مقایسه بتاآمینوبوتیریک اسید، سالسیلیک اسید و آبسیزیک اسید در القاء مقاومت در گوجه‌فرنگی آلوده به *Meloidogyne incognita*[*]

COMPARISON OF DL-*B*-AMINO-N-BUTYRIC ACID, SALICYLIC ACID AND ABSCISIC ACID IN INDUCTION OF RESISTANCE IN TOMATO INFECTED BY *MELOIDOGYNE INCOGNITA*

حبیب‌اله چاره‌گانی[۱]، اکبر کارگربیده[۱**] و محمد جواهری[۱]

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۹/۱۰؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۳/۴)

چکیده

به منظور بررسی تأثیرسطوح مختلف سه ترکیب شیمیایی مؤثر در القاء مقاومت سیستمیک شامل بتاآمینوبوتیریک اسید (BABA)، سالیسیلیک‌اسید (SA) و آبسیزیک‌اسید (ABA) در القاء مقاومت در گوجه‌فرنگی آلوده به نماتود ریشه گرهی، *Meloidogyne incognita*، آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار در شرایط کنترل شده (۱۶ ساعت روشنایی با دمای ۳۰°C و هشت ساعت تاریکی با دمای ۲۵°C) انجام پذیرفت. بدین منظور گیاهان گوجه‌فرنگی رقم Moneymaker در مرحله چهار برگی، با سطوح صفر، ۰/۲۵، ۰/۵ و ۱ میلی‌مولار از SA و BABA به دو صورت محلول‌پاشی برگی و خیساندن خاک و سطوح صفر، ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ میکرومولار از ABA به صورت محلول‌پاشی برگی تیمار گردیدند. پس از گذشت ۲۴ ساعت، گیاهان با ۱/۳ لارو سن دوم در گرم خاک مایه‌زنی شدند. ۳۰ روز بعد از مایه‌زنی، شاخص‌های رویشی گیاه و نماتود مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که سطوح مختلف القاءگرهای مورد استفاده تأثیر چندانی بر شاخص‌های رشدی گیاه نداشتند، اما باعث کاهش معنی‌دار شاخص‌های تکثیری نماتود شامل تعداد گال، کیسه تخم، تعداد تخم در درون هر کیسه تخم، تعداد کل تخم درون ریشه، و فاکتور تولیدمثل در گیاهان تیمار شده با القاءگر نسبت به گیاهان شاهد گردیدند. فاکتور تولیدمثل در گیاهان تیمار شده با غلظت ۰/۵ میلی‌مولار از SA و BABA به صورت محلول‌پاشی برگی نسبت به گیاهان شاهد در حدود ۶۰٪ و در گیاهان محلول‌پاشی برگی شده با غلظت ۱۰۰ میلی‌مولار از ABA نسبت به گیاهان شاهد، در حدود ۱۷٪ کاهش پیدا کرد. این نتایج نشان می‌دهد که می‌توان از القاءگرهای SA، BABA وABA جهت کنترل نماتود ریشه گرهی، *M. incognita*، در گوجه‌فرنگی استفاده کرد.

کلیدواژه: آبسیزیک اسید، بتاآمینوبوتیریک اسید، سالیسیلیک اسید، مقاومت القایی، *Meloidogyne incognita*

---

* بخشی از تز دکترای نگارندهٔ اول، ارائه‌شده به دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز.

** نویسنده مسئول، پست الکترونیک: karegar@shirazu.ac.ir

۱- به ترتیب دانشجوی دکتری، دانشیار و استادیار بیماری‌شناسی گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز.

مقدمه

تاکنون انواع مختلفی از مقاومت گیاهان علیه بیمارگرهای گیاهی شناخته شده است که می‌توان به مقاومت غیرمیزبانی، مقاومت وابسته به R-genes و مقاومت ذاتی گیاه (basal) اشاره کرد. در مقاومت ذاتی، بعضی هورمون‌های گیاهی مانند اتیلن (Ethylene, ET)، جاسمونیک اسید (Jasmonic acid, JA)، سالیسیلیک اسید (Salicylic acid, SA) و آبسیزیک اسید (Abscisic acid, ABA) نقش اساسی دارند (Glazebrook 2005; Verhagen *et al*. 2006). بخشی از مقاومت ذاتی که در گیاه سالم فعال نیست، مقاومت القایی Induced resistance, IR) است. مقاومت القایی به وسیله‌ی عوامل زنده یا غیرزنده در گیاه فعال می‌شود. از انواع مهم مقاومت القایی، مقاومت سیستمیک اکتسابی Systemic acquired resistance (SAR) و مقاومت سیستمیک القایی Induced systemic resistance (ISR) می‌باشد (Walteres *et al*. 2009; Buonaurio *et al*. 2009). مقاومت سیستمیک اکتسابی به دنبال یک آلودگی قبلی موضعی با یک بیمارگر نکروزه‌کننده یا از طریق تیمار با عوامل شیمیایی مختلف از جمله SA و ABA ایجاد می‌شود (Ryals*et al*. 1996; Walteres *et al*. 2009). القای SAR با افزایش موضعی و سیستمیک SA همراه است. همچنین بیان گروهی از ژن‌های مرتبط با بیماری‌زایی از جمله PR_1، PR_2 و PR_5 همراه با پاسخ‌های دفاعی وابسته به SA دیده شده است (Ward *et al*. 1991; Van loon 1997; Mauch-Mani &Metraux 2005).

بتاآمینوبوتیریک اسید (BABA) یک آمینواسید غیرپروتئینی مصنوعی (synthetic) است، که باعث القای مقاومت در گیاه (BABA-IR) می‌شود. این نوع مقاومت دفاع طبیعی گیاه و مکانیسم‌های داخلی گیاه را به کار می‌گیرد (Buonaurio *et al*. 2009). در این فرآیند مسیرهای انتقال سیگنال وابسته به هورمون‌های ABA و SA نقش اصلی را ایفاء می‌کنند. آبسیزیک اسید باعث افزایش ایجاد کالوز در گیاه علیه بیمارگرهای قارچی و اواومیست‌ها می‌شود (Ton &Mauch-Mani 2004; Ton *et al*.2005). همچنین افزایش ABA موجب بسته شدن روزنه‌ها و افزایش تحمل گیاه در مقابل تنش‌های خشکی و شوری می‌شود. BABA-IR در گیاهان علیه طیف وسیعی از بیمارگرهای بیوتروف، نکروتروف و همی‌بیوتروف و حتی تنش‌های غیرزیستی مانند تنش خشکی و شوری مؤثر می‌باشد (Buonaurio *et al*. 2009).

ترکیبات شیمیایی القاءکننده مقاومت گیاهان به عوامل بیماری‌زا، فاقد اثرات مخرب زیست محیطی می‌باشند و به همین دلیل اخیراً استفاده از آن‌ها به عنوان یک روش کنترلی مناسب، مورد توجه قرار گرفته است . نقش برخی از ترکیبات شیمیایی شامل SA، متیل جاسمونات (MeJA) و BABA بوده به عنوان القاءکننده‌های مقاومت در گیاهان علیه عوامل بیماری‌زای گیاهی مختلف به اثبات رسیده است (Buonaurio *et al*. 2009).

نماتودهای ریشه گرهی (*Meloidogyne* spp.) به عنوان مهم‌ترین نماتودهای انگل گیاهی در سطح جهان شناخته شده‌اند. این عوامل باعث کاهش حدود ۵٪ از محصولات کشاورزی در سطح جهان شده و یکی از عمده‌ترین موانع تولید غذای مناسب در بسیاری از کشورهای در حال توسعه می‌باشد. بر اساس گزارش‌های مختلف، نماتودهای ریشه‌گرهی تا بیش از ۵۰٪ به گوجه‌فرنگی (*Lycopersicon esculentum* Mill.) خسارت می‌زنند (Natarajan *et al*. 2006).

در مطالعه‌ای استفاده از القاءگرهای MeJA و SA روی ریشه گوجه‌فرنگی، باعث کاهش تعداد گال‌های *M.*

*incognita*گردید (Mohamed 2010). در تحقیقی دیگر افزودن سالسیلیک اسید به خاک باعث کاهش ۵۰ درصدی تولیدمثل نماتود*M. Incognita* و کاهش ۵۰ تا ۷۰ درصدی تعداد کیسه تخم شده است (Molinari & Baser 2010). استفاده از القاءگرهای شیمیایی BABA وSA و باکتری*Pseudomonasfluorescens* CHA0، باعث کاهش تعداد گال، کیسه تخم و تخم نماتود در ریشه گوجه‌فرنگی آلوده به *Meloidogyne javanica*گردید (Sahebani & Hadavi, 2009). هدف از انجام این تحقیق بررسی اثر غلظت‌های مختلف SA، ABA و BABA در ایجاد مقاومت سیستمیک القایی در گوجه‌فرنگی آلوده به نماتود ریشه گرهی *M. incognita* بود.

مواد و روش‌ها

تهیه لارو سن دوم نماتود

نماتود ریشه‌گرهی *M. incognita* بر روی ریشه گوجه‌فرنگی رقم Early-Urbana در شرایط گلخانه تکثیر گردید. سپس جهت استخراج تخم‌های نماتود، ریشه آلوده با استفاده از محلول ۰/۵٪ هیپوکلریت سدیم مخلوط گردید. جهت تفریخ تخم‌ها و تهیه لارو سن دوم نماتود، سوسپانسیون تخم به مدت چهار روز داخل انکوباتور با دمای ۲۸°C قرار داده شد (Hussey & Barker 1973).

تهیه گیاه

بذر گوجه‌فرنگی رقم Moneymaker درون گلدان‌های پلاستیکی یک کیلوگرمی حاوی پیت‌ماس و ماسه به نسبت مساوی کشت گردید و گلدان‌ها در شرایط اتاق کشت (۱۶ ساعت روشنایی با دمای ۳۰°C و هشت ساعت تاریکی با دمای ۲۵°C) قرار داده شدند. گیاهان به طور روزانه آبیاری و به طور هفتگی با کود شیمیایی N-P-K (۲۰-۲۰-۲۰) با غلظت سه در هزار به میزان ۲۰ میلی‌لیتر برای هر گیاه تغذیه شدند. بعد از ۳۰ روز و پس از رسیدن به مرحله چهار برگی، گیاهان به وسیله مقادیر مشخص شده القاءگرها، به دو روش محلول‌پاشی برگی یا خیساندن خاک تیمار شدند. ۲۴ ساعت پس از استفاده از القاءگرها، خاک گیاهانی که به عنوان تیمار نماتودی در نظر گرفته شده بودند، با۱۳۰۰ لارو سن دوم نماتود (۱/۳ در گرم خاک) مایه‌زنی گردید. جهت مایه‌زنی نماتود، سوسپانسون لارو نماتود در عمق دو سانتی‌متری اطراف ساقه گیاه ریخته و حفره ایجاد شده با خاک پوشانده شد.

بررسی تأثیر القاءگرها بر گیاه و جمعیت نماتود

در این آزمون از القاءگرهای شیمیایی SA و BABA در غلظت‌های صفر، ۰/۲۵، ۰/۵ و ۱ میلی‌مولار (۱ میلی‌لیتر به صورت محلول‌پاشی برگی و ۱۰ میلی‌لیتر به صورت خیساندن خاک)، همچنین ABA با غلظت‌های صفر، ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ میکرومولار (۱ میلی‌لیتر به صورت محلول‌پاشی برگی) استفاده گردید. تیمارها شامل SA، SA+Nematode، ABA، ABA+Nematode، BABA، BABA+Nematode، Nematode و شاهد بودند که برای هر کدام سه تکرار در نظر گرفته شد. پس از ۳۰ روز، گیاهان برداشت شده و شاخص‌های رشدی گیاه شامل طول، وزن تر و خشک اندام هوایی، تعداد ساقه، تعداد برگ و وزن تر ریشه و شاخص‌های تکثیری نماتود شامل تعداد تخم، گال و کیسه تخم در ریشه، تعداد تخم در کیسه تخم و فاکتور تولیدمثل مورد ارزیابی قرار گرفتند.

بررسی تأثیر محلول‌پاشی برگی BABA بر سنین مختلف نماتود

در این آزمون گیاهانی که به روش قبل پرورش داده

شده بودند، در مرحله چهار برگی با محلول یک میلی‌مولار BABA به میزان یک میلی‌لیتر برای هر گیاه محلول‌پاشی برگی شدند. پس از گذشت ۴۸ ساعت، بوته‌ها با ۳۵۰۰ تخم نماتود مایه‌زنی گردیدند. گیاهان شاهد تنها با نماتود مایه‌زنی شدند. هفت روز پس از محلول‌پاشی برگی اول، نیمی از گیاهان مجدداً محلول‌پاشی گردیدند. هفت، ۱۴ و ۲۱ روز پس از مایه‌زنی نماتود، برداشت گیاهان و بررسی نماتودها درون بافت ریشه انجام گرفت. برای این منظور ریشه با استفاده از محلول اسید فوکسین ۱٪ رنگ‌آمیزی شده و با کمک استرئومیکروسکوپ، لاروهای نماتود درون بافت ریشه با استفاده از سوزن خارج گردیده و در یک قطره کوچک آب روی لام میکروسکوپی قرار داده شدند. سپس یک لامل روی قطره آب قرار داده و با استفاده از میکروسکوپ سن لارو نماتود تشخیص داده شد (Karssen2002). این عمل برای تمامی نماتودها درون بافت ریشه به صورت مجزا انجام پذیرفت. همچنین تعداد نماتود در هر کدام از سنین لاروی یا بلوغ در تمامی ریشه‌ها شمارش گردید.

آنالیز آماری

آنالیز تجزیه واریانس داده‌ها (ANOVA) با استفاده از نرم‌افزار SAS انجام پذیرفت و میانگین‌ها با استفاده از روش دانکن مورد مقایسه قرار گرفتند (P= 0.05) (Littell *et al.*, 1996).

نتایج

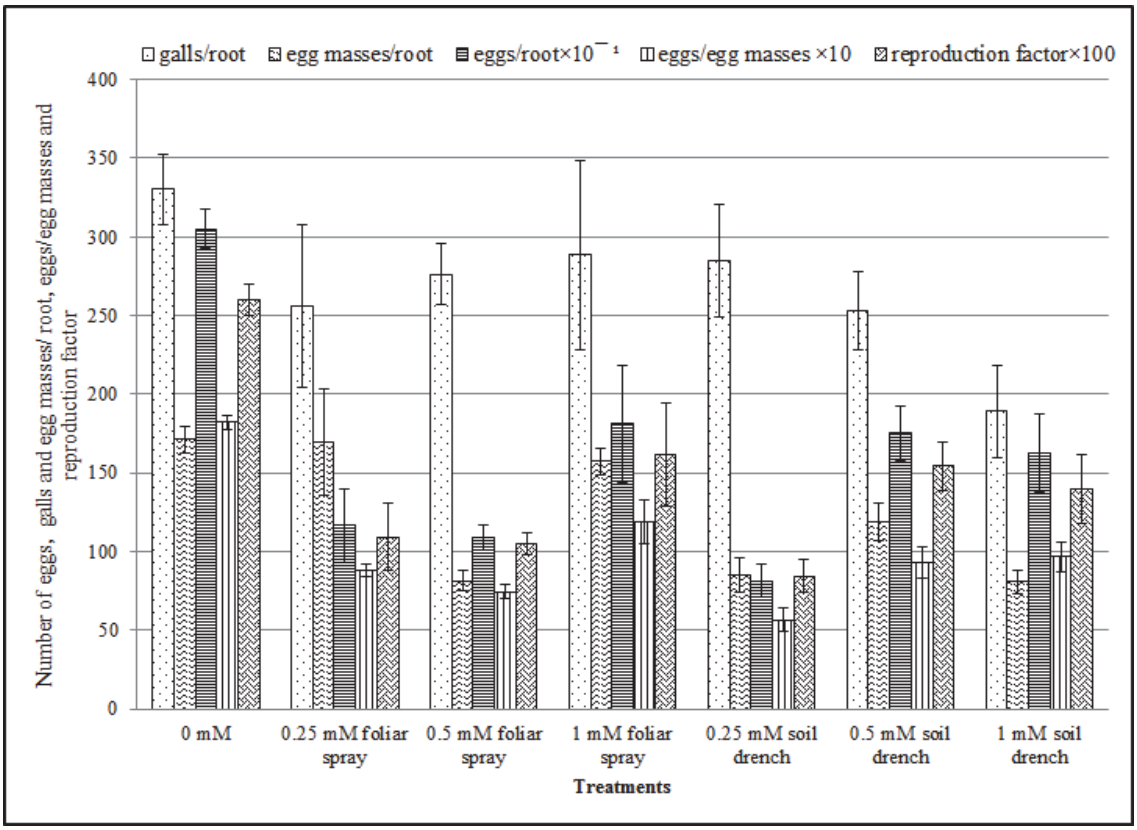
تأثیر القاءگرهای شیمیایی بر فاکتورهای رشدی گوجه‌فرنگی

غلظت‌های مورد استفاده از القاءگرهای SA، ABA و BABA هیچ نوع گیاه‌سوزی نشده و استفاده از آن‌ها روی شاخص‌های رشدی گیاه تأثیر چندانی نداشت. در جداول ۱، ۲ و ۳، شاخص‌های رشدی گیاه که دارای اختلافات معنی‌دار با یکدیگر بودند مشخص شده است.

اثر القاءگرها بر نماتود

تأثیر محلول‌پاشی برگی و خیساندن خاک با سطوح ۰/۲۵، ۰/۵ و یک میلی‌مولار از سالیسیلیک اسید بر شاخص‌های نماتودی در شکل (۱) ارائه شده است. نتایج نشان می‌دهد که تعداد گال نماتود در ریشه در تمامی تیمارها، به جز تیمار یک میلی‌مولار سالیسیلیک اسید به صورت خیساندن خاک، اختلاف معنی‌داری با شاهد نداشتند (P= 0.05). تعداد کیسه تخم در ریشه در تمامی تیمارها به جز تیمار ۰/۲۵ و یک میلی‌مولار سالیسیلیک اسید به صورت محلول‌پاشی برگی، نسبت به شاهد کاهش معنی‌دار پیدا کردند (P= 0.05). سالیسیلیک اسید در تمامی موارد باعث کاهش معنی‌دار در تعداد تخم درون ریشه، تعداد تخم درون کیسه تخم و فاکتور تولیدمثل نماتود نسبت به شاهد شد (P= 0.05).

تأثیر محلول‌پاشی برگی و خیساندن خاک با سطوح مختلف BABA بر شاخص‌های نماتودی در شکل (۲) ارائه شده است. نتایج نشان داد که تعداد گال در ریشه در تمامی تیمارها به جز تیمار ۰/۲۵ به صورت محلول‌پاشی برگی، نسبت به شاهد کاهش معنی‌دار پیدا کردند (P= 0.05). کمترین تعداد کیسه تخم در تیمارهای ۰/۵ میلی‌مولار از BABA در هر دو روش تیمار القاءگر و همچنین تیمار یک میلی‌مولار به صورت محلول‌پاشی برگی بود که این کاهش نسبت به شاهد معنی‌دار می‌باشد (P= 0.05). تعداد تخم در ریشه و فاکتور تولیدمثل تنها در تیمارهای ۰/۲۵ به صورت محلول‌پاشی برگی و یک



شکل ۱: تأثیر غلظت‌های مختلف سالیسیلیک اسید بر شاخص‌های *Meloidogyne incognita* در ریشه گوجه‌فرنگی رقم Moneymaker، ۳۰ روز پس از مایه‌زنی.

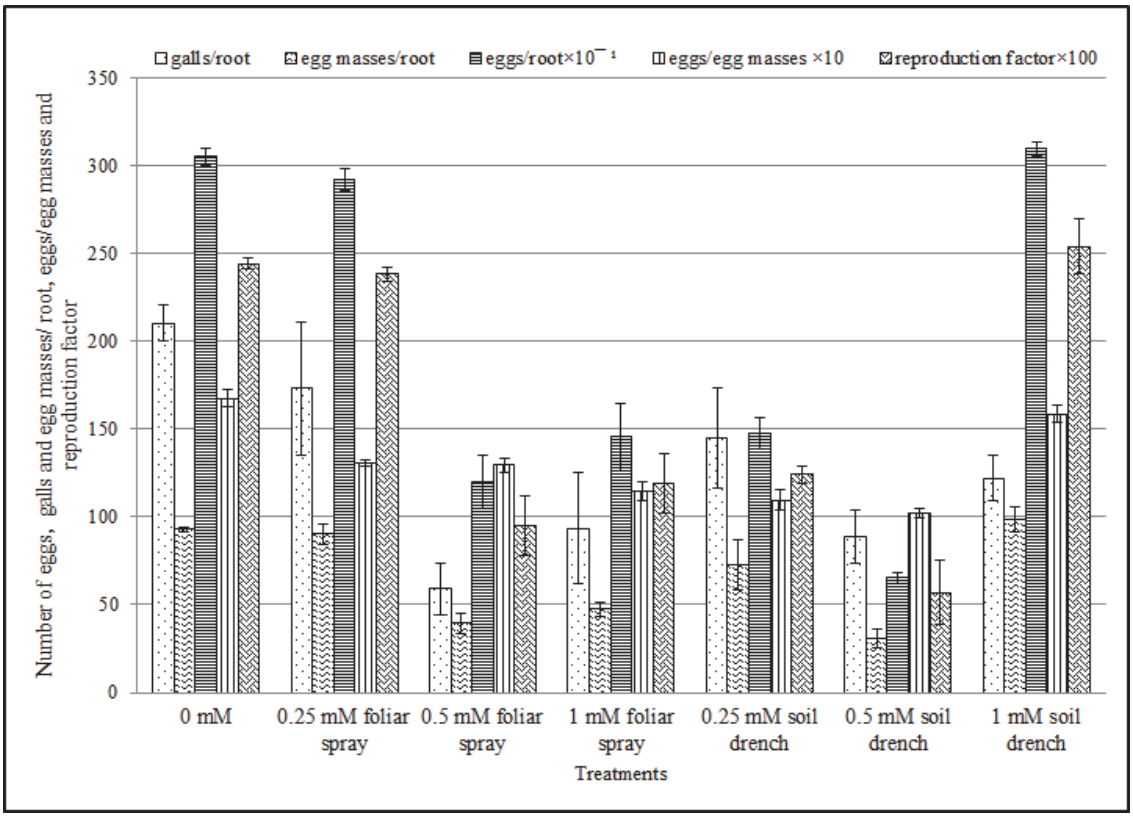
Fig. 1.Effect of different levels of salicylic acid on indices of *Meloidogyne incognita* on tomato, cultivar Moneymaker, 30 days after inoculation.

میلی‌مولار به صورت خیساندن خاک از BABA، نسبت به شاهد اختلاف معنی‌دار نداشتند. اما در سایر تیمارها کاهش معنی‌داری در این شاخص‌ها مشاهده گردید ($P= 0.05$). تعداد تخم درون کیسه تخم تنها در تیمار خیساندن خاک با غلظت یک میلی‌مولار از BABA، نسبت به شاهد کاهش معنی‌دار نشان نداد ($P= 0.05$).

تأثیر محلول‌پاشی برگی با سطوح مختلف ABA بر شاخص‌های نماتودی در شکل (۳) ارائه شده است. نتایج نشان داد که محلول‌پاشی برگی ABA با غلظت ۱۰۰ میکرومولار باعث کاهش معنی‌دار در فاکتور تولیدمثل و تعداد تخم درون ریشه نسبت به سایر تیمارها گردیده است ($P= 0.05$). تعداد تخم درون کیسه تخم و همچنین تعداد گال و کیسه تخم درون ریشه در تمامی تیمارها نسبت به شاهد، کاهش معنی‌دار پیدا کردند ($P= 0.05$).

تأثیر BABA بر سرعت رشد و نمو نماتود

محلول‌پاشی برگی BABA با غلظت یک میلی‌مولار به میزان یک میلی‌لیتر برای هر گیاه و تکرار محلول‌پاشی BABA هفت روز پس از محلول‌پاشی اولیه نشان داد که BABA، ۷، ۱۴ و ۲۱ روز پس از مایه‌زنی نماتود باعث کاهش نفوذ لاروهای سن دوم به درون بافت ریشه شده است. از طرف دیگر با گذشت زمان، تعداد نماتود درون بافت ریشه افزایش پیدا کرد که این نشان‌دهنده تأخیر در نفوذ لاروهای سن دو به درون بافت ریشه می‌باشد.



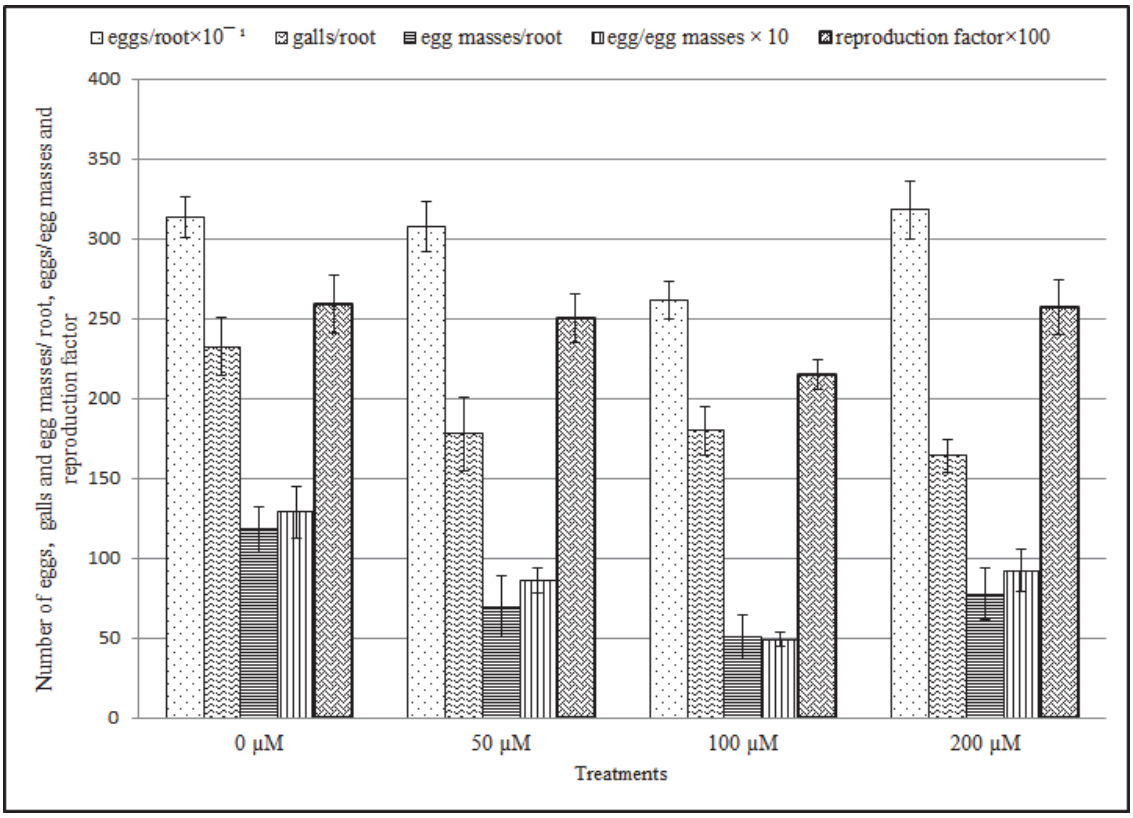
شکل ۲: تأثیر غلظت‌های مختلف بتاآمینوبوتیریک اسید بر شاخص‌های *Meloidogyne incognita* در ریشه گوجه‌فرنگی رقم Moneymaker، ۳۰ روز پس از مایه‌زنی.

Fig. 2.Effect of different levels of DL-*β*-amino-n-butyric acid on indices of *Meloidogyne incognita* on tomato, cultivar Moneymaker, 30 days after inoculation.

همچنین سرعت رشد نماتود درون بافت ریشه کاهش پیدا کرده و مدت زمان طی هر مرحله لاروی نماتود نسبت به حالت عدم استفاده از BABA افزایش معنی‌داری پیدا کرده است (شکل ۴).

بحث

تاکنون نقش مثبت برخی ترکیبات شیمیایی از جمله سالیسیلیک اسید، جاسمونیک اسید، متیل جاسمونات، آبسیزیک اسید، بتا آمینوبوتیریک اسید در ایجاد مقاومت سیستمیک در گیاهان مختلف علیه بیمارگرهای مختلف به اثبات رسیده است (Kessmann *et al.*1994). در مطالعه حاضر محلول‌پاشی برگی و خیساندن خاک به وسیله غلظت‌های مختلف القاءگرهای SA، ABA و BABA بر شاخص‌های رشدی گیاه گوجه‌فرنگی آلوده به نماتود ریشه‌گرهی، *M. incognita*، تأثیر چندانی نداشت. احتمالاً دلیل این امر فاصله زمانی کوتاه بین مایه‌زنی نماتود و بررسی شاخص‌های رشدی گیاه می‌باشد. چرخه زندگی این نماتود در دمای ۲۷°C در ۲۵ روز تکمیل می‌گردد (Agrios 2005). از آنجایی که میانگین دما در طول دوره رشد گیاهان در حدود ۲۷°C بود، بنابراین در طول دوره ۳۰ روزه از زمان مایه‌زنی نماتود تا زمان برداشت گیاهان، نماتود فقط یک چرخه زندگی خود را تکمیل کرده و ریشه‌های کمتری در معرض آلودگی قرار داشتند تا باعث تأثیر روی شاخص‌های گیاهی گردد. نکته قابل توجه در

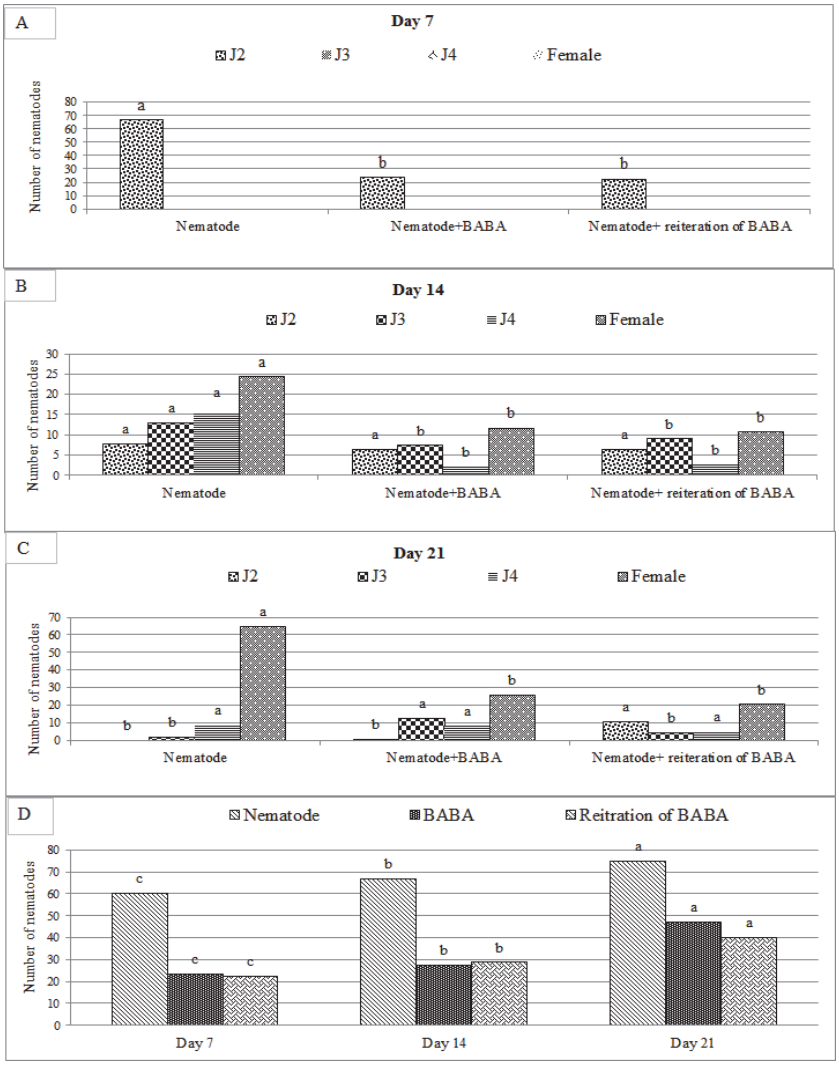


شکل ۳: تـأثیر غلظـت‌هـای مختلـف آبسـیزیک اسـید بـر شـاخص‌هـای *Meloidogyne incognita* در ریشـه گوجـه‌فرنگـی رقـم Moneymaker، ۳۰ روز پس از مایه‌زنی.

Fig. 3.Effect of different levels of abscisic acid on indices of *Meloidogyne incognita* on tomato, cultivar Moneymaker, 30 days after inoculation.

این آزمایش، عدم گیاه‌سوزی پس از استفاده از غلظت‌هـای مختلف القاءگرهای مورد بررسـی مـی‌باشـد. در مطالعـات مختلف نشان داده شده است که استفاده از غلظت‌های زیاد القاءگرهای شیمیایی باعث کاهش برازش گیـاه شـده و در نهایت باعث گیاه‌سوزی و کاهش شاخص‌های گیاهی شده است (Molinari & Baser 2010). دلیل این امر القاء تولید پروتئین‌های وابسته به بیماری‌زایی (PR-Proteins) به گیـاه می‌باشد. پروتئین‌های وابسته به بیماری‌زایی، خـانواده‌هـای بزرگ پروتئینی هستند که اخیراً تعداد آن‌ها به ۱۷ خـانواده رسیده است. این پروتئین‌ها به طور معمول در گیاه وجـود ندارند یا میزان آن‌ها بسیار کم می‌باشد اما در اثـر آلـودگی به برخی قارچ‌ها، باکتری‌ها، ویروس‌ها و تنش‌های محیطی از جملـه خشـکی و شـوری، همچنـین اسـتفاده از برخـی القاءگرهای شـیمیایی از جملـه SA، BABA، JA و ABA بیان مـی‌گردنـد (Buonaurio *et al.* 2009; Saboki *et al.* 2011). هر کدام از این خانواده‌های پروتئینی نقش متفاوتی دارند. برای مثال PR-1 نقش ضد قـارچی، PR-2 مسـؤول تولیـد β-1,3-glucanase و PR-3,4,8,11 مسـؤول تولیـد کیتیناز می‌باشد. تولید این ترکیبات باعث افزایش مقاومـت گیاه نسبت به بیمارگرها می‌شوند اما القاء بیش از حد PR-genes به تولید ترکیبات پروتئینی یک بار اضافه برای گیـاه بوده که گاهی باعث گیاه‌سوزی و یا مرگ گیـاه مـی‌گـردد (Oka *et al.* 1999). در مطالعه انجام شـده، محلـول‌پاشـی برگی و خیساندن خاک به وسـیله غلظـت‌هـای مناسـب از

القاءگرهای مورد بررسی موجب تأثیر روی شاخص‌های جمعیتی نماتود گردید. تعداد گال، کیسه تخم و تخم نماتود در ریشه، تعداد تخم در کیسه تخم و فاکتور تولیدمثل نماتود پس از محلول‌پاشی برگی SA با غلظت ۰/۵ میلی‌مولار به ترتیب باعث کاهش ۱۶، ۵۲، ۶۴، ۵۹ و ۵۹ درصدی نسبت به شاهد گردید. لازم به ذکر است که درصد کاهش شاخص‌های مذکور در صورت خیساندن خاک با ۰/۲۵ میلی‌مولار کمتر از محلول‌پاشی برگی SA با غلظت ۰/۵ میلی‌مولار می‌باشد. اما این اختلاف در سطح ۵٪ معنی‌دار نمی‌باشد. از طرف دیگر در محلول‌پاشی برگی، علاوه بر سهولت انجام، میزان القاءگر مصرفی کمتر از خیساندن خاک می‌باشد. از این رو غلظت ۰/۵ میلی مولار از SA به صورت محلول‌پاشی برگی در شرایط مورد آزمایش، مناسب می‌باشد. در ارتباط با شاخص‌های نماتودی در اثر استفاده از غلظت‌های مختلف BABA نیز همانند SA، مشخص گردید که محلول‌پاشی برگی BABA با غلظت ۰/۵ میلی‌مولار، بهترین غلظت و نحوه مصرف برای این القاءگر در شرایط مورد آزمایش می‌باشد. در این تیمار تعداد گال، کیسه تخم و تخم نماتود در ریشه، تعداد تخم در کیسه تخم و فاکتور تولیدمثل نماتود به ترتیب ۸۱، ۵۷، ۶۰، ۲۲ و ۶۱ درصد کاهش نسبت به شاهد پیدا کرد. البته در اینجا نیز غلظت ۰/۵ میلی‌مولار BABA به صورت خیساندن خاک تأثیری مشابه در کاهش فاکتورهای نماتودی داشت که به دلایل ذکر شده در بالا، روش محلول پاشی برگی ترجیح داده می‌شود. در نهایت مشخص شد که محلول‌پاشی برگی ABA با غلظت ۱۰۰ میکرومولار، باعث کاهش ۲۳، ۵۷، ۱۷، ۶۲ و ۱۷ درصدی به ترتیب در تعداد گال، کیسه تخم و تخم نماتود در ریشه، تعداد تخم در کیسه تخم و فاکتور تولیدمثل نماتود نسبت به شاهد گردید. در مطالعه‌ای تأثیر غلظت‌های مختلف BABA به صورت خیساندن خاک و تیمار بذری در کنترل نماتود *M. javanica* در گوجه‌فرنگی نشان داد که استفاده از ۲۵ میلی‌گرم در لیتر از BABA در هر دو روش، باعث کاهش تعداد گال و کیسه‌تخم در حدود ۸۲٪ و جمعیت نهایی نماتود در حدود ۸۷٪ نسبت به گیاهان شاهد گردید (Fatemy *et al.* 2012). نتایج تحقیق حاضر با نتایج بسیاری از تحقیقات دیگر مطابقت دارد (Oka & Cohen 1999،2001، Oka *et al.*، Sahebani&Hadavi 2003،2009، Nandi *et al.*، Chinnasri *et al.* 2003؛ Sanz-،Mohamed2010،Molinari & Baser 2010 Alférez *et al.*2008). مطالعات مختلف نشان داده است که القاء BABA علیه بیمارگرهای مختلف از طریق مستعدسازی پاسخ‌های دفاعی وابسته به SA عمل می‌کند (Zimmerli *et al.* 2000،Flors *et al.*2008). مقاومت از طریق مسیرهای سیگنالی ABA نیز در اثر تیمار BABA باعث افزایش میزان کالوز در گیاه شده که نهایتاً باعث افزایش مقاومت علیه بیمارگرها می‌گردد (Jakab *et al.* 2005). همچنین القاء BABA علیه تنش‌های محیطی مانند خشکی و شوری نیز از طریق مستعدسازی سازوکارهای دفاعی وابسته به ABA عمل نموده و باعث افزایش تجمع ABA در گیاه شده، که به دنبال آن بسته شدن روزنه‌ها و افزایش تحمل گیاه در مقابل این استرس‌ها اتفاق می‌افتد. الگوی بیان ژن‌های مارکر مسیرهای SA و ABA در ارتباط با سایر بیمارگرها نشان می‌دهد که هر دو مسیر همیشه در نتیجه تیمارBABA فعال می‌شوند (Slaughter *et al.* 2012). همچنین نتایج تأثیر محلول‌پاشی برگیBABA در یک نوبت و در دو نوبت به فاصله هفت روز بر روی سرعت نفوذ لارو سن دوم نماتود به درون بافت و همچنین سرعت گذر نماتود از مراحل مختلف لاروی درون بافت در روزهای هفتم ،۱۴ و ۲۱ پس از مایه‌زنی



شکل ۴: تأثیر غلظت یک میلی‌مولار بتاآمینوبوتیریک اسید (BABA) بر تعداد نماتود *Meloidogyne incognita* بر روی ریشه گوجه‌فرنگی رقم Moneymaker در مراحل مختلف زندگی و در روزهای ۷ (A)، ۱۴ (B)و ۲۱ (C) پس از مایه‌زنی و تعداد نماتود درون بافت ریشه در روزهای مختلف (D). (ستون‌هایی که دارای حروف مشترک می‌باشند بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن (DMRT) در سطح ۵٪ دارای اختلاف معنی‌دار نیستند).

Fig. 4. Effect of DL-*β*-amino-n-butyric acid (1mM) on number of *Meloidogyne incognita* on tomato, cultivar Moneymaker at different life stages and 7, 14 and 21 days after inoculation (Values followed by the same letters in columns are not significantly different (P = 0.05), based on DMRT).

نماتود نشان داد که BABA باعث کاهش سرعت نفوذ نماتود به درون بافت ریشه و همچنین تأخیر در جلداندازی لاروهای سنین مختلف و گذر از مراحل مختلف لاروی می‌گردد. *گاملیل و کاتان* (Gamliel & Katan 1992) نشان دادند که در ترشحات ریشه گوجه‌فرنگی تیمار شده با BABA مقادیری از این ترکیب وجود دارد. در این آزمون مشخص گردید که تیمار BABA باعث کاهش تعداد نماتود درون بافت ریشه می‌گردد. از اینجا می‌توان نتیجه گرفت که وجود BABA در ترشحات ریشه موجب کاهش تمایل لاروهای سن دوم

نماتود به نفوذ به بافت ریشه می‌گردد. همچنین تأخیر در جلداندازی لاروهای سنین مختلف و گذر از مراحل مختلف لاروی می‌تواند به دلیل تجمع BABA درون سلول‌های غول‌آسای تولید شده توسط نماتود باشد که لارو سن دوم نماتود با استفاده از استایلت خود این ترکیب شیمیایی را وارد بدن نموده و موجب تأثیر منفی بر ساخت اسیدهای آمینه و پروتئین‌های نماتودی می‌گردد (Oka *et al.*1999). نتیجه این تغییرات در نماتود، طولانی و کمتر شدن تعداد چرخه‌های زندگی نماتود در یک فصل زراعی می‌باشد. مکانیسم عمل BABA در گوجه‌فرنگی در ایجاد مقاومت سیستمیک القایی به طور دقیق مشخص نشده است. نتایج این تحقیق نشان داد با توجه به این‌که تیمار BABA در شاخساره گیاه بوده اما از نفوذ و سرعت رشد نماتود در ریشه ممانعت به عمل آمده است، القاءگر ABA همچون SA و ABA، در گیاه به صورت سیستمیک انتشار می‌یابد. همچنین BABA از طریق نامناسب نمودن ترشحات ریشه برای نماتود، یا از طریق ضخیم نمودن دیواره سلولی گیاه و یا با استفاده از هر دو مکانیسم، باعث کاهش نفوذ نماتود به درون بافت ریشه شده است. البته مشخص نیست که BABA به طور مستقیم بر روی نماتود تأثیر می‌گذارد یا با القاء بیان برخی ترکیبات دفاعی موجب مقاومت علیه نماتود می‌گردد.

در نهایت می‌توان اظهار داشت که BABA باعث ایجاد مقاومت سیستمیک القایی در گوجه‌فرنگی آلوده به *M. incognita* می‌گردد. همچنین BABA موجب کاهش نفوذ لاروهای مهاجم نماتود به درون بافت ریشه شده و باعث به تعویق انداختن چرخه زندگی نماتود درون بافت ریشه می‌گردد.

منابع

جهت ملاحظه به صفحات (۱۶۲-۱۶۳) متن انگلیسی مراجعه شود.