اثر بُـر روی خصوصیات مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی گل جعفری (*Tagetes erecta*) در شرایط کشت خاکی و هایدروپونیک

علی محمدی‌ترکاشوند ۱، حسن عابدینی‌آبکسری ۲، کاوه بابلیان ۳ و بهزاد کاویانی ۴*

۱- دانشیار، گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران، m.torkashvand54@yahoo.com

۲- دانشجوی دکتری، گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران، hassan.abedni@yahoo.com

۳- دانشجوی دکتری، گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، واحد اراک، دانشگاه آزاد اسلامی، اراک، ایران، babolian.k@yahoo.com

۴- دانشیار، گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، واحد رشت، دانشگاه آزاد اسلامی، رشت، ایران، kaviani@iaurasht.ac.ir

The effect of boron on some morphological and physiological characteristics of marigold(*Tagetes erecta*) in hydroponic and soil cultivation bed

Ali Mohammadi Torkashvand[1], Hassan Abedini Aboksari[2], Kaveh Babolian[3] and Behzad Kaviani[4*]

1- Associate Professor, Department of Soil Science, Agriculture and Natural resources college, Science and Research branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran, m.torkashvand54@yahoo.com

2- Ph.D. Student, Department of Horticultural Science, Agriculture and Natural resources college, Science and Research branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran, hassan.abedni@yahoo.com

3- Ph.D Student, Department of Horticultural Science, Agriculture college, Arak Branch, Islamic Azad University, Arak, Iran, babolian.k@yahoo.com

4- Associate Professor, Department of Horticultural Science, Agriculture college, Rasht Branch, Islamic Azad University, Rasht, Iran, kaviani@iaurasht.ac.ir

چکیده

بُـر یک عنصر کم‌مصرف است که نقش کلیدی در برخی فرآیندهای بیوشیمیایی و فیزیولوژیکی گیاه دارد. در این پژوهش اثر غلظت‌های مختلف اسید بوریک (صفر به‌عنوان شاهد، ۰/۵، ۱ و ۲ میلی‌مولار در محلول غذایی پایه‌ی هوگلند) روی گل جعفری (*Tagetes erecta*) در دو نوع بستر هایدروپونیک و کشت خاکی در شرایط گلخانه‌ای بررسی شد. تیمارهای فوق به‌صورت محلول غذایی هفته‌ای دو بار در اختیار گیاه قرار گرفت. بستر مورد استفاده در کشت هایدروپونیک شامل ۵۰ درصد ماسه و ۵۰ درصد پرلیت بود. در این پژوهش برخی صفات مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی مورد ارزیابی قرار گرفت. افزایش غلظت اسید بوریک در محلول غذایی منجر به بهبود صفات کمی و کیفی گیاه شد. همچنین کاربرد اسید بوریک در بستر کاشت هایدروپونیک و خاکی عملکرد مطلوب‌تری روی گیاه زینتی جعفری داشت. نتایج نشان داد که تیمار ۲ میلی‌مولار اسید بوریک در بستر کاشت هایدروپونیک، اثر قابل‌توجهی روی افزایش حجم ریشه (۲۳/۶۰ میلی‌لیتر)، تعداد برگ (۴۵/۵۰ عدد)، قطر گل (۸/۴۰ سانتی‌متر)، درجه‌ی بریکس (۳/۶۸)، کلروفیل کل (۵/۸۰ میلی‌گرم در گرم وزن تر) و کاروتنوئید گلبرگ (۳/۵۴ میکروگرم در گرم وزن تر) داشت. همچنین بیشترین ارتفاع گیاه (۳۵/۳۳ سانتی‌متر)، تعداد ساقه (۱۲/۳۳) و تعداد گل (۷/۳۰) در تیمار ۲ میلی‌مولار اسید بوریک در بستر کشت خاکی مشاهده شد. گیاهان رشدیافته در هر دو شرایط هایدروپونیک و خاکی که با ۲ میلی‌مولار اسید بوریک تیمار شده بودند، دارای بیشترین وزن خشک ریشه (۰/۸ گرم) و اندام هوایی (۹/۵۱ گرم) بودند. تیمارها روی طول ریشه، آغاز فاز زایشی و زمان گلدهی نیز اثر متفاوتی داشتند. به‌طور کلی با بررسی دقیق‌تر تمامی داده‌های حاصل از نتایج صفات مورد بررسی مشخص شد که کاربرد سطوح بالای اسید بوریک در بستر کشت خاکی عملکرد بهتری را باعث گردید.

کلمات کلیدی: بستر کشت، تغذیه گیاهی، عملکرد گیاه، عناصر ضروری، گیاهان زینتی

فصلنامه زیست شناسی سلولی و مولکولی گیاهی

سال ۱۳۹۳، دوره ۹، شماره ۱ و ۲، صص ۳۰-۲۳

Abstract

Boron is a micro-nutrient that has important function in some biochemical and physiological processes of plant. In this study, the effect of different concentrations of boric acid (0 as a control, 0.5, 1 and 2 mM in the basic nutrient solution of Hoagland) were evaluated on marigold (*Tagetes erecta*) in two cultivation beds (soil and hydroponic) that was done in greenhouse. The nutrition solution was used twice a week. The hydroponic culture contained 50 percent sand and 50 percent perlite. In this study, some morphological and physiological traits were evaluated. Increasing the concentration of boric acid in the nutrient solution improved the quantity and quality traits of plants. Moreover, application of boric acid in the hydroponic system had the best operation on marigold plants (*Tagetes erecta*). The results showed that the use of 2 mM boric acid in the hydroponic system had a significant effect on the root volume (23.60 ml), number of leaves (45.50), flower diameter (8.40 cm), °Brix (3.68), chlorophyll content (5.80 mg g^{-1} FW) and carotenoid content of petals (3.54 µg g^{-1} FW). Also, the most of plant height (35.33 cm), number of shoots (12.33), flowers number (7.30) was observed by 2 mM boric acid treatment in the soil cultivation bed. Plants grown in both cultivation beds (soil and hydroponic) with 2 mM boric acid had the most root (0.8 g) and shoot dry weight (9.51). Treatments didn't have any significant differences on root length, the beginning of reproductive phase and flowering time. Generally, with more scrutiny on the all the data of the results of this study found that the use of the highest level of boric acid in the soil cultivation bed averagely, had the best performance.

Keywords: Essential elements, Ornamental plant, Plant nutrition, Plant yield, Substrate

فصلنامه زیست شناسی سلولی و مولکولی گیاهی

سال ۱۳۹۳، دوره ۹، شماره ۱ و ۲، صص ۳۰-۲۳

مقدمه و کلیات

گل جعفری (*Tagetes erecta*) یک گیاه زینتی از خانواده‌ی کاسنی یا آفتابگردان (Asteraceae) است که در نقاط مختلف جهان و برای اهداف مختلف کشت می‌شود. این گل در خاک سبک با زهکشی مناسب و مواد آلی کافی رشد مناسبی دارد و گل‌های درشتی تولید می‌کند (شریفی و همکاران، ۱۳۸۹). در ایران مقدار ماده آلی در بیشتر اراضی کشاورزی کمتر از یک درصد است. از طرف دیگر، خاک این مناطق اغلب به علت درصد بالای آهک و داشتن خاصیت قلیایی (pH≥۷) دارای کمبود شکل قابل جذب عناصر غذایی، به‌ویژه عناصر کم‌مصرف می‌باشد. کیفیت نامناسب بستر کاشت و کمبود عناصر کم‌مصرف از عوامل محدودکننده در رشد و نمو گیاه می‌باشد. لذا به‌کارگیری روش‌های مناسب برای اصلاح بستر کاشت و یا روشی جایگزین در پرورش گیاه، همچنین فراهمی مطلوب عناصر کم‌مصرف در پرورش گیاهان زینتی ضروری به نظر می‌رسد (Whalen *et al,* 2001). از جمله عناصر کم‌مصرف که گیاهان به کمبود آن حساس‌اند و این کمبود، کاهش عملکرد را به‌دنبال دارد، عنصر بُـر است (Abd El-Hameed *et al,* 2014). بُـر یک ریزمغذی ضروری برای گیاه می‌باشد که نقش اصلی در رشد گیاه، ساختار دیواره‌ی سلولی، پایداری غشاء، انتقال قندها، متابولیسم فنول‌ها، کربوهیدرات‌ها و RNA دارد (Havlin *et al,* 2006). همچنین این عنصر در فرایند گلدهی گیاه نقش مهمی دارد (Brown *et al,* 2002). گل جعفری از جمله گل‌های نشایی می‌باشد که نسبت به کمبود بُـر حساس است و کمبود این عنصر باعث کاهش عملکرد و کیفیت این گیاه می‌شود. سیستم کشت هایدروپونیک از جمله بسترهای کاشت است که امروزه به‌عنوان یک جایگزین مناسب با بستر کاشت خاکی مورد استفاده قرار می‌گیرد. هایدروپونیک نوعی روش کاشت برای رشد گیاه در محیط کاشت خنثی با محلول‌های غذایی کنترل‌شده می‌باشد (سجادی‌نیا و همکاران، ۱۳۸۹). در آزمایش‌های گوناگون و تولید محصولات تجاری این روش کاشت در بهبود جذب عناصر غذایی توسط گیاه و به دنبال آن در عملکرد گیاه مؤثر واقع شده است (Savvas and Van Iersel, 1999; Adamidis, 1999). مطالعه روی آفتاب‌گردان (*Helianthus annus*)، گوجه (*Lycopersicon esculentum*) و توت فرنگی *ananassa* (*Fragaria* × Duch) نشان داد که اسید بوریک نقش موثری روی افزایش برخی خصوصیات رشدی و فیزیولوژیکی در مقایسه با شاهد داشت (Jabben *et al*, 2013; El-Hameed *et al*, 2014; Rafeii and Pakkish, 2014). گزارش‌ها در ارتباط با اثر اسید بوریک روی ویژگی‌های مختلف گیاهان بسیار محدود است و هیچ مطالعه‌ای در این ارتباط روی گیاه زینتی جعفری انجام نشده است. با توجه به کاربرد این گیاه به‌عنوان یک گیاه نشایی تابستانه مهم در فضای سبز و حساسیت آن به کمبود عنصر بر در مراحل مختلف رشد رویشی و گلدهی، هدف از انجام این پژوهش مقایسه‌ی غلظت‌های مختلف اسید بوریک بر خصوصیات کمی و کیفی گل جعفری با سه روش تغذیه، محلول‌پاشی برگی، بستر کاشت خاکی و هایدروپونیک بود.

فرآیند پژوهش

پژوهش حاضر در مزرعه‌ی تخصصی کشت گیاهان زینتی یالمن در شهرستان رشت انجام گرفت. در این تحقیق از دو نوع بستر کشت خاکی و هایدروپونیک در گلدان‌هایی به حجم سه لیتر استفاده شد. آزمایش به‌صورت فاکتوریل بر پایه‌ی طرح بلوک‌های کاملاً تصادفی در ۳ تکرار و ۱۲ تیمار انجام شد. تیمارها شامل ۴ سطح (صفر به‌عنوان شاهد، ۰/۵، ۱ و ۲ میلی‌مولار) اسید بوریک (A) در محلول غذایی هوگلند در ۳ روش؛ محلول‌پاشی یا تغذیه برگی (N_1)، کشت درون خاکی (N_2) و هایدروپونیک (N_3) به‌صورت ترکیب با هم به‌کار گرفته شدند. به علت اهمیت ویژه‌ی بحث تغذیه و جهت جلوگیری از اثر بارندگی روی شستشوی عناصر غذایی و صدمه‌ی احتمالی ناشی از شرایط نامساعد جوی، کلیه‌ی عملیات کشاورزی و اجرا در محیط سرپوشیده‌ی گلخانه با شرایط

نور و دما و رطوبت یکسان برای همه تیمارها انجام شد. هر روش کار شامل ۱۲ گلدان بود که به‌صورت جداگانه روی پالت‌های چوبی با فاصله‌ی ۲۰ سانتی‌متر روی ردیف و ۲۵ سانتی‌متر بین ردیف‌ها قرار گرفت. فاکتورهای اندازه‌گیری‌شده شامل خصوصیات مورفولوژیکی؛ طول ریشه، حجم ریشه، ارتفاع گیاه، تعداد برگ، تعداد ساقه، تعداد گل، قطر گل، آغاز فاز زایشی و زمان گل‌دهی و خصوصیات فیزیولوژیکی؛ وزن خشک اندام هوایی، وزن خشک ریشه، مواد جامد محلول در آب (درجه‌ی بریکس)، کلروفیل برگ و کاروتنوئید گلبرگ بودند. به کمک کولیس دیجیتال قطر گل و ارتفاع ساقه اندازه‌گیری شد. زمانی که گل‌ها پژمرده شدند (بازارپسندی خود را از دست دادند)، گیاه از سطح خاک بریده شد و پس از خشک‌کردن اندام هوایی در دستگاه خشک‌کن در دمای ۷۵ درجه‌ی سانتی‌گراد به‌مدت ۲۴ ساعت، نمونه‌ها توزین شد. تعداد ساقه و تعداد گل در هر بوته به‌طور دستی مورد شمارش قرار گرفت. کلروفیل موجود در برگ‌ها و کاروتنوئید موجود در گلبرگ‌ها پس از عصاره‌گیری با استون از نمونه‌ها، توسط دستگاه اسپکتروفتومتر اندازه‌گیری و با روش Mazumdar and Majumder (2003) محاسبه شد. داده‌ها به کمک نرم‌افزار SAS و MSTATC تجزیه و تحلیل و مقایسه میانگین تیمارها با آزمون توکی صورت گرفت.

نتایج و بحث

غلظت‌های اسید بوریک، روش کشت و اثر متقابل این دو عامل تأثیر معنی‌داری بر صفات اندازه‌گیری‌شده داشتند. با توجه به جداول ۱ و ۲، بین تیمار شاهد و سایر تیمارها اختلافی معنی‌دار در ارتباط با صفات اندازه‌گیری‌شده مشاهده شد. با توجه به جدول تجزیه‌ی واریانس، صفاتی که اثر اصلی دو عامل روی آن‌ها معنی‌دار گردید، در بخش نتایج تنها اثر متقابل دو عامل آزمایشی روی این صفات ذکر گردید.

طول و حجم ریشه: با افزایش غلظت اسید بوریک، طول ریشه افزایش یافت (جداول ۱ و ۲). نتایج مقایسه‌ی میانگین اثر متقابل بر طول ریشه گویای آن است که، تیمار A_3N_1 (۲ میلی‌مولار اسید بوریک با روش تغذیه‌ی محلول‌پاشی) با میانگین ۳۰/۵۰ سانتی‌متر بیشترین طول ریشه و تیمار A_0N_3 (عدم کاربرد اسید بوریک در سیستم کاشت هایدروپونیک) با میانگین ۷/۰۰ سانتی‌متر دارای کمترین طول ریشه بودند (جدول ۲). گیاهان تحت تیمار A_3N_3 (۲ میلی‌مولار اسید بوریک با روش تغذیه در سیستم کاشت هایدروپونیک) با میانگین ۲۳/۶۰ میلی‌لیتر و گیاهان شاهد (A_0N_1) با میانگین ۹/۲۰ میلی‌لیتر به‌ترتیب دارای بیشترین و کمترین حجم ریشه بودند (جدول ۲).

ارتفاع و تعداد ساقه: تیمار A_3N_2 (۲ میلی‌مولار اسید بوریک با روش تغذیه در بستر کاشت خاکی) با میانگین ۳۵/۳۳ سانتی‌متر و تیمار A_0N_3 (عدم کاربرد اسید بوریک در سیستم کاشت هایدروپونیک) با میانگین ۱۰/۱۷ سانتی‌متر، به‌ترتیب دارای بیشترین و کمترین ارتفاع ساقه بودند (جدول ۲). تعداد ساقه‌ی فرعی در گیاهان تغذیه‌شده با ۲ میلی‌مولار اسید بوریک با روش تغذیه در بستر کاشت خاکی (A_3N_2) با میانگین ۱۲/۳۳ ساقه‌ی فرعی در گیاه، به‌طور معنی‌داری در مقایسه با سایر تیمارها افزایش یافت (جدول ۲). تیمار عدم کاربرد اسید بوریک در بستر کاشت هایدروپونیک (A_0N_3) برای گیاهان با میانگین ۲/۳۳ ساقه‌ی فرعی در گیاه، کمترین تأثیر را بین تیمارهای مختلف، بر تعداد ساقه‌ی فرعی گیاهان داشت (جدول ۲).

تعداد برگ: نتایج مقایسه‌ی میانگین اثر متقابل عامل‌ها بر تعداد برگ در گیاه گویای آن است که بین تیمارها اختلاف معنی‌داری وجود داشت. در بین تیمارها، A_3N_3 (۲ میلی‌مولار اسید بوریک همراه با تغذیه در بستر کاشت هایدروپونیک) با میانگین ۴۵/۵۰ و تیمار A_0N_3 (عدم کاربرد اسید بوریک و تغذیه در بستر کاشت هایدروپونیک) با میانگین ۱۰/۰۰ عدد برگ به‌ترتیب دارای بیشترین و کمترین تعداد برگ در گیاه بودند (جدول ۲).

جدول ۱- مقایسه میانگین سطوح مختلف اسید بوریک و روش‌های کشت بر صفات اندازه‌گیری‌شده*

Table 1. Mean comparison of different levels of boric acid and cultivation methods on measured traits

	میانگین مربعات						
تیمار	طول ریشه (سانتی‌متر)	حجم ریشه (میلی-متر)	ارتفاع گیاه (سانتی‌متر)	تعداد ساقه	تعداد برگ	آغاز فاز زایشی (روز)	زمان گلدهی (روز)
اسید بوریک (A)							
A_0 (شاهد)	۱۰/۹۰^{d}	۹/۲۰^{c}	۱۶/۱۰^{c}	۳/۶۷^{c}	۲۷/۵۰^{c}	۳۹/۰۰^{a}	۵۰/۷۰^{a}
A_1 (۰/۵ میلی مولار)	۱۸/۰۰^{bc}	۱۳/۴۰^{bc}	۲۲/۰۰^{b}	۷/۴۰^{a}	۳۰/۸۰^{bc}	۳۶/۰۰^{ab}	۴۹/۶۰^{ab}
A_2 (۱ میلی مولار)	۲۲/۳۰^{ab}	۱۶/۵۰^{b}	۲۶/۵۰^{ab}	۶/۵۵^{ab}	۳۸/۳۰^{ab}	۳۳/۲۶^{c}	۴۴/۷۵^{b}
A_3 (۲ میلی مولار)	۲۸/۰۰^{a}	۲۱/۱۰^{a}	۲۹/۳۰^{a}	۸/۴۳^{a}	۴۴/۰۰^{a}	۳۷/۵۰^{ab}	۴۸/۶۰^{ab}
روش تغذیه (N)							
N_1 (محلول‌پاشی)	۲۱/۴۰^{a}	۱۶/۱۰^{a}	۱۹/۶۰^{c}	۷/۷۸^{b}	۲۴/۱۰^{ab}	۴۱/۸۰^{a}	۵۳/۸۰^{a}
N_2 (کشت خاکی)	۲۳/۲۰^{a}	۱۶/۵۰^{a}	۲۶/۱۰^{a}	۱۰/۲۰^{a}	۲۹/۳۰^{a}	۳۳/۶۰^{ab}	۴۵/۶۰^{b}
N_3 (کشت هایدروپونیک**)	۱۹/۸۰^{b}	۱۳/۱۰^{b}	۲۳/۵۰^{ab}	۵/۸۰^{c}	۲۱/۵۰^{b}	۳۳/۳۰^{c}	۴۱/۳۰^{c}

*در هر ستون داده‌هایی که دارای یک حرف مشترک هستند، طبق آزمون دانکن در سطح آماری ۵ درصد معنی‌دار نمی‌باشند؛ **هایدروپونیک با بستر ۵۰ درصد پرلیت و ۵۰ درصد ماسه می‌باشد.

جدول ۱- ادامه*

Table 1. Continued

	میانگین مربعات						
تیمار	تعداد گل در بوته	قطر گل (سانتی-متر)	وزن خشک اندام هوایی (گرم)	وزن خشک ریشه (گرم)	درجه‌ی بریکس	کلروفیل کل (میکروگرم در گرم وزن تر)	کاروتنوئید گلبرگ (میکروگرم در گرم وزن تر)
اسید بوریک (A)							
A_0 (شاهد)	۲/۵۰^{c}	۳/۸۰^{d}	۳/۳۰^{c}	۰/۲۶^{c}	۲/۶۵^{a}	۱/۹۰^{c}	۰/۹۰^{b}
A_1 (۰/۵ میلی مولار)	۳/۶۰^{bc}	۴/۷۰^{c}	۵/۵۴^{bc}	۰/۴۶^{b}	۲/۷۳^{a}	۳/۵۷^{b}	۱/۲۱^{b}
A_2 (۱ میلی مولار)	۴/۵۰^{ab}	۶/۳۰^{b}	۷/۱۵^{ab}	۰/۶۷^{ab}	۳/۱۲^{a}	۴/۱۸^{ab}	۲/۶۲^{a}
A_3 (۲ میلی مولار)	۵/۶۰^{a}	۷/۸۰^{a}	۸/۲۹^{a}	۰/۷۸^{a}	۳/۱۳^{a}	۵/۸۵^{a}	۲/۳۶^{a}
روش تغذیه (N)							
N_1 (محلول‌پاشی)	۳/۱۴^{b}	۵/۱۰^{c}	۵/۵۵^{b}	۰/۴۶^{b}	۲/۷۷^{a}	۳/۴۰^{b}	۱/۵۶^{b}
N_2 (کشت خاکی)	۴/۷۰^{a}	۶/۷۰^{a}	۶/۸۲^{a}	۰/۵۸^{a}	۲/۹۷^{a}	۳/۸۰^{ab}	۲/۶۸^{a}
N_3 (کشت هایدروپونیک**)	۳/۷۰^{ab}	۵/۸۰^{b}	۵/۸۴^{b}	۰/۴۴^{c}	۲/۳۵^{a}	۴/۵۰^{a}	۱/۴۱^{b}

*در هر ستون داده‌هایی که دارای یک حرف مشترک هستند، طبق آزمون دانکن در سطح آماری ۵ درصد معنی‌دار نمی‌باشند؛ **هایدروپونیک با بستر ۵۰ درصد پرلیت و ۵۰ درصد ماسه می‌باشد.

جدول ۲- مقایسه میانگین اثر متقابل سطوح مختلف اسید بوریک و روش‌های تغذیه بر صفات اندازه‌گیری‌شده*

Table 2. Mean comparison of reciprocal effect of different levels of boric acid and nutrition methods on measured traits

	میانگین مربعات						
تیمار	طول ریشه (سانتی‌متر)	حجم ریشه (میلی‌متر)	ارتفاع گیاه (سانتی‌متر)	تعداد ساقه	تعداد برگ	آغاز فاز زایشی (روز)	زمان گلدهی (روز)
A_0N_1	۱۲/۵۰^{d}	۹/۲۰^{d}	۱۴/۳۷^{d}	۳/۸۷^{ef}	۱۹/۰۰^{d}	۴۳/۶۰^{a}	۵۵/۰۰^{a}
A_0N_2	۱۹/۰۰^{c}	۱۲/۳۰^{cd}	۱۸/۶۳^{e}	۶/۳۷^{de}	۲۲/۰۰^{d}	۳۳/۰۰^{d}	۴۸/۶۰^{bc}
A_0N_3	۷/۰۰^{e}	۱۱/۵۰^{cd}	۱۰/۱۷^{g}	۲/۳۳^{f}	۱۰/۰۰^{f}	۳۷/۳۰^{c}	۴۸/۶۰^{bc}
A_1N_1	۲۰/۵۰^{bc}	۱۴/۳۰^{c}	۱۶/۴۳^{ef}	۸/۶۷^{c}	۲۶/۵۰^{cd}	۴۲/۸۰^{a}	۵۳/۶۰^{bc}
A_1N_2	۲۲/۰۰^{b}	۱۳/۱۰^{c}	۲۷/۰۰^{cd}	۱۱/۰۰^{ab}	۲۶/۵۰^{cd}	۳۳/۶۰^{d}	۴۸/۰۰^{bc}
A_1N_3	۲۴/۳۰^{ab}	۱۱/۳۰^{cd}	۲۳/۶۷^{d}	۴/۲۳^{ef}	۱۴/۵۰^{e}	۳۴/۶۰^{cd}	۴۷/۳۰^{bc}
A_2N_1	۲۴/۳۰^{ab}	۱۵/۰۰^{bc}	۲۵/۳۳^{d}	۶/۶۷^{de}	۳۰/۰۰^{c}	۳۷/۰۰^{c}	۵۱/۳۰^{b}
A_2N_2	۲۵/۵۰^{ab}	۱۹/۰۰^{ab}	۳۱/۸۷^{b}	۱۰/۸۳^{b}	۳۴/۵۰^{bc}	۳۳/۳۰^{d}	۴۸/۳۰^{bc}
A_2N_3	۲۴/۰۰^{ab}	۱۵/۱۰^{bc}	۲۶/۶۷^{cd}	۸/۶۷^{c}	۱۸/۰۰^{d}	۳۱/۳۰^{e}	۴۳/۶۰^{d}
A_3N_1	۳۰/۵۰^{a}	۱۸/۶۰^{b}	۳۱/۶۷^{b}	۱۰/۰۰^{b}	۳۵/۰۰^{bc}	۴۰/۰۰^{ab}	۴۸/۶۰^{bc}
A_3N_2	۲۶/۰۰^{ab}	۲۰/۵۳^{ab}	۳۵/۳۳^{a}	۱۲/۳۳^{a}	۴۰/۰۰^{b}	۳۸/۰^{bc}	۵۰/۳۰^{b}
A_3N_3	۲۵/۰۰^{ab}	۲۳/۶۰^{a}	۳۲/۳۳^{b}	۸/۳۳^{c}	۴۵/۵۰^{a}	۳۶/۹۰^{c}	۴۵/۰۰^{c}

*در هر ستون داده‌هایی که دارای یک حرف مشترک هستند، طبق آزمون دانکن در سطح آماری ۵ درصد معنی‌دار نمی‌باشند.

جدول ۲- ادامه*

Table 1. Continued

تیمار	تعداد گل در بوته	قطر گل (سانتی-متر)	وزن خشک اندام هوایی (گرم)	وزن خشک ریشه (گرم)	درجه‌ی بریکس	کلروفیل کل (میکروگرم در گرم وزن تر)	کاروتنوئید گلبرگ (میکروگرم در گرم وزن تر)
	میانگین مربعات						
A_0N_1	۱/۹۰^{g}	۳/۶۳^{g}	۳/۲۰^{d}	۰/۲۳^{f}	۲/۵۰^{bc}	۲/۰۰^{e}	۱/۰۰^{e}
A_0N_2	۲/۵۰^{f}	۴/۶۰^{f}	۳/۷۰^{c}	۰/۲۷^{d}	۲/۴۰^{bc}	۲/۲۰^{de}	۱/۱۶^{d}
A_0N_3	۲/۵۰^{f}	۴/۴۰^{f}	۳/۱۰^{e}	۰/۲۲^{f}	۲/۰۰^{c}	۲/۲۰^{de}	۱/۰۵^{e}
A_1N_1	۲/۶۶^{f}	۴/۹۰^{ef}	۶/۶۰^{b}	۰/۲۹^{d}	۲/۶۳^{b}	۲/۷۰^{d}	۱/۷۷^{cd}
A_1N_2	۳/۵۰^{de}	۵/۳۰^{e}	۵/۵۰^{bc}	۰/۳۸^{d}	۲/۵۰^{bc}	۴/۶۰^{b}	۱/۲۳^{d}
A_1N_3	۴/۰۰^{d}	۴/۴۰^{f}	۵/۰۰^{bc}	۰/۳۵^{d}	۲/۵۰^{bc}	۳/۱۰^{cd}	۱/۱۶^{d}
A_2N_1	۳/۶۶^{de}	۶/۲۰^{d}	۷/۰۰^{b}	۰/۶۱^{b}	۲/۷۰^{b}	۳/۹۰^{c}	۱/۲۳^{d}
A_2N_2	۵/۰۰^{c}	۷/۲۰^{c}	۷/۸۰^{ab}	۰/۶۸^{ab}	۳/۳۳^{ab}	۳/۸۰^{c}	۲/۸۶^{bc}
A_2N_3	۴/۰۰^{d}	۵/۳۰^{e}	۷/۷۰^{ab}	۰/۳۸^{d}	۲/۹۳^{ab}	۵/۰۰^{b}	۲/۸۳^{bc}
A_3N_1	۶/۳۳^{b}	۷/۴۰^{b}	۶/۴۰^{b}	۰/۴۱^{c}	۳/۰۰^{ab}	۴/۷۰^{b}	۱/۹۱^{cd}
A_3N_2	۷/۳۰^{a}	۷/۹۰^{ab}	۹/۳۱^{a}	۰/۸۰^{a}	۳/۰۰^{ab}	۵/۳۰^{ab}	۳/۱۰^{b}
A_3N_3	۴/۰۰^{d}	۸/۴۰^{a}	۹/۵۱^{a}	۰/۸۰^{a}	۳/۶۸^{a}	۵/۸۰^{a}	۳/۵۴^{a}

*در هر ستون داده‌هایی که دارای یک حرف مشترک هستند، طبق آزمون دانکن در سطح آماری ۵ درصد معنی‌دار نمی‌باشند.

آغاز فاز زایشی و زمان گلدهی: شروع فاز زایشی در بین تیمارهای مختلف به‌طور نسبی دارای تغییرات معنی‌داری بود. ارزیابی ورود به فاز زایشی نشان داد که گیاهان تیمارشده با ۱ میلی‌مولار اسید بوریک در سیستم هایدروپونیک (A_2N_3) با میانگین ۳۱/۳۰ روز، زودتر از سایر تیمارها وارد فاز زایشی شد (جدول ۲). همچنین تیمار A_0N_1 (شاهد) با میانگین ۴۳/۶۰ روز، دارای بیشترین زمان برای رسیدن به فاز زایشی بود (جدول ۲). کاربرد ۱ میلی‌مولار اسید بوریک منجر به تسریع در فرایند گلدهی در مقایسه با سایر تیمارها شد (جدول ۱). با توجه به نتایج مقایسه‌ی میانگین اثر متقابل کاربرد اسید بوریک با غلظت ۱ میلی‌مولار در سیستم کاشت هایدروپونیک (A_2N_3) با میانگین ۴۳/۶۰ روز، بیشترین اثر را در تسریع گلدهی داشت. همچنین گیاهان شاهد (A_0N_1) با میانگین ۵۵/۰۰ روز، دارای بیشترین زمان برای رسیدن به گلدهی بودند (جدول ۲).

تعداد و قطر گل: نتایج حاصل نشان داد که، اختلاف معنی‌داری در تعداد گل در گیاهان تیمارشده با تیمارهای مختلف وجود داشت (جداول ۱ و ۲). گیاهان تحت تیمار A_3N_2 (۲ میلی مولار اسید بوریک و روش تغذیه در بستر کاشت خاکی) با میانگین ۷/۳۰ عدد و گیاهان شاهد (A_0N_1) با میانگین ۱/۹۰ عدد دارای بیشترین و کمترین تعداد گل در گیاه بودند (جدول ۲). قطر یا درشتی گل نیز یکی از صفات تعیین‌کننده‌ی کیفیت ظاهری گل است. نتایج مقایسه‌ی میانگین اثر متقابل گویای آن است که تیمار A_3N_3 (۲ میلی مولار اسید بوریک با روش تغذیه در بستر کاشت هایدروپونیک) با میانگین ۸/۴۰ سانتی‌متر بیشترین قطر گل و تیمار A_0N_1 (شاهد) با میانگین ۳/۶۳ سانتی‌متر دارای کمترین قطر گل بود (جدول ۲).

وزن خشک اندام هوایی و ریشه: تیمارهای A_3N_3 (۲ میلی‌مولار اسید بوریک همراه با تغذیه در بستر کاشت هایدروپونیک (و A_3N_2 (۲ میلی‌مولار اسید بوریک و روش تغذیه در بستر کاشت خاکی (به‌ترتیب با میانگین ۹/۵۱ و ۹/۳۱ گرم دارای بیشترین تأثیر و تیمار A_0N_3(عدم کاربرد اسید بوریک و تغذیه در بستر کاشت هایدروپونیک) با میانگین ۳/۱۰ گرم و تیمار شاهد (A_0N_1) با میانگین ۳/۲۰ گرم کمترین تأثیر را بر وزن خشک اندام هویی داشتند (جدول ۲). طبق نتایج به-دست‌آمده، گیاهان تیمارشده با ۲ میلی‌مولار اسید بوریک با تغذیه در بستر کاشت هایدروپونیک (A_3N_3) و ۲ میلی‌مولار اسید بوریک به روش تغذیه در بستر کاشت خاکی (A_3N_2) با میانگین ۰/۸۰ گرم دارای بیشترین وزن

خشک در ریشه‌های گیاه بودند. همچنین تیمارهای A_0N_1 (شاهد) و A_0N_3 (بدون کاربرد اسید بوریک با تغذیه در بستر کاشت هایدروپونیک) به‌ترتیب با میانگین ۰/۲۳ و ۰/۲۲ کمترین تأثیر را بر وزن خشک ریشه داشتند (جدول ۲).

درجه‌ی بریکس: اثر اصلی دو عامل، اختلاف معنی‌داری بر افزایش درجه‌ی بریکس نداشت (جدول ۱)، اما اثر متقابل داری اختلاف معنی‌داری بود. نتایج مقایسه‌ی میانگین نشان داد که گیاهان تیمارشده با تیمار A_3N_3 (۲ میلی‌مولار اسید بوریک و تغذیه در بستر کاشت هایدروپونیک) با میانگین ۳/۶۸ درصد و تیمار A_0N_3 (بدون کاربرد اسید بوریک با تغذیه در بستر کاشت هایدروپونیک) با میانگین ۲/۰۰ درصد به‌ترتیب دارای بیشترین و کمترین درصد ساکارز بودند (جدول ۲).

کلروفیل برگ و کاروتنوئید گلبرگ: طبق نتایج به‌دست‌آمده، دو عامل اسید بوریک و روش تغذیه و اثر متقابل بین این دو عامل، اختلاف معنی‌داری روی محتوی کلروفیل برگ‌ها داشتند (جداول ۱ و ۲). اسید بوریک با غلظت ۲ میلی‌مولار منجر به افزایش مقدار کلروفیل در برگ شد (جدول ۱). به‌علاوه کاربرد این غلظت از اسید بوریک در سیستم کاشت هایدروپونیک تأثیر مطلوب‌تری بر محتوی کلروفیل برگ در مقایسه با کشت خاکی داشت (جدول ۲). با توجه به نتایج مقایسه‌ی میانگین اثر متقابل، گیاهان تیمارشده با A_0N_1 (شاهد) با میانگین ۲/۰۰ میکروگرم در گرم وزن تر و گیاهان تحت تیمار A_3N_3 (۲ میلی‌مولار اسید بوریک و تغذیه در بستر کاشت هیدروپونیک) با میانگین ۵/۸۰ میکروگرم در گرم وزن تر به‌ترتیب دارای کمترین و بیشترین محتوی کلروفیل در برگ بودند (جدول ۲). دو عامل اسید بوریک و روش تغذیه، اثر معنی‌داری بر محتوی رنگدانه‌ی کاروتنوئید موجود در گلبرگ داشتند (جدول ۱). گیاهان رشدیافته تحت تیمارهای A_0N_1 (شاهد) و A_0N_3 (بدون کاربرد اسید بوریک با تغذیه در بستر کاشت هایدروپونیک) به‌ترتیب با میانگین ۱/۰۰ و ۱/۰۵ میکروگرم بر گرم وزن تر دارای کمترین و تیمار A_3N_3 (۲ میلی‌مولار اسید بوریک با تغذیه در بستر کاشت هایدروپونیک) با میانگین ۳/۵۴ میکروگرم بر گرم وزن تر دارای بیشترین غلظت رنگدانه‌ی کاروتنوئید در گلبرگ بودند (جدول ۲).

مطالعه روی اثر بُـر در گیاهان به‌ویژه گیاهان زینتی بسیار محدود است. عنصر بُـر رشد رویشی گیاهان را تحت تأثیر قرار می‌دهد. مطالعه‌ی حاضر نشان داد که گیاهان رشدیافته در بستر کاشت خاکی و در سطوح بالای اسید بوریک ارتفاع بلندتر و شاخه‌های بیشتری داشتند. نتایج مشابه در سایر گزارش‌ها مشاهده شد (Yang *et al*, 1993; Marschner, 1995). شهابی‌فر و خوش‌نظر (۱۳۸۴) در بررسی سطوح مختلف بر روی کلزا تفاوت معنی‌داری در ارتفاع بوته گزارش کردند. کاربرد اسید بوریک در سطوح بالا، تعداد برگ بیشتری را در گیاهان تیمارشده نسبت به گیاهان شاهد القا می‌کند (Yang *et al*, 1993; Marschner, 1995). این یافته با نتایج مطالعه‌ی حاضر همخوانی دارد. وقتی بُـر به اندازه‌ی کافی وجود نداشته باشد، فرآیند تقسیم سلولی در تمام گیاهان دچار مشکل شده و به طور کامل انجام نمی‌شود (Goubbantini *et al*, 2001). این امر نشان‌دهنده‌ی تقسیم نامنظم و ناقص سلولی و به دنبال آن عدم توسعه‌ی برگ و ضعف برگی است که با کاهش میزان فتوسنتز باعث پایین‌آمدن هیدرات کربن می‌گردد که قطعاً روی فاکتورهای کمی گیاه مؤثر واقع می‌شود (Castro and Sotomayor, 1997). در آزمایشی لولایی و همکاران (۱۳۹۰) گزارش کردند که در اثر محلول‌پاشی اسید بوریک تعداد برگ در بوته‌ی توت فرنگی رقم سیلوا افزایش یافت. محلول بر پاشیده‌شده روی گیاهان به سرعت توسط گل‌ها جذب می‌شود. همچنین بر منجر به افزایش عملکرد گلدهی و رشد گل‌ها و بخش زایشی گیاه می‌شود (Ahmad *et al*, 2009). افزایش عملکرد گلدهی گیاه با کاربرد بُـر می‌تواند به‌علت تأثیر این عنصر بر محتوی کلروفیل، سطح و تعداد برگ و افزایش در رشد رویشی و به‌دنبال آن تسریع در ورود گیاه به فاز گلدهی و زایشی باشد (Tsipouridis *et al*, 2005;

Sotomayor *et al*, 2010). مطالعه روی پرتقال نشان داد که محلول‌پاشی با بُـر باعث افزایش میزان شکوفه، محصول، وزن و قطر میوه‌ها و قند کل شد (Ahmad and Abbdel, 1995). کاربرد اسید بوریک منجر به افزایش رشد رویشی، افزایش تعداد برگ‌ها و توسعه‌ی ریشه می‌شود که افزایش وزن گیاه را به‌همراه خواهد داشت. کمبود بُـر باعث ایجاد حالت چوب‌پنبه‌ای در رگبرگ‌ها و ساقه می‌شود و مغز ساقه شکننده و پوک می‌گردد. این عوامل منجر به کاهش وزن اندام هوایی، به‌ویژه برگ‌ها و ساقه‌ها می‌شود. نتایج به‌دست‌آمده در تحقیق حاضر نشان داد که بیشترین وزن خشک اندام هوایی و ریشه با کاربرد ۲ میلی‌مولار اسید بوریک در روش تغذیه در بستر کاشت خاکی و هایدروپونیک به دست آمد، که با مطالب یبان شده در مورد اثر اسید بوریک انطباق دارد. مطالعه روی گوجه فرنگی مشخص کرد که تیمار گیاه با بُـر، افزایش رشد رویشی و وزن خشک اندام هوایی و ریشه را به‌همراه داشت (Jeanine *et al*, 2003). بُـر سبب انتقال قندها به‌شکل ساکارز در گیاهان می‌شود که علت آن ترکیب قند–بر است که می‌تواند سریع‌تر از قند ساده از غشای تراوای سلول عبور کند (Castro and Sotomayor, 1997; Nyomora and Brown, 1997). محلول‌پاشی بُـر در پرتقال میزان مواد جامد محلول و قند کل را افزایش داد (Ahmad and Abbdel, 1995). آتشی و همکاران (۱۳۹۱) بیان کردند که بُـر نقش عمده‌ای در حرکت ساکارز در درون سلول و انتقال آن در گیاه دارد، و همبستگی مثبتی بین قند محلول و رنگیزه‌ی کاروتنوئید وجود دارد. بر میزان کلروفیل و فتوسنتز را در گیاه افزایش می‌دهد (Yang *et al*, 1993). وقتی بُـر به اندازه‌ی کافی وجود داشته باشد، فرآیند تقسیم سلولی در گیاه به‌طور صحیح و کامل انجام می‌شود (Goubbantini *et al*, 2001)، که منجر به توسعه‌ی برگ‌ها و افزایش میزان فتوسنتز در گیاه می‌شود (Castro and Sotomayor, 1997).

نتیجه‌گیری کلی

افزایش غلظت اسید بوریک منجر به بهبود صفات کمی و کیفی گیاه زینتی جعفری شد. همچنین کاربرد اسید بوریک در بستر کاشت هایدروپونیک و خاکی عملکرد مطلوب‌تری روی این گیاه داشته است. بررسی دقیق‌تر تمامی داده‌های حاصل از نتایج صفات مورد بررسی نشان داد که کاربرد سطوح بالای اسید بوریک در بستر کاشت خاکی برای ارتقای رشد کمی و گلدهی مناسب‌تر است. با توجه به تحقیقات اندک در ارتباط با تأثیر اسید بوریک روی گیاهان زینتی، انجام تحقیقات بیشتر برای مقایسه‌ی تأثیر سطوح مختلف اسید بوریک و روش‌های مختلف تغذیه، در سایر روش‌های کاشت مانند کشت درون‌شیشه‌ای توصیه می‌شود.

منابع

۱- آتشی، ص.، مشایخی، ک.، علیزاده، م. و کامکار، ب. ۱۳۹۰. بررسی تأثیر سطوح مختلف عنصر بُـر بر روی برخی از صفات بیوشیمیایی سیب رقم 'رداسپار'. اولین همایش ملی راهبردهای دستیابی به کشاورزی پایدار، دانشگاه پیام نور استان خوزستان.

۲- سجادی‌نیا، ع.، روستا، ح.ر. و ارشادی، ا. ۱۳۸۹. مقایسه خصوصیات اکوفیزیولوژیکی گیاه فلفل در دو سیستم هیدروپونیک و آکواپونیک. علوم و فنون کشت‌های گلخانه‌ای، ۱: ۷-۱.

۳- شریفی، م.، افیونی، م. و خوشگفتارمنش، ا.ح. ۱۳۸۹. تأثیر لجن فاضلاب، کمپوست زباله شهری و کود گاوی بر رشد و عملکرد و جذب آهن، روی، منگنز و نیکل در گل جعفری. علوم و فنون کشت‌های گلخانه‌ای، ۱: ۵۳-۴۳.

۴- شهابی‌فر، ج. و خوش‌نظر، ر. ۱۳۸۴. بررسی اثرات سطوح مختلف بر و روی بر برخی صفات کمی و کیفی کلزا. هفتمین کنگره علوم باغبانی، ۹۸۹-۹۸۷.

۵- لولایی، ا، مصطفوی، م. و سماوات، س. ۱۳۹۰. بررسی محلول‌پاشی اسید بوریک و کلرید کلسیم بر رشد رویشی و زایشی و انبارمانی توت فرنگی رقم سیلوا. مجله پژوهش‌های علوم گیاهی، ۲۳: ۶۶-۶۰.

6. Abd El-Hameed, Abo-Hamad, Sh. and El-Feky, S. S. 2014. Effect of boron on growth