

تغییر میزان پتاسیم و آهن در دو رقم حساس و به نسبت مقاوم گوجه‌فرنگی آلوده به ویروس ایرانی پیچیدگی بوته چغندرقد

امید عینی گندمانی^{۱*}، مصطفی قنبری^۲ و سعید شفیعی^۳
۱ و ۲. استادیار و دانشجوی سابق کارشناسی ارشد گروه گیاه‌پزشکی، دانشگاه زنجان
۳. استادیار گروه خاک‌شناسی گروه علوم خاک، دانشگاه جیرفت
(تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۴/۲۱ - تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۱۱/۳)

چکیده

ویروس ایرانی پیچیدگی بوته چغندرقد (Beet curly top Iran virus, BCTIV)، یکی از عامل‌های ایجادکننده بیماری پیچیدگی بوته در گوجه‌فرنگی است. بیشتر رقم‌های گوجه‌فرنگی به BCTIV حساس و برخی به نسبت مقاوم گروه‌بندی شده‌اند. از سویی میزان عنصرهای غذایی در رقم‌های مختلف گیاهی با میزان حساسیت یا مقاومت گیاه میزان به یک بیمارگر گیاهی متفاوت است. در این تحقیق میزان عنصرهای غذایی مهم در دو رقم حساس و به نسبت مقاوم گوجه‌فرنگی در پاسخ به آلودگی به BCTIV بر پایه یک طرح کاملاً تصادفی بررسی و غلظت عنصرهای با کمک دستگاه ICP-MS تعیین شد. نتایج نشان داد که از میان پنج عنصر آهن، کلسیم، پتاسیم، منیزیم و فسفر، میزان پتاسیم در رقم به نسبت مقاوم سوپرچیف بیشتر از رقم حساس گروسی لسی است. همچنین میزان تجمع پتاسیم در این رقم پس از آلودگی به‌طور معنی‌داری ($P < 0.05$) افزایش پیدا کرد. برعکس، میزان آهن در رقم حساس گروسی لسی بیشتر از رقم به نسبت مقاوم سوپرچیف تعیین شد که پس از آلودگی به ویروس تنها در رقم حساس گروسی لسی به‌طور معنی‌داری کاهش پیدا کرد. بنابراین گیاهان گوجه‌فرنگی که حاوی میزان بالایی از عنصر پتاسیم بوده و نیز قادر به تجمع این عنصر در اندام‌های هوایی گیاه پس از آلودگی هستند به BCTIV مقاومت بیشتری نشان می‌دهند. همچنین بروز زردی در برگ‌های جوان رقم حساس گروسی لسی پس از آلودگی به ویروس نیز به احتمال مرتبط با کاهش عنصر آهن پس از آلودگی به ویروس در این رقم است.

واژه‌های کلیدی: بکورتوویروس، فیزیولوژی، مقاومت، مواد کانی، ویروس‌های گیاهی.

Modulation of potassium and iron content in susceptible and moderately resistant tomato cultivars infected with *Beet curly top Iran virus* (BCTIV)

Omid Eini Gandomani^{1*}, Mostafa Ghanbari² and Saeid Shafiei³

1. Assistant Professor and Former M. Sc. Student, Department of Plant Protection, University of Zanjan, Zanjan, Iran

3. Assistant Professor, Department of Soil Science, University of Jiroft, Jiroft, Iran

(Received: Jul. 11, 2016 - Accepted: Jan. 22, 2017)

ABSTRACT

Beet curly top Iran virus (BCTIV) is one of the factors causing leaf curl disease in tomato plants. Most tomato cultivars have been grouped as susceptible and some moderate resistant to BCTIV. In addition, the level of minerals varies between susceptible and resistant plants in response to plant pathogens. In this study, the level of key minerals was evaluated using ICP-MS in both susceptible and moderately resistant tomato cultivars in response to infection by BCTIV; based on a completely randomized design. Results showed that among five tested minerals including ion, phosphorus, potassium, calcium and magnesium, the level of potassium was higher in Super Chief, the moderately resistant cultivar, compared to that of Grosse Lisse, as the susceptible cultivar. In addition, the level of potassium accumulation in leaf tissues increased significantly ($P < 0.05$) after virus infection in Super Chief. In contrast, the level of iron was higher in the susceptible cultivar, Grosse Lisse, compared to that of moderately resistant cultivar and the iron level was decreased significantly ($P < 0.05$) in this cultivar after virus infection. Therefore, tomato plants with higher potassium content or capability of accumulating this mineral after virus infection showed resistant/tolerant phenotype to BCTIV infection. In addition, the appearance of yellowing symptom in the young leaves of Grosse Lisse can be explained by the reduction of iron in the infected plants.

Keywords: Becurtovirus, minerals, physiology, plant viruses, resistance.

مقدمه

ویروس ایرانی پیچیدگی بوته چغندرقد (Beet curly top Iran virus)، یکی از مهم‌ترین ویروس‌هایی بوده که در ایران شیوع گسترده‌ای دارد و از کشتزارهای چغندرقد، گوجه‌فرنگی و لوبیا از مناطق مختلف گزارش شده است (Heydarnejad et al., 2007). این ویروس نشانه‌هایی همچون پیچیدگی و فنجان‌ی شدن برگ‌ها، تورم رگبرگ، زردی و کوتولگی بوته را موجب می‌شود. این ویروس از خانواده جمنی‌ویریده (Geminiviridae) و جنس بکورتوویروس (*Becurtovirus*) است و توسط زنجربک (*Circulifer haematoceps*) انتقال می‌یابد (Gharouni et al., 2013). محل افزایش و فعالیت این ویروس در بافت آوندی است. بنابراین با تأثیر بر فعالیت این بافت گیاهی می‌تواند سبب اختلال در انتقال مواد گیاهی شود. مواد کانی برای رشد و توسعه گیاهان و نیز برای ریزجانداران (میکروارگانسیم‌ها) ضروری هستند. مواد کانی ممکن است با اثر گذاشتن بر سوخت‌وساز (متابولیسم) گیاهان شدت بیماری را کاهش بدهند و یا با ایجاد شرایط مطلوب برای بیمارگر (پاتوژن) موجب گسترش بیماری شوند. در واقع هنگامی گیاهی آلوده می‌شود، تغییری در فیزیولوژی گیاه رخ می‌دهد به طوری که روند طبیعی جذب و حرکت مواد کانی و آب مختل می‌شود (Agrios, 2005). اگر بر اثر این اختلال‌ها، مواد کانی در گیاه بی‌حرکت بماند، مسمومیت غذایی (Toxicities) در گیاه نیز رخ می‌دهد و یا اگر مواد کانی از دسترس گیاه خارج شود نوعی کمبود عنصرهای در گیاهان مشاهده می‌شود. تأثیر عنصرها بر میزان افزایش ویروس و حساسیت میزان متفاوت است. به‌عنوان مثال وجود عنصر فسفر، بیماری‌های پیچیدگی و نیز کوتولگی و زردی ویروسی را در جو به شدت کاهش می‌دهد (Huber & Graham, 1999). همچنین پتاسیم بالا ویروس موزاییک توتون را در گیاه کاهش می‌دهد (Ohashi & Matsuoka, 1987) و اگر میزان نیتروژن در گیاه بالا و پتاسیم پایین باشد، ویروس موزاییک توتون نیز شیوع بیشتری پیدا می‌کند (Singh, 1970).

تفاوت اصلی گیاهان حساس و مقاوم، شناسایی بهنگام بیمارگر و فعال‌سازی سریع و مؤثر سازوکارهای

دفاعی گیاه است. همچنین میزان عنصرهای غذایی در رقم‌های مختلف گیاهی با میزان حساسیت یا مقاومت گیاه میزان به یک بیماری ویروسی متفاوت است. در تحقیق پیشین، بیشتر رقم‌های گوجه‌فرنگی به ویروس ایرانی پیچیدگی بوته چغندرقد حساس و شماری به نسبت مقاوم گروه‌بندی شدند (Khoshnazar & Eini, 2016) که بیانگر نبود ژن مقاوم به این ویروس در رقم‌های زراعی گوجه‌فرنگی است. میزان افزایش این ویروس در رقم‌های حساس هشت تا ده برابر میزان آن در رقم‌های به نسبت مقاوم است (Ghanbari et al., 2016). همچنان که رقم‌های زراعی گوجه‌فرنگی، بدون ژن مقاوم به جمنی‌ویروس‌ها هستند (Bian et al., 2007). بنابراین پاسخ متفاوت رقم‌های مختلف گوجه‌فرنگی به این ویروس، بیشتر به شرایط فیزیولوژیک گیاه مرتبط است. از سویی ارتباط میزان عنصرهای غذایی با حساسیت و مقاومت این رقم‌ها به ویروس ایرانی پیچیدگی بوته چغندرقد مشخص نیست. در این تحقیق تفاوت میزان پنج عنصر غذایی در رقم‌های حساس و به نسبت مقاوم گوجه‌فرنگی و نیز تأثیر ویروس بر میزان این عنصرهای در گیاه بررسی شد.

مواد و روش‌ها

کشت و تلقیح گیاهان با ویروس ایرانی پیچیدگی بوته چغندرقد

دو رقم گروسی لیبسی و سوپرچیف که به ترتیب حساس و به نسبت مقاوم به ویروس ایرانی پیچیدگی بوته چغندرقد هستند (Khoshnazar & Eini, 2016). در گلخانه با شرایط رشدی مناسب در گلدان‌های حاوی خاک ماسه، خاک کشتزار و پیت‌ماس به ترتیب به نسبت ۱:۱:۲ کشت شده و در شرایط دمایی 24 ± 4 درجه سلسیوس و ۱۶ ساعت روشنایی و ۸ ساعت تاریکی در گلخانه بدون حشرات ناقل نگهداری شدند. هر رقم در دو تکرار و شامل دوازده گیاه در قالب طرح کامل تصادفی با همسانه بیمارگر ویروس ایرانی پیچیدگی بوته چغندرقد به شرح زیر تلقیح شدند.

گیاهان در مرحله چهار برگ، از محل گره‌های برگ *Agrobacterium tumefaciens* باکتری

روش چاپمن استفاده شد (Chapman, 1961). در نهایت غلظت عنصرهای برگ در عصاره به دست آمده با استفاده از دستگاه ICP-MS (Inductively coupled plasma mass spectrometry) تجزیه شد. داده‌های به دست آمده از آزمایش به کمک نرم افزار SAS تجزیه و برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد استفاده شد.

نتایج و بحث

بروز نشانه‌ها و افزایش ویروس در رقم‌های گوجه‌فرنگی
رقم‌های گوجه‌فرنگی مورد آزمایش پس از ۲۱ روز مایه‌زنی با ویروس ایرانی پیچیدگی بوته چغندر قند واکنش‌های متفاوتی نشان دادند. به طوری که نشانه‌های زردی، پیچیدگی شدید و کوتولگی در رقم گروسی لیزی و نشانه‌های پیچیدگی خفیف و ضخیم شدن جزئی در سوپرچیف مشاهده شد (شکل ۱). بروز این نشانه‌ها در کشتزارهای گوجه‌فرنگی آلوده به ویروس در بررسی‌های پیشین نیز گزارش شده است (Gharouni Kardani *et al.*, 2013).

وجود ویروس در همه گیاهان مایه‌زنی شده با افزایش قطعه‌ای به اندازه ۷۵۳ جفت باز از ژن پروتئین پوششی بررسی شد. نمونه‌ای از نتایج الکتروفورز محصول واکنش زنجیره‌ای پلیمرز در شکل ۲ نشان داده شده است. درصد آلودگی در رقم به نسبت مقاوم سوپرچیف و رقم حساس گروسی لیزی به ترتیب ۷۴/۵ و ۹۱/۵ مشاهده شد (شکل ۳) که بیانگر مؤثر بودن روش تلقیح همسانه بیمارگر ویروس با کمک اگروباکتریوم است. همچنین پایین بودن درصد آلودگی در رقم به نسبت مقاوم سوپرچیف در مقایسه با رقم حساس گروسی لیزی بیانگر مقاومت نسبی این رقم به استقرار این ویروس است. Fatahi *et al.* (2011) نیز درصد بالایی (۸۸-۱۰۰٪) از آلودگی رقم‌های مختلف چغندر قند به ویروس پیچیدگی شدید بوته چغندر قند با استفاده از تلقیح به کمک اگروباکتریوم گزارش کرده‌اند. همچنین آنان بیشترین درصد آلودگی را در رقم‌های حساس به ویروس و کمترین درصد آلودگی را در رقم‌های متحمل مشاهده کردند.

نتایج این آزمایش بیانگر آن است که نشانه‌های

سویه C58 حاوی همسانه بیمارگر ویروس ایرانی پیچیدگی بوته چغندر قند به روش مایه‌زنی اگرواینوکولیشن (Agroinoculation) با استفاده از سرنگ انسولین مایه‌زنی شدند. تهیه همسانه بیمارگر ویروس ایرانی پیچیدگی بوته چغندر قند پیشتر گزارش شده است (Eini *et al.*, 2016).

بررسی افزایش ویروس در گیاهان

از بافت برگ گیاهان مورد آزمایش ۲۱ روز پس از مایه‌زنی نمونه برداری و استخراج دی.ان.ای با استفاده از بافر Gem-CTAB به روش شرح داده شده (Rouhibakhsh *et al.*, 2008) انجام شد. سپس کمیت، کیفیت و خلوص دی.ان.ای با استفاده از دستگاه نانودراپ اندازه‌گیری شد.

به منظور بررسی افزایش ویروس و تعیین غلظت آن در گیاهان آلوده و یافتن اطمینان از نداشتن آلودگی گیاهان شاهد، به کمک واکنش زنجیره‌ای پلیمرز و جفت آغازگرهای اختصاصی مربوط به ویروس ایرانی پیچیدگی بوته چغندر قند (BC cp F, BC cp R) به صورت زیر انجام گرفت.

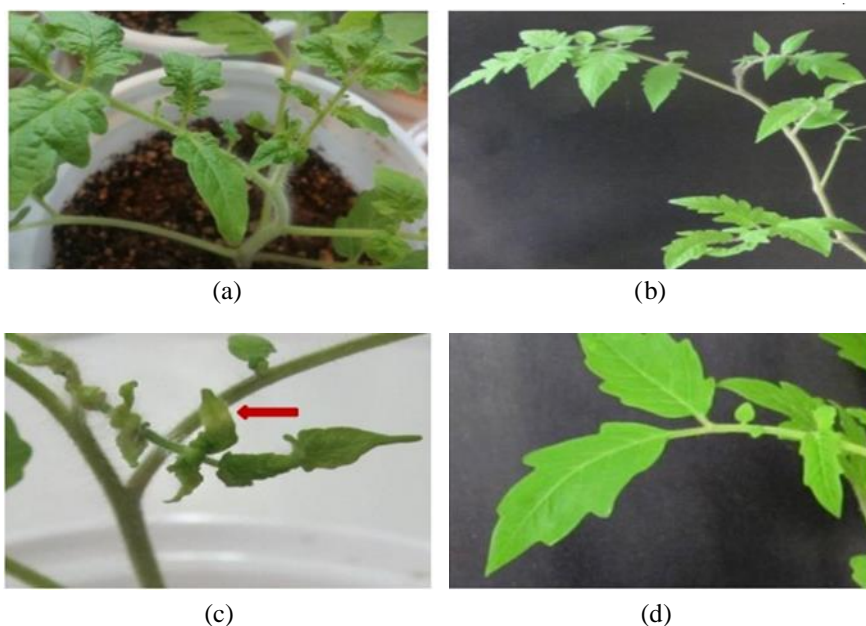
واکنش زنجیره‌ای پلیمرز در حجم ۱۰ میکرولیتر حاوی ۵ میکرولیتر مسترمیکس (شرکت سیناکلون)، ۵ پیکومول از آغازگرهای پیشرو و معکوس و ۱۰۰ نانوگرم از دی.ان.ای تهیه شده در دستگاه ترموسایکلر با برنامه دمایی شرکت سازنده این واکنش انجام گرفت. یک چرخه ۹۵ سلسیوس به مدت دو دقیقه به عنوان واسرشت‌سازی آغازین و به دنبال آن ۳۵ چرخه متشکل از ۹۳ درجه سلسیوس، ۵۰ درجه سلسیوس و ۷۲ درجه سلسیوس هر کدام به مدت سی ثانیه و در نهایت یک چرخه ۷۲ درجه سلسیوس به مدت پنج دقیقه به عنوان تکمیل کننده این واکنش انجام شد.

اندازه‌گیری عنصرها در گیاه

با توجه به نتایج واکنش زنجیره‌ای پلیمرز بافت برگ گیاهان مورد بررسی در ۲۱ روز پس از تلقیح از گیاهان تیمار شده و شاهد سوپرچیف و گروسی لیزی تهیه و برای اندازه‌گیری عنصرهای مورد آزمایش از

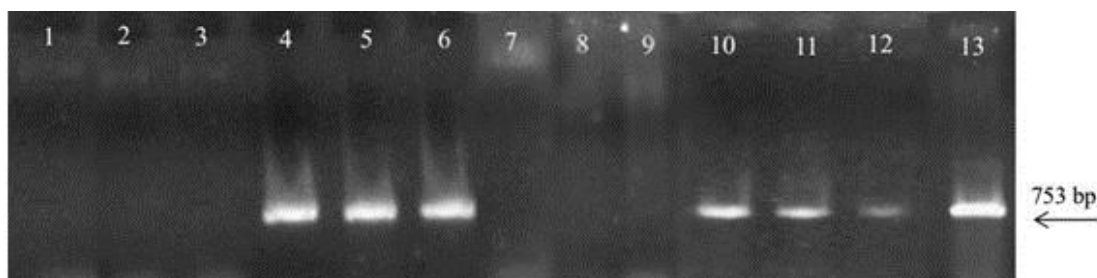
سوپرچیف است (شکل ۲). تعیین دقیق میزان افزایش ویروس در این دو رقم با کمک روش زنجیره‌ای پلیمرز کمی (Quantitative PCR) نیز تأییدکننده میزان بالای (هشت برابر) تجمع ویروس در رقم حساس گروسی لیسسی است (Khoshnazar & Eini, 2016).

بیماری در رقم‌های حساس مثل گروسی لیسسی سه تا شش روز زودتر بروز می‌کند و میزان تجمع ویروس در رقم حساس گروسی لیسسی با توجه به استفاده میزان یکسان DNA (۲۰۰ نانوگرم) در همه واکنش‌های PCR بیشتر از میزان آن در رقم به نسبت مقاوم



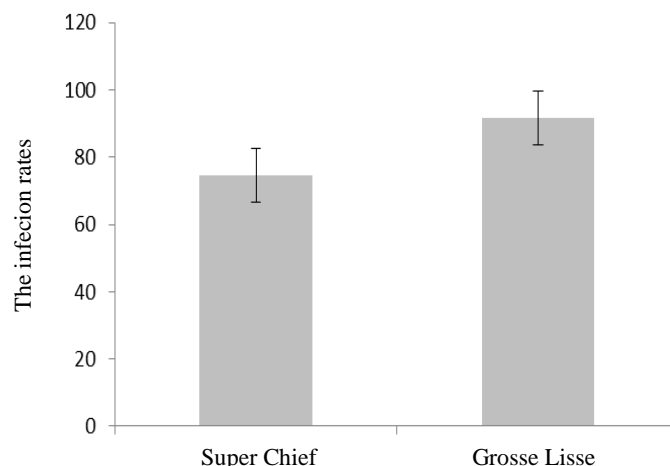
شکل ۱. نشانه‌های بیماری در گیاهان گوجه‌فرنگی آلوده به ویروس ایرانی پیچیدگی بوته چغندرقدند. الف: رقم سوپرچیف آلوده به ویروس که نشانه‌های پیچیدگی خفیف و ضخیم شدن جزئی برگ نشان می‌دهد. ب: رقم سوپرچیف سالم. ج: رقم گروسی آلوده به ویروس که نشانه‌های زردی، پیچیدگی شدید برگ و ریزبرگی نشان می‌دهد. بافت زرد رنگ در برگ جوان با فلش نشان داده شده است. د: رقم گروسی سالم.

Figure 1. Disease symptoms in tomato plants infected with beet curly top Iran virus. A: Super Chief cultivar infected with BCTIV that shows a mild leaf curling symptom and light thickening of leaves, B: Healthy Super chief cultivar, C: Grosse Lisse cultivar infected with BCTIV that show yellowing, severe leaf curling and small leaves. Yellow tissue in young leaves is shown with an arrow, D: Healthy Grosse Lisse cultivar.



شکل ۲. الکتروفورز محصول واکنش پلیمرز زنجیره‌ای با آغازگرهای اختصاصی پروتئین پوششی ویروس ایرانی پیچیدگی بوته چغندرقدند در دو رقم سوپرچیف و گروسی ۲۱ روز پس از آلودگی به ویروس. راهک‌های ۱ تا ۳ و ۶ تا ۹ به ترتیب مربوط به گیاهان سالم و آلوده به ویروس در رقم گروسی لیسسی است. راهک‌های ۷ تا ۹ و ۱۰ تا ۱۲ به ترتیب مربوط به گیاهان سالم و آلوده به ویروس در رقم سوپرچیف است. راهک شماره ۱۳ نشانگر افزایش ژن پروتئین پوششی در کنترل مثبت است.

Figure 2. Electrophoresis of PCR products amplified by specific primers for the coat protein of Beet curly top Iran virus in both susceptible and moderately resistant tomato cultivars 21 days after inoculation. Lanes 1-3 and 6 represent healthy and infected Grosse lisse, respectively. Lanes 7-9 and 10 to 12 represent healthy and infected Super Chief, respectively. Lane 13 shows amplification of coat protein gene in a positive control.



شکل ۳. مقایسه درصد آلودگی به ویروس ایرانی پیچیدگی بوته چغندر قند در رقم‌های گروسی لیزی و سوپرچیف. میله خطا نشان‌دهنده انحراف معیار است.

Figure 3. Comparison between the infection rates of Beet curly top Iran virus in Grosse Lisse and Super Chief cultivars. Error bars show the standard deviations.

نشان نمی‌دهد (جدول ۳). بروز نشانه‌های زردی در برگ‌های جوان رقم گروسی لیزی پس از آلودگی به ویروس نیز تأییدکننده کاهش این عنصر در گیاه است (شکل ۱). بنابراین بالا بودن میزان این عنصر در رقم گروسی لیزی سبب افزایش مقاومت به ویروس نشده ولی آلودگی ویروسی میزان این ویروس را در برگ‌های جوان کاهش می‌دهد که این به دلیل کاهش جذب این عنصر در گیاه آلوده یا انتقال این عنصر از بافت جوان به دیگر بافت‌ها است. آهن تشکیل‌دهنده بسیاری از آنزیم‌های دخیل در سوخت‌وساز گیاه بوده با این حال نقش عنصر آهن در مقاومت گیاه به بیماری کمتر بررسی شده است. در بیماری‌های قارچی نشان داده شده است که آهن می‌تواند شدت بیماری زنگ برگی گندم را کنترل کند یا کاهش بدهد (Graham & Webb, 1991). در گیاه توتون، تنها کمبود شدید آهن سبب کاهش میزان تجمع ویروس موزاییک توتون شده است و دیگر غلظت‌های این عنصر تأثیر مشخصی بر میزان تجمع ویروس نداشته‌اند (Pound & Welkie, 1958)، که این امر نیز بیانگر همبستگی ضعیف بین میزان این عنصر در گیاه و میزان افزایش ویروس است.

پتاسیم در ریخت‌شناختی (مورفولوژی) گیاه، فرایندهای بیوشیمیایی، برخی از فعالیت‌های پروتئینی، فعال‌سازی آنزیم‌ها، سیگنال‌های هورمونی، فعالیت

تأثیر ویروس بر عنصرهای گیاهی

به‌منظور تعیین تفاوت میزان عنصرهای مهم غذایی در رقم‌های حساس و به نسبت مقاوم گوجه‌فرنگی به ویروس ایرانی پیچیدگی بوته چغندر قند و نیز تأثیر آلودگی ویروس بر میزان تجمع این عنصرها در بافت برگ گیاه اندازه‌گیری عنصرهای پتاسیم، کلسیم، منیزیم، فسفر و آهن در برگ‌های جوان در دو رقم گوجه‌فرنگی حساس (گروسی لیزی) و به نسبت مقاوم (سوپرچیف) با استفاده از دستگاه ICP-MS انجام گرفت.

این بررسی نشان داد که رقم گوجه‌فرنگی و همچنین آلودگی به ویروس تنها در میزان تجمع دو عنصر پتاسیم و آهن تأثیرگذار است (جدول ۱). تجمع دیگر عنصرهای مورد بررسی شامل فسفر، منیزیم و کلسیم در برگ‌های دو رقم سوپرچیف و گروسی لیزی تفاوت معنی‌داری نشان نداد. همچنین میزان تجمع این عنصرهای در گیاهان آلوده به ویروس نسبت به گیاهان سالم در هر دو رقم تفاوت معنی‌داری نشان نداد (جدول ۱). عنصر آهن در رقم حساس گروسی لیزی بیشتر از به نسبت مقاوم سوپرچیف است (جدول ۲) درحالی‌که پس از آلودگی با ویروس ایرانی پیچیدگی بوته چغندر قند، این عنصر تنها در گیاه گروسی لیزی به‌طور معنی‌داری کاهش می‌یابد ولی در گیاه سوپرچیف این عنصر تغییر معنی‌داری

است در برگ‌های جوان تجمع پیدا کند. نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد اثر متقابل رقم و سطوح آلودگی و غیر آلودگی بر غلظت پتاسیم در بخش هوایی گیاه در سطح ۵ درصد معنی‌دار بود ولی این اثر بر غلظت کلسیم، منیزیوم، فسفر و آهن در اندام‌های هوایی گیاه غیر معنی‌دار بود (جدول ۱) که این بیانگر ارتباط بالای عنصر پتاسیم با میزان مقاومت در رقم سوپرچیف است.

کلسیم به شکل پکتات بخش اصلی تشکیل‌دهنده دیواره یاخته است، از این رو برای حفظ رشد طبیعی، گیاه به میزان کافی از این عنصر نیاز دارد. یون‌های کلسیم به‌طور معمول پیغام‌رسان‌های مهم در مسیر سیگنال گیاهان و نیز به‌عنوان یک پاسخ فیزیولوژیکی به بیمارگر مطرح هستند (Bush, 1995). تغییر در غلظت کلسیم در پاسخ به سیگنال‌های پرشمار، مانند نور، هورمون، تنش‌های غیرزنده و همچنین محرک‌های زیستی گزارش شده است (Lecourieux et al., 2006).

در این بررسی عنصر کلسیم در رقم به نسبت مقاوم سوپرچیف اندکی بیشتر (غیر معنی‌دار) از رقم حساس گروسی لیزی است که پس از مایه‌زنی با ویروس، میزان آن در هر دو رقم تغییر بارزی پیدا نمی‌کند. اگرچه در گیاه سیب‌زمینی رقم Rywal آلوده به *Potato Virus Y (PVY)* افزایش در غلظت یون کلسیم آزاد در دیواره‌های یاخته‌ای مشاهده شده است که این به خاطر تفاوت در میزان و همچنین نوع ویروس مورد بررسی است. همچنین افزایش غلظت یون کلسیم در گیاه آرابیدوپسیس در پاسخ ایمنی به‌صورت پاسخ بالا حساسیت مرتبط بوده است (Binet et al., 2001; Lecourieux et al., 2002 & 2006). این پدیده در گیاهان آلوده به ویروس ایرانی پیچیدگی بوتۀ چغندر قند مشاهده نشده است.

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد تأثیر اصلی رقم بر غلظت کلسیم، منیزیوم و فسفر در اندام‌های هوایی گیاه غیر معنی‌دار بود (جدول ۱). بنابراین حساسیت یا مقاومت نسبی رقم‌های مورد بررسی به ویروس ایرانی پیچیدگی بوتۀ چغندر قند با میزان این عنصرها مرتبط نیست. همچنان که سطوح آلودگی نیز بر میزان این عنصرهای در گیاه بی‌تأثیر بوده است.

روزنه‌ها و نورساخت (فتوسنتز) نقش دارد (Marschner, 1995; Epstein & Bloom, 2005). همچنین پتاسیم با تأثیر بر مسیرهای دفاعی سیگنال‌های جاسمونیک اسید بر برخی بیماری‌های گیاهی مؤثر است (Schachtman & Shin, 2006). نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد بیشترین غلظت پتاسیم در بخش هوایی گیاه به ترتیب به میزان ۱/۸۳ و ۱/۵۵ درصد از بوت‌های آلوده به ویروس در رقم سوپرچیف و بوت‌های سالم همین رقم به دست آمد (جدول ۳). میزان بالای پتاسیم در رقم به نسبت مقاوم سوپرچیف نسبت به رقم حساس گروسی لیزی (جدول ۲) ممکن است به علت بالا بودن توانایی جذب این عنصر از خاک در رقم به نسبت مقاوم سوپرچیف باشد. جذب متفاوت این عنصر در گیاه بر پایه ویژگی‌های فیزیولوژیکی متفاوت است (Huber & Graham, 1999). برای مثال در سیب‌زمینی شیرین تنوع ژنوتیپی گیاه در جذب عنصرهای تأثیر متفاوتی نشان داده است (George et al., 2002). در بررسی دیگری در پاسخ افتراقی رقم‌های کتان به کاربرد پتاسیم نشان داده شد که برخی از ژنوتیپ‌ها می‌توانند پتاسیم بیشتری از خاک به دست بیاورند و نیز رقم‌های مقاوم در استفاده از پتاسیم کارآمدتر هستند (Zhang et al., 2007). نتایج این بررسی همچنین نشان داد میزان پتاسیم در رقم سوپرچیف آلوده به ویروس به‌طور معنی‌داری ($P < 0.05$) بیشتر از نمونه‌های گیاهی سالم بود ولی در گیاهان آلوده گروسی لیزی به میزان کمی افزایش نشان داد. افزون بر جذب متفاوت این عنصر در گیاه بر پایه ویژگی‌های فیزیولوژیکی و ژنوتیپی، بازده جذب عنصرهای می‌تواند بر اثر عامل‌های بیمارگر نیز متفاوت باشد. برای مثال در برگ‌های جوان آلوده گیاه کتان به ویروس پیچیدگی برگ کتان نیز افزایش پتاسیم مشاهده شده است (Zafar et al., 2010)، که تأییدکننده نتایج به‌دست‌آمده در این پژوهش است. این محققان کاهش حرکت پتاسیم از برگ‌های پیر به برگ‌های جوان را به دلیل پیچیده شدن برگ‌های جوان و انسداد بخشی از سامانه آوندی آن‌ها تفسیر کردند. ویروس پیچیدگی بوتۀ چغندر نیز در بافت آوندی فعالیت می‌کند و باعث هیپرپلازی آوندها می‌شود. بنابراین همانند گیاهان آلوده به پیچیدگی برگ کتان، عنصر پتاسیم در گیاهان آلوده به این ویروس نیز ممکن

جدول ۱. تجزیه واریانس تأثیر رقم‌ها و نیز سطوح آلودگی و غیرآلودگی به ویروس ایرانی پیچیدگی بوته چغندر قند بر غلظت عنصرها در بافت برگ

Table 1. Analysis of variance for the effects of Beet curly top Iran virus infection on the concentration of minerals in leaf

Source of variation	df	Mean of Squares				
		K	Ca	Mg	P	Fe
Cultivar	1	0.0596284*	0.0006394 ^{ns}	0.0021007 ^{ns}	0.00029897 ^{ns}	59583/02 ^{**}
Infection	1	0.047034*	0.0079196 ^{ns}	0.0032373 ^{ns}	0.01544103 ^{ns}	56889.864 ^{**}
Cultivar× Infection	1	0.009257 ^{ns}	0.0014317 ^{ns}	0.0002982 ^{ns}	0.0428393 ^{ns}	68232.8
Error	1	0.004036	0.008406	0.0012094	0.0040362	423.58
Coefficient of variation		7.2	10.0	9.1	7.2	17.6

*, **, ns: اختلاف معنی‌دار در سطح ۵٪ و ۱٪ و عدم وجود اختلاف معنی‌دار.

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

جدول ۲. مقایسه میانگین تأثیر رقم گوجه‌فرنگی سالم بر غلظت عنصرهای غذایی

Table 2. Comparison of means between the effects of tomato cultivars on minerals concentrations

Cultivar	K	Ca	Mg	P	Fe
	%				
	mg/kg				
Super Chief	1.6502 a	0.9199 a	0.3997 a	0.8922 a	187.32 a
Grosse Lisse	1.4275 b	0.8985 a	0.3579 a	0.8764 a	46.39 b

Means with the same letter are not statistically different

جدول ۳. مقایسه میانگین اثر متقابل رقم و سطوح آلودگی ویروسی بر غلظت عنصرهای غذایی

Table 3. Comparison of means between the effects of tomato cultivars and virus infection on minerals concentrations

Cultivar		K	Ca	Mg	P	Fe
		%				
		mg/kg				
Super Chief	Infected	1.8354 a	0.8448 a	0.3554 a	0.9104 a	52.94 a
	Healthy	1.5575 b	0.9575 a	0.4219 a	0.8595 a	39.84 a
Grosse Lisse	Infected	1.4762 bc	0.8759 a	0.3409 a	0.7241 a	43.06 a
	Healthy	1.3783 c	0.9178 a	0.3750 a	1.060 a	331.58 b

Means with the same letter are not statistically different

ایرانی پیچیدگی بوته چغندر قند بر میزان این عنصرها بررسی شد. نتایج نشان داد که بروز نشانه‌های زردی با کاهش میزان آهن در بافت‌های جوان آلوده گیاه مرتبط است. همچنین میزان پتاسیم به‌عنوان یک نشانگر بیانگر مقاومت گیاه به این ویروس است به‌طوری‌که میزان بالای این عنصر در گیاه و نیز تجمع بیشتر آن پس از آلودگی میزبان با مقاومت به این بیماری مرتبط است.

سپاسگزاری

مسئول آزمایشگاه گروه گیاه‌پزشکی و زمین‌شناسی دانشگاه زنجان برای کمک در تجزیه عنصرها، تشکر و قدردانی می‌گردد.

نتیجه‌گیری کلی

گوجه‌فرنگی یکی از مهم‌ترین گیاهانی هست که به علت داشتن انواع ویتامین‌ها، کاروتین‌ها، اسیدهای سودمند، قند و املاح کانی در بسیاری از کشورها کشت می‌شود. ویروس ایرانی پیچیدگی بوته چغندر قند یکی از مهم‌ترین ویروس‌هایی است که امروزه از کشتزارهای گیاهان مختلف از جمله گوجه فرنگی گزارش شده است (Gharouni Kardani *et al.*, 2007). رقم‌های مختلف گوجه‌فرنگی به این بیماری ویروسی واکنش متفاوتی از حساس تا به نسبت مقاوم نشان می‌دهند (Khoshnazar, 2015). در این پژوهش میزان عنصرهای غذایی مهم در دو رقم حساس و به نسبت مقاوم گوجه‌فرنگی و همچنین تأثیر ویروس

REFERECNES

1. Agrios, G. N. (2005). *Plant Pathology*. (5th ed). Academic Press.
2. Bian, X., Thomas, M. R., Rasheed, M. S., Saeed, M., Hanson, P., Barro, P. J. D. & Rezaian, M. A. (2007). A recessive allele (tgr-1) conditioning tomato resistance to geminivirus infection is associated with impaired viral movement. *Phytopathology*, 97, 930-937.
3. Binet, M. N., Humbert, C., Lecourieux, D., Vantard, M. & Pugin, A. (2001). Disruption of microtubular cytoskeleton induced by cryptogin, an elicitor of hypersensitive response in tobacco cells. *Plant Physiology*, 125, 564-572.

4. Bush, D. S. (1995). Calcium regulation in plant cells and its role in signaling. *Annual Review Plant Physiology Plant Molecular Biology*, 46, 95-115.
5. Chapman, H. D. & Pratt, P. F. (1961). Method of analysis for soils, plant and waters. *Soil Science*, 93, 68.
6. Eini, O., Sahraei, G.E. & Behjatnia, S.A.A. (2016). Molecular characterization and construction of an infectious clone of a pepper isolate of Beet curly top Iran virus. *Molecular Biology Research Communications*, 5, 101-113.
7. Epstein, E. & Bloom, A.J. (2005). *Mineral metabolism- mineral nutrition of plants: Principles and perspectives* (2nd ed.). Sinauer Associates, Inc.
8. Fatahi, Z. B., Behjatnia, S. A. A., Afsharifar, A., Hamzehzarghani, H. & Izadpanah, K. (2012). Screening of sugar beet cultivars for resistance to Iranian isolate of beet severe curly top virus using an infectious clone of the virus. *Iranian Journal of Plant Pathology*, 48, 111-121 (In Farsi).
9. George, M.S., Lu, G. & Zhou, W. (2002). Genotypic variation for potassium uptake and utilization efficiency in sweet potato (*Ipomoea batatas* L), *Field Crops Research*, 77, 7-15.
10. Ghanbari, M., Eini, O. & Ebrahimi, S. (2016). Differential expression of *MYB33* and *AP2* genes and response of *TY* resistant plants to beet curly top Iran virus infection in tomato. *Journal of Plant Pathology*, 98, 555-562.
11. Gharouni Kardani, S., Heydarnejad, J., Zakiaghl, M., Mehrvar, M., Kraberger, S. & Varsani, A. (2013). Diversity of Beet Curly top Iran virus isolated from different hosts in Iran. *Virus Genes*, 46, 571-575.
12. Graham, D. R. & Webb, M. J. (1991). Micronutrients and disease resistance and tolerance in plants, In: F.R. Mortvedt, L.M. Shuman & R. M., Welch (Ed.), *Micronutrients in Agriculture*. (pp. 329-370) Wisconsin.
13. Heydarnejad, J., Hosseini Abhari, E., Bolok Yazdi, H. R. & Massumi, H. (2007). Curly top of cultivated plants and weeds and report of a unique curtovirus from Iran. *Journal of Phytopathology*, 155, 321-325.
14. Huber, D. M. & Graham, R. D. (1999). The role of nutrition in crop resistance and tolerance to diseases: Fundamental Mechanisms and Implications. In: Z. Rengel (Ed.) *Mineral Nutrition of Crops Food Products*. (pp. 169-206) The Haworth Press.
15. Khoshnazar, F. & Eini, O. (2016). Response of tomato cultivars to agroinfection with beet curly top Iran virus. *Journal of Crop Protection*, 5, 473-482.
16. Lecourieux, D., Mazars, C., Pauly, N., Ranjeva, R. & Pugin, A. (2002). Analysis and effects of cytosolic free calcium increases in response to elicitors in *Nicotiana plumbaginifolia* cells. *Plant Cell*, 14, 2627-2641.
17. Lecourieux, D., Ranjeva, R. & Pugin, A. (2006). Calcium in plant defense-signaling pathways. *New Phytologist*, 171, 249-269.
18. Marschner, H. (1995). *Mineral Nutrition of Higher Plants*. (2nd ed.) Academic Press.
19. Ohashi, Y. & Matsuoka, M. (1987). Localization of pathogenesis-related proteins in the epidermis and intercellular spaces of tobacco-leaves after their induction by potassium salicylate or tobacco mosaic-virus infection. *Plant Cell Physiology*, 28, 1227-1235.
20. Pound, G. S. & Welkie, G. W. (1958). Iron nutrition of *Nicotiana tabacum* L. in relation to multiplication of tobacco mosaic virus. *Virology*, 5, 371-381.
21. Rouhibakhsh, A., Priya, J., Periasamy, M., Haq, Q. & Malathi, V. (2008). An improved DNA isolation method and PCR protocol for efficient detection of multicomponent of begomovirus in legumes. *Journal of Virological methods*, 147, 37-42.
22. Schachtman, D. P. & Shin, R. (2006). Nutrient sensing and signaling: NPKS. *Annual Review in Plant Biology*, 58, 47-69.
23. Singh, R. (1970). Influence of nitrogen supply on host susceptibility to tobacco mosaic virus infection, *Phyton-Annales Rei Botanicae*, 14, 37-42.
24. Zafar, Z.U., Athar, H. R. & Ashraf, M. (2010). Responses of two cotton (*Gossypium hirsutum* L.) cultivars differing in resistance to leaf curl virus disease to nitrogen nutrition. *Pakistan Journal of Botany*, 42, 2085-2094.
25. Zhang, Z. X., Tian, L., Duan, B., Wang, Z. & Li, Z. (2007). Differential responses of conventional and Bt-transgenic cotton to potassium deficiency. *Journal of Plant Nutrition*, 30(77), 7-15.