کاربرد سیلیکون در القا و افزایش مقاومت گیاهان علیه حشرات گیاهخوار با تاکید روی آفات نیشکر

امین نیک پی [۱]، ابراهیم سلیمان نژادیان [۲] و مرتضی کهراریان [۳]

۱-بخش گیاه پزشکی کشت و صنعت سلمان فارسی و دانشجوی دوره دکتری تخصصی حشره شناسی دانشگاه آزاد اسلامی واحد اراک. تلفن:۰۹۱۶۶۱۶۳۰۲۶، ای میل amin_nikpay@yahoo.com

۲-دانشیار گروه گیاه پزشکی دانشگاه شهید چمران اهواز

۳-گروه زراعت و اصلاح نباتات دانشگاه آزاد واحد کرمانشاه

چکیده

سیلیکون به عنوان یک ماده غذایی موجب افزایش رشد و نمو بسیاری از گونه های گیاهی شده و تحت تنش های زیستی و غیر زیستی دارای فواید بسیار زیادی است. سیلیکون توسط گیاهان به فرم اسید مونو سیلیسیک که شکل غالب سیلیکون در خاک هایی با **PH** کمتر از ۹ است جذب می شود. پس از جذب و انتقال از ریشه ها به سمت جوانه ها، اسید سیلیسیک تحت فرایند های فعال فیزیولوژیکی یا از دست دادن آب، تجمع پیدا کرده و به صورت اسید سیلیسیک کلوئیدی و در نتهیت به صورت سیلیکاژل پلیمریزه می شود. گیاه نیشکر در مقایسه با گیاهان دیگر از توانایی زیادی در جذب و ذخیره سیلیکون برخوردار بوده که فواید زیادی را برای گیاه در پی دارد. ای فواید شامل افزایش محصول نی و ساکارز، بهبود فرایند فتوسنتز، جلوگیری از وارونگی ساکارز، بر طرف کردن اثرات سمی فلزات سنگین، کاهش از دست دادن آب در طول فرایند تبخیر و افزایش مقاومت به آفات ساقه خوار می باشد. این مقاله به بررسی جنبه های مختلف نقش سیلیکون در زمینه مقاومت به حشرات گیاهخوار پرداخته و نظریه های موجود در این زمینه را بیان می کند.

واژگان کلیدی: سیلیکون، حشرات گیاهخوار، اسید سیلیسیک و تنش های زیستی و غیر زیستی

مقدمه

سیلیکون یکی از عناصر عمده در پوسته زمین است. خاک ها معمولا محتوی ۵ تا ۴۰ درصد سیلیکون بوده که بطور عمده شامل کوارتز کم محلول و سیلیکات های کریستالی بوده که به عنوان مواد بی اثر در نظر گرفته می شوند. در حالیکه سیلیکون فراوان است، اغلب سیلیکون غیر محلول بوده و در فرم قابل دسترس در گیاه نیستند. گیاهان فقط می توانند سیلیکون را در شکل اسید مونو سیلیسیک محلول که یک مولکول بدون بار است جذب کنند. اسید مونو سیلیسیک یا سیلیکون در دسترس گیاه (**PAS**)، یک محصول محلول از مواد معدنی غنی از سیلیکون است. منابع مختلف سیلیکون حاوی مقادیر محلول متفاوتی بوده بطوریکه حلالیت کوارتز در مقایسه با سیلیکات های بی شکل (خاک های دیاتومه) بسیار پایین است (ساوانت و همکاران ۱۹۹۹). سیلیکون در دسترس گیاه بوسیله گیاه جذب شده و به عنوان یک عامل مثبت و سودآور گیاه در رشد و نمو، مقاومت در برابر آفات و بیماری های گیاهی و تنش های محیطی نقش دارد. سیلیکون در دسترس گیاه همچنین اثرات مهم و معنی داری در بافت خاک، ظرفیت نگهداری آب، ظرفیت جذب و تثبیت فرسایش خاک دارد.

جذب، انتقال و تجمع سیلیکون

سیلیکون (**Si**) در زمانی که اسیدیته (**PH**) محلول کمتر از **۹** باشد به شکل سیلیسیک اسید توسط ریشه گیاهان جذب می شود . گیاهان بهطور مشخص در ارتباط با توانایی تجمع سیلسکون دارای اختلاف بوده و این طیف از ۰/۱ تا ۱۰ دصد سیلیکون را شامل می شود. در آنژیوسپرمها گونههای گیاهان تک لپه ای از راسته های **Poales** و **Arecales** مقدار بیشتری سیلیکون را در مقایسه با دیگر گیاهان تک لپه ای در ساقه های جوان خود ذخیره می کنند. در میان **Poales** گونههای خانواده **Cyperaceae**و**Gramineae** مقادیر بالایی از سیلیکون را ذخیره می کنند. اغلب گیاهان به خصوص دولپه ایها توانایی کم-تری در تجمع سیلیکون ساقه های خود دارند. تفاوت در تجمع سیلیکون بین گونههای متفاوت گیاهان، در ارتباط با توانایی متفاوت آنها در جذب سیلیکون از ریشه است. مکانیسم جذب بین گیاهان نیز متفاوت است. در یک تحقیق با استفاده از گیاهان برنج، گوجه فرنگی و خیار مشخص شد که انتقال سیلیکون از محلول خارجی به سلول های پوستی (کورتیکال) توسط یک ماده انتقال دهنده انجام می شود اما سرعت این انتقال در گیاهان متفاوت میباشد (برنج >خیار>گوجهفرنگی) که این امر نشان دهنده متفاوت بودن میزان تراکم ماده ناقل در این **۳** گیاه است. به نظرمیرسد که این فرایند انتقال، وابسته به انرژی بوده زیرا بازدارنده های متابولیکی و دمای پایین بازدارنده انتقال است. در مرحله بعدی این فرایند، انتقال سیلیکون از سلول های کورتیکال به زایلم (**Xylem**) صورت می گیرد. (تجمع سیلیکون در شیره زایلم گیاه برنج بیشتر از خیار و گوجه فرنگی بوده است). تجمع بسیار کم سیلیکون در خیار و گوجه فرنگی می تواند به وسیله تراکم پایین ماده انتقال دهنده برای انتقال سیلیکون به سلول های کورتکس و عدم حضور یا کمبود این ماده برای انتقال از سلول های پوست به زایلم توضیح داده شود. در نهایت سیلیکون توسط گیاهان به شکل سیلیسیک اسید جذب شده، از ریشه به سمت ساقه انتقال پیدا کرده و زمانی که تراکم آن به یک حد مشخص برسد (تقریبا**ppm** ۱۰۰ در **PH** بیولوژیکی)، به فیتولیت های اپالین پلیمریزه میشود. در گیاهچههای جوان سیلیسیک اسید در اثر از دست دادن آب تجمع پیدا کرده و پلیمریزه میشود. فرایند پلیمریزه شدن سیلیکون، سیلیسیک اسید را به سیلیسیک اسید کولوئیدی و سرانجام به سیلیکاژل تبدیل می کند ما و یاجیما (۲۰۰٤) .

مکانیسم های سیلیکون در بهبود تنش های زیستی

رسوبات سیلیکات که بطور معمول فیتولیت نامیده می شوند در دیواره های سلول، لومن های سلول یا در فضاهای بین سلولی یا لایه های خارجی یافت می شوند. سیلیکاتی شدن همچنین در ریشه ها، برگ ها، ساقه ها و در گراس ها بطور زیاد در گل آذین روی می دهد سانگ استر و همکاران (۲۰۰۱). ساختار بیوژنیک سیلیکا بوسیله شرایط متعدد فیزیکوشیمیایی مانند رسیدگی بافت، **PH**، غلظت های یونی و ساختار دیواره سلولی تحت تاثیر قرار می گیرد. اسید سیلیسیک پلیمریزه شده در دیواره سلول یک غشای سلولزی سیلیکون را تشکیل داده که به عنوان یک سد مکانیکی در برابر پاتوژن ها و گیاهخوران عمل می کند. گیاهانی مانند نیشکر و برنج که حاوی سیلیکون بالایی هستند در تغذیه لاروها اختلال ایجاد کرده و موجب تخریب آرواره های آنها می شوند. وجود کریستال های سیلیکون در بافت ها تغذیه حشره را متوقف می کند. علاوه بر این سیلیکون بصورت فیزیولوژیکی ساخت آمونیوم را تقویت کرده و موجب محدود کردن ترکیبات محلول نیتروژنی مانند آمین ها و آمینو اسیدها شده که این ترکیبات برای رشد و جوانه زنی هیف قارچ ها ضروری هستند بلانجر و همکاران (۲۰۰۵). مسی و همکاران (۲۰۰۹) پیشنهاد کردند که توزیع بافتی سیلیکون به سه شکل از خسارت گیاهخواران کوچک جلوگیری می کند:

۱- باندهای سیلیکون از بافت های دستجات آوندی محافظت کرده و گیاهخواران جونده و مکنده را از نواحی بین سلولی محدود می کند. ۲- سیلیکاتی شدن دیواره سلول های اپیدرمی از ورود به این نواحی

جلوگیری می کند. ۳- گیاهخواران جونده به دلیل سیلیسی شدن حاشیه های برگ از نفوذ باز می مانند.
همچنین سیلیکون از لحاظ شیمیایی در دفاع علیه حشرات گیاهخوار و بیماری های گیاهی تاثیر داشته
و طبق نظر فاتو و همکاران (۲۰۰۵) دو نقش مرکزی را در دفاع شیمیایی گیاه بازی می کند ۱- موجب
افزایش انتقال سیگنال در سطح تک سلول شده که در نتیجه موجب افزایش مقاومت سیستمیک القا
شده می شود. ۲- تولید سیگنال های سیستمیک را تنظیم می کند.

نقش سیلیکون در مقاومت علیه حشرات آفت

اثرات مفید سیلیکون در رشد، گسترش، عملکرد و مقاومت در برابر آفات و بیماری های گیاهی در طیف وسیعی از گیاهان شناخته شده است. رسوب سیلیکون در گیاهان باعث وجود مقاومت در برابر آفاتی نظیر کرم ساقه خوار شده که در نتیجه ساختن سدهای فیزیکی، شیمیایی و ساختاری در گیاه است، کورندورفر و همکاران ۲۰۰۴). نیشکر سیلیکون را از خاک جذب کرده و بخصوص در خاک هایی که این ماده به مقدار کم وجود دارد بطور مطلوبی تسبت به تغذیه سیلیکون واکنش مثبت نشان می دهد. علاوه بر اهمیت سیلیکون در القای مقاومت در برابر آفات مهم، همچنین این ماده در گیاه نیشکر موجب بهبود ظرفیت فتوسنتز، افزایش تحمل در برابر سرما و تنش آبی، افزایش کیفیت مواد تولیدی، افزایش مقاومت گیاه به ورس، افزایش تحمل به یخ زدگی، شوری و نقش مهمی در سنتز، ذخیره و نگهداری ساکارز دارد اپستین (۲۰۰۹). سیلیکون اثرات مستقیم و غیر مستقیم علیه حشرات گیاهخوار دارد. اثرات مستقیم شامل کاهش در رشد و تولید مثل حشره و در نتیجه کاهش خسارت به گیاه است. تحقیقات زیادی تاثیر افزایش مقاومت گیاه به حشرات و بندپایان را بخصوص در سطح دوم تغذیه ای نشان داده اند مورائس و همکاران (۲۰۰۴)، کوداراس و همکاران (۲۰۰۹). اثرات غیر مستقیم شامل میزان مرگ و میر حشرات، تاخیر یا کاهش ورود به گیاه که در نتیجه آن حشره گیاهخوار به مدت طولانی تری در معرض دشمنان طبیعی و شرایط بد اقلیمی قرار می گیرد، می شود. اثرات غیر مستقیم سیلیکون همچنین شامل افزایش تحمل گیاهان به تنش های غیر زیستی مانند تنش آبی است که مقاومت گیاه را به حمله حشرات افزایش می دهد کوداراس و همکاران (۲۰۰۷). تحقیقات اخیر در استرالیا همچنین نشان میدهد که سیلیکون می تواند در سطح سوم غذایی تاثیر داشته و موجب جذب حشرات مفید به سمت آفات شود کوداراس و همکاران (۲۰۱۰).

نقش سیلیکون در جلوگیری و یا کاهش تغذیه آفات

اولین و قدیمی ترین گزارش در مورد تغذیه با سیلیکون و میزان خسارت کرم ساقه خوار نیشکر توسط رائو (**۱۹٦۷**) ارائه شده است .او دریافت که ارقام متحمل به کرم ساقه خوار تراکم بالایی از سلول های سیلیکاتی را در غلاف برگ خود دارا *Chilo infucatelus* هستند .پان و همکاران (۱۹۹۱) گزارش دادند گیاهان نیشکر تیمار شده با سیلیکات در مقایسه با تیمار شاهد خسارت کمتری را متحمل شدند . ساوانت و همکاران دریافتند که کاربرد سیلیکات همراه با کود ازت می تواند میزان خسارت به کرم ساقه خوار را در مقایسه با مزارعی که فقط کود ازت دریافت کرده اند کاهش دهد .مشاهدات از آزمایشهای گلدانی در سطح وسیع که در آن ارقام مختلف نیشکر به طور مصنوعی در ۹/۵ ماه گیاه آلوده به کرم ساقه خوار *Eldana saccharina* شدند، اثرات معنی داری در میزان محصول گیاهان تیمار شده با سیلیکون و کاهش معنی دار ۳۰ درصد خسارت کرم ساقه خوار و ۲۰ درصد کاهش توده بدن لاروها را نشان داد .بطور معمول ارقامی که دارای حساسیت بیشتری نسبت به کرم ساقه خوار بودند بیشترین جذب سیلیکون را نشان دادند کیپینگ ومیر.(۲۰۰۲) . سیلیکون به طرق مختلف میتواند مانع از ورود، تغذیه و یا کاهش در میزان تغذیه آفات شود.اسید سیلیسیک پلیمریزه شده در دیواره سلول، یک غشای سلولزی سیلیکون را تشکیل داده که به عنوان یک سد مکانیکی در برابر پاتوژن ها و گیاهخوران عمل می کند. گیاهانی مانند نیشکر و برنج که حاوی میزان بالایی سیلیکون هستند، در تغذیه لاروها اختلال ایجاد کرده و با تخریب آرواره ها، تغذیه حشره را متوقف می کند. سیلیکون میتواند دفاع فیزیکی گیاه را در برابر آفات مختلف افزایش دهد.

نقش سیلیکون در افزایش مقاومت به تنشهای غیر زیستی

سیلیکون میتواند سبب افزایش تحمل گیاهان به تنش های غیر زیستی مانند تنش خشکی گردد و این عمل نیز میتواند مقاومت گیاه را به حمله حشرات افزایش می دهد(کوداراس و همکاران). کوداراس و همکاران (۲۰۰۷) نشان دادند که در حضور سیلیکون، ارقام حساس به کرم ساقه خوار که تحت تنش آبی قرار گرفته بودند، یک مکانیسم دفاع شیمیایی با ساختاری مشابه با ارقام مقاوم را نشان دادند .چنین نتایج و مشاهداتی پیشنهاد می دهد که کاربرد سیلیکون می تواند مقاومت به گیاهخواران را در گیاهانی که تحت تنش های غیر زنده مانند تنش شوری و سمیت فلزات سنگین قرار گرفته اندافزایش دهد .مسی و همکاران) (**۲۰۰۷**نشان دادند که افزایش خسارت ملخ به گراس ها (به وسیله تغذیه) می تواند تا ٤۰۰ درصد میزان سیلیکون در برگ ها را افزایش دهد. این عمل میتواند در نتیجه جذب بیشتر سیلیکون از خاک، یا افزایش رسوب فیتولیت ها و یا در نتیجه هر دوعامل باشد .

تاثیر نوع و نحوه مصرف منابع سیلیکات در کاهش خسارت آفات

منابع سیلیکاتی مورد استفاده در کشاورزی بطور عمده در دو گروه منابع جامد مخلوط با خاک و سیلیکات های محلول به صورت اسپری در برگ یا خاک، قرار میگیرند. سیلیکات کلسیم(Ca_2Sio_4) یک منبع عمده و فراوان بوده که در آزمایشهای مختلف علیه کرم ساقه خوار، (اندرسون و سوسا(۲۰۰۱) ، کوداراس و همکاران(۲۰۰۷) ، کیپینگ و همکاران ۲۰۰۷)، آفات تغذیه کننده از فلوئم (گواسین وهمکاران(۲۰۰۵) ، کورئا و همکاران(۲۰۰۵) ، و آفات برگخوار) کورندورفر و همکاران، ۲۰۰٤) به کار رفته است .در تمام موارد به جز تحقیقی که در مورد آفات برگخوار صورت گرفت، کاربرد سیلیکات کلسیم کاهش معنی داری در تغذیه آفت و خسارت به گیاه ایجاد کرد .در بین این پژوهش ها میزان سیلیکون قابل دسترس گیاه در سیلیکات کلسیوم متغیر بوده و بین ۱۰ تا ۳۹ درصد در میزان مصرف۱/۱۲ و ۱۰ تن در هکتار بوده است. گومز و همکاران(۲۰۰۵) ، ردموند و پوتر) (۲۰۰۷، کیپینگ و میر (۲۰۰۷) . سیلیکات کلسیم همچنین به صورت محلول آبی و اسپری علیه سفیدبالک ها (کورئا و همکاران ۲۰۰۵)، و تریپس ها (آلمیدا و همکاران ۲۰۰۹) با اثرات معنی دار در کاهش خسارت و عملکرد آفت به کار رفته است. کیپینگ و میر (۲۰۰٦) اثرات چهار منبع سیلیکون شامل سیلیکات آمریکا (۱۲ درصد سیلیکون خالص)، ولاستونیت (۱۲ درصد سلیکون، متا سیلیکات کلسیم)، ®Slagment (۱۸درصد از آفریقای جنوبی) و خاکستر زغال سنگ (Flyash ۱۰ درصد و سلیکون) را به صورت جامد و مخلوط با خاک در جذب سیلیکون و مقاومت نیشکر به کرم ساقه خور*Eldana saccharina* آزمایش کردند . نتایج نشان داد که منبع سیلیکون تاثیر زیادی روی جذب آن توسط گیاه و علیه کرم ساقه خوار داشت به طوری که خاکستر زغال سنگ به میزان ۳۰ تن در هکتار تاثیر کمتری نسبت به سیلیکات کلسیمی داشت که به میزان ۱۰ تن در هکتار به کار رفته بود . این پژوهشها نشان می دهد اگرچه برخی از منابع مقادیر زیادی از سیلیکون را فراهم می کنند اما بیشتر آن به دلیل دوباره پلیمریزه شدن اسید سیلیسیک در مقادیر بالا در خاک از دسترس گیاه خارج می شود کیپینگ و میر(۲۰۰٦) . کورئا و همکاران (۲۰۰۵) در تحقیق دیگر روی سفید بالک *B.tabaci* گزارش دادند که کاربرد سیلیکات کلسیم در خاک تعداد تخم های سفید بالک را روی برگ های خیار کاهش داد. سیلیکات سدیم محلول (Na_2Sio_3) یک محلول مایع موثر از ترکیبات سیلیکون بوده که در مطالعات زیادی از آن بصورت محلول پاشی در خاک بازاگلی و همکاران(۲۰۰۳) ، مورائس و همکاران) ((۲۰۰۵، و به صورت اسپری برگ همراه با محلول پاشی خاک (مورائس و همکاران ۲۰۰۵ و ۲۰۰٤) استفاده شده است . کاهش معنی دار بدست آمده در عملکرد آفات نشان دهنده این است که سیلیکات سدیم در کاهش خسارت آفات موثر بوده است .به عنوان نمونه، شته سبز*Schizaphis graminum* که روی گیاهان سورگوم تیمار شده بوسیله سیلیکات سدیم پرورش یافته بود، میزان تولید مثل و عملکرد آن کاهش یافته و همچنین کولنیزه شدن شتهها در برگ های حاوی سیلیکون نیز به میزان کمتری

رخ داده بود (مورائس و کاروالیو ۲۰۰۲) . از سیلیکات پتاسیم به صورت محلول پاشی خاک در پژوهش های بسیار کمی استفاده شده است. پارلا و همکاران (۲۰۰۷) اثر این ماده را در گیاه داوودی روی مگس مینوز *Liriomyza trifolii* مورد مطالعه قرار دادند و دریافتند که این ترکیب موجب کاهش خسارت این آفت روی گیاه داوودی می شود . تحقیقات مختلف دیگری در خصوص تاثیرسیلیکون به صورت اسپری برگ در افزایش مقاومت گیاهی به تنش های زیستی نشان میدهد . هانیش (۱۹۸۱) نشان داد که رسوب و افزایش حلالیت سیلیکون در برگ های گندم پس از اسپری برگی محلول ۱ درصد سیلیکات سدیم، مسئول مقاومت این گیاه علیه شته های *Macrosiphom dirhidum* .و*Sitobium avenae* میباشد. در این حالت تعداد موهای سلولی محتوی سیلیکات در اپیدرم گیاهان تیمار شده با سیلیکات سدیم ۷۰ درصد بیشتر از گیاهان تیمار نشده بود و این نشان می داد که جذب و انتقال سیلیکون در برگهای اسپری شده صورت می گیرد .در گیاه پاپایا اسپری برگی پودر لیگنیت که دارای محتوی بالایی از سیلیکون موجب کاهش معنی دار بیماری ویروسی پیچیدگی برگ و کاهش معنی دار در جمعیت سفید بالکهای ناقل این بیماری، شده است (اسواران و مانیوانان ۲۰۰۷). از سوی دیگر گوول و همکاران (۲۰۰۷) نشان دادند که اسپری برگی به تنهایی یا همراه با مکمل های غذایی احتمالا تاثیر مستقیمی روی گیاه دارد .اما به نظر میرسد این زمینه نیازمند مطالعات پیوسته است زیرا هنوز شواهد تایید شده ای در زمینه جذب سیلیکون از طریق برگ ها وجود ندارد. در جدید ترین تحقیق، کوندروفر و همکاران (۲۰۱۱) سیلیکات پتاسیم را در گیاه نیشکر علیه سن های کف مانند (Spittle bug) که به ریشه نیشکر حمله می کنند، بکار بردند . در تمامی این آزمایشها کاهش معنی داری در خسارت، پارامترهای زیستی آفت و افزایش جذب سیلیکون در گیاه گزارش شده است.

نقش سیلیکون در مقاومت علیه حشرات آفت

مکانیسم عمده و قابل قبول برای کارکرد سیلیکون در افزایش مقاومت به حمله حشرات کاهش هضم پذیری و افزایش سختی بافت های گیاهی در نتیجه رسوب سیلیکون بصورت فیتولیت های اپالین در ارتباط با دیواره سلولی است (ما و همکاران (۲۰۰۴)، مسی و هارتلی (۲۰۰۹)). افزایش سطوح سیلیکون میزان تراکم رژیم غذایی را افزایش داده که این عامل حشرات را در هضم مقدار کافی از مواد مغذی و آب ناتوان می سازد (پاندا و خوش (۱۹۹۵). به عنوان مثال مسی و همکاران (۲۰۰۶) نشان دادند که کرم برگخوار *Spodoptera exempta* که از سه گونه گراس که دارای مقادیر بالایی از سیلیکون بودند تغذیه کرده بود، میزان کارایی هضم در این آفت کاهش داشت. پس حشرات تغذیه کننده تخصصی مانند *Spodoptera* توانایی محدودی در افزایش مصرف در روی گیاهانی را داشته که از لحاظ مواد غذایی ضعیف و فقیر هستند (لی و همکاران ۲۰۰۳). مسی و هارتلی (۲۰۰۹) نشان دادند که سیلیکون در حشره *S.exempta* کارایی تبدیل غذای هضم شده به توده بدن (Biomass) و میزان نیتروژن جذب شده از رژیم غذایی را کاهش می دهد. سیلیکون همچنین خوش خوراک بودن گیاهان را تغییر داده و به عنوان دور کننده تغذیه ای مطرح است (مسی و همکاران ۲۰۰۶). چو و هانگ (۱۹۹۱) نشان دادند که گیاهان ذرت تیمار شده با سیلیکون دارای ساقه های سخت تری بوده و میزان برگ های خورده شده بوسیله کرم ساقه خوار آسیایی ذرت *Ostrina furnacalis* همبستگی منفی با سختی بافت داشته که نشان می دهد سختی برگ که بر پایه سیلیکون است احتمالا فاکتور مقاومت نسبت به این آفت است.

کاهش در میزان خسارت ساقه و کاهش در وزن لارو در کرم ساقه خوار نیشکر که از گیاهان نیشکر تیمار شده با سیلیکون تغذیه کرده بود نشان داده شد (کوداراس و همکاران ۲۰۰۷). سیلیکون اثرات میزان سطوح بالای نیتروژن در افزایش عملکرد آفات را کاهش می دهد. کیپینگ و میر (۲۰۰۵) نشان دادند که کاربرد سیلیکون در خاک اثرات افزایش دهنده کود ازت را در جذب آفت ساقه خوار نیشکر

کاهش می دهد. آنها پیشنهاد کردند که کاربرد سیلیکون کشاورزانی را که بدلیل افزایش خسارت کرم ساقه خوار از کود ازت کمتری استفاده می کنند را قادر می سازد که میزان توصیه شده از کود ازت را بکار برند. سیلیکون همچنین موجب دفاع فیزیکی علیه آفات می شود. پوشش آرواره ای اغلب به سیلیکون گیاه نسبت داده شده و در کرم ساقه خوار برنج *Chilo suppressalis* که از برنج تغذیه میکند گزارش شده است (ساساموتو ۱۹۵۸). کوداراس و همکاران (۲۰۰۹) نشان دادند که اثرات معنی داری در مقایسه بین تیمار شاهد و تیمار سیلیکون در پوشش آرواره ای وجود دارد. مسی و هارتلی (۲۰۰۹) اثر معنی دار و سریع افزایش دهنده در پوشش آرواره حشره *S.exempta* که از سه گونه گراس تیمار شده با سیلیکون تغذیه می کرد در مقایسه با تیمار شاهد نشان دادند. یکی از مشکلات اندازه گیری پوشش آرواره ای در پروانه ها این است که لارو در هر پوست اندازی آرواره های خود را عوض می کند. گیاهانی که حاوی مقادیر بالایی از سیلیکون هستند موجب اعمال فشار برای پوست اندازی زودتر بر این لاروها شده که بدلیل پوشش بیشتر آرواره ها در نتیجه کاهش وزن بدن است. اخیرا هانت و همکاران (۲۰۰۸) نتیجه گرفتند که سیلیکون دست کم در بخشی از گراس ها دفاع ایجاد کرده و از منابع سلول های کلرانشیم بصورت مکانیکی محافظت می کند. آنها اعلام کردند گراس هایی که دارای سیلیکون بالایی هستند پس از جویده شدن مقدار کمتری کلروفیل آزاد کرده و پس از عبور از روده ملخ دریایی بیشتر نگهداری شده که این نشان می دهد سطوح بالای سیلیکون با افزایش حفاظت مکانیکی همبستگی دارد. با استفاده از میکروسکپ الکترونی و اشعه **X** کیپینگ و همکاران (۲۰۰۹) نشان دادند که در ارقام نیشکر گیاهان تیمار شده با سیلیکون دارای مقادیر سیلیکون بیشتری در سلول های اپیدرمی ساقه بخصوص در میان گره ها و ناحیه ریشه بودند. همانطور که می دانیم این محل های ورود کرم ساقه خوار بوده و این نواحی که سیلیکون در آن رسوب کرده است می تواند تا حدی بیان کننده افزایش مقاومت گیاهان نیشکر تیمار شده علیه نفوذ و تغذیه کرم ساقه خوار باشد. همچنین محتوی فیبر (سولولز، همی سولولز و لیگنین) در این مورد احتمالا نقش تعیین کننده ای دارد (کیپینگ و همکاران ۲۰۰۹). در گیاه ذرت، کورز (۱۹۸۷) شرح داد که اغلب ژنوتیپ های مقاوم به کرم ساقه خوار اروپایی ذرت دارای سطوح بالایی از کربوهیدرات های ساختاری، لیگنین و سیلیکا بودند. اگرچه اغلب پژوهش ها در ارتباط با نقش مستقیم دفاع فیزیکی سیلیکون متمرکز بوده است فقط تعداد معدودی تحقیق در رابطه با اثرات غیر مستقیم بوده است. کیپینگ و کوداراس (۲۰۰۷) نشان دادند که سیلیکون موجب تاخیر ورود کرم ساقه خوار به درون ساقه شده و این مورد لاروها را بیشتر در معرض شرایط نامساعد طبیعی و عملیات کنترلی قرار می دهد. دیگر اثر غیر مستقیم (تنها مثال موجود در ارتباط با اثر مقاومتی سیلیکون به حشره گیاهخوار و یک فاکتور تنشی غیر زنده) بصورت کاهش تعداد لاروهای کرم ساقه خوار و ساقه های خسارت دیده در گیاهان نیشکر تغذیه شده با سیلیکون اما تحت تنش آبی بود (کوداراس و همکاران ۲۰۰۷). در حضور سیلیکون ارقام حساس به کرم ساقه خوار که تحت تنش آبی قرار گرفته بودند یک مکانیسم دفاع شیمیایی با ساختاری مشابه با ارقام مقاوم را نشان دادند. چنین نتایج و مشاهداتی پیشنهاد می دهد که کاربرد سیلیکون می تواند مقاومت به گیاهخواران را در گیاهانی که تحت تنش های غیر زنده مانند تنش شوری و سمیت فلزات سنگین قرار گرفته اند افزایش دهد. مسی و همکاران (۲۰۰۷) نشان دادند که افزایش خسارت ملخ به گراس ها (بوسیله تغذیه) می تواند تا ۴۰۰ درصد محتوی سیلیکون در برگ ها را افزایش داده که می تواند در نتیجه جذب بیشتر سیلیکون از خاک یا افزایش رسوب فیتولیت ها یا هر دو باشد.

موقعیت و ترکیب سیلیکون در گیاه

مطالعات زیادی نشان می دهند که مکان و ترتیب رسوب سیلیکون در گیاه در محدود کردن تغذیه لاروها از محتوی سیلیکون گیاه مهمتر می باشد. میلر و همکاران (۱۹۶۰) شرح دادند که غلاف های برگ ارقام مشخصی از گندم که به مگس جوانه خوار *Phytophaga destructor* مقاوم هستند، توزیع کامل و یکنواختی از رسوبات سیلیکون را نسبت به ارقام حساس در سطح خود داشتند. این پژوهشگران پیشنهاد کردند که این نظم و ترتیب به لاروهای مگس جوانه خوار اجازه داده که از بین ردیف های سیلیکون تغذیه کرده و نشان دادند که برخی از ارقام مقاوم فضای آزاد کافی برای تغذیه لاروها نداشتند. بلوم (۱۹۶۸) دریافت که در ۵ رقم سورگوم مقاوم به مگس جوانه خوار *Atherigona soccata* تراکم اجسام سیلیکاتی در سلول های اپیدرمی اولین، دومین و سومین غلاف های برگ نسبت به ارقام حساس بیشتر بودند. یک پژوهش روی گیاه برنج نشان داد که الگوی سیلیکات در سلول های اپیدرمی ارقام مقاوم به آفت پیچاننده برگ *C.medinalis* شامل زنجیره های فشرده تر سیلیکات، رسوب بیشتر سیلیکات در نواحی بین سلولی و سلول های اپیدرمی و ردیف های تک و دو ردیفه از سیلیکات در مقایسه با ارقام حساس بود (حنیف و همکاران ۱۹۷۴). اگرچه محتوی کلی سیلیکون در ارقام مقاوم و حساس تفاوت معنی داری با هم نداشت، نظم و ترتیب فیزیکی و موقعیت سیلیکون در بافت های گیاهی اهمیت بیشتری دارد. بکر (۱۹۸۹) نشان داد که تراکم بالای رسوبات سیلیکات در سلول های اپیدرمی غلاف ارقام چاودار، از تخمریزی سرخرطومی *Listronotus bonarienis* جلوگیری می کند. ردیف های نزدیک تر و به هم فشرده تر سیلیکات در سلول های اپیدرمی برگ مسوول مقاومت بیشتر برگ برنج وحشی در برابر پروانه برگخوار است در صورتیکه بدلیل فضای بازتر این ترکیبات سیلیکات در ارقام برنج هیبرید مقاومت کمتر است (راماچاندران و خان ۱۹۹۱). یک رقم مقاوم به زنجره پشت سفید برنج *Nilaparvata lugens* نه تنها دارای مقادیر بیشتری سیلیکون بوده بلکه سلول های سیلیکاتی شده به هم نزدیک تر بوده و تعداد آنها در مقایسه با رقم بسیار حساس دو برابر بود (میشرا و میشرا ۱۹۹۲). در یک تحقیق در زمینه ارقام مقاوم و حساس چاودار به لاروهای مگس جوانه خوار گندم، مور (۱۹۸۴) مشاهده کرد که رقم مقاوم دارای اجسام سیلیکاتی است که روی ناحیه ساقه پخش شده اما در رقم حساس این اجسام اغلب بین ردیف های اپیدرمی قرار گرفته اند. این احتمالا نشان دهنده آن است که چرا افزایش اندکی در میزان سیلیکات گیاه می تواند تعداد لاروها را بشدت کاهش دهد. رائو و پانوار (۲۰۰۱) در مقایسه ارقام مقاوم، نیمه مقاوم و حساس ذرت به مگس جوانه خوار دریافتند که دستجات آوندی لیگنینی شده و اجسام سیلیکاتی اپیدرم برگ همبستگی منفی با میزان تخمریزی و درصد قلب مردگی (Dead-heart)داشته و در ارقام مقاوم نسبت به ارقام حساس میزان دستجات آوندی لیگنینی شده و میزان سیلیکات اپیدرم برگ بیشتر بوده است. آگاروال (۱۹۶۹) گزارش داد که کولون های نیشکر که در ناحیه مومی (band xaW) میانگره ها تعداد بیشتری سلول های سیلیکاتی داشته سطوح پایین تری از آلودگی به شپشک نیشکر *sipsanaleM glomerata* از خود نشان دادند.

دفاع شیمیایی

انتخاب یک گیاه توسط حشره نه تنها بستگی به خصوصیت فیزیکی گیاه داشته بلکه به ترکیبات شیمیایی آن نیز بستگی دارد (اسمیت و همکاران ۲۰۰۵). در یک آزمایش ساساموتو نشان داد که لارو کرم ساقه خوار برنج، گیاهان تیمار نشده را نسبت به گیاهان تیمار شده با سیلیکون بیشتر ترجیح می

دهد. بطور قابل ملاحظه ای جذب اب از ساقه گیاهان برنج کشت شده در کود غنی از نیتروژن برای لاروها به مراتب بهتر از گیاهان تیمار شده با سیلیکون است.اخیرا زادا و همکاران (۲۰۰۷) نشان دادند که کاربرد منابع غذایی آلی (کود باغچه، کود مرغی، و کود های زیستی) در گیاه بادمجان بطور معنی داری تولید مواد شیمیایی دفاعی مانند سیلیکا و فنول ها را افزایش می دهد. علاوه بر آن آنها نشان دادند که مقاومت القا شده بوسیله آنتی بیوز منجر به کاهش میزان تغذیه، تخمریزی،طول عمر و بازسازی جمعیت شده و همچنین دوره پورگی آفات بادمجان را افزایش می دهد. گواسین و همکاران (۲۰۰۵) نشان دادند که ورود استایلت شته سبز در گیاه گندم بوسیله سیلیکا متوقف نشده اما زمان فرو بردن استایلت (Probing-time)بدلیل تغیرات شیمیایی ناشی از جذب سیلیکون، کاهش پیدا کرده است. مطالعات در ارتباط با اثرات متقابل بین دفاع گیاه، سیلیکون و قارچ های پاتوژن نشان داد حضور یک پاتوژن در متابولیسم ترکیبات بیوشیمیایی دفاعی و تنظیم ژن های مرتبط با دفاع ضروری بوده بدین صورت که برخی از آنها در ارتباط با بیوسنتز ترکیبات گیاهی القا کننده گیاهخواری (sVPIH)مانند جاسمونات و سالیسیلات هستند(فاتو و همکاران ۲۰۰۶). HIPV ها در واکنش به خسارت گیاهخواران به منظور تسهیل موقعیت یابی دشمنان طبیعی در جاییکه شکار وجود دارد آزاد می شوند. مطالعات در آمریکا نشان داد که این مواد مشتق شده گیاهی حشرات مفید را به سوی گیاهان تیمار شده جذب می کند (خان و همکاران ۲۰۰۸). در یک تحقیق جدید کونیک و همکاران (۲۰۱۱) نشان دادند که سوسک قرمز-آبی *Dicranolaius bellulus* که یک شکار گر عمومی خوار است به گیاهان انگور آفت زده که دارای محتوی بالایی از سیلیکون هم باشند بیشتر جذب شده و نشان می دهد که سیلیکون گیاهان را قادر میسازد که HIPV های بیشتری تولید کرده که این مواد تولیدی موجب جلب بیشتر حشرات شکارگر به گیاهان خسارت دیده می شود. سیلیکون به تنهایی یا همراه با خسارت شته سبز منجر به افزایش در آنزیم های دفاعی پراکسیداز، پلی فنول اکسیداز و فنیل آلانین آمونیالیاز (LAP) در گندم شده است (گومز و همکاران ۲۰۰۵). پراکسیداز در فرایند سنتز سوبرین و لیگنینی شدن نقش داشته که این دو عامل موجب افزایش سختی بافت ها شده و در تولید کینوزها و اکسیژن فعال، ترکیبات آنتی بیوتیکی را القا می کند (استوت و همکاران ۱۹۹۴). پلی فنول اکسیدازها اکسیداسیون ترکیبات فنولی به کینون ها را کاتالیز کرده که منجر به کاهش کیفیت تغذیه ای غذا و کاهش هضم پذیری پروتئین می شود (فلتون و همکاران ۱۹۹۴). آنزیم PAL تولید ترکیبات فنولی را که دارای خاصیت ضد تغذیه ای، دورکنندگی و سمی هستند را افزایش می دهد (اپل ۱۹۹۳).

کاربرد سیلیکون **بصورت خاک کاربرد و اسپری برگ**

تعدادی از پژوهش ها تاثیر افزایش دهنده مقاومت گیاهی به تنش های زیستی را پس از اسپری برگی نشان دادند. هانیش (۱۹۸۱) نشان داد که رسوب و افزایش حلالیت سیلیکون در برگ های گندم پس از اسپری برگی محلول ۱ درصد سیلیکات سدیم مسئول مقاومت این گیاه علیه شته های *Sitobium avenae* و *Macrosiphom dirhidum* است. این پژوهشگر اعلام کرد تعداد موهای سلولی محتوی سیلیکات در اپیدرم گیاهان تیمار شده با سیلیکات سدیم ۷۰ درصد بیشتر از گیاهان تیمار نشده بود و این نشان می داد که جذب و انتقال سیلیکون در برگهای اسپری شده صورت می گیرد. کاربرد برگی پودر لیگنیت که دارای محتوی بالایی از سیلیکون است در گیاه پاپایا موجب کاهش معنی دار بیماری ویروسی پیچیدگی برگ و کاهش معنی دار در جمعیت ناقل این بیماری، سفید بالک *Bemisia tabaci* شده است (اسواران و مانیوانان ۲۰۰۷). مطالعات همچنین کاربرد اسپری برگیو تاثیر خاک

کاربرد سیلیکون را مقایسه کرده اند. به عنوان نمونه، مورائس و همکاران (۲۰۰۵) نشان دادند که تعداد شته های برگ ذرت *Rhopalosiphum maidis* در برگ های ذرت بطور معنی داری کاهش پیدا کرده و این در حالی بود که گیاهان دوبار تحت تیمار اسپری برگی یا یکبار کاربرد سیلیکون در خاک همراه با یک اسپری برگی در مقایسه با کاربرد فقط یکبار اسپری یا خاک کاربرد سیلیکون قرار داشتند.

در تحقیق دیگر روی سفید بالک *B.tabaci* کورئا و همکاران (۲۰۰۵) گزارش دادند که کاربرد سیلیکات کلسیم در خاک تعداد تخم های سفید بالک را روی برگ های خیار کاهش داد. مورائس و کاستا (۲۰۰۶) نشان دادند که کاربرد سیلیکون بطور معنی داری تعداد پوره ها، میزان نرخ رشد جمعیت، دوره زمان تولید مثلی و طول عمر شته سبز را در گیاه گندم کاهش داده و آنها این روش را به عنوان یک روش موثر در مدیریت تلفیقی (IPM) شته سبز گندم اعلام کردند. گوول و همکاران (۲۰۰۷) نشان دادند که دست کم در گیاه گندم، سیلیکون بطور اولیه از طریق ریشه جذب می شود. آنها همچنین توضیح دادند که اسپری برگی سیلیکون به تنهایی یا همراه با مکمل های غذایی احتمالا تاثیر مستقیمی روی گیاه دارد. اما بهرحال این زمینه نیازمند مطالعات پیوسته است زیرا هنوز شواهد تایید شده ای در زمینه جذب سیلیکون از طریق برگ ها وجود ندارد.

نقش سیلیکون در جذب دشمنان طبیعی و افزایش میزان تلفات آفات

علاوه بر موارد ذکر شده سیلیکون میتواند با جذب حشرات مفید به سمت گیاه سبب کنترل بهتر جمعیت آفات آن شود(کوداراس و .همکاران۲۰۱۰) . گیاهان تیمار شده با سیلیکون اسید سالیسیلیک را از بافت های خود عبور داده و زمانیکه مورد حمله آفات قرار می گیرند، سیگنال های سیستمیک مانند اسید جاسمونیک و اسید سیلیسیک تولید کرده و با تاثیر روی سطوح دوم و سوم غذایی موجب جلب حشرات شکارگر و پارازیتوئید می شوند. تحقیقات نشان داده است زنبورهای پارازیتوئید به گیاهان خیار و فلفل تیمار شده با سیلیکون نسبت به گیاهان شاهد بیشتر جلب می شوند. در نتیجه این روش میتواند به عنوان یک مکمل در برنامه های بیولوژیک مورد استفاده قرار گیرد (کوداراس و همکاران ۲۰۱۰). حالت و توان بالقوه کود دهی دفاع شیمیایی القا شده گیاهی به منظور جذب عوامل کنترل بیولوژیک در مدیریت آفات یک موضوع بسیار جالب و جذاب است .علاوه بر این اگر نتایج امیدوار کننده به صورت در دسترس بودن ترکیبات جدید دفاع گیاهی تفسیر شود می تواند اثرات مقاومت گیاهی را در سطح سوم گیاهی بهبود بخشیده و این می تواند در کاهش تاثیر که در نتیجه سازگاری ژنتیکی جمعیت آفت است کمتر اثر بگذارد (گور و کوداراس ۲۰۰۹). سیلیکون با محکم نمودن دیواره سلولی گیاه باعث تاخیر یا کاهش ورود لارو برخی از آفات و از جمله ساقه خوار به درون گیاه میگردد و در نتیجه آن حشره گیاهخوار به مدت طولانیتری در معرض دشمنان طبیعی و شرایط بد اقلیمی قرار می گیرد.

تشکر و قدر دانی

نگارنده ی اول از زحمات خانم دکتر وانسا کونیک از دانشگاه چارلز استورت استرالیا ب ه خاطر همکاری در تهیه بخشی از منابع تحقیق، خانم میچله پترسون (شرکت پلانت هلث پروداکت آفریقای جنوبی)، آقای حسین یاوری (شرکت ان تی اس استرالیا) و خانم دکتر ماری پراونس باولی (کلسیم سیلیکات کورپوریشن آمریکا) به جهت حمایت از طرح تحقیق سیلیکون سپاسگزاری می نماید.

منابع

Agarwal, R. A. 1969. Morphological characteristics of sugarcane and insect resistance. Entomologia Experimentalis et Applicata, 12: 767-776.

Almeida, G. D., Pratissoli, D., Zanucio, J. D., Vicentini, V. B., Holtz, A. M. and Serrao, J. E. 2009. Calcium silicate and mineral fertilizer applications reduce phytophagy by *Thrips palmi* (Thysanoptera: Thripidae) on eggplants. Interciencia, 33: 835-838.

Anderson, D. L. and Sousa, O. Jr. 2001. Effect of silicon on expression of resistance to sugarcane borer (*Diatraea saccharalis*). Journal of the American Society of Sugarcane Technologists, 21: 43-50.

Appel, H. M. 1993. Phenolics in ecological interactions: the importance of oxidation. Journal of Chemical Ecology, 19: 1521-1552.

Baker, G.M. 1989. Grass host preferences of Listronotus bonariensis (Coleoptera: Curculionidae). Journal of Economic Entomology, 82: 1807-1816.

Basagli, M. A., Moraes, J. C., Carvalho, G. A., Ecole, C. C. and Goncalves-Gervasio, R. C. R. 2003. Effects of sodium silicate application on the resistance of wheat plants to the green aphid *Schizaphis graminum* (Hemiptera: Aphididae). Neotropical Entomology, 32: 659-663.

Blum, A. 1968. Anatomical phenomenain seedlings of sorghum varieties resistant to sorghum shoot fly *Atherigona variasocata*. Crop Science, 8: 388-392.

Chu, Y. I. and Hong, S. B. 1991. Infestation and reproduction of Asia corn borer on slag-treated corn plants. Chinese Journal of Entomology, 11: 19-24.

Connick, V. J., Reynolds, O. L., Saliba, A., Gurr, G. M., Guisard, Y., Simmons, A. T. and Nicol, H. I. 2011. Effects of potassium silicate on grape wines constitutes and induce defences against an Australian leaf roller pest and its natural enemies. Proceedings of 5th International Conference on Silicon in Agriculture, 13-18 September 2011, Beijing, China, pp, 25.

Correa, R. S., Moraes, J. C., Aaud, A. M. and Carvalho, G. A. 2005. Silicon and acibenzolar-S-methyl as resistance inducers in cucumber, against the whitefly *Bemisia tabaci* (Hemiptera: Aleyrodidae) biotype B. Neotropical Entomology, 34-429-433.

Costa, R. R. and Moraes, J. C. 2006. Efeitos do acido silicico e do acibenzolar-S-methyl sobre *Schizaphis graminum* (Hemiptera: Aphididae) em plantas de trigo. Neotropical Entomology, 35: 834-839.

Epstein, E. 2009. Silicon: its manifold roles in plants. Annals of Applied Biology, 155: 155-160.

Fauteux, F., Chain, F., Belzile, F., Menzies, J. G. and Belanger, R. R. 2006. The protective role of silicon in the *Arabidopsis*-powdery mildew pathosystem. Proceedings of the National Academy of Sciences of United States of America, 103: 17554-17559.

Fauteux, F., Remus-Borel, W., Menzies, J. G. and Belanger, R. R. 2005. Silicon and plant disease resistance against pathogenic fungi. Microbiology Letters: 249: 1-6.

Felton, G. W., Summers, C. B. and Mueller, A. J. 1994. Oxidative responses in soybean foliage to herbivory by bean leaf beetle and three cornered alfalfa hopper. Journal of Chemical Ecology, 20: 639-650.

Gatarayiha, M. C., Laing, M. D. and Miller, M. R. 2010. Combining applications of potassium silicate and *Beauveria bassiana* to four crops to control of two spotted spider mite, *Tetranychus urticae* Koch. International Journal of Pest Management, 56, 291-297.

Gomes, F.B., Moraes, J. C., Santos, C. D. and Antunes, C. 2008. Use of silicon as inductor of the resistance in potato to *Myzus persicae* (Hemiptera: Aphididae). Neotropical Entomology, 37: 185-190.

Gomes, F.B., Moraes, J. C., Santos, C. D. and Goussain, M. M. 2005. Resistance induction in wheat plants by silicon and aphids. Scientia Agricola, 62: 547-551.

Guevel, M. H., Menzies J. G. and Belanger, R. R. 2007. Effect of root and foliar applications of soluble silicon on powdery mildew control and growth of wheat plant. European Journal of Plant Pathology, 119: 429-436.

Gurr, G. M. and Kvedaras, O. L. 2009. Synergizing biological control: scope for sterile insect technique, induce plant defenses and cultural techniques to enhance natural enemy impact. Biological Control.

Hammerschmidt, R. 2005. Silicon and plant defense: the evidence continues to mount. Physiological and Molecular Plant Pathology, 66: 117-118.

Hanifa, A. M., Subramaniam, T. R. and Ponnaiya, B. W. X. 1974. Role of silica in resistance to the leafroller, *Cnaphalocrocis medinalis* in rice. Indian Journal of Experimental Biology, 12: 463-465.

Hanish, H. C. 1981. Die populationsentwicklung von getreideblattlausen an weizenpflanzen nach verschieden hoher stickstuffdungong und vorbeugender application von kieselsaure zur wirtspflanze. Mitteilungen der Deutschen Gesellschaft fur Allemaine und Angevandte Entomologie, 10: 325-335.

Hunt, J. W., Dean, A. P., Webster, R. E., Johnson, G. N. and Ennos, A. R. 2008. Anovel mechanism by which silica defends grasses against herbivory. Annals of Applied Botany, 102: 653-656.

Korndorfer, A. P., Cherry, R. and Nagata, R. 2004. Effect of calcium silicate on feeding and development of tropical sod webworms (Lepidoptera: Pyralidae). Florida Entomologist, 103: 393-395.

Korndorfer, A. P., Grisoto, E. and Vendramim, J. D. 2011. Induction of insect plant resistance to Spittlebug *Mahanarva fimbriolata* Stal (Hemiptera: Cercopidae) in sugarcane by silicon application. Neotropical Entomology, 40: 387-392.

Kvedaras, O, L., An, M., Choi, Y.S. and Gurr, G.M. 2010. Silicon enhances natural enemy attraction and biological control through induced plant defenses. Bulletin of Entomological Research, 100: 367-371.

Kvedaras, O. L. and Keeping, M. G. 2007. Silicon impedes stalk penetration by the borer *Eldana saccharina* in sugarcane. Entomologia Experimentalis et Applicata, 125: 103-110.

Kvedaras, O. L., Keeping, M. G. and Meyer, J. H. 2009. Silicon augmented resistance of plants to herbivorous insects. Annals of Applied Biology, 155,

Kvedaras, O. L., Keeping, M. G., Goebel, F. R. and Byrne, M. J. 2007. Water stress augments silicon-mediated resistance of susceptible sugarcane cultivars to the stalk borer *Eldana saccharina* (Lepidoptera: Pyralidae). Bulletin of Entomological Research, 97:175-183.

Lee, K. P., Raubenheimer, D., Behmer, S.T. and Simpson, S. J. 2003. A correlation between macronutrient balancing and insect host-plant range: evidence of the specialist caterpillar *Spodoptera exempta*. Journal of Insect Physiology, 49: 1161-1171.

Ma, 2004. Role of silicon in enhancing the resistance of plants to biotic and abiotic stresses. Soil Science and Plant Nutrition, 50: 11-18.

Ma, J. F. and Yajima, N. 2006. Silicon uptake and accumulation in higher plants. Trends in Plant Science, 11: 392-397.

Massey, F. P. and Hartley, S. E. 2009. Physical defences wear you down: progressive and irreversible impacts of silica on insect herbivores. Journal of Animal Ecology, 78: 281-291.

Massey, F. P., Ennos, A. R. and Heartly, S. E. 2006. Silica in grasses as a defence against insect herbivores: contrasting effects on folivorous and a phloem feeder. Journal of Animal Ecology, 75: 595-603.

Massey, F. P., Ennos, A. R. and Heartly, S. E. 2007. Herbivore specific induction of silica-based plant defences. Oecologia, 152: 677-683.

Meyer, J. H. and Keeping, M.G. 2005. Impact of silicon in alleviating biotic stress in sugarcane in south Africa. Sugarcane International, 23: 14-18.

Mishra, M. C. and Mishra, B. C. 1992. Role of silica in resistance of rice, Oryza sativa to white-backed planthopper. Sogatella furcifera (Homoptera: Delphacidae). Indian Journal of Entomology, 54: 190-195.
Moore, D. 1984. The role of silica in protecting Italian ryegrass from attack by dipterous stem-boring larvae (*Oscinella frit* and other related species). Annals of Applied Biology, 104: 161-166.
Moraes, J. C. and Carvalho, S.P. 2002. Resistance induction on sorghum plants *Sorghum bicolor* to the green bug *Schizaphis graminum* (Hemiptera: Aphididae) by silica application. Ciencia e Agrotecnologia, 26: 1185-1189.
Moraes, J. C., Goussain, M. M., Basagli, M. A. B., Carvalho, G. A., Ecole, C. C. and Sampaio, M. V. 2004. Silicon influence on the tritrophic interaction: wheat plants, the greenbug *Schizaphis graminum* (Hemiptera: Aphididae) and its natural enemies, *Chrysoperla externa* (Neuroptera: Chrysopidae) and *Aphidius colemani* (Hymenoptera: Aphidiidae). Neotropical Entomology, 33: 619-624.
Panda, N. and Khush, G. S. 1995. Host plant resistance to insects. CAB International, Wallingford, UK.
Parrella, M. P., Costamagna, T. P. and Kaspi, R. 2007. The addition of potassium silicate to the fertilizer mix to suppress *Liriomyza* leaf miners attacking chrysanthemums. Acta Horticulture, 747: 365-369.
Ramachandran, R. and Khan, Z. R. 1991. Mechanisms of resistance in wild rice *Oryza brachyanta* to rice leaf folder *Cnaphalocrocis medinalis* (Lepidoptera: Pyralidae). Journal of Chemical Ecology, 17: 41-65.
Rao, C.N. and Panwar, V. P. 2001. Anatomical plant factors affecting resistance to *Atherigona* spp. In maize. Annals of Agricultural Research, 22: 165-168.
Rao, S. D. V. 1967. Hardness of sugarcane varieties in relation to shoot borer infestation. Andhra Agricultural Journal, 14: 99-105.
Sasamoto, K. 1958. Studies on the relation between silica content of the rice plant and insect pests. Japanese Journal Of Applied Entomology and Zoology, 2: 88-92.
Savant, N. K., Korndorfer, G. H., Datnoff, L. E. and Snyder, G. H. 1999. Silicon nutrition and sugarcane production. Journal of Plant Nutrition, 22: 1853-1903.
Stout, M. J., Workman, J. and Duffey, S. S. 1994. Differential induction of tomato foliar proteins by arthropod herbivores. Journal of Chemical Ecology, 20: 2575-2594.
Zadda, K., Rajendran, R. and Vijayaraghavan, C. 2007. Induced systemic resistance to major insect pests of brinjal through organic farming. Crop Research, 34: 125-129.