Research Article

Plant Prod., 2021, 44(2), 183-194
http://plantproduction.scu.ac.ir//

ISSN (P): 2588-543X
ISSN (E): 2588-5979

Effect of Potassium and Boron Foliar application on some of the Qualitative and Quantitative Characteristics of Stevia (*Stevia rebaudiana* L.)

Razieh Tofangsazpour[1], Abdolmahdi Bakhshandeh[2]*, Alireza Abdalimashhadi[3], Mohammadreza Moraditelavat[4], Amin Lotfi Jalal Abadi[5]

1- Ph.D. Student of Agronomy, Department of Plant Production Genetics, Faculty of Agriculture, Agricultural and Natural Resources Sciences University of Khoozestan, Ahvaz, Iran

2- ***Corresponding Author:** Professor, Department of Plant Production Genetics, Faculty of Agriculture, Agricultural and Natural Resources Sciences University of Khoozestan, Ahvaz, Iran (Bakhshandehabdolmahdi@gmail.com)

3- Associate Professor, Department of Plant Production Genetics, Faculty of Agriculture, Agricultural and Natural Resources Sciences University of Khoozestan, Ahvaz, Iran

4- Associate Professor, Department of Plant Production Genetics, Faculty of Agriculture, Agricultural and Natural Resources Sciences University of Khoozestan, Ahvaz, Iran

5- Assistant Professor, Department of Plant Production Genetics, Faculty of Agriculture, Agricultural and Natural Resources Sciences University of Khoozestan, Ahvaz, Iran

Citation: Tofangsazpour, R., Bakhshandeh, A., Abdalimashhadi, A., Moraditelavat, M., & Lotfijalalabadi, A. (2021). Effect of potassium and boron foliar application on some of the qualitative and quantitative characteristics of stevia (*Stevia rebaudiana* L.). *Plant Productions,* 44(2), 183-194.

doi 10.22055/PPD.2019.29391.1762

Received: 8 May, 2019 Accepted: 30 October, 2019

Abstract

Introduction

In recent years, in order to increase public awareness about maintaining a healthy body, a lot of research has been done on the use of sweeteners to find ingrained types of them. Accordingly, new sources have been proposed for the preparation of these food additives one of the most appropriate plant of which is Stevia. In the leaves of Stevia, different varieties of steviol glicosides are produced which are much sweeter than normal sugar. The success percentage of the uptake of food elements through leaf feeding is about 95%, and in the way of attraction through the root is about 10%. In fact, foliar spraying is a shortcut for plant nutrition. Although potassium is one of the essential macro elements in the enzymatic activities of the plant, there is little recognition about its impact on the plant. Also, boron is an essential micro element for vascular plants and is involved in the transport of carbohydrate, cellular differentiation, cell wall synthesis and membrane health. The aim of this study was to consider the effect of potassium and boron foliar spraying on qualitative and quantitative yield of Stevia.

Materials and Methods

This research was conducted as a factorial experiment based on a randomized complete block

© 2021 The Author(s). Published by Shahid Chamran University of Ahvaz. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

design with four replications in experimental field of Khoozestan Agricultural and Natural Resources Sciences University, during 2016-2017 cropping season. Experimental factors were included: boron foliar spraying from boric acid source at four levels (0, 25, 50 & 75 ppm) and potassium foliar spraying from potassium sulfate source at three levels (0, 10000, 15000 ppm).

Results and Discussion

The results revealed that the interaction of potassium and boron foliar spraying resulted in significant difference dry matter yield, leaf yield, plant height, leaf area index, percent of leaf stevioside, percent of leaf nitrogen, leaf potassium contentnt and leaf boron content. The treatments combination of 15000 ppm potassium and 50 ppm boron produced the highest dry matter yield (1495/8 kg/h), but created no significant difference with treatments combination of 15000 ppm potassium and 75 ppm boron (1490/2 kg/h). Also, treatments combination of 15000 ppm potassium and 75 ppm boron had the highest leaf yield (1134/68 kg/h) and percent of leaf stevioside (10/34 %). The treatments combination of no potassium foliar spraying and 25 ppm boron had the lowest dry matter yield (1407/73 kg/h) and leaf yield (725/6 kg/h). The results of this study indicate that potassium and boron foliar spraying had positive effects on dry matter yield, leaf yield and percent of stevioside. Potassi increased enzyme activity through its role in photosynthesis improving synthesis of protein and carbohydrates, translocation of photosynthetic and boron through its role in improving root deployment, carbohydrates translocation. In addition, cell wall synthesis and structure, had significant effect on dry matter yield and leaf yield of stevia.

Conclusion

Due to its more effective and faster effect of foliar sprying than nutrition (through the root, Salim et al., 2009), the compilation of macro element (potassium) and micro element (boron) foliar sprying did better to achieve the high qualitative and quantitative yield of stevia.

Keywords: Dry matter yield, Leaf area index, Leaf nutrition, Leaf yield, Stevioside

مقاله پژوهشی

Plant Prod., 2021, 44(2), 183-194
http://plantproduction.scu.ac.ir//

ISSN (P): 2588-543X
ISSN (E): 2588-5979

تأثیر محلول‌پاشی پتاسیم و بور بر برخی ویژگی‌های کمی و کیفی استویا (*Stevia rebaudiana*)

راضیه تفنگ‌سازپور[۱]، عبدالمهدی بخشنده[۲]*، علیرضا ابدالی مشهدی[۳]، محمدرضا مرادی تلاوت[٤]، امین لطفی جلال‌آبادی[٥]

۱- دانشجوی دکتری زراعت، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، اهواز، ایران
۲- ***نویسنده مسئول:** استاد، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه علوم کشاورزی ومنابع طبیعی خوزستان، اهواز، ایران (Bakhshandehabdolmahdi@gmail.com)
۳- دانشیار، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه علوم کشاورزی ومنابع طبیعی خوزستان، اهواز، ایران
۴- دانشیار ، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه علوم کشاورزی ومنابع طبیعی خوزستان، اهواز، ایران
۵- استادیار، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه علوم کشاورزی ومنابع طبیعی خوزستان، اهواز، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۲/۱۸   تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۸/۰۸

چکیده

به منظور بررسی تأثیر محلول‌پاشی پتاسیم و بور بر برخی ویژگی‌های کمی و کیفی استویا، آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان در سال زراعی ۹۶-۱۳۹۵ اجرا شد. فاکتورهای آزمایش، چهار مقدار محلول‌پاشی بور (صفر، ۲۵، ۵۰ و ۷۵ پی‌پی‌ام) از منبع اسیدبوریک و سه مقدارمحلول‌پاشی پتاسیم (صفر، ۱۰۰۰۰ و ۱۵۰۰۰ پی‌پی‌ام) از منبع سولفات پتاسیم بودند. محلول‌پاشی‌ها به فاصله ۵۰، ٦٥ و ۸۰ روز پس از کشت نشاها صورت گرفت. نتایج نشان داد که اثرات متقابل محلول‌پاشی پتاسیم و بور از نظر صفات عملکرد ماده خشک، عملکرد برگ، ارتفاع بوته، شاخص سطح برگ، درصد استویوزید برگ، درصد نیتروژن برگ، میزان پتاسیم و بور برگ اختلاف معنی‌داری ایجاد کرد به‌طوری‌که ترکیب تیماری ۱۵۰۰۰ پی‌پی‌ام پتاسیم و ۵۰ پی‌پی‌ام بور بیشترین عملکرد ماده خشک (۱٤۹٥/۸ کیلوگرم در هکتار) را ایجاد کرد که با ترکیب تیماری ۱۵۰۰۰ پی‌پی‌ام پتاسیم و ۷۵ پی‌پی‌ام بور (۱٤۹۰/۲ کیلوگرم در هکتار) تفاوت معنی‌داری نداشت. هم‌چنین ترکیب تیماری ۱۵۰۰۰ پی‌پی‌ام پتاسیم و ۷۵ پی‌پی‌ام بور بیشترین عملکرد برگ (۱۱۳٤/٦۸ کیلوگرم در هکتار) و درصد استویوزید برگ (۱۰/۳٤ درصد) را ایجاد کرد. هم‌چنین کمترین عملکرد ماده خشک (۱٤۰۷/۷۳ کیلوگرم در هکتار) و عملکرد برگ (۷۲٥/٦ کیلوگرم در هکتار) درترکیب تیماری عدم محلول‌پاشی پتاسیم و ۲۵ پی‌پی‌ام بور به‌دست آمد. با توجه به تأثیر مثبت محلول‌پاشی عناصر پتاسیم و بور در افزایش عملکرد ماده خشک، عملکرد برگ و درصد استویوزید گیاه استویا تلفیقی از محلول‌پاشی عناصر پرمصرف و کم‌مصرف مانند پتاسیم و بور در افزایش عملکرد گیاه استویا در شرایط آب و هوایی اهواز مناسب به نظر می‌رسد.

کلیدواژه‌ها: استویوزید، تغذیه برگی، شاخص سطح برگ، عملکرد برگ، عملکرد ماده خشک

مقدمه

در سال‌های اخیر به دنبال افزایش رویکرد عمومی نسبت به حفظ سلامتی و وزن متعادل بدن، تحقیقات بسیاری درباره استفاده از شیرین‌کننده‌های خوراکی و یافتن انواع جایگزین آن‌ها صورت گرفته است. استویا با نام علمی *Stevia rebaudiana Bertoni*، گیاهی تابستانه، متعلق به خانواده‌ی Asteraceae است که بومی دره ریو، منطقه‌ای در شمال‌شرقی پاراگوئه می‌باشد (Reis et al., 2015). بخش‌های اقتصادی گیاه برگ‌های آن هستند که با غلظت بالا از گیکوزیدهای استویل جایگزین احتمالی شیرین‌کننده‌های مصنوعی هستند. بنابراین

به‌عنوان شیرین‌کننده طبیعی برای بیماران دیابتی مناسبند. استویوزاید و ربودیوزاید A بیشتر از بقیه گلیکوزیدهای استویول در برگ‌های استویا تولید می‌شوند (به‌ترتیب ۱۰-۵ و ۴-۲ درصد وزن خشک برگ). گلیکوزیدهای استویول برای استفاده به‌عنوان شیرین‌کننده در ژاپن، چین، برزیل، پاراگوئه، مکزیک، آرژانتین مورد استفاده قرار گرفته‌اند. گرچه چین بزرگترین تولیدکننده استویا در بازار جهانی است، اما اندونزی، کره، ایالات متحده، هند، تانزانیا، کانادا و ژاپن و کره نیز جزو مصرف‌کنندگان اصلی هستند (Pal et al., 2015). تنها این دو نوع گلیکوزید استویول به‌صورت تجاری تولید می‌شوند (Yadav et al., 2011). با این‌که پتاسیم یکی از عناصر پرمصرف ضروری در فعالیت‌های آنزیمی گیاه است، با این حال شناخت کمی در مورد تأثیر آن بر استویا *Stevia rebaudiana Bertoni* وجود دارد. پتاسیم به‌عنوان یکی از عناصر ضروری گیاه، نقش مهمی در بسیاری از فرآیندهای متابولیکی اساسی مانند حرکات آماس، تنظیم اسمزی، کنترل قطبیت غشا و بیوسنتز پروتئین دارد (Pal et al., 2015). در آزمایشی روی گیاه استویا Aladakatti et al. (2012) نشان دادند که کاربرد پتاسیم منجر به افزایش ارتفاع گیاه، تعداد انشعابات و برگ‌های بیشتر شد ولی این اختلافات با تیمار شاهد معنی‌دار نبود. مصرف کود پتاسیم به روش محلول‌پاشی ضمن حفظ جنبه‌های اقتصادی و اثربخشی سریع، موجب حفظ محیط‌زیست، ممانعت از تخریب حالت فیزیکو شیمیایی خاک و ممانعت از برهم خوردن تعادل مواد غذایی خاک می‌گردند. درصد موفقیت جذب عناصر غذایی از طریق تغذیه برگی در حدود ۹۵ درصد و در شیوه روش جذب از طریق ریشه بسته به شرایط شیمیایی و فیزیکی خاک بسیار متغیر و در حدود ۱۰ درصد می‌باشد. تغذیه گیاهی از طریق ریشه یک مسیر طولانی را در گیاه طی می‌کند تا به برگ‌ها و میوه‌ها برسد در حالی‌که در محلول‌پاشی عناصر غذایی مورد نیاز گیاه سریعاً وارد آوند آبکش گیاه شده و به نقاط هدف می‌رسند. در حقیقت محلول‌پاشی یک راه میان‌بر برای تغذیه گیاهی است (Malekoty et al., 2008). در آزمایشی روی ارقام زیتون مشخص شد که محلول‌پاشی سولفات پتاسیم می‌تواند بر شاخص‌هایی مانند وزن میوه، درصد روغن زیتون و ترکیب اسیدهای چرب اثر داشته باشد (Zivdar et al., 2015). نیتروژن عنصر ضروری در ماکرومولکول‌هایی مثل پروتئین‌ها، نوکلئیک‌اسیدها، برخی چربی‌ها و کلروفیل است و مقدار کافی آن در گیاه ضروری است (Peng et al., 2007). تغذیه بور بر متابولیسم نیتروژن تأثیر مثبت دارد. به همین دلیل با افزایش سطوح بور در محلول غذایی، غلظت نیتروژن افزایش یافت (Farzaneh et al., 2010). هم‌چنین فسفر به دلیل شرکت در ساختار نوکلئیک‌اسیدها، فسفولیپیدها و ATP گیاه اهمیت دارد و توجه به میزان آن ضروری است (Schachtman et al., 1998). در مطالعات (Salim et al., 2014) بر روی گیاه سیب‌زمینی، محلول‌پاشی پتاسیم موجب افزایش غلظت فسفر در گیاه گردید.

بور یک ماده مغذی ضروری برای گیاهان آوندی است، اما در غلظت بالا سمی است و بهره‌وری محصول را محدود می‌کند. نقش بور در انتقال قند در سراسر غشاء، تمایز سلولی و توسعه آن و هم‌چنین در متابولیسم اکسین است (Nable et al., 1997). بور در بسیاری از فرآیندها از جمله انتقال قند، سنتز دیواره سلولی و نگه‌داری آن، سلامت غشاء و RNA، ایندول استیک اسید (IAA) و متابولیسم فنل دخالت دارد (Dordas and Brown, 2001). گزارش Nasef et al. (2006) حاکی از آن است که کاربرد بور باعث افزایش محتوی کلروفیل و شدت فتوسنتز در

برگ‌ها، افزایش تجمع ماده خشک و بهبود انتقال مواد فتوسنتزی از اندام‌های رویشی به اندام‌های زایشی بادام‌زمینی (*Arachis hypogaea*) می‌شود. تأثیر محلول‌پاشی بور ممکن است به نقش این عنصر در واکنش‌های متابولیکی اساسی و تسریع در سنتز پروتئین مربوط باشد (Jones, 2007). Rizk and Abdo (2001) نیز در آزمایش‌های خود به افزایش محتوای پروتئین در اثر محلول‌پاشی بور در ماش (Vigna radiate) اشاره داشت. از این‌رو با توجه به اهمیت این گیاه به‌عنوان جایگزینی برای برخی شیرین‌کننده‌های خوراکی، این آزمایش به منظور مطالعه تأثیر محلول‌پاشی پتاسیم و بور بر برخی ویژگی‌های کمی و کیفی گیاه استویا به اجرا درآمد.

مواد و روش‌ها

آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان در سال زراعی ۹۶-۱۳۹۵ اجرا شد. عوامل آزمایش شامل چهار مقدار محلول‌پاشی بور (صفر، ۲۵، ۵۰ و ۷۵ پی‌پی‌ام) از منبع اسیدبوریک به‌عنوان فاکتور اول و سه مقدار محلول‌پاشی پتاسیم (صفر، ۱۰۰۰۰ و ۱۵۰۰۰ پی‌پی‌ام) از منبع سولفات پتاسیم به‌عنوان فاکتور دوم در نظر گرفته شد. رقم استویا مورد کشت با نام علمی (*Stevia rebaudiana Bertoni*) گیاهی از تیره کاسنیان با نهایت ارتفاع یک متر و حداکثر عمر ۵ سال با برگ‌های شیرین که بومی آمریکای جنوبی است. بر حسب نتایج آزمون خاک (جدول ۱)، حدود ۸۰ کیلوگرم در هکتار کود فسفر از منبع سوپر فسفات تریپل به‌صورت پایه و ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن از منبع اوره به‌صورت سرک در دو مرحله به گیاه داده شد. ۵۰ درصد از کود نیتروژن به فاصلهٔ ۱۵ روز بعد از کشت نشاها و ۵۰ درصد مابقی نیز به مدت ۴۵ روز بعد از کشت نشاها به مزرعه داده شد. محلول‌پاشی‌ها به فاصله ۵۰، ۶۵ و ۸۰ روز پس از کشت نشاها صورت گرفت. برای محلول‌پاشی‌ها از سمپاش دستی تلمبه‌ای استفاده شد. محلول‌پاشی‌ها پس از کالیبراسیون دستگاه سمپاش برای محلول موردنظر و محاسبه حجم محلول برای هر کرت صورت گرفت. ابعاد هر کرت ۳×۴ مترمربع در نظر گرفته شد. کاشت به‌صورت دستی و با اعمال فاصله بین ردیف ۷۵ سانتی‌متر، فاصله بوته‌ها روی ردیف ۵۰ سانتی‌متر و هر کرت شامل ۵ پشته در تاریخ ۹۵/۱۲/۱۵ صورت گرفت. تراکم ۵ بوته در مترمربع، فاصله کرت‌ها ۱ متر و فاصله تکرارها ۲ متر در نظر گرفته شد. عملیات برداشت در ۵ در اواخر مرحله رویشی و قبل از گلدهی و به‌صورت دستی صورت گرفت. پس از برداشت نهایی، صفات عملکرد ماده خشک، عملکرد برگ، ارتفاع بوته، شاخص سطح برگ، درصد استویوزید برگ، میزان بور، میزان پتاسیم و درصد نیتروژن برگ اندازه‌گیری شدند. برای تعیین عملکرد ماده خشک، تمام بوته‌های برداشت شده از هر کرت، پس از بسته‌بندی و اتیکت‌گذاری، برای برآورد وزن تر توزین شدند، سپس با قرار گرفتن در آون در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت و توزین مجدد نمونه‌ها، عملکرد ماده خشک تعیین شد. به منظور تعیین صفات ارتفاع بوته، ۱۰ بوته از هر کرت به‌صورت تصادفی انتخاب شد و طول آن‌ها اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری شاخص سطح برگ، ابتدا میزان سطح برگ با استفاده از دستگاه اندازه‌گیری سطح برگ (Leaf area meter) در فاصله زمانی ۵۵ تا ۱۰۰ روز پس از کشت، در چهار مرحله با فاصله زمانی ۱۵ روزه اندازه‌گیری شده و سپس شاخص سطح برگ (LAI) با استفاده از روش واتسن محاسبه شد (Watson, 1952). برای اندازه‌گیری درصد استویوزید نمونه‌های جمع‌آوری‌شده از هر کرت در آون ۷۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت خشک و سپس توسط آسیاب پودر شده و نیم گرم پودر برگ استویا در ۵۰ سی‌سی اتانول ۷۰ درصد قرار گرفت. عصاره استخراجی به ستون

Table 1. Physical and chemical properties of soil at the experimental field (0-30 cm. soil depth)

Texture	Avaiable K (mg.kg^{-1})	Avaiable P (mg.kg^{-1})	N (%)	Organic carbon (%)	pH	EC (dS.m^{-1})
Silty clay	214	7.2	0.05	0.76	7.4	3.6

کروماتوگرافی با مشخصات Cosmosil 5 NH2–MS به طول ۱۵ سانتی‌متر، قطر۴/۶ میلی‌متر و قطر ذرات ۵ میکرومتر متصل به دستگاه HPLC مدل unicam-crystal- 200 تزریق گردید. فاز متحرک شامل محلول آب‌مقطر و استونیتریل بود که با نسبت ۲۰ درصد از آب و ۸۰ درصد استونیتریل با سرعت یک میلی‌لیتر بر دقیقه توسط پمپ از ستون عبور می‌کرد. از شناساگر از نوع Diode Array detector و در طول موج ۲۱۰ نانومتر استفاده شد. فشار پمپ در psi ۸۰۰ تنظیم گردید و مقدار هر ماده بر اساس مقایسه زمان بازداری پیک خروجی آن با پیک استاندارد مقایسه و سطح زیر منحنی تعیین شد (Mamta et al., 2010). تعیین محتوی بور در برگ‌ها به روش رنگ‌سنجی و با استفاده از دستگاه اسپکترومتر انجام شد. اندازه‌گیری میزان پتاسیم گیاه به روش هامادا و النای با استفاده از دستگاه فلم‌فتومتر صورت گرفت (Hamada and EL-enany, 1994).

برای اندازه گیری نیتروژن از دستگاه کجلدال استفاده شد (Moradi Telavat et al., 2010). تجزیه واریانس داده‌های حاصل با استفاده از نرم‌افزار SAS صورت گرفت و مقایسه میانگین‌ها با آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال یک درصد انجام شد و نمودارها نیز با استفاده از نرم‌افزار Excel رسم شد.

نتایج و بحث

عملکرد برگ

اثرات متقابل تیمارهای محلول‌پاشی پتاسیم و بور در سطح یک درصد معنی‌دار گردید. بیشترین میزان عملکرد برگ مربوط به تیمار محلول‌پاشی ۱۵۰۰۰ پی‌پی‌ام پتاسیم و ۷۵ پی‌پی‌ام بور با میانگین ۱۱۳۴/۶۸ کیلوگرم در هکتار بود که با تیمار محلول‌پاشی ۱۵۰۰۰ پی‌پی‌ام پتاسیم و ۵۰ پی‌پی‌ام بور با میانگین ۱۱۱۱/۷ کیلوگرم در هکتار تفاوت معنی‌داری نداشت. مطالعات Ding et al. (2006) نشان دادند که نتیجه کمبود پتاسیم در گیاه، کاهش فتوسنتز خالص و کاهش چشمگیر عملکرد گیاهان زراعی است. پتاسیم با توجه به اثرات فتوسنتزی و آنزیمی و تأثیر بر آماس سلول‌ها و افزایش طول عمر برگ، منجر به افزایش شاخص سطح برگ و نیز عملکرد برگ شده است (Pal et al., 2015). در آزمایشی بر روی گیاه استویا مشخص شد که محلول‌پاشی بور با تأثیر بر افزایش انتقال قند و هیدرات‌های کربن در آوند آبکش به‌طور غیرمستقیم در افزایش عملکرد برگ مؤثر بوده است (Shahverdi et al., 2017).

ارتفاع بوته

در مورد این صفت تنها اثر اصلی تیمارهای محلول‌پاشی پتاسیم در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار گردید. اثر اصلی تیمارهای محلول‌پاشی بور و نیز اثرات متقابل آن‌ها معنی‌دار نگردید (جدول۲). در آزمایش Aladakatti et al. (2012) بر روی گیاه استویا نشان داده شد که کاربرد پتاسیم از طریق نقش خود در فتوسنتز، انتقالات فتوسنزی، افزایش فعالیت آنزیمی و بهبود سنتز کربوهیدرات‌ها، منجر به افزایش ارتفاع گیاه، تعداد انشعابات و برگ‌های بیشتر شد.

شاخص سطح برگ

اثرات متقابل تیمارهای محلول‌پاشی پتاسیم و بور در سطح یک درصد معنی‌دار گردید (جدول ۲). بیشترین

ation of potassium interaction

S.O.V.	df	Mean square			
		Dry mater yield	Leaf yield	Plant height	Leaf area index
Replication	3	3152.18^{ns}	2587.72^{ns}	15.99^{ns}	0.004^{ns}
Potassium (P)	2	536273.16**	384477.06**	65.69*	1.04**
Boron (B)	3	34497.89**	20177.42**	17.79^{ns}	0.07**
(P) × (B)	6	111176.32**	78645.65**	27.48^{ns}	0.21**
Experimental error	33	3481.34	3687.8	12.95	0.001
C.V. (%)	-	13.38	15.44	8.21	5.06

ns, * and **, non-significant, significant at 5 and 1%, respectively

میزان شاخص سطح برگ مربوط به تیمار محلول‌پاشی ۱۵۰۰۰ پی‌پی‌ام پتاسیم و ۷۵ پی‌پی‌ام بور با میانگین ۴/۸۳ بود که با تیمار محلول‌پاشی ۱۵۰۰۰پی‌پی‌ام پتاسیم و ۵۰ پی‌پی‌ام بور با میانگین ۴/۸۰ اختلاف معنی‌داری نداشت (جدول۳). افزایش مصرف پتاسیم با تأثیر در رشد مریستمی و فعایت‌های فیزیولوژیک گیاه شامل تنظیم آب و تبادل گازها در گیاه، باعث بالا رفتن وزن خشک ساقه، وزن خشک برگ و شاخص سطح برگ در سیب‌زمینی گردید (Sobhani and Hamidi, 2013). درآزمایشی بر روی گیاه آفتابگردان نشان دادند که عنصر بور با تأثیر بر استقرار سریع‌تر ریشه و افزایش سرعت رشد گیاهچه، موجب افزایش ارتفاع گیاه، قطر ساقه، تعداد برگ و در نتیجه شاخص سطح برگ گردید (Jabeen and Ahmad, 2011). مطالعات Vitosh et al. (1997) ر روی شاخص سطح برگ نشان داد که کاربرد بور از طریق کمک به استقرار بهتر گیاهچه، موجب افزایش شاخص سطح برگ می‌شود.

عملکرد ماده خشک

اثرات متقابل تیمارهای محلول‌پاشی پتاسیم و بور در سطح یک درصد معنی‌دار گردید. بیشترین میزان عملکرد (۱۴۹۵/۸ کیلوگرم در هکتار) مربوط به تیمار محلول‌پاشی ۱۵۰۰۰پی‌پی‌ام پتاسیم و ۵۰ پی‌پی‌ام بور بود که با تیمار محلول‌پاشی ۱۵۰۰۰ پی‌پی‌ام پتاسیم و ۷۵ پی‌پی‌ام بور (۱۴۹۰/۲ کیلوگرم در هکتار) اختلاف معنی‌داری نداشت (جدول ۳). به نظر می‌رسد پتاسیم به دلیل نقش مؤثر در فرآیندهای فیزیولوژیک گیاه، بهبود فعالیت آنزیم‌ها، افزایش سرعت فتوسنتز و انتقالات فتوسنتزی و نیز افزایش محتوای کلروفیل (Pal et al., 2015) و بور نیز از طریق نقش خود در انتقال قند، سنتز دیواره سلولی و نگهداری آن، افزایش شدت فتوسنتز در برگ‌ها و نیز افزایش تجمع ماده خشک در گیاه منجر به افزایش عملکرد ماده خشک شده‌اند (Thaloot et al., 2006). هم‌چنین کاربرد سطوح کافی پتاسیم به‌دلیل اثرات فتوسنتزی در سطوح مختلف، بیشترین تأثیر را در افزایش عملکرد ماده خشک استویا داشته است (Laclaun et al., 2009). محلول‌پاشی عناصر بور و پتاسیم پارامترهای رویشی و صفات عملکردی سویا را در مقایسه با شاهد به‌طور معنی‌داری افزایش داد (Thaloot et al., 2006).

میزان بور

اثرات متقابل تیمارهای محلول‌پاشی پتاسیم و بور در سطح یک درصد معنی‌دار گردید. بیشترین میزان بور مربوط به تیمار محلول‌پاشی ۱۵۰۰۰ پی‌پی‌ام پتاسیم و ۷۵ پی‌پی‌ام بور (۱/۹۶ میلی‌گرم در کیلوگرم) بود که با تیمار محلول‌پاشی ۱۰۰۰۰ پی‌پی‌ام پتاسیم و ۷۵ پی‌پی‌ام بور (۱/۹۲ میلی‌گرم در کیلوگرم) تفاوت معنی‌داری نداشت(جدول ۴). گزارش‌های Sathi Babu et al. (2017) نشان دادند که کاربرد بور، موجب افزایش محتوای بور در برگ نارگیل شد. هم‌چنین در این گزارش افزایش مصرف پتاسیم منجر به افزایش محتوای بور برگ گردید. محلول‌پاشی عناصر کم‌مصرف منجر به افزایش غلظت عناصر کم مصرف و پرمصرف مؤثر در عملکرد می‌شود و این امر با توجه نقش فیزیولوژیکی حیاتی در سلول‌های گیاهی باعث افزایش جذب عناصر غذایی توسط گیاه می‌شود (Abdollahi et al., 2012).

درصد استویوزید

اثرات متقابل تیمارهای محلول‌پاشی پتاسیم و بور در سطح یک درصد معنی‌دار گردید. بیشترین میزان استویوزید مربوط به تیمار محلول‌پاشی ۱۵۰۰۰ پی‌پی‌ام پتاسیم و ۷۵ پی‌پی‌ام بور با میانگین ۱۰/۳۴ درصد بود (جدول ۵). در تحقیقی توسط Utumi et al. (1999) روی استویا مشخص شد که کمبود مقدار پتاسیم در طی مراحل رویشی موجب کاهش مقدار استویوزید در ماده خشک گیاه گردید. تجمع گلیکوزیدهای استویول در سلول‌های استویا در ارتباط با مقدار گسترش سیستم غشایی کلروپلاست و محتوای رنگیزه‌های فتوسنتزی بوده است و پتاسیم با تأثیر فتوسنتز و نقل و انتقالات فتوسنتزی و فعالیت آنزیم‌ها در این رابطه مؤثر است (Alavimatin et al.,

2015). در آزمایش‌های Shahverdi et al. (2017) نشان داده شد که محلول‌پاشی بور با تأثیر بر انتقال قندها و هیدرات‌های کربن در آوند آبکش، درصد استویوزید را از ۵/۵ درصد (شاهد) به ۶/۴ درصد افزایش داد.

Table 3. Comparison of means of quantitative traits of Stevia under foliar application of potassium and boron interaction

Potassium	Boron	Dry mater yield (Kg/ha)	Leaf yield (Kg/ha)	Plant height (cm)	Leaf area index
No foliar application	No foliar application	1066.2^{e}	760.85^{fg}	52.95^{abc}	4.15^{g}
	25 ppm	1047.73^{e}	725.6^{g}	46.65^{d}	4.2^{fg}
	50 ppm	1086.4^{de}	836.73^{ef}	49.05^{bcd}	4.26^{ef}
	75 ppm	1095.6^{de}	790.38^{efg}	50.1^{bcd}	4.28^{e}
10000 ppm ×	No foliar application	1284.48^{c}	999.83^{cd}	51.35^{bcd}	4.32^{de}
	25 ppm	1153.33^{d}	873.48^{e}	48.1^{cd}	4.37^{d}
	50 ppm	1336.1^{bc}	1001.5^{cd}	50.9^{bcd}	4.44^{c}
	75 ppm	1349.45^{bc}	968.88^{d}	49.6^{bcd}	4.5^{c}
15000 ppm ×	No foliar application	1368.73^{bc}	1028.6^{bcd}	50.40^{bcd}	4.62^{b}
	25 ppm	1401.5^{b}	1071.75^{abc}	53.9^{ab}	4.66^{b}
	50 ppm	1495.8^{a}	1111.7^{ab}	51.7^{bcd}	4.8^{a}
	75 ppm	1490.2^{a}	1134.68^{a}	57.35^{a}	4.83^{a}

Table 4. Analysis of variance of quantitative traits of Stevia under foliar application of potassium and boron interaction

S.O.V.	df	Mean square			
		Stevioside%	Potassium content	Boron content	Nitrogen%
		0.00002^{ns}	13.31^{ns}	0.001^{ns}	0.000009^{ns}
Potassium (P)	2	0.01**	3455.56**	0.01^{ns}	0.0004**
Boron (B)	3	0.002**	121.39**	1.23**	0.00005**
(P) × (B)	6	0.002**	675.25**	0.34**	0.0001**
Experimental error	33	0.00004	13.001	0.004	0.00001
C.V. (%)	-	19.13	4.83	17.9	7.81

ns, * and ** , non-significant, significant at 5 and 1%, respectively.

Table 5. Comparison of means of quantitative traits of Stevia under foliar application of potassium and boron interaction

Potassium levels	Boron level	Stevioside (%)	Phosphorus content (mg/kg)	Potassium content (mg/kg)	Boron content (mg/kg)	Nitrogen (%)
No foliar application	No foliar application	5.71^{g}	17.53^{a}	253.15^{de}	1.18^{e}	1.99^{fg}
	25 ppm	5.87^{g}	16.83^{a}	251.55^{e}	1.46^{d}	2.14^{de}
	50 ppm	6.37^{f}	17.03^{a}	249.32^{e}	1.67^{c}	1.93^{g}
	75 ppm	7.14^{de}	16.21^{a}	257.82^{d}	1.85^{b}	2.12^{def}
10000 ppm ×	No foliar application	6.37^{f}	16.26^{a}	266.47^{c}	1.14^{e}	2.18^{cd}
	25 ppm	6.73^{ef}	17.17^{a}	267.5^{c}	1.53^{d}	2.02^{efg}
	50 ppm	6.83^{ef}	17.69^{a}	271.37^{c}	1.74^{c}	2.19^{cd}
	75ppm	7.14^{de}	14.46^{a}	271.37^{c}	1.92^{ab}	2.31^{abc}
15000 ppm ×	No foliar application	7.43^{d}	17.51^{a}	278.65^{b}	1.15^{e}	2.23^{bcd}
	25 ppm	8.26^{c}	16.87^{a}	279.1^{b}	1.53^{d}	2.34^{ab}
	50 ppm	9.49^{b}	16.89^{a}	282.3^{b}	1.74^{c}	2.39^{a}
	75ppm	10.34^{a}	17.5^{a}	289.15^{a}	1.96^{a}	2.4^{a}

Numbers with common letters in each column did not differ significantly based on LSD test ($p \geq 0.05$).

میزان پتاسیم

اثرات متقابل تیمارهای محلول‌پاشی پتاسیم و بور در سطح یک درصد معنی‌دار گردید. بیشترین میزان پتاسیم مربوط به تیمار محلول‌پاشی ۱۵۰۰۰ پی‌پی‌ام پتاسیم و ۷۵ پی‌پی‌ام بور (۲۸۹/۱۵ میلی‌گرم در کیلوگرم) بود (جدول ۵). افزایش مصرف بور تا سطح ۱/۷ کیلوگرم در هکتار در کلم بروکلی منجر به افزایش غلظت پتاسیم در این گیاه گردید اما مصرف بیشتر بور به‌دلیل ایجاد مسمومیت غلظت پتاسیم دراین گیاه را کاهش داد (Rakhsh and Golchin, 2012). کاربرد بور در حد اپتیمم موجب افزایش نفوذ پتاسیم در غشای سلول شد اما میزان بالاتر از حد اپتیمم موجب سمیت در گیاه گردید (Ranade-Malvi, 2011). در مطالعات Ishag (1992) مشخص شد که محلول پاشی عناصر ریزمغذی با تأثیر بر فرآیندهای فیزیولوژیک و بیوشیمیایی گیاهان منجر به افزایش جذب مواد غذایی توسط گیاه می‌گردد.

درصد نیتروژن

اثرات متقابل تیمارهای محلول‌پاشی پتاسیم و بور در سطح یک درصد معنی‌دار گردید. بیشترین میزان نیتروژن مربوط به تیمار محلول‌پاشی ۱۵۰۰۰ پی‌پی‌ام پتاسیم و ۷۵ پی‌پی‌ام بور با میانگین ۲/۴ درصد بود که با تیمار ۱۵۰۰۰ پی‌پی‌ام پتاسیم و ۵۰ پی‌پی‌ام بور با میانگین ۲/۳۹ درصد اختلاف معنی‌داری نداشت. (جدول ۵). آزمایشات Cakmac (2010) نشان داد که جذب نیتروژن و نقش آن در گیاه نیز به شدت توسط پتاسیم حمایت می‌شود، چرا که تعادل بین نیتروژن و پتاسیم لازم است. محتوای کم پتاسیم می‌تواند از جذب بهینه نیتروژن جلوگیری کند. در تحقیقات Jabeen and Ahmad (2011) مشخص شد که محلول‌پاشی عنصر بور، موجب افزایش مقدار کل پروتئین برگ می‌گردد. بدیهی است با توجه به تأثیرات مثبت محلول‌پاشی پتاسیم و بور در افزایش میزان نیتروژن گیاه، اثرات متقابل این دو تیمار نیز در بهبود میزان نیتروژن گیاه مؤثر است.

نتیجه‌گیری

با توجه به این‌که کشت استویا در این منطقه به‌ندرت صورت گرفته است، نتایج به‌دست آمده حاکی از آن است که این گیاه با شرایط آب و هوایی منطقه سازگاری داشته است. در پژوهش حاضر محلول‌پاشی پتاسیم و بور باعث افزایش عملکرد ماده خشک، عملکرد برگ و درصد استویوزید گیاه استویا گردید. نتایج نشان داد که بیشترین عملکرد ماده خشک (۱۴۹۵/۸ کیلوگرم در هکتار) را تیمار محلول‌پاشی ۱۵۰۰۰ پی‌پی‌ام پتاسیم و ۵۰ پی‌پی‌ام بور ایجاد کرد که با ترکیب تیماری ۱۵۰۰۰ پی‌پی‌ام پتاسیم و ۷۵ پی‌پی‌ام بور (۱۴۹۰/۲ کیلوگرم در هکتار) تفاوت معنی‌داری نداشت. بیشترین عملکرد برگ (۱۱۳۴/۶۸ کیلوگرم در هکتار) و درصد استویوزید برگ (۱۰/۳۴ درصد) نیز در تیمار محلول‌پاشی ۱۵۰۰۰ پی‌پی‌ام پتاسیم و ۷۵ پی‌پی‌ام بور به‌دست آمد. بدیهی است. پتاسیم به دلیل نقش مؤثر در فرآیندهای فیزیولوژیک گیاه، انتقالات فتوسنتزی، تأثیر بر آماس سلول‌ها، و نیز افزایش دوام سطح برگ و بور نیز از طریق نقش خود در استقرار ریشه، انتقال قند، سنتز دیواره سلولی و نگهداری آن، موجب افزایش عملکرد ماده خشک و عملکرد برگ در گیاه شده‌اند.

سپاس‌گزاری

نویسندگان در پایان برخود لازم می‌دانند که از ریاست محترم، معاونت محترم پژوهشی و هم‌چنین معاونت محترم آموزشی و تحصیلات تکمیلی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان تشکر نمایند. هم‌چنین از مجتمع گیاهان داروئی داروایش گیاه خزر در رشت که در تهیه نشای استویا برای انجام این تحقیق با نویسندگان همکاری داشتند و نیز جناب آقای غلامحسین حسینی تبار، رئیس این مرکز، کمال تشکر و قدردانی ابراز می‌شود.

References

Abdollahi, M., Eshghi, S., Tafazzoli, E. & Moosavi, N. (2012). Effects of paclobutrazol, boric acid and zinc sulfat on vegetative and reproductive growth of straweberry cv. Selva. *Journal of Agriculture Science and Technology*, 14(2), 357-363.

Aladakatti, Y. R., Palled, Y. B., Chetti, M. B., Halikatti, S. I., Alagundagi, S. C., Patil, P. L., Patil1, V. C., & Janawade, A. D. (2012). Effect of nitrogen, phosphorus and potassium levels on growth and yield of stevia (*Stevia rebaudiana* Bertoni.). *Karnataka Journal of AgricultureScience*, 25(1), 25-29.

Alavimatin, S. M., Rahnama, A., & Meskarbashi, M. (2015). Effeect of potassium application on the activity of some antioxidant enzymes of two durum wheat cultivars in the salinity conditions. *Plant Productions*, 38(4), 1-12. [In Farsi]

Cakmak, I. (2010). Potassium for better crop production and quality. *Editorial. Plant Soil*, 335, 1-2.

Ding, Y., Luo, W., & Xu, G. (2006). Characterization of magnesium nutrition an interaction of magnesium and potassium in rice. *Annual Application Biology*, 149(2), 111-123.

Dordas, C., & Brown. P. H. (2001). Permeability and the mechanism of transport of boric acid cross the plasma membrane of *Xenopus laevis* oocytes. *Journal Biological Trace Element Research*, 81(2), 127-139.

Farzaneh, N., Golchin, A., & Hashemi Majd, K. (2010). Effect of nitrogen and boron on growth, yield and concentration of some nutrients of tomato. *Journal of Greenhouse Crop Science and Technology*, 1(2), 19-28. [In Farsi]

Hamada, A. M., & EL-enany, A. E. (1994). Effect of NaCl salinity on growth, pigment and mineral element contents, and gas exchange of broad bean and pea plants. *Biologia Plantarum*, 36, 75-81.

Hassibi, P. (2007). *Physiological study of the effect of cold stress on seedling stage of different rice genotypes*. Ph.D Thesis Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz. [In Farsi].

Ishag, H. M. (1992). Effects of Foliar Micronutrient Fertilizers on the Yield of Irrigated Cotton on the Vertisols of the Sudan Gezira. *Experimental Agriculture*, 28(3), 265-271.

Jabeen, N., & Ahmad, R. 2011. Effect of foliar- applied boron and manganese on growth and biochemical activities in sunflower under saline conditions. *Pakesstan Journal Boanyt*, 43(2), 1271-1282.

Jones, B. (2007). *The guide of plant nutrition.* In Mirnya, S. Kh., & Habib zadeh, F. (Eds.). Tehran: Takrang Press. [In Farsi]

Laclaun, J. P., Almeida, J. C. R., Gonçalves, J. L. M, Saint-Andre, L., Ventura, M., & Ranger, J. (2009). Influence of nitrogen and potassium fertilization on leaf lifespan and allocation of above-ground growth in Eucalyptus plantations. *Tree Physiology*, 29(1), 111-124.

Malekoty, M. J., Keshavarz, P., & Karimian, N. (2008). *Comprehensive distinction method and optimal fertilizer recommendation for sustainable agriculture*. Mashhad: Tarbiat Modares university Publications. [In Farsi]

Mamta, P. R., Vijaylata, P., Arvind, G., Bikram, S., Ravinder, K. B., & Rupinder, T. (2010). Stimulatory effect of phosphate-solubilizing bacteria on plant growth, stevioside and rebaudioside-A contents of *stevia rebaudiana* Bertoni. *Applied Soil Ecology*, 46, 222-229.

Moradi Telavat, M. R., Siadat, S. A., Nadian, H., & Fathi, Gh. (2010). Physiology of canola. Ahvaz: Shahid Chamran university Publications. [In Farsi]

Nable, R. O., Banuelos, G. S., & Paull, J. G. (1997). Boron toxicity. *Plant and Soil*, 193, 181-198.

Nasef, M. A., Badran, N. M., & Abd El-Hamide, A. F. (2006). Response of peanut tofoliar spray with boron and/or rhizobium inoculation. *Journal of Applied Sciences Research,* 2(12), 1330-1337.

Pal, P. K., Kumar, R., Guleria, V., Mahajan, M., Prasad, M., & Pathania, V. (2015). Crop ecology and nutritional variability influence growth and secondary metabolites of *Stevia rebaudiana* Bertoni. *BMC Plant Biology,* 15(1), 67-83.

Peng, M., Hannam, C., Gu, H., Bi, Y. M., & Rothstein S. J. (2007). A mutation in NLA, which encodes a RING-type ubiquitin ligase, disrupts the adaptability of Arabidopsis to nitrogen limitation. *Plant Journal,* 50(2), 320-337.

Rakhsh, F., & Golchin, A. (2012). Effect of nitrogen and boron on the yield and concentration of macroelements in Broccoli in alkaline soil. *Journal of Greenhouse Crop Science and Technology*, 3(10), 43-53. [In Farsi]

Ranade-Malvi, U. (2011). Interaction of micronutrients with major nutrients with special reference to potassium. *Karnataka Journal of Agricultural Science*, 24(1), 106-109.

Reis, M., Coelho, L., Santos, G., Kienle, U., & Beltro, J. (2015). Yield response of stevia (Stevia rebaudiana Bertoni) to the salinity of irrigation water. *Agricultural Water Management*, 152, 217-221.

Rizk, W. M., & Abdo, F. A. (2001). The response of two mung bean cultivars to zinc, manganese, boron II. *Yield and chemical composition of seeds Bulletin of Faculty of Agriculturl Cairo University,* 52(3), 467-477.

Salim, B. B. M., Abd El-Gawad, H. G. and Abou El-Yazied, A. (2014). Effect of foliar spray of different potassium sources on growth, yield and mineral composition of potato (*Solanum tuberosum* L.). *Middle East Journal of Applied Sciences,* 4(4), 1197-1204.

Sathi Babu, N., Sinha, A. K. Medda, P. S and Ghosh, A. (2017). Impact of potassium-boron interaction on leaf nutrient content and nut setting of coconut. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences,* 6(12), 4025-4037.

Schachtman, D. P., Reid, R. J., & Ayling, S. M. (1998). Phosphorus uptake by plants: from soil to cell. *Plant Physiology,*116(2), 447-53.

Shahverdi, M., Omidi, H., & Tabatabaei, S. J. (2017). Effect of foliar application of selsnium, boron and iron on some of the physiological traits and glycosids of Stevia (*Stevia rebaudiana* Bertoni). *Journal of Iranian Herbal Medicines and Herbs Research,* 33(6), 1017-1033.

Sobhani, A., & Hamidi, H. The effect of different potassium levels on yield and growth indexes of potato in Mashhad climate conditions. *Journal of Ecophysiology of Crops (Agricultural Sciences),* 7(3), 341-355. [In Farsi]

Thalooth, A. T., Tawfik, M. M., & Magda Mohammad H. (2006). A compartative study on the effect of foliar application of zinc, potassium, boron and maganesium on growth, yield and some chemical constituents of mungbean plants grown under water stress condition department of field crops research. *World Journal of Agricultural Sciences,* 2(1), 37-46.

Utumi, M. M., Monnerat, P. H., Pereira, P. R. G., Fontes, P. C. R., & Godinho, V. (1999). Macronutrient deficiencies in Stevia rebaudiana: Visual symptoms and effects on growth, chemical composition and stcvioside production. *Pesquisa Agropecuria Brasiliena*, 34(6), 1039-1043.

Vitosh, M. L., Warnek, D. D., & Lucas, R. E. (1997). *Boron mishigan state university extention soil and manegemnt fertilizer.* Available on: htpp://www.Msue.msu.EDV.

Watson, D.J. (1952). The physiological basis of varieties in yield. *Advances in Agronomy,* 4, 101-145.

Yadav, A. K., Singh, S., Dhyani, D., & Ahuja, P. S. (2011). A review on the improvement of stevia (*Stevia rebaudiana* Bertoni). *Canadian Journal of Plant Science*, 91, 1-27.

Zivdar, Sh., Arzani, K., souri., M. K., Moalemi, N., & seyednejad, S. M. (2015). The effect of potassium solfate foliar sprying application on some quantitative and qualitative indexes of fruit and olive oil in Ahvaz climate conditions. *Plant Productions,* 38(3), 13-26. [In Farsi]