دو روزه، به ترتیب یک نوبت کودآبیاری و یک نوبت آبیاری با آب مقطر گشتند و غلظت یک سوم محلول محلول هوگلند، بصورت ثابت تا پایان دوره

آزمایش در نظر گرفته شد.

پس از توسعه دو برگ اولیه حقیقی (۲۰ روز بعد از کاشت)، نخستین محلول‌پاشی ترکیبات غذایی صورت گرفته و یک مرتبه دیگر نیز، با فاصله زمانی ۵ روز تکرار گردید. به منظور ارزیابی صفات فتوسنتزی گیاهان، از دستگاه فتوسنتز متر Portable Gas Exchange & Fluorescence System (GFS- 3000, Walz, German) استفاده شد. بعد از برداشت تربچه‌ها (۲۹ روز بعد از کاشت)، صفات عملکردی و مورفولوژیکی شامل وزن تر اندام هوایی (گرم در بوته)، وزن تر غده (گرم در بوته)، وزن خشک اندام هوایی (گرم در بوته)، وزن تر غده (گرم در بوته)، درصد وزن خشک اندام هوایی، درصد وزن خشک غده، به وسیله ترازو دیجیتال مدل AND مدل FA2014، ساخت کشور چین و همچنین طول برگ (میلی-متر)، عرض برگ (میلی‌متر)، نسبت طول به عرض برگ، قطر و طول غده با کولیس دیجیتال (-500-197 Mitutoyo 20، ساخت کشور ژاپن) اندازه‌گیری شد.

اندازه‌گیری رنگی‌های فتوسنتزی

جهت عصاره‌گیری برای سنجش رنگی‌ها، توسط حلال متانل، از پروتوکل Carter And Knapp (۲۰۰۱) استفاده شد. به این صورت، وزن مشخصی از برگ مناسب، در ۸ میلی‌لیتر متانل خالص قرار داده شده و در محیط تاریک و دمای ۳۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت نگهداری شدند. سپس بوسیله دستگاه اسپکتوفتومتر Cary 7000 UMS، جذب عصاره‌ها در طول موج 665.2، 652.4 و ۴۷۰ نانومتر خوانده شده و توسط معادلات ارائه شده توسط Lichtenthaler And Buschmann (۲۰۰۱)، محاسبات لازم برای اندازه‌گیری کلروفیل a، کلروفیل b و کارنوئیدها (گزانتوفیل+کاروتن) صورت گرفت.

Methanol (pure solvent):

$$Ca (\mu g. ml - 1) = 16.72 A665.2 - 9.16 A652.4$$

$$Cb (\mu g. ml - 1) = 34.09 A652.4 - 15.28 A665.2$$

$$C(x + c) (\mu g. ml - 1) = (1000 A470 - 1.63 Ca - 104.96 Cb) / 221$$

$$C_{(X+C)} = \text{کلروفیل} \quad C_b = b \quad C_a = a \quad \text{کارنوئیدها (گزانتوفیل+کاروتن)}$$

اندازه‌گیری کربوهیدرات کل محلول

اندازه‌گیری کربوهیدرات کل محلول برگ و غده، بوسیله انترون و با استفاده از پروتکل McCready و همکاران (۱۹۵۰) صورت پذیرفت. برای ساخت محلول انترون، مقدار ۱۵۰ میلی‌گرم انترون، در ۱۰۰ میلی‌لیتر اسید سولفوریک رقیق حل گشت و همچنین برای تهیه ۱۰۰ میلی‌لیتر اسید سولفوریک رقیق، مقدار ۷۶ میلی‌لیتر اسید سولفوریک غلیظ با ۳۸ میلی‌لیتر آب مقطر مخلوط گشت. جهت اندازه‌گیری قندهای محلول، مقدار ۱۰۰ میکرولیتر از عصاره را در لوله آزمایش ریخته و به آن ۳ میلی‌لیتر محلول انترون اضافه شد. مخلوط بدست آمده به مدت ۲۰ دقیقه در درجه حرارت ۱۰۰ درجه سانتیگراد در حمام آب جوش قرار داده شد. اندازه‌گیری قندهای محلول با استفاده از روش اسپکتروفتومتری و در طول موج ۶۲۰ نانومتر صورت گرفت و با رسم منحنی استاندارد توسط غلظت‌های مشخص گلوکز، مقدار قند برحسب میکروگرم بر گرم، بیان شد.

داده‌های بدست آمده در نهایت در نرم افزار اکسل وارد شده و جهت آنالیز داده‌ها نیز از نرم افزار SAS مدل 9/1 استفاده گردید. مقایسه میانگین‌ها از طریق آزمون دانکن انجام شد و نمودارها نیز توسط نرم افزار اکسل رسم گردید.

نتایج و بحث

رشد رویشی و مورفولوژی

بیشترین وزن تر اندام هوایی تربچه (۴ گرم در بوته)، در تیمار بدون ساکارز+سولفات پتاسیم دیده شد که به طور معنی‌داری از تمامی تیمارهای دیگر بیشتر بوده و تیمار ساکارز پنج درصد+نیتراژ منیزیم در رتبه دوم قرار گرفت (جدول ۱). همچنین به‌طور جالب توجهی تمامی تیمارهای دارای ساکارز، نسبت به شاهد (بدون محلول پاشی ساکارز و عناصر معدنی) از نظر وزن تر اندام هوایی دارای برتری معنی‌داری بودند (جدول ۱). روند تقریباً مشابهی در

خصوص وزن خشک اندام هوایی دیده شد به طوری که بیشترین وزن خشک اندام هوایی تربچه در تیمار ساکارز صفر+سولفات پتاسیم (۰/۲۱ گرم در بوته) دیده شد که اختلاف معنی‌داری با تیمار ساکارز پنج درصد+نیتراژ منیزیم (۰/۲ گرم در بوته) نشان نداد (جدول ۱). با توجه به آنکه در برخی مناطق، برگ‌های تربچه به‌عنوان سبزی برگی مورد استفاده قرار می‌گیرد (Lee and Park, 2017)، لذا توسعه برگی مناسب می‌تواند علاوه بر ایجاد سطح مناسب فتوسنتزکننده، جزئی از عملکرد خوراکی محصول نیز تلقی گردد. از آنجایی که تربچه از خانواده Brassicaceae بوده و اعضای این خانواده گیاهانی گوگرد دوست می‌باشند، لذا تاثیر مثبت کود سولفات قابل پیش‌بینی بود. گیاهان گوگرد معدنی را با ساخت آمینواسید سیستئین آسیمیله می‌کنند و این آمینواسید خود می‌تواند در ادامه به متیونین تبدیل شود. نقش مهم گوگرد در تغییر انرژی و فعال‌سازی آنزیم‌های متابولیسم کربوهیدرات می‌باشد، که در نهایت منجر به افزایش شاخص‌های عملکردی تربچه می‌گردد (Bahadur and Bala, 2017). از طرف دیگر، گوگرد نقش اساسی در تنظیم گلوکوتایون و در نتیجه مقاومت گیاه به تنش‌های محیطی ایفا می‌کند، لذا این عنصر می‌تواند به کاهش تنش‌های ناخواسته در تربچه نیز کمک شایانی نماید؛ به طوری که در پژوهشی بیشترین وزن خشک غده تربچه در بیشترین مقدار تیمار گوگرد به میزان ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار بدست آمد (Stagnari et al., 2018).

نقش مثبت پتاسیم در این ترکیب کودی را میتوان کمک به افزایش جذب برگی گوگرد نسبت داد، و یا تاثیر پتاسیم بر تنظیم حرکت روزنه‌ها و فعال نمودن آنزیم‌های متعدد گیاهی را در نظر گرفت. به‌ویژه نقش پتاسیم در تورژسانس در این پژوهش نمود بیشتری دارد زیرا تیمار ساکارز صفر+سولفات پتاسیم دارای کمترین مقدار عددی درصد وزن خشک اندام هوایی و غده بود که بطور معنی‌داری از شاهد و بیشتر ترکیبات تیماری مورد استفاده کمتر بوده است (جدول ۱). این مسئله نشان می‌دهد آب

آبکش درگیر انتقال ساکارز خواهد بود (Zorba et al., 2014) لذا میزان آن در سیتوپلاسم سلول‌های مزوفیل و بافت غده کاهش یافته لذا نقش تورژسانسی آن نیز کم‌رنگ می‌شود.

نیتراژ منیزیم زمانی رشد هوایی را افزایش داده که همراه با ساکارز مورد استفاده قرار گیرد. دلیل این مسئله در درجه اول به نقش مهم منیزیم در بارگیری آوند آبکش و انتقال کربوهیدرات برمی‌گردد (Farhat et al., 2016). به عبارت دیگر عدم وجود عنصر منیزیم به مقدار کافی احتمالاً با تجمع کربوهیدرات ناشی از محلول‌پاشی ساکارز همراه شده و از این طریق رشد را محدود می‌نماید. در درجه دوم نقش نیتروژن در تحریک رشد رویشی نیز قابل توجه می‌باشد، به طوری که گزارش شده است مقادیر بسیار بالای نیتروژن (۲۵۰ تا ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار) برای تربچه قابل توصیه است (Poudel et al., 2018).

زیادی در اندام‌های گیاهان تیمارشده با سولفات پتاسیم تجمع یافته است و به بیان دیگر افزایش وزن بخش هوایی و زیرزمینی بیش از آنکه مربوط به تجمع ماده خشک باشد مربوط به جذب آب و تورژسانس کامل این اندام‌هاست. نقش کلیدی پتاسیم در تورژسانس سلولی کاملاً شناخته شده می‌باشد (Nieves-Cordones et al., 2016). البته تربچه به‌طور کلی نیاز فراوانی به پتاسیم دارد، تا جایی که گزارش شده است حتی در خاک‌هایی با میزان پتاسیم بالا هم این گیاه به کودهای پتاسه واکنش مثبت نشان داده و افزایش عملکرد در آن دیده شده است (Castro et al., 2016). اما چرا سولفات پتاسیم در زمان محلول‌پاشی ساکارز نمی‌تواند چنین نقشی را به خوبی ایفا کند؟ شاید دلیل آن، به تغییر در تسهیم عنصر پتاسیم در گیاه در حضور میزان بالای کربوهیدرات برگردد. بدین معنی که اگر میزان کربوهیدرات زیاد باشد بخشی از پتاسیم در آوند

جدول ۱. برهمکنش اثر ساکارز و عناصر معدنی بر برخی مولفه‌های عملکردی تربچه

Table 1. Interaction of sucrose and mineral elements on some radish production parameters

Sucrose %	Mineral Element	Leaves Fresh Weight (g)**	Tubers Fresh Weight (g)*	Tubers Diameter (mm)*	Tubers Dry Weight (%)**	Leaves Dry Weight (g)**
0	Control	2.44 ^d	4.62 ^{cb}	18.23 ^{cd}	4.74 ^{ab}	0.165 ^{dce}
0	Boric acid	1.82 ^e	4.65 ^{cb}	19.52 ^{cdb}	4.78 ^a	0.146 ^{fe}
0	Magnesium sulfate	2.39 ^e	3.91 ^c	17.58 ^d	4.66 ^{cab}	0.125 ^f
0	Potassium sulfate	4 ^a	6.86 ^a	23.58 ^a	4.09 ^d	0.211 ^a
0	Magnesium nitrate	3.22 ^{bc}	6.55 ^a	23.59 ^a	4.26 ^{cd}	0.177 ^{dcb}
0	Potassium nitrate	3.06 ^c	5.86 ^{ab}	22.68 ^{ab}	4.50 ^{cab}	0.167 ^{dce}
5	Control	3.02 ^c	6.1 ^{ab}	21.32 ^{cab}	4.57 ^{cab}	0.161 ^{de}
5	Boric acid	3.14 ^c	7.17 ^a	22.45 ^{ab}	4.34 ^{cdb}	0.177 ^{dcb}
5	Magnesium sulfate	3.02 ^c	6.25 ^a	22.53 ^{ab}	4.55 ^{cab}	0.173 ^{dc}
5	Potassium sulfate	3.3 ^{bc}	6.15 ^{ab}	22.05 ^{ab}	4.66 ^{cab}	0.180 ^{dcb}
5	Magnesium nitrate	3.61 ^b	7.52 ^a	23.29 ^a	4.53 ^{cab}	0.2 ^{ab}
5	Potassium nitrate	3.30 ^{bc}	6.62 ^a	22.09 ^{ab}	4.44 ^{cadb}	0.187 ^{cb}

* و **: به ترتیب بیانگر عدم وجود اختلاف معنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ و ۱٪. اعداد با حروف مشترک در هر ستون دارای اختلاف معنی‌دار (P<0.01) نمی‌باشند

* and ** indicate statistical non-significant, significance at 5% and 1% level of confidence, respectively. Numbers followed

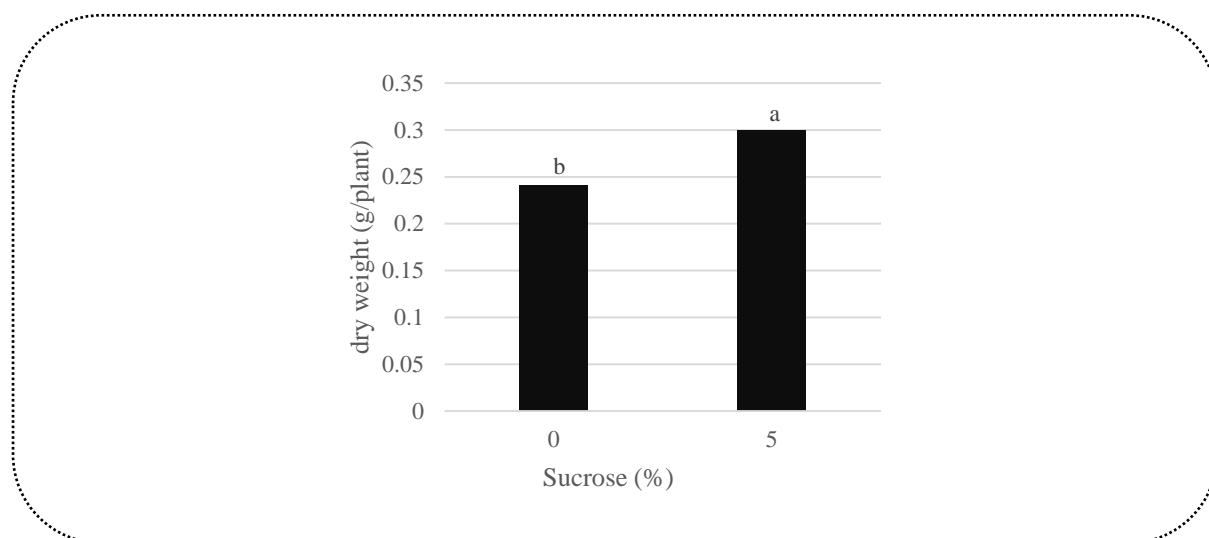
by the same letter are not significantly differentns ($P < 0.01$)

معدنی، تنها تیماری که نسبت به شاهد برتری داشت نیترا ت منیزیم بود (شکل ۲) که قاعدتا بدلیل نقش بی بدیل منیزیم در انتقال کربوهیدرات از منبع به مقصد فیزیولوژیکی می باشد. در موارد متعددی گزارش شده است که کمبود عنصر منیزیم در گیاهان مختلف موجب افزایش نسبت شاخساره به ریشه می شود (Farhat et al., 2016) که با نتایج پژوهش حاضر مطابقت دارد. به دیگر سخن، در اثر کمبود عنصر منیزیم کاهش زیست توده ریشه رخ می دهد که این کاهش رشد ریشه خود به دلیل تجمع کربوهیدرات در برگ ها ایجاد می گردد (Farhat et al., 2016).

طول و عرض برگ که در مجموع اندازه برگ را نشان می دهد، می تواند شاخص خوبی از رشد مورفولوژیکی گیاه باشد. تیمار ساکارز موجب کاهش معنی دار طول برگ شد این در حالی است که عرض برگ با تیمار ساکارز افزایش یافت (شکل ۳). در مجموع تغییر در اندازه سطح برگ بدلیل اعمال تیمارها محسوس نبود؛ هر چند شکل برگ و مورفولوژی آن تغییراتی را نشان داد. به بیان بهتر تحت تاثیر تیمار ساکارز، برگ های تربچه پهن تر از حالت طبیعی شدند.

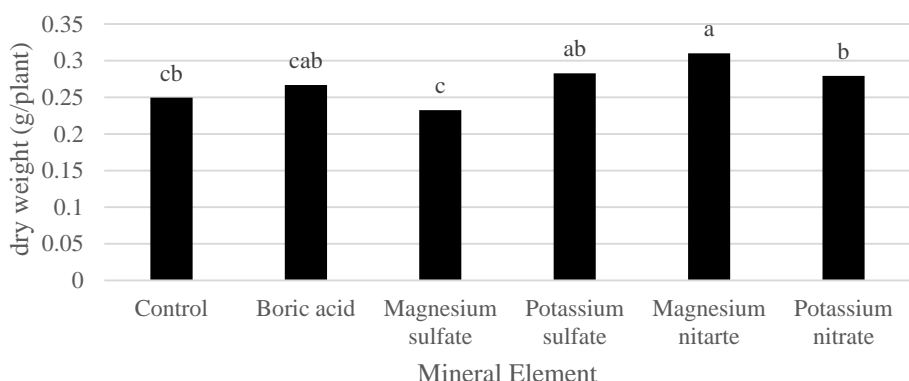
برهمکنش دو فاکتور ساکارز و تغذیه معدنی، بر وزن تر و قطر غده معنی دار، ولی بر وزن خشک آن غیر معنی دار بود. کمترین وزن تر و قطر غده در تیمار بدون ساکارز + سولفات منیزیم (وزن تر غده: ۳/۹۱ گرم، قطر غده: ۱۷/۸۸ میلی متر) دیده شد که اختلاف آن با محلول بدون ساکارز + اسید بوریک (وزن تر غده: ۴/۶۵ گرم، قطر غده: ۱۹/۵۲ میلی متر) و شاهد (وزن تر غده: ۴/۶۲ گرم، قطر غده: ۱۸/۲۳ میلی متر) معنی دار نبود (جدول ۱). بیشترین مقدار وزن تر و قطر غده (وزن تر غده: ۶/۸۶ گرم، قطر غده: ۲۳/۵۸ میلی متر) نیز در تیمار بدون ساکارز + سولفات پتاسیم دیده شد، که به غیر از سه تیمار فوق با بقیه تیمارهای مورد آزمایش اختلاف معنی داری نشان نداد (جدول ۱). با توجه به اینکه تیمار بدون ساکارز + سولفات پتاسیم هم بخش هوایی و هم غده مناسبی تولید نمود، لذا می تواند از نظر عملکردی تیمار قابل توصیه ای باشد.

از نظر وزن خشک غده، با اینکه اثر متقابل فاکتورها معنی دار نشده بود، اثر اصلی هر دو فاکتور ساکارز و نمک های معدنی معنی دار شد به طوری که وزن خشک مربوط به تیمار ساکارز (۰/۲۹ گرم در بوته) در مقابل شاهد (۰/۲۴ گرم در بوته) برتری نشان داد (شکل ۱). از میان نمک های



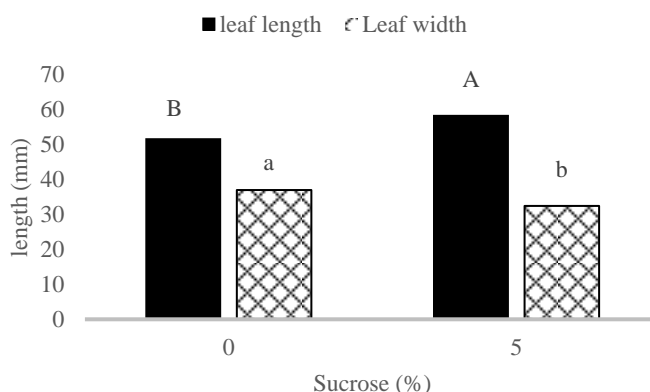
شکل ۱. اثر ساده محلول پاشی ساکارز بر وزن خشک غده تربچه

Fig 1. The simple effect of sucrose foliar spray on dry weight of radish's tuber



شکل ۲. اثر ساده محلول پاشی نمک‌های معدنی، بر وزن خشک غده تربچه

Fig 3. The simple effect of mineral elements foliar spray on dry weight of radish's tuber



شکل ۳. اثر ساده محلول پاشی ساکارز بر طول و عرض برگ تربچه

Fig 2. The simple effect of sucrose foliar spray on length and width of radish's leaves

تیمارهایی بوده‌اند که در مقایسه با حداکثر تعرق ثبت شده (متعلق به تیمار بدون ساکارز+نیترات پتاسیم) به‌طور معنی‌داری کمتر بودند (جدول ۲). میزان رطوبت نسبی برگ نیز به دلیل وابستگی کاملی که به تعرق دارد، از روند مشابهی پیروی کرده و بیشترین رطوبت نسبی برگ متعلق به شاهد بود که ناشی از تعرق پایین گیاهان شاهد می‌باشد (جدول ۲). لذا در مجموع می‌توان گفت که عدم توفیق سه

پارامترهای فتوسنتزی و رنگیزه‌های گیاهی

میزان پایین تعرق در تیمار شاهد (بدون ساکارز و تغذیه معدنی) که به‌طور معنی‌داری کمتر از تمامی ترکیبات تیماری مورد استفاده در این آزمایش بوده است، بیانگر وجود محدودیت روزنه‌ای جهت انجام فتوسنتز مطلوب در گیاهان شاهد می‌باشد (جدول ۲). دو تیمار بدون ساکارز+اسید بوریک و بدون ساکارز+سولفات منیزیم نیز در رتبه‌های بعدی تعرق پایین قرار داشته و مجموعاً

(فلورسانس و گرما) از دست می‌رود (Velez-Ramirez et al., 2011).

به‌طور کلی، تجمع کربوهیدرات‌ها موجب کاهش فتوسنتز و تحریک به پیری زودرس است. عدم توانایی در انتقال کربوهیدرات‌ها در موتانت‌های آراییدوپسیس و ذرت موجب تجزیه کلروپلاست و ایجاد کلروز گردید (Velez-Ramirez et al., 2011). برای ممانعت از تجمع کربوهیدرات در برگ‌ها باید مقاصد فیزیولوژیکی فعال وجود داشته باشد به همین دلیل در پیاز خوراکی که سوخ دارد، نور دائمی مشکل‌ساز نیست ولی در پیازی که سوخ ندارد، نور دائمی خسارت ایجاد می‌کند. لذا همبستگی مثبت بین میزان خسارت ناشی از نور دائمی و تجمع کربوهیدرات‌ها، و همبستگی منفی بین میزان خسارت ناشی از نور دائمی و قدرت مقاصد فیزیولوژیکی گزارش شده است (Velez-Ramirez et al., 2011).

تیمار شاهد، بدون ساکارز+اسید بوریک و بدون ساکارز+سولفات منیزیم در صفاتی مانند وزن تر و خشک اندام هوایی و وزن تر غده، می‌تواند در راستای محدودیت‌های روزنه‌ای و کاهش تعرق تفسیر شود.

همانطور که شکل ۴ و ۵ نشان می‌دهند ضریب خاموشی غیرفتوشیمیایی (qN) و عملکرد کوآنتومی خاموشی غیرفتوشیمیایی Y(NPQ) که گویای اتلاف انرژی بصورت فلورسانس و گرما می‌باشند، در تیمارهای ساکارز بیشتر از گیاهان بدون ساکارز بود؛ لذا واضح است که ساکارز در غلظت بکار رفته (پنج درصد) غلظت بالایی برای تریچه بوده و به نوعی محدودیت غیرروزنه‌ای، مانع استفاده از انرژی خورشیدی و انجام فسفوریلاسیون نوری گردید. وجود کربوهیدرات بالا در برگ مانع پیش رفتن واکنش‌های فتوسنتزی می‌شود، لذا انرژی نورانی جذب شده توسط برگ به‌صورت خاموشی غیرفتوشیمیایی

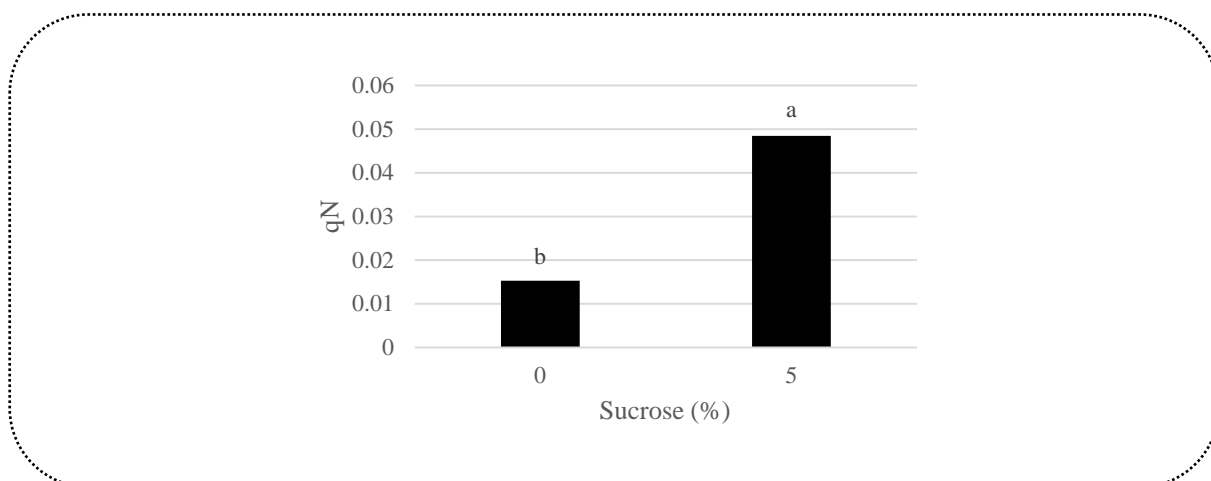
جدول ۲. برهمکنش تاثیر ساکارز و عناصر معدنی بر برخی پارامترهای فتوسنتزی در گیاه تربچه

Table 2. Interaction of sucrose and mineral elements on some photosynthetic parameters in radish

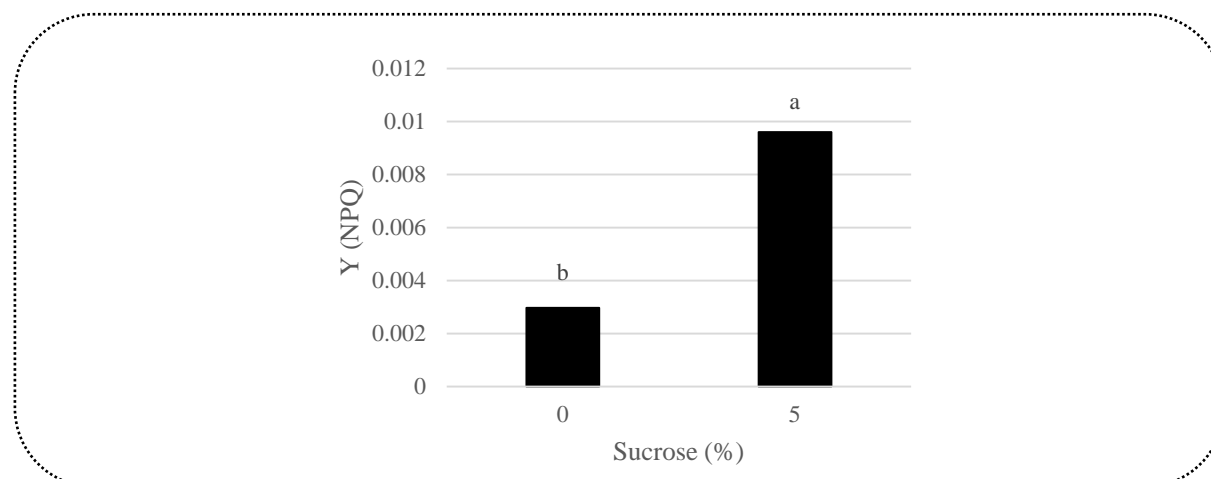
Sucrose %	Mineral Elements	PARbot ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)**	Rh (%)**	E mmol ($\text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$)**
0	Control	26.1 ^{ab}	45.31 ^a	12.22 ^d
0	Boric acid	28.36 ^a	33.61 ^b	17.69 ^c
0	Magnesium sulfate	26.36 ^{ab}	33.37 ^b	19.60 ^{cb}
0	Potassium sulfate	34.26 ^a	33.34 ^b	23.52 ^{ab}
0	Magnesium nitrate	17.96 ^{cb}	29.1 ^c	21.49 ^{cab}
0	Potassium nitrate	13.43 ^c	31.09 ^{bc}	23.83 ^a
5	Control	12.36 ^c	31.35 ^{bc}	23.33 ^{ab}
5	Boric acid	13.2 ^c	31.34 ^{bc}	20.56 ^{cab}
5	Magnesium sulfate	28.33 ^a	32 ^{bc}	23.65 ^a
5	Potassium sulfate	26.96 ^{ab}	31.84 ^{bc}	20.45 ^{cab}
5	Magnesium nitrate	33.13 ^a	31.72 ^{bc}	20.59 ^{cab}
5	Potassium nitrate	25 ^{ab}	32.26 ^{bc}	22.91 ^{ab}

* و **: به ترتیب بیانگر عدم وجود اختلاف معنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ و ۱٪. اعداد با حروف مشترک در هر ستون دارای اختلاف معنی‌دار (P<0.01) نمی‌باشند

* and ** indicate statistical non-significant, significance at 5% and 1% level of confidence, respectively. Numbers followed by the same letter are not significantly differentns (P<0.01)



شکل ۴. اثر ساده محلول پاشی ساکارز بر خاموشی غیرفتوشیمیایی گیاه تربچه qN
Fig 4. The simple effect of sucrose foliar spray on non-photochemical quenching qN in radish



شکل ۵. اثر ساده محلول پاشی ساکارز بر عملکرد کوآنتمومی خاموشی غیرفتوشیمیایی گیاه تربچه Y(NPQ)
Fig 5. The simple effect of sucrose foliar spray on non-photochemical quenching Y(NPQ) in radish

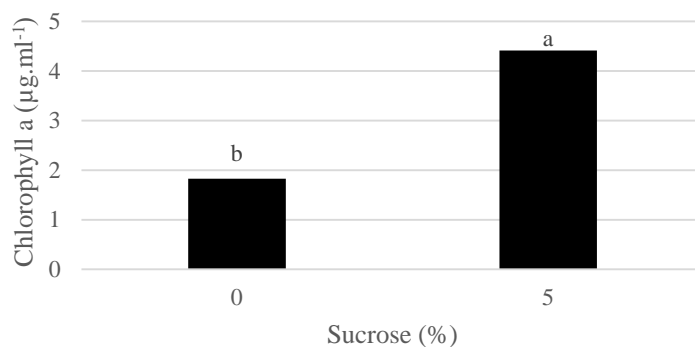
می شود که عناصر کمک کننده انتقال کربوهیدرات ها نیز در کنار ساکارز مصرف شوند تا تجمع ساکارز در برگ رخ ندهد. گزارش شده است که محلول پاشی ساکارز به غلظت ۵۰ میلی مولار (حدود ۱/۷ درصد) در نیشکر، فتوستتزر را از طریق اختلال در فعالیت آنزیم رویسکو و هدایت روزنه ای کاهش می دهد، ولی اگر این محلول پاشی به همراه تاریکی نسبی (تمام گیاه به جز جوان ترین برگ توسعه یافته در تاریکی بودند) همراه باشد، دیگر از اثرات منفی خبری نبوده و میزان فتوستتزر برابر با حالت بدون ساکارز و نور طبیعی است. تاریکی نسبی در واقع به تقویت مقاصد

میزان رنگیزه های فتوستتزی، شامل کلروفیل a و کاروتنوئیدها در گیاهان تیمار شده با ساکارز به طور معنی داری بیشتر از گیاهان شاهد بوده است (شکل ۶ و ۷). از آنجایی که تغذیه با ساکارز می تواند روی افزایش رنگیزه ها تاثیر مثبت بگذارد ولی بدلیل محدودیت غیرروزنه ای توان افزایش میزان فتوستتزر را نیافته است، خود می تواند راهگشای تحقیقات بعدی باشد که با کاهش غلظت ساکارز، از مزیت آن در بهبود غلظت رنگیزه ها استفاده نمود و در عین حال بازدارندگی فتوستتزی را شاهد نبود. این ویژگی مثبت تغذیه ساکارز به ویژه زمانی حاصل

فتوستتز گیاه رقم می‌خورد (Zhao et al., 2001). کمبود منیزیم نیز موجب افزایش بیان ژن‌های مرتبط با آنزیم‌های تجزیه‌کننده کلروفیل می‌گردد. دستکم یکی از مکانیسم‌های مرتبط در این خصوص می‌تواند افزایش گونه‌های فعال اکسیژنی (ROS) در شرایط کمبود منیزیم باشد زیرا همبستگی بالایی بین تولید رادیکال‌های اکسیژن و تخریب کلروفیل‌ها دیده شده است (Peng et al., 2019).

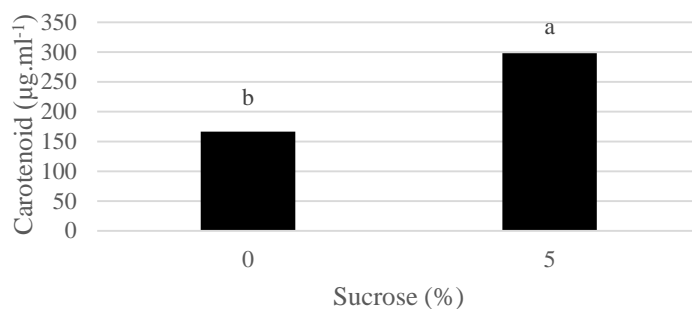
فیزیولوژیکی کمک کرده و از این طریق اثرات منفی ساکارز زیاد را مرتفع می‌کند (Ribeiro et al., 2017).

سه تیمار سولفات پتاسیم، نیترات منیزیم و نیترات پتاسیم میزان این دو رنگیزه فتوستتزی را به‌طور معنی‌داری نسبت به سایر تیمارها افزایش داد (شکل ۸ و ۹). گزارش شده است که کمبود پتاسیم علاوه بر اینکه موجب کاهش میزان کلروفیل گیاه می‌شود، ایجاد ضعف در فراساختار کلروپلاست را هم ایجاد می‌کند و بدین صورت کاهش



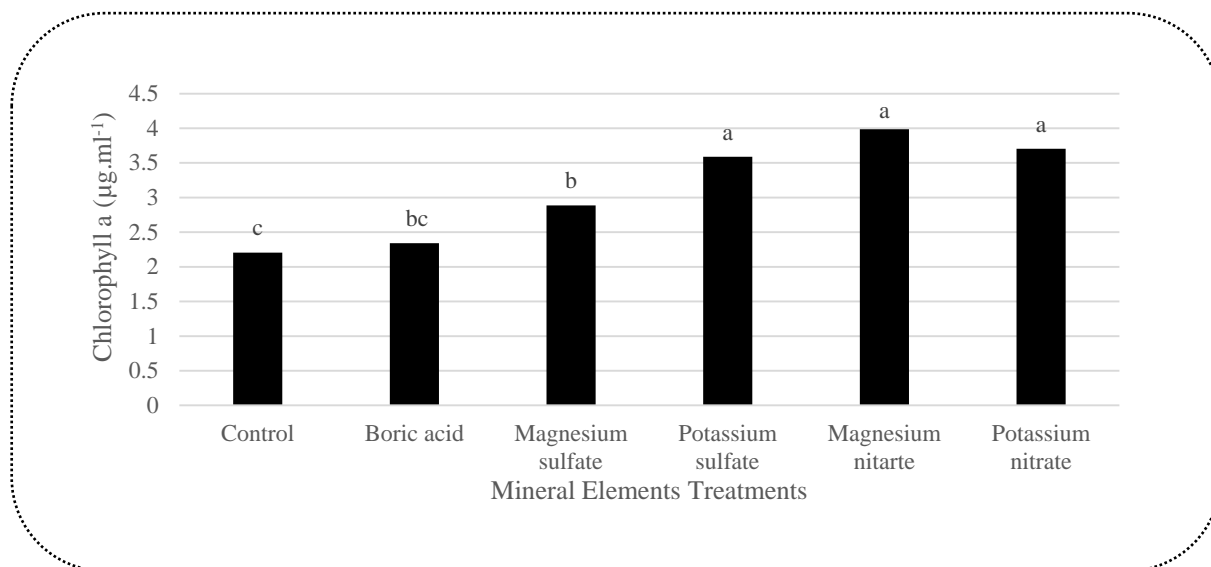
شکل ۶. اثر ساده محلول‌پاشی ساکارز بر غلظت کلروفیل a گیاه تربچه

Fig 6. The effect of sucrose foliar spray on chlorophyll a concentration in radish



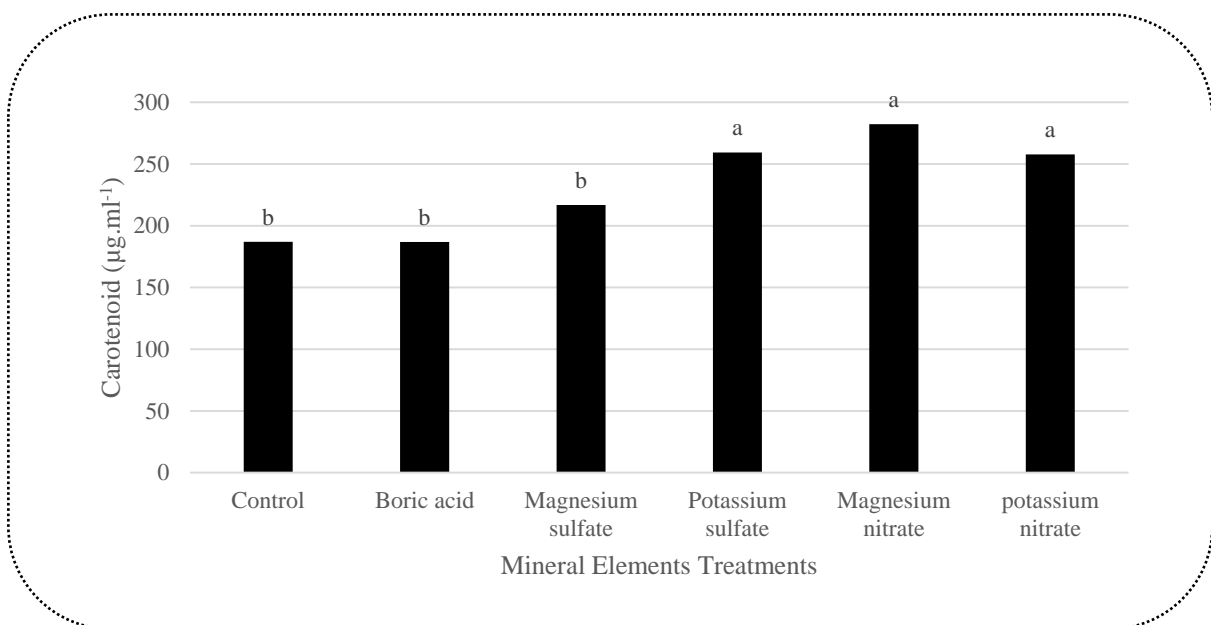
شکل ۷. اثر ساده محلول‌پاشی ساکارز بر غلظت کارتنوئید گیاه تربچه

Fig 7. The effect of sucrose foliar spray on carotenoid concentration in radish



شکل ۸. اثر ساده محلول پاشی عناصر غذایی بر غلظت کلروفیل a گیاه تربچه

Fig 8. The effect of mineral elements foliar spray on chlorophyll a concentration in radish



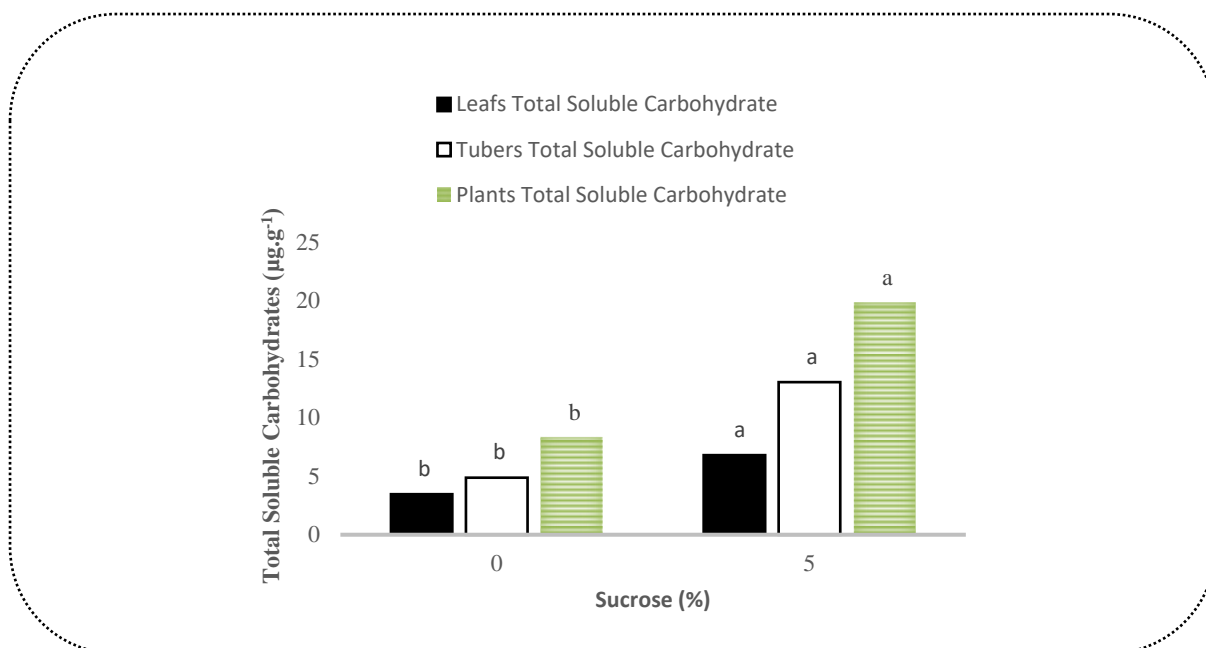
شکل ۹. اثر ساده محلول پاشی عناصر غذایی بر غلظت کارتنوئید گیاه تربچه

Fig 9. The effect of mineral elements foliar spray on carotenoid concentration in radish

تسهیم کربوهیدرات در گیاه

کربوهیدرات‌های محلول، شامل: ساکارز، گلوکز و فروکتوز بوده و به نوعی فرم قابل انتقال کربوهیدرات محسوب می‌شوند (farhat et al., 2014)، لذا مشخص می‌شود که محلول پاشی خارجی ساکارز موجب جذب برگی آن شده و می‌تواند به عنوان یک راهکار موثر -به ویژه در شرایط کم بودن تولیدات فتوسنتزی- به کمک گیاه بیاید.

براساس نتایجی که در شکل ۱۰ آمده است، تیمار ساکارز توانست میزان کربوهیدرات کل محلول را در برگ، غده و کل گیاه به طور معنی داری افزایش دهد. در بیشتر گیاهان عالی محصول نهایی فتوسنتز، نشاسته و کربوهیدرات‌های محلول (ساکارز، گلوکز و فروکتوز) می‌باشد. از آنجایی که



شکل ۱۰. اثر ساده محلول‌پاشی ساکارز بر قند کل برگ و غده در گیاه تربچه

Fig 10. The effect of sucrose foliar spray on total soluble carbohydrates in radish's plant, tuber and leaves

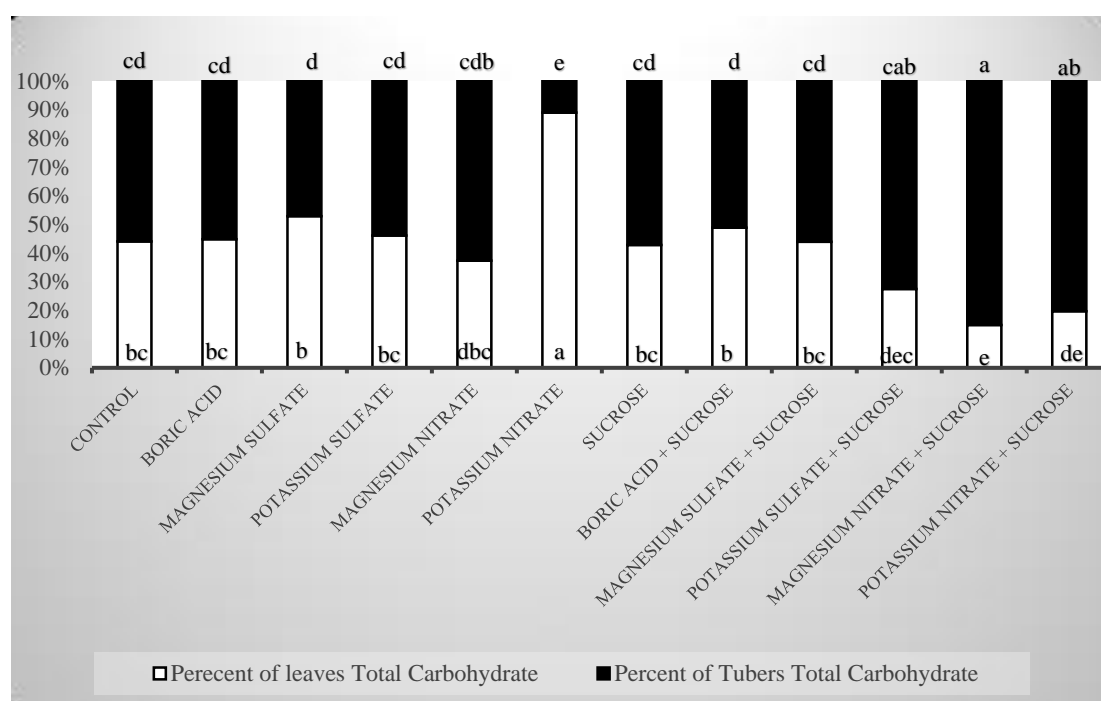
تغییری در افزایش غلظت کربوهیدرات غده ایجاد نماید و تنها زمانی که محلول‌پاشی ساکارز صورت گرفت انتقال توسط نیترا ت منیزیم هم افزایش معنی‌داری یافت و درصد بالایی از کربوهیدرات‌ها به غده رسیدند. نکته دوم آنکه منبع تامین منیزیم نیز مهم بوده و استفاده نیترا ت منیزیم توانست موثرتر واقع شود. ممکن است نیترا ت به عنوان یک آنیون همراه، در این خصوص کمک‌کننده بوده و یا اینکه جذب برگی نیترا ت منیزیم بهتر از سولفات منیزیم باشد. در یک پژوهش منابع کودی مختلف برای تغذیه برگی منیزیم در گیاه اسفناج مورد مقایسه قرار گرفت و نیترا ت منیزیم دارای کارایی بیشتری در جذب برگی منیزیم نسبت به منابع دیگر نظیر کلرید منیزیم و سولفات منیزیم گزارش شد (Borowski and Michałek, 2010).

از آنجایی که منیزیم عنصری متحرک در گیاه می‌باشد (حدود ۸۰ درصد منیزیم در گیاه به فرم متحرک است)، فرضیه‌های مختلفی در خصوص نقش این عنصر در صادرات مواد فتوسنتزی مطرح شده است. فرضیه اول، آسیب ساختاری و عدم پایداری بافت آوند آبکش در

بررسی درصد کربوهیدرات موجود در برگ و بخش زیرزمینی، کمک می‌کند تا دید بهتری نسبت به چگونگی انتقال کربوهیدرات‌ها در تیمارهای مختلف پیدا کنیم. تیمار ساکارز+نیترا ت منیزیم به صورت جالب توجه و معنی‌داری بیشترین درصد کربوهیدرات کل غده و کمترین درصد کربوهیدرات برگ را داشت؛ هرچند اختلاف آن از نظر آماری با دو تیمار ساکارز+سولفات پتاسیم و ساکارز+نیترا ت پتاسیم، معنی‌دار نبود (شکل ۱۱). منیزیم و پتاسیم به عنوان دو عنصر مهم در بارگیری و انتقال کربوهیدرات‌ها در آوند آبکش معرفی شده‌اند، ولی نکته جالب توجه در این پژوهش آن است که اولاً در صورت کمبود مواد کربوهیدراته در برگ، این عناصر نمی‌توانند به تقویت مقاصد فیزیولوژیکی کمک کنند و تنها زمانی موثر واقع خواهند شد که کربوهیدرات کافی وجود داشته باشد. لذا جهت تقویت مقاصد فیزیولوژیکی، پیش از آنکه به عناصر غذایی انتقال‌دهنده توجه شود، باید بر روی افزایش فتوسنتز، یا تغذیه کربوهیدراته تمرکز شود. به همین دلیل، تیمار نیترا ت منیزیم در تیمارهای بدون ساکارز نتوانست

شرایط کمبود منیزیم است. فرضیه دوم به اختلال در فعالیت مقاصد فیزیولوژیکی اشاره دارد. در نهایت فرضیه سوم هم اختلال در بارگیری آوند آبکش را مطرح می‌کند که این فرضیه محتمل تر بوده و نقش مستقیم منیزیم در بارگیری کربوهیدرات‌ها را نشان می‌دهد (Farhat et al., 2016). در شرایط کمبود منیزیم اختلال در فعالیت

در سلول‌های همراه آوند آبکش دیده شده است. در حقیقت باند شدن منیزیم با ATP مختل شده که میزان کمپلکس Mg-ATP را کاهش می‌دهد که این کمپلکس خود برای فعالیت ATPase های غشای پلاسمایی مورد نیاز هستند (White, 2012).



شکل ۱۱. برهمکنش تاثیر محلول پاشی ساکارز و عناصر معدنی بر درصد کربوهیدرات کل محلول در برگ و غده گیاه تربچه
 Fig 11. Interaction of sucrose and mineral elements on percent of total soluble carbohydrate in radish tuber and leaves

نتیجه‌گیری کلی
 به‌طور خلاصه میتوان گفت که جهت افزایش عملکرد خوراکی تربچه، میتوان از محلول پاشی سولفات پتاسیم به‌تنهایی به‌طور موثری استفاده نمود. در خصوص اثرات مثبت محلول پاشی ساکارز برای تربچه نیاز به شواهد علمی محکم‌تری هستیم، ولی نتایج این پژوهش نشان داد که

غلظت پنج درصد بدین منظور زیاد است و احتمالاً ایجاد محدودیت غیرروزی‌ای کرده و خاموشی غیرفتوشیمیایی را افزایش می‌دهد. پژوهش‌های آتی باید بر غلظت‌های کمتر ساکارز و به‌ویژه به همراه ترکیبات معدنی انتقال‌دهنده قند نظیر نیترات پتاسیم و نیترات منیزیم متمرکز شود.

منابع

- 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 oleracea* var. *botrytis* L.). World Journal of Agricultural Sciences. 7 (2): 149-156.
- Andersson, I. 2008. Catalysis and regulation in Rubisco. Journal of Experimental Botany. 59: 1555-1568.
- Anisworth, E. A., Bush, D. R. 2010. Carbohydrate Export from the Leaf: A Highly Regulated Process and Target to Enhance Photosynthesis and Productivity. Plant Physiology. 155: 64-69.
- Bahadur, K. P., Bala, S. 2017. Response of Different Sources and Levels of Sulphur in an Alluvial Soil of Varanasi on Growth and Yield Attributing Characters of Radish (*Raphanus Sativus*L.) Cv. Pusa Chetki. Chemical Science Review and Letters. 6(22): 1198-1204.
- Bogiani, J. C., Amaro, A. C. E., Rosolem, C. A. 2013. Carbohydrate production and transport in cotton cultivars grown under boron deficiency. Scientia Agricola 70: 442-448.
- Borowski, E., and Michalek, S. 2010. The effect of foliar nutrition of spinach (*Spinacia oleracea* L.) with magnesium salts and urea on gas exchange, leaf yield and quality. Acta agrobotanica. 63(1): 77-85.
- Brown, P. H., Bellaloui, N., Winner, M. A., Bassil, E. S., Ruiz, J., Hu, H., Pfeffer, H., Dannel, F., Römheld, V. 2002. Boron in plant biology. Plant Biology. 4: 205-223.
- Carter, G. A., and Knapp A. K. 2001. Leaf optical properties in highest plants: linking spectral characteristics to stress and chlorophyll concentration. American Journal of Botany. 88(4): 677-684.
- Castro, B. F., Santos, L. G. D., Brito, C. F. B., Fonseca, V. A., Bebé, F. V. 2016. Radish production function of the potassium fertilization and different nitrogen sources. Revista de Ciências Agrárias. 39(3): 341-348.
- Farhat, N., Elkhouni, A., Zorrig, W. 2016. Effects of magnesium deficiency on photosynthesis and carbohydrate partitioning. Acta Physiol Plant. 38:145.
- Farhat, N., Rabhi, M., Krol, M., Barhoumi, Z., Ivanov, A. G., McCarthy, A., Abdelly, C., Smaoui, A., Huner, N. P. A. 2014. Starch and sugar accumulation in *Sulla carnosus* leaves upon Mg²⁺ starvation. Acta Physiol Plant. 36: 2157-2165.
- Ghorbani dehkourdi, A., Mashyekhi, 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: 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: 39-48.
- Goldbach, H. E., Yu, Q., Wingender, R., Schulz, M., Wimmer, M., Findekle, P., Baluska, F. 2001. Rapid response reactions of roots to boron deprivation. Journal of Plant Nutrition and Soil Science. 164: 173-181.

Hara, M., Ito, F., Asai T. and Kuboi, T. 2009. Variation in Amylase Activities in Radish (*Raphanus sativus*) Cultivars. *Plant Foods Hum. Nutr.*, 64:188–192.

Hanstein, S., Wang, X., Qian, X., Friedhoff, P., Fatima, A., Feng, K., Schubert, S. 2011. Changes

in cytosolic Mg^{2+} levels can regulate the activity of the plasma membrane H^+ -ATPase in maize. *Biochem J.* 435: 93–101.

Kovacik, P. 1999. Effect of nitrogenous nutrition and succharose foliar application on parameters of radish. *Zahradnictvi-praha.* 26: 97-102.

Lalonde, S., Tegeder, M., Throne-Holst, M., Frommer, W. B., Patrick, J. W. 2003. Phloem loading and unloading of sugars and aminoacids.. 26: 37–56.

Lawrence, K., Bhalla, P., Misra, P. C. 1995. Changes in (NADP)H-dependent redox activities in plasmalemma-enriched vesicles isolated from boron- and zinc-deficient chick pea roots. *J. Plant Physiol.* 146: 652–657.

Lee, O. N., Park, H. Y. 2017. Assessment of genetic diversity in cultivated radishes (*Raphanus sativus*) by agronomic traits and SSR markers. *Sci. Hortic.* 223: 19–30.

Lichtenthaler, H. K., Buschmann, C. 2001. Chlorophylls and Carotenoids: Measurement and Characterization by UV -VIS Spectroscopy. *Current Protocols in Food Analytical Chemistry.* Unit F4.3.1-F4.3.8.

Mashayekhi, K., Atashi, S. 2012. Effect of foliar application of boron and sucrose on biochemical parameters of “Camarosa” strawberry. *Plant Production.* 19(4): 157-171.

Mashayekhi, K., Keykha, Z., Movahedi Naeni, 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: 61-73.

McCready, R.M., Guggolz, J., Silveira, V., and Owens, H.S. 1950. Determination of starch and amylase in vegetables. *Analytical chemistry.* 22: 1156-1158.

Mendoza, O C., Alcazar, J R., Raquel, C, M., Jimenez, A L. 2005. Foliar application of urea and sucrose, their effects on nursery plant conditioning and production of strawberry (*Fragaria x ananassa* Duch.) CP 99-3A. *Agrociencia* 39(2):195-204.

Mengel, K., and Haeder, H. E. 1977. Effect of potassium supply on the rate of phloem sap exudation and the composition of phloem sap of *Ricinus communis*. *Plant Physiol.* 59: 282–284.

Michelet, B., and Boutry, M. 1995. The plasma membrane H^+ -ATPase: A highly regulated enzyme with multiple physiological functions. *Plant Physiol.* 108: 1–6.

Munch, E. 1930. Die Stoffbewegungen in der Pflanze. Fischer, G., Jena Neales T. F., Incoll, L. D. 1968. The control of leaf photosynthesis rate by the level of assimilate concentration in the leaf: a review of the hypothesis. *Bot Rev.* 34: 107–125.

Nieves-Cordones, M., Al Shiblawi, F. R., Sentenac, H. 2016. Roles and Transport of Sodium and Potassium in Plants. In: Sigel A., Sigel H., Sigel R. (eds) *The Alkali Metal Ions: Their Role for Life. Metal Ions in Life Sciences*. 16: 291- 324.

Oliveira, R. H., Milanez, C. R. D., Dallaqua, M. A. M., Rosolem, C. A. 2006. Boron deficiency inhibits petiole and peduncle cell development and reduces growth of cotton. *Journal of Plant Nutrition*. 29: 2035-2048.

Peng, Y. Y., Liao, L. L. Liu, S., Nie, M., Li, J., Zhang, L. D., Ma, F. J., Chen, Z. C. 2019. Magnesium Deficiency Triggers SGR-Mediated Chlorophyll Degradation for Magnesium Remobilization. *Plant Physiology*. 181(1): 262-275.

Poudel, P., Shrestha, A., Shrestha, R. K. 2018. Effect of nitrogen level on growth and yield attributing characters of radish. *Horticulture International Journal*. 2(4):208–210.

Ribeiro, R. V., Machado, E. C., Filho, J. R. M., Lobo, A. K. M., Martins, M. O., Silveria, J. A. G., Yin, X. Struik, P. C. 2017. Increased sink strength offsets the inhibitory effect of sucrose on sugarcane photosynthesis. *Journal of Plant Physiology* 208:61-69.

Roosta, H. R. 2014. Effects of Foliar Spray of K on Mint, Radish, Parsley and Coriander Plants in Aquaponic System. *Journal of Plant Nutrition*. 37:2236-2254.

Sauer, N. 2007. Molecular physiology of higher plant sucrose transporters. *FEBS Lett*. 581: 2309-2317.

Seeda, A. M. A., Abdallah, M. M. S., Elnour, A., Yassen, A. A. 2018. Optimization of magnesium fertilizer for radish plant to obtain best yield, in terms of its both quality and quantity, and nutrient uptake. *Bioscience Research*. 15(4):3872-3880.

Sheng, O., Song, S., Peng, S., Deng, X. 2009. The effects of low boron on growth, gas exchange, boron concentration and distribution of "Newhall" navel orange (*Citrus sinensis* Osb.) plants grafted on two rootstocks. *Scientia Horticulturae*. 121: 278-283.

Slewinski, T. L., Braun, D. M. 2010. Current perspectives on the regulation of whole-plant carbohydrate partitioning. *Plant Sci*. 178: 341-349.

Smolen, S., Sandy, W. 2009. The effect of foliar nutrition with urea, molybdenum, sucrose and benzyladenine on quantity and quality of radish yield. *Hortorum Cultus*. 8: 45-55.

Stagnari, F., Galièni, A., D'Egidio, S., Pagnani, G., Ficcadenti, N., Pisante, M. 2018. Defoliation and S nutrition on radish: growth, polyphenols and antiradical activity. *Horticultura Brasileira*. 36: 313-319.

Tränkner, M., Tavakol, R., Jákl, B. 2018. Functioning of potassium and magnesium in photosynthesis, photosynthate translocation and photoprotection. *Physiologia Plantarum*. 163: 414-431.

Velez-Ramirez, A. I., Van Ieperen, W., Vreugdenhil, D., Millenaar F. F. 2011. Plants Under Continuous Light. *Trends in Plant Science*. 16(6): 310-318.

White, P. J. 2012. Ion uptake mechanisms of individual cells and roots: short-distance transport. In: Marschner P (ed) Marschner's mineral nutrition of higher plants. Academic Press, London. 7-47.

Zhao, D., and Oosterhuis, D. M. 2002. Cotton carbon exchange, nonstructural carbohydrates, and boron distribution in tissues during development of boron deficiency. *Field Crops Research*. 78: 75-87.

Zhao, D., Oosterhuis, D. M. 2003. Cotton growth and physiological responses to boron deficiency. *Journal of Plant Nutrition*. 26: 855-867.

Zhao, D., Oosterhuis, D. & Bednarz, C. 2001. Influence of Potassium Deficiency on Photosynthesis, Chlorophyll Content, and Chloroplast Ultrastructure of Cotton Plants. *Photosynthetica* 39, 103-109.

Zörba, C., Senbayram, M., Peiter, E. 2014. Potassium in agriculture - Status and perspectives. *Journal of Plant Physiology*. 171: 656-669.