

# FOTOSSÍNTESE, CRESCIMENTO E INCIDÊNCIA DE INSETOS-PRAGA EM GENÓTIPOS DE CACAU PULVERIZADOS COM SILÍCIO

## PHOTOSYNTHESIS, GROWTH AND INCIDENCE OF INSECT PEST IN CACAO GENOTYPES SPRAYED WITH SILICON

Diego Guimarães PINTO<sup>1</sup>; Marco Antonio Galeas AGUILAR<sup>2</sup>;  
Carlos Alberto Spaggiari SOUZA<sup>2</sup>; Diolina Moura SILVA<sup>3</sup>; Paulo Roberto SIQUEIRA<sup>2</sup>;  
Jelber Rigato CAO<sup>4</sup>

1. Biólogo, Mestre em Biologia Vegetal pela Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, ES, Brasil. [diegog.pinto@gmail.com](mailto:diegog.pinto@gmail.com);  
2. Pesquisador Comissão Executiva do Plano da Lavoura Cacaueira (CEPLAC/ESFIP); 3. Professora, D.Sc. Programa de pós-graduação em Biologia Vegetal, Universidade Federal do Espírito Santo, 4. Biólogo Egresso da Faculdade de Ciências Aplicadas "Sagrado Coração".

**RESUMO:** Poucos são os estudos envolvendo o efeito do silício sobre a fisiologia e a resistência do cacauzeiro a insetos-praga. Com o objetivo de avaliar as alterações fisiológicas, a incidência e o nível de dano provocado por insetos-praga após aplicação de silicato de potássio em genótipos de cacau, foi conduzido em campo, um experimento no delineamento de blocos casualizados, em esquema fatorial 3 x 3 com 4 repetições, sendo 3 genótipos de cacau (TSH 1188, CCN 51 e Catongo) e 3 doses de silicato de potássio (0; 3 e 6 mL L<sup>-1</sup>). Avaliou-se o crescimento, a cinética da emissão da fluorescência da clorofila, o teor de Si, o índice de clorofila, além da incidência e nível de dano provocado por insetos-praga. A aplicação de silicato de potássio na dose 6 mL L<sup>-1</sup> reduziu a maioria das variáveis de crescimento. O TSH 1188 foi o único genótipo que apresentou incremento no índice de clorofila e no desempenho das variáveis de fluorescência com a aplicação de 3 mL L<sup>-1</sup>. A aplicação de silicato de potássio não influenciou o teor foliar de Si nos genótipos estudados, mas reduziu a incidência e o nível de dano provocado por insetos-praga.

**PALAVRAS-CHAVE:** *Theobroma cacao* L. Silicato de potássio. Fluorescência da clorofila *a*. Indução de resistência.

## INTRODUÇÃO

A incidência de doenças e o ataque de insetos-praga são um dos principais problemas que afetam a produtividade em diversas culturas agrícolas, inclusive a do cacau. Em regiões quentes e períodos de seca, a incidência de doenças é menor, mas o aumento da frequência de insetos pode ser limitante para o desenvolvimento das plantas de cacau (SOUZA; DIAS, 2001).

Dentre os insetos-praga da cultura do cacau, destacam-se os pulgões (*Toxoptera aurantii* B.), percevejos (*Monalonion* sp.), vaquinhas (*Colaspis* sp. *Taimbenzinhia theobromae* B. e *Percolaspis ornata* G.), carneirinhos (*Lasiopus cilipes* S. e *Naupactus bondari* M.) e lagartas (*Stenomoma decora* Z., *Peosina mexicana* G. e *Sylepta prorogata* H.) (GRAMACHO et al., 1992). Estes insetos se alimentam, principalmente das folhas, reduzindo a área foliar (MACEDO et al., 2003) ou sugando a seiva dos tecidos, e dependendo do grau da lesão podem provocar alterações no tamanho e frequência estomática, remoção de clorofila e diminuição das taxas fotossintéticas (PACHEPSKY; ACOCK, 1996).

O manejo destes insetos se restringe ao uso de agroquímicos, no entanto quando utilizados indiscriminadamente, além de aumentar os custos de produção, podem trazer conseqüências graves ao meio ambiente e aos seres vivos (ARAÚJO et al., 2000). Desse modo, pesquisas que visam buscar o controle natural de insetos na lavoura cacaueira são fundamentais para o desenvolvimento rotineiro de práticas que contribuam, cada vez mais, para a redução do uso de agroquímicos na agricultura.

Os benefícios do uso do silício (Si) no aumento da resistência de plantas ao ataque de pragas têm sido demonstrados em várias culturas (EPSTEIN, 2001). Os mecanismos pelos quais o Si pode conferir resistência a pragas pode ser pela formação de uma barreira estrutural devido à associação da sílica aos constituintes da parede celular (GOUSSAIN et al., 2002) e, ou, pela sua ação como elicitador de mecanismos bioquímicos de defesa (FAWE et al., 1998). Além disso, o Si pode promover melhor aproveitamento de água por propiciar menor transpiração, aumento do teor de clorofila das folhas e da eficiência fotossintética, por manter as folhas mais eretas e rígidas com maior interceptação da luz (EPSTEIN, 2001).

A aplicação de silício tem apresentado resultados satisfatórios em algumas culturas, no entanto ainda tem sido pouco estudado na cultura do cacau, embora trabalhos preliminares demonstrem efeito positivo deste elemento no aumento da resistência do cacauzeiro contra insetos-praga (PINTO et al., 2012; SOUZA et al., 2012). Desse modo, o uso do silício mostrasse como alternativa promissora ao uso de agroquímicos nesta cultura por trazer benefícios à fisiologia da planta bem como redução dos impactos causados pelos inseticidas ao meio ambiente.

Dessa forma, objetivou-se avaliar o crescimento, o teor foliar de clorofila e sua cinética de emissão de fluorescência, o teor de Si, além da incidência e o nível de dano provocado por insetos-praga após aplicação de silicato de potássio em três genótipos de *T. cacao*.

## MATERIAL E MÉTODOS

### Material vegetal e condições de cultivo

O experimento foi instalado em campo, sob um sistema agroflorestral, constituído de *Bactris gasipaes* K. (Arecaceae) e *Theobroma cacao* L. (Malvaceae), na Estação Experimental Filogônio Peixoto (ESFIP, Linhares, ES) pertencente à Comissão Executiva do Plano da Lavoura Cacaueira (CEPLAC). O ensaio foi conduzido com mudas seminais dos genótipos TSH 1188, CCN 51 e Catongo, sendo os dois primeiros de boa aceitação entre os cacauicultores da região e resistentes a vassoura-de-bruxa (*Moniliophthora perniciosa*). Além disso, apresentam incidência diferenciada a insetos-praga em condições de campo. As sementes foram obtidas por polinização aberta, coletadas na própria estação da CEPLAC, pré-germinadas em água corrente e, após a protrusão da raiz primária, plantadas em sacolas de polietileno de 28 x 15cm contendo substrato composto por solo, areia e esterco de curral, na proporção 3:1:1 respectivamente, e adubação com 700g de Superfosfato simples/m<sup>3</sup> de substrato. Uma amostra do substrato foi coletada para análise química segundo Raij et al. (2001) que indicou as seguintes características: pH (H<sub>2</sub>O) 7,05; P (mg dm<sup>-3</sup>) 140; K<sup>+</sup> (mg dm<sup>-3</sup>) 230; S (mg dm<sup>-3</sup>) 7; Ca<sup>+2</sup> (cmol dm<sup>-3</sup>) 3,6; Mg<sup>+2</sup> (cmol dm<sup>-3</sup>) 1,6; Al<sup>+3</sup> (cmol dm<sup>-3</sup>) 0,0; V (%) 82,4; B (mg dm<sup>-3</sup>) 0,34; Cu (mg dm<sup>-3</sup>) 4; Fe (mg dm<sup>-3</sup>) 307; Mn (mg dm<sup>-3</sup>) 217; Zn (mg dm<sup>-3</sup>) 24,0; Si (mg dm<sup>-3</sup>) 6 e matéria orgânica (dag kg<sup>-1</sup>) 2,4. No decorrer do experimento, as mudas permaneceram em viveiro sob irrigação diária e tratos culturais normais.

Aos 45 dias após o plantio, as mudas foram transportadas para o campo e distribuídas no delineamento experimental de blocos casualizados, com quatro repetições, no arranjo fatorial 3 x 3, sendo três genótipos, duas doses de silicato de potássio (3 e 6 mL L<sup>-1</sup>) e um controle pulverizado com água. Conforme recomendado pelo fabricante e de acordo com metodologia utilizada por Pinto et al. (2012), foram realizadas quatro aplicações da solução com intervalos de 15 dias, aspergida na face abaxial e adaxial da folha com borrifador manual até o ponto de escorrimento, totalizando 20 borrifadas por planta, o que corresponde a 11 mL de solução/planta.

### Crescimento

A avaliação do crescimento vegetativo foi realizada no campo antes da primeira e após a última aplicação dos tratamentos, correspondendo a 45 e 120 dias após o plantio das mudas, respectivamente, obtendo-se assim, o incremento da área foliar, altura, número de folhas e diâmetro do caule. Avaliou-se o diâmetro do caule (mm), utilizando paquímetro de precisão (0,05mm), realizando duas medições num ângulo de 90° na base do “colete”. A medição da altura (cm) e estimativa da área foliar (cm<sup>2</sup>) foi realizada com régua milimetrada, sendo que, para a altura mediu-se do colete até a inserção do broto terminal, já a área foliar foi avaliada sem a retirada das folhas, medindo-se o maior comprimento e a maior largura de cada folha, multiplicando pelo fator de correção 0,66 (SANTOS et al., 2011). A contagem do número de folhas foi realizada manualmente.

### Fluorescência da clorofila *a* e teor de clorofila

A fluorescência da clorofila foi avaliada na primeira folha completamente madura, a partir do ápice do ramo ortotrópico, durante cinco períodos (2, 4, 6, 8 e 14 dias após a última aplicação dos tratamentos) utilizando-se fluorômetro portátil (Handy PEA, Hansatech Instruments,UK). As folhas foram inicialmente adaptadas ao escuro por 30 min usando um clipe foliar e, em seguida, submetidas a um pulso saturante de luz vermelha de cerca de 3000 μmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> com duração de 5 segundos (pico de 650 nm). Os resultados foram tabulados com o programa PEA Plus. A partir do teste JIP (STRASSER; STRASSER, 1995), foram calculados a fluorescência inicial (Fo); os parâmetros de fluxo específico de energia do FSII por centro de reação: absorção (ABS/RC), captura (TRo/RC), transporte de elétron (ETo/RC) e dissipação (DIo/RC). Também foi determinado a probabilidade de um fóton absorvido mover um elétron após a quinona A<sup>-</sup>

( $ETo/TRo = \psi_o$ ), a densidade de centros de reação ativos no FSII (RC/ABS), os rendimentos quântico potencial máximo ( $\phi Po = Fv/Fm$ ) e quântico efetivo do FSII [ $\phi Po/(1-\phi Po)$ ] =  $Fv/Fo$ ); o desempenho das reações de oxi-redução do fotossistema I [ $\delta Ro/(1-\delta Ro)$ ]; além do índice de desempenho com base na absorção ( $PI_{ABS}$ ) e do índice de desempenho total ( $PI_{TOTAL}$ ), em que  $PI_{ABS} = RC/ABS \times [\phi Po / (1 - \phi Po)] \times [\Psi_o / (1 - \Psi_o)]$  e  $PI_{TOTAL} = PI_{ABS} \times [\delta Ro / (1 - \delta Ro)]$  (TSIMILLI-MICHAEL; STRASSER, 2008).

A avaliação dos teores de clorofila total foi realizada com auxílio do clorofilômetro portátil (Model CL-01 Hansatech Instruments), na mesma folha e no mesmo período que foi avaliada a fluorescência e os resultados foram expressos em índice de clorofila.

### Incidência e nível de dano provocado por insetos-praga

A incidência de insetos-praga foi determinada pela contagem de folhas que apresentavam lesões provocadas por insetos (*Colaspis* sp., *T. theobromae*, *P. ornata*, *L. cilipes*, *N. bondari*, *P. mexicana*) e a presença de pulgões (*T. aurantii*), antes da primeira e após última aplicação dos tratamentos, correspondendo à 45 e 120 dias após o plantio, respectivamente, obtendo-se assim o incremento do número de folhas atacadas por parcela. Já o nível de dano foi avaliado pela área foliar lesionada (cm<sup>2</sup>) determinada aos 120 dias após o plantio pelo software ImageJ (Wayne Rasband National Institute of Health, USA) e por escala de notas, de acordo com a área foliar lesionada, sendo atribuída: Nota 0 - folha sem lesão; Nota 1 - 1 a 25% de área foliar lesionada; Nota 2- 26 a 50% de área foliar lesionada; Nota 3- 51 a 75% de área foliar lesionada; Nota 4- 76 a 100% de área foliar lesionada.

### Biomassa seca e teor de silício

Ao final do experimento, as plantas foram colhidas e divididas em raízes, caules e folhas, lavadas em água corrente e colocadas em estufa a 70°C até massa constante. Posteriormente, o material foi então pesado, obtendo-se assim a massa seca (g/planta). Após a obtenção da massa seca foi determinado o teor de silício na biomassa seca foliar de acordo com metodologia descrita por Korndörfer et al. (2004).

### Análise estatística

Após as avaliações, submeteu-se os resultados à análise de variância e comparou-se as

médias pelo teste Tukey 5%. No caso dos parâmetros de fluorescência, as médias foram comparadas pelo teste Skott-Knott 5%, pois este teste discrimina melhor as diferenças entre as médias, permitindo assim, comparações mais adequadas das diferenças relativas em relação ao controle. Além disso, para o crescimento, o índice de clorofila, o teor de silício, os parâmetros de fluorescência e a incidência e nível de dano provocado por insetos-praga, com base na detecção de diferenças significativas entre tratamentos e suas interações, optou-se pelos desdobramentos da interação genótipo x dose.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Crescimento

A aplicação silicato de potássio, com exceção da redução de 10% do diâmetro do caule na dose 3 mL L<sup>-1</sup>, não afetou as variáveis de crescimento do genótipo TSH 1188 (Tabela 1). No CCN 51 o aumento das doses de silicato de potássio reduziu a altura e a massa seca do caule, sendo que o mesmo comportamento ocorreu para a altura, área foliar e massa seca da folha no Catongo, as demais variáveis de crescimento não foram afetadas pelas doses de silicato de potássio nesses genótipos.

Apesar do Si influenciar positivamente no crescimento e desenvolvimento de algumas culturas (EPSTEIN, 2001), isto não foi observado nas mudas de cacau, fato este que pode estar relacionado à influência deste elemento na resistência da planta, uma vez que seus fotoassimilados podem ter sido disponibilizados para as rotas envolvidas nos mecanismos de defesa ao invés do crescimento vegetativo (HEIL; BOSTOCK, 2002). De maneira similar, Aguilar et al. (2003), estudando o efeito de Mn e do acibenzolar-S-metílico sobre as trocas gasosas e o crescimento de clones de *T. cacao* resistentes a vassoura-de-bruxa, observaram que na ausência do indutor de resistência Bion, as mudas do clone TSH 565 apresentaram maior incremento da altura e diâmetro do caule do que na presença deste indutor, sugerindo a partição de assimilados para a produção de compostos envolvidos na resistência ao invés do crescimento. Buzi et al. (2004) também verificaram redução da germinação e do crescimento de *Cucumis melo* L. tratadas com acibenzolar-S-metil e ácido metil jasmônico em função da transferência metabólicos para a síntese de compostos relacionados à defesa.

**Tabela 1.** Valores médios da altura (Alt), diâmetro do caule (DC), número de folhas (NF), área foliar (AF), massas seca da folha (MSF), do caule (MSC), da raiz (MSR) e total (MST) de três genótipos de *T. cacao* em função da aplicação de doses de silicato de potássio e o controle.

Genótipos	Tratamentos (mL L <sup>-1</sup> )	Variáveis de crescimento							
		Alt	DC	NF	AF	MSF	MSC	MSR	MST
		- cm -	- mm -	--	- cm <sup>2</sup> -	----- g -----			
TSH 1188	0	39,88 a	6,12 a	22,57 a	2094,9 a	9,23 a	5,63 a	2,95 a	17,82 a
	3	42,09 a	5,56 b	23,52 a	2110,1 a	8,74 a	5,29 a	2,61 a	16,64 a
	6	42,00 a	5,94 ab	24,30 a	2041,4 a	9,08 a	5,69 a	2,95 a	17,74 a
CCN 51	0	33,15 a	5,40 a	20,85 a	1844,7 a	7,83 a	4,66 a	2,69 a	15,19 a
	3	27,64 b	5,03 a	19,89 a	1662,1 a	7,04 a	4,24 ab	2,58 a	13,91 a
	6	24,54 b	5,35 a	18,18 a	1505,6 a	6,84 a	3,68 b	2,42 a	12,95 a
Catongo	0	29,52 ab	4,64 a	13,95 a	1370,6 a	5,95 a	3,03 a	1,88 a	10,86 a
	3	30,61 a	4,44 a	12,45 a	1159,5 ab	5,47 ab	3,03 a	1,95 a	10,46 a
	6	24,76 b	4,09 a	11,27 a	899,1 b	4,26 b	2,58 a	1,67 a	8,52 a
C.V.(%)		9,39	6,14	14,08	12,13	11,86	12,74	11,91	10,92

C.V. (%) – Coeficiente de variação. Médias seguidas de mesma letra nas colunas não diferem estatisticamente entre si pelo teste Tukey (P<0,05), n=4.

#### Índice de clorofila e fluorescência da clorofila a

A aplicação de silicato de potássio aumentou significativamente (P<0,05) os valores do índice de clorofila apenas para o genótipo TSH 1188, sendo que na dose 3 mL L<sup>-1</sup> esse aumento foi de 37% em relação ao controle (Tabela 2). As clorofilas são pigmentos importantes no processo fotossintético, pois participam da absorção e

captação de energia luminosa para posterior conversão dessa energia em ATP e poder redutor, os quais podem ser usados na síntese de carboidratos. Desse modo o aumento da síntese deste pigmento permite a planta um aumento da sua atividade fotossintética, consequentemente maior desenvolvimento e produção de energia para síntese dos compostos de defesa a estresses bióticos e abióticos (TAIZ; ZEIGER, 2009).

**Tabela 2.** Índice de clorofila de três genótipos de *T. cacao* em função da aplicação de doses de silicato de potássio e o controle.

Genótipos	Doses de silicato de potássio		
	Controle	3 mL L <sup>-1</sup>	6 mL L <sup>-1</sup>
TSH 1188	7,30 c	9,95 a	8,57 b
CCN 51	7,82 a	8,49 a	7,97 a
Catongo	7,85 a	7,95 a	7,38 a

Médias seguidas de mesma letra nas linhas não diferem estatisticamente entre si pelo teste Tukey (P<0,05), C.V.(%)=12,81, n=20.

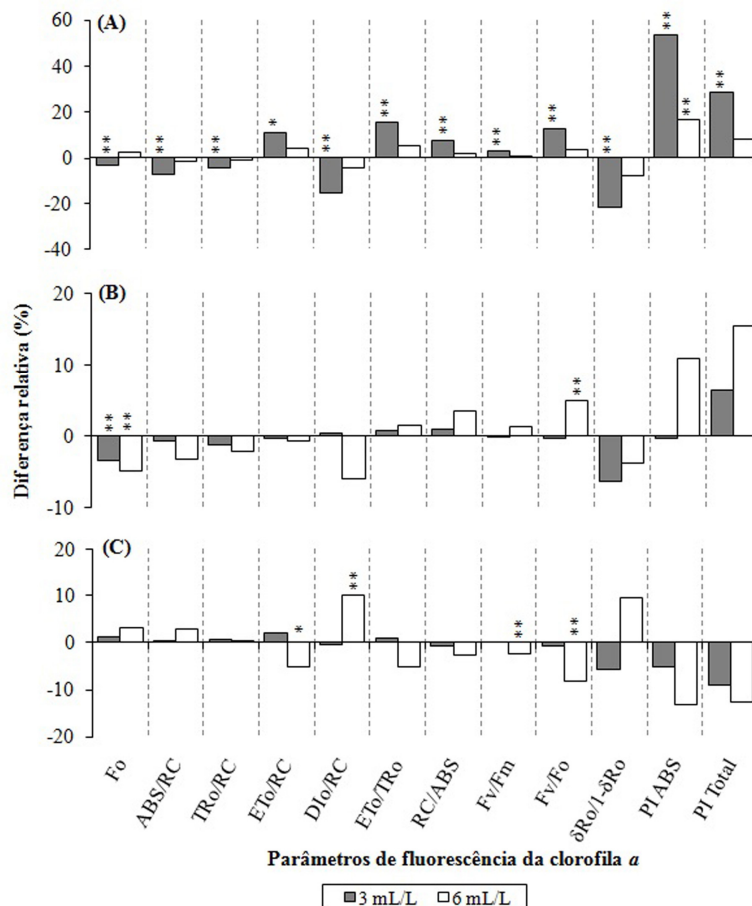
Braga et al. (2009) observaram que a suplementação do meio de cultura com Si proporcionou maior teor de clorofila em mudas de morango (*Fragaria x ananassa* D.). Em *Oryza sativa* L., Oliveira et al. (2007) e Ávila et al. (2010) também verificaram que a aplicação de Si conferiu maior valor para a leitura do clorofilômetro SPAD, quando comparado aos tratamentos que não receberam aplicação de Si.

Em relação aos parâmetros de fluorescência, no genótipo TSH 1188 (Figura 1A), a aplicação de 3 mL L<sup>-1</sup> de silicato de potássio reduziu significativamente (P<0,05) a fluorescência inicial (Fo). Fo expressa inversamente o potencial máximo do uso da energia de excitação no processo fotoquímico (LAZAR, 1999), dessa forma, a redução deste parâmetro indica que o sistema de absorção de luz do FSII está atuando de forma mais

eficiente neste genótipo com a aplicação de  $3 \text{ mL L}^{-1}$  de silicato de potássio, aumentado assim, a capacidade de transferência da energia de excitação dos pigmentos antena para os centros de reação.

Para o fluxo de energia nos centros de reação do FSII, esta mesma dose reduziu a absorção de energia pelos pigmentos antenas (ABS/RC) e a captura desta energia para redução da feofitina e quinona A (TRo/RC) (Figura 1A). No entanto, houve aumento do transporte de elétrons (ETo/RC) além da quinona A<sup>-</sup> para os aceptores de elétrons do intersistema e redução significativa da dissipação de energia capturada (Dio/RC). De acordo com Strasser e Strasser (1995), do total de fótons absorvidos pelo complexo antena, parte desta energia é dissipada na forma de calor e na emissão

de fluorescência e outra parte é capturada para o centro de reação e, então, convertida em energia redox, mediante o transporte de elétrons, que levam à fixação de  $\text{CO}_2$ . Ou seja, apesar da baixa absorção e menor captura de energia pelo FSII, sua dissipação é baixa, indicando que a aplicação de  $3 \text{ mL L}^{-1}$  de silicato de potássio promoveu maior eficiência no aproveitamento da energia absorvida pelos centros de reação do FSII para o TSH 1188. A probabilidade de um elétron capturado pelo centro de reação do FSII ser transportado além da quinona A<sup>-</sup> (ETo/TRo), a densidade de centros de reação ativos no FSII (RC/ABS) e os rendimentos quântico potencial máximo (Fv/Fm) e quântico efetivo de FSII (Fv/Fo) também aumentaram com esta dose.



**Figura 1.** Diferença relativa (%) entre as doses de silicato de potássio para o controle do genótipo TSH 1188 (A), CCN 51 (B) e Catongo (C) em função dos parâmetros de fluorescência da clorofila *a*. Fo = Fluorescência inicial; ABS/RC = Absorção de luz por centro de reação; TRo/RC = Captura de energia de excitação por centro de reação; ETo/RC = Transporte de elétrons por centro de reação; Dio/RC = Dissipação de energia por centro de reação; ETo/TRo = Probabilidade de um fóton absorvido mover um elétron após a quinona A<sup>-</sup>; RC/ABS = Número de centros de reação ativos de FSII; Fv/Fm = Rendimento quântico potencial máximo de FSII; Fv/Fo = Rendimento quântico efetivo de FSII;  $\delta\text{Ro}/(1-\delta\text{Ro})$  = Desempenho das reações de oxi-redução de FSI; PI\_ABS e PI\_TOTAL = Índices de desempenho por absorção e total. (\*) e (\*\*) significativo a 5 e 1% de probabilidade pelo teste Scott-Knott, n=20.

A aplicação de 3 mL L<sup>-1</sup> de silicato de potássio no TSH 1188 aumentou os índices de desempenho PI<sub>ABS</sub> e PI<sub>TOTAL</sub> (Figura 1A). No entanto, o PI<sub>TOTAL</sub> foi cerca de 20% menor do que PI<sub>ABS</sub>, pois apesar dos elevados valores de RC/ABS, ETo/TRo e Fv/Fo, houve redução significativa (P<0,05) das reações de oxi-redução de FSI [ $\delta Ro/(1-\delta Ro)$ ]. De acordo com Tsimilli-Michael e Strasser (2008), PI<sub>ABS</sub> e PI<sub>TOTAL</sub> incorporam os processos de cascata de energia dos primeiros eventos da absorção de energia até a redução dos aceptores de elétrons do intersistema, e até a redução dos aceptores finais de elétrons do FSI, respectivamente, e fornecem informações do potencial das plantas para conservação de energia. Desse modo, o aumento destes parâmetros sugere que a aplicação de silicato de potássio melhorou a eficiência fotossintética do TSH 1188 na dose 3 mL L<sup>-1</sup>, o que corrobora com os resultados do índice de clorofila nesta mesma dose para este genótipo (Tabela 3), uma vez que estes pigmentos são responsáveis pela absorção e poder redutor no processo fotossintético.

Feng et al. (2010) observaram em *Cucumis sativus* L., que a aplicação de Si aumentou significativamente Fv/Fm e Fv/Fo em plantas com toxicidade por Cádmio (Cd), indicando que estas plantas poderiam manter a maior atividade do centro de reação por meio da aplicação de Si. Do mesmo modo, em variedades de *Zea mays* L. sob toxicidade de Mn, verificou-se que a aplicação de Si reduziu o efeito tóxico do excesso de Mn aumentando Fv/Fm e o transporte de elétrons no FSII (DONCHEVA et al., 2009).

Para o genótipo CCN 51 a aplicação de silicato de potássio reduziu significativamente (P<0,05) o valor de Fo e na dose 6 mL L<sup>-1</sup> houve

aumento de Fv/Fo, já para os demais parâmetros as doses de silicato de potássio não diferiram estatisticamente (P<0,05) em relação ao controle (Figura 1B). De maneira similar, para o genótipo Catongo não houve efeitos positivos em relação ao controle com a aplicação do silicato de potássio. Pelo contrário, Fv/Fm, Fv/Fo e ETo/RC foram reduzidos na dose 6 mL L<sup>-1</sup>, além disso, na mesma dose, houve aumento de DIO/RC pelo FSII (Figura 1C). Estes resultados podem indicar fotoinibição no Catongo, uma vez que houve redução do transporte de elétrons, de Fv/Fm e Fv/Fo e o aumento do desvio da energia luminosa absorvida em direção a dissipação na forma de calor ou fluorescência via ciclo das xantofilas, para minimizar o efeito da super excitação de FSII (ARAÚJO; DEMINICIS, 2009). Além disso, a fotoinibição no Catongo também pode estar relacionada ao fato deste genótipo apresentar ausência de pigmentos antocianinas nas folhas (FIGUEIRA; CASCARDO, 2001) que desempenham um papel fotoprotetor minimizando os efeitos da radiação elevada.

#### Teor foliar de silício

A aplicação de silicato de potássio apresentou resultados estatisticamente semelhantes ao controle em relação ao teor foliar de Si para os genótipos TSH 1188, CCN 51 e Catongo (Tabela 3). Mediante estes resultados, e de acordo com a classificação das plantas quanto ao acúmulo de silício, sugere-se que estes genótipos se destacam como plantas acumuladoras de Si, uma vez que, em geral, são consideradas plantas acumuladoras deste elemento aquelas que possuem teor foliar acima de 10 g kg<sup>-1</sup> de Si na matéria seca, e não acumuladoras plantas com teor de Si menor que 5 g kg<sup>-1</sup> (TAKAHASHI et al., 1990).

**Tabela 3.** Teor foliar de silício de três genótipos de *T. cacao* em função da aplicação de doses de silicato de potássio e o controle.

Genótipos	Doses de silicato de potássio		
	Controle	3 mL L <sup>-1</sup>	6 mL L <sup>-1</sup>
-----Teor foliar de Si (g kg <sup>-1</sup> )-----			
TSH 1188	16,12 a	15,65 a	17,43 a
CCN 51	12,90 a	14,10 a	14,82 a
Catongo	16,82 ab	19,36 a	13,32 b

Médias seguidas de mesma letra nas linhas não diferem estatisticamente entre si pelo teste Tukey (P<0,05), C.V.(%)=17,01, n=4.

Santos Botelho et al. (2005) verificaram que a aplicação de silicato de cálcio e de sódio reduziu a incidência e severidade de *Cercospora coffeicola* (Berkeley & Cooke), mas não aumentou o teor de Si nas folhas de *Coffea arabica* L. Do mesmo modo,

Buck et al. (2008) apesar de observarem redução significativa na incidência de *Pyricularia oryzae* Cav. em plantas de *O. sativa*, a aplicação de silicato de potássio também não influenciou os teores foliares de Si independente da concentração ou do

pH da solução. Estes autores ainda afirmaram que estes resultados não são conclusivos quanto à absorção de Si em *O. sativa*, uma vez que há limitações nas metodologias de análise de Si em tecidos vegetais, sendo que pequenas diferenças podem não ser detectadas. Além disso, doses aplicadas via foliar são muito baixas quando comparadas a adubação do Si via solo.

#### Incidência e nível de dano provocado por insetos-praga

A aplicação de silicato de potássio não afetou a porcentagem de folhas atacadas, o nível de dano foliar e a área foliar lesionada no genótipo TSH 1188 (Tabela 4). No entanto, a aplicação de 6 mL L<sup>-1</sup>, em relação ao controle, reduziu cerca de

62% a porcentagem de folhas atacadas e 20% o nível de dano foliar no genótipo CCN 51 e aproximadamente 35% o nível de dano foliar no Catongo.

Souza et al. (2012), também verificaram em genótipos de cacau que a aplicação de diferentes doses silicato de potássio em condições de campo reduziu a porcentagem de folhas atacadas por insetos até a dose 6 mL L<sup>-1</sup>. A resistência conferida ao Si pode estar relacionada à formação de uma barreira estrutural, devido à associação da sílica à parede celular tornando as células mais rígidas, desse modo, o aparelho bucal desses animais é danificado, dificultando a alimentação e causando o aumento das taxas de mortalidade dos mesmos (GOUSSAIN et al., 2002).

**Tabela 4.** Porcentagem de folhas atacadas por insetos, nível de dano foliar e área foliar lesionada de três genótipos de *T. cacao* em função da aplicação de doses de silicato de potássio e o controle.

Genótipos	Tratamentos (mL L <sup>-1</sup> )	Porcentagem de folhas atacadas <sup>1</sup>	Nível de dano foliar (Notas)	Área foliar lesionada (cm <sup>2</sup> )
TSH 1188	0	16,10 a	1,31 a	1,74 a
	3	13,79 a	1,30 a	1,62 a
	6	11,87 a	1,19 a	1,29 a
CCN 51	0	16,26 a	1,32 a	1,80 a
	3	11,89 ab	1,17 ab	1,79 a
	6	10,03 b	1,05 b	1,10 a
Catongo	0	15,67 a	1,25 a	1,50 a
	3	14,98 a	0,99 b	0,87 a
	6	11,51 a	0,93 b	0,83 a
C.V.(%)		24,82	10,75	25,32

<sup>1</sup> Porcentagem de folhas atacadas em relação ao número total de folhas da planta. C.V. (%) – Coeficiente de variação. Médias seguidas de mesma letra nas colunas não diferem estatisticamente entre si pelo teste Tukey (P<0,05), n=4.

No entanto, no presente estudo pôde-se verificar que não houve acúmulo significativo (P<0,05) do teor de Si nas folhas nos genótipos de *T. cacao*. Deste modo, possivelmente, a resistência conferida pela aplicação de silicato de potássio esteja relacionada com a formação de uma camada protetora observada nas folhas, ou até mesmo pela síntese de compostos de defesa. Santos et al. (2012) também afirmam que a proteção conferida pela aplicação foliar de silício pode estar relacionada a alterações provocadas na biologia e na preferência de ovoposição dos insetos.

Menzies et al. (1992) observaram a formação de um revestimento nas folhas, após a pulverização de silicato de potássio, sugerindo que a formação de uma "película" reforçaria a atividade da

cutícula formando uma barreira mecânica contra a penetração de patógenos e ataque de insetos. Gomes et al. (2005) também verificaram que a aplicação de silício aumentou a síntese de compostos de defesa da planta de trigo (*Triticum aestivum* L.), como peroxidase e polifenoloxidase, reduzindo a taxa de crescimento e também a preferência do pulgão *S. graminum*.

#### CONCLUSÕES

A aplicação de silicato de potássio, apesar de ter reduzido o crescimento, promove redução da incidência e do nível de dano provocado por insetos-praga na maioria dos genótipos de *T. cacao* avaliados neste estudo.

O TSH 1188 foi o único genótipo que apresentou maior índice de clorofila e aumento da eficiência fotoquímica quando aplicado 3 mL L<sup>-1</sup> de silicato de potássio, principalmente no fluxo de energia de FSII e nos índices de desempenho da planta (PI<sub>ABS</sub> e PI<sub>TOTAL</sub>).

As doses de silicato de potássio não aumentaram o teor de Si nas folhas dos genótipos de *T. cacao*, no entanto os resultados indicam que o

TSH 1188, CCN 51 e Catongo são plantas acumuladoras deste elemento.

#### AGRADECIMENTOS

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Espírito Santo (FAPES) pela concessão da bolsa de estudo.

---

**ABSTRACT:** There are few studies of the effect of silicon on the physiology and resistance to insect pests in cocoa. With aim to evaluate the physiological changes, the incidence and level of damage caused by insect pests after application of potassium silicate in cacao genotypes was conducted in the field, an experiment in randomized blocks in factorial scheme 3 x 3 with four replications, with three genotypes of cocoa (TSH 1188, CCN 51 and Catongo) and three doses of potassium silicate (0, 3 and 6 mL L<sup>-1</sup>). We evaluated the growth kinetics of chlorophyll fluorescence emission, the Si content, chlorophyll content, and the incidence and level of damage by insect pests. The application of potassium silicate at a dose 6 mL L<sup>-1</sup> reduced the majority of growth variables. The TSH 1188 was the only genotype that showed increase in chlorophyll content and in performance of variable fluorescence with the application of 3 mL L<sup>-1</sup>. The application of potassium silicate did not influence the content of Si in leaf genotypes, but reduced the incidence and level of damage by insect pests.

**KEYWORDS:** *Theobroma cacao* L. Potassium silicate. Chlorophyll *a* fluorescence. Induction of resistance.

---

#### REFERÊNCIAS

- AGUILAR, M. A. G.; RIBEIRO, M. A. Q.; PACHECO, R. G.; ALMEIDA, A.-A. F.; CHEPOTE, R. E.; MARROCOS, P. C. L.; NIELLA, G. R.; VALLE, R. R. Características fotossintéticas e crescimento de clones de cacau resistentes à vassoura-de-bruxa cultivados sob diferentes níveis de manganês e Bion. In: 14TH INTERNATIONAL COCOA RESEARCH CONFERENCE, 2., 2003. **Acta**. Sabah: Percetakan Keningau Sdn., 2003. p. 1289-1293.
- ARAÚJO, A. C. P.; NOGUEIRA, D. P.; AUGUSTO, L. G. S. Impacto dos praguicidas na saúde: estudo da cultura de tomate. **Revista Saúde Pública**, São Paulo, v. 34, p. 309-313, 2000.
- ARAÚJO, S. A. C.; DEMINICIS, B. B. Revisão: Fotoinibição da Fotossíntese. **Revista Brasileira de Biociências**, Porto Alegre, v. 7, n. 4, p. 463-472, 2009.
- ÁVILA, F. W.; BALIZA, D. P.; FAQUIN, V.; ARAÚJO, J. L.; RAMOS, S. J. Interação entre silício e nitrogênio em arroz cultivado sob solução nutritiva. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 41, p. 184-190, 2010.
- BRAGA, F. T.; NUNES, C. F.; FAVERO, A. C.; PASQUAL, M.; CARVALHO, J. G.; CASTRO, E. M. Características anatômicas de mudas de morangueiro micropropagadas com diferentes fontes de silício. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 44, p. 128-132, 2009.
- BUCK, G. B.; KORNDÖRFER, G. H.; NOLLA, A.; COELHO, L. Potassium silicate as foliar spray and rice blast control. **Journal of Plant Nutrition**, Philadelphia, v. 31, p. 231-237. 2008.
- BUZI, A.; CHILOSI, G.; DE SILLO D.; MAGRO, P. Induction of resistance in melon to *Didymella bryoniae* and *Sclerotinia sclerotiorum* by seed treatments with acibenzolar-S-methyl and methyl jasmonate but not with salicylic acid. **Journal of Phytopathology**, Berlin, v. 152, p. 34-42, 2004.



- DONCHEVA, S. N.; POSCHENRIEDERB, C.; STOYANOVA, Z. L.; GEORGIEVA, K.; VELICHKOVA, M.; BARCELÓ, J. Silicon amelioration of manganese toxicity in Mn-sensitive and Mn-tolerant maize varieties. **Environmental and Experimental Botany**, Elmsford, v. 65, p. 189-197, 2009.
- EPSTEIN, E. Silicon in plants: facts vs concepts. In: DATNOFF, L. E.; SNYDER, G. H.; KORNDÖRFER, G. H. (Eds.). **Silicon in agriculture**. The Netherlands: Elsevier Science, 2001. 403 p.
- FAWE, A.; ABOU-ZAID, M.; MENZIES, J. G.; BÉLANGER, R. R. Silicon-mediated accumulation of flavonoid phytoalexins in cucumber. **Phytopathology**, Saint Paul, v. 88, p. 396-401, 1998.
- FENG, J.; SHI, Q.; WANG, X.; WEI, M.; YANG, F.; XU, H. Silicon supplementation ameliorated the inhibition of photosynthesis and nitrate metabolism by cadmium (Cd) toxicity in *Cucumis sativus* L. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 123, p. 521-530. 2010.
- FIGUEIRA, A. V. O.; CASCARDO, J. C. M. Marcadores moleculares no melhoramento. In: DIAS, L. A. S. (Ed.). **Melhoramento genético do cacauero**. Minas Gerais, FUNAPE, 2001, p. 390-393.
- GOMES, F. B.; MORAES, J. C.; NERI, D. K. P. Adubação com silício como fator de resistência a insetos-praga e promotor de produtividade em cultura de batata inglesa em sistema orgânico. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 33, p. 18-23. 2009.
- GOMES, F. B.; MORAES, J. C.; SANTOS, C. D.; GOUSSAIN, M. M. Resistance induction in wheat plants by silicon and aphids. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 62, p. 547-551, 2005.
- GOUSSAIN, M. M.; MORAES, J. C.; CARVALHO, J.G.; NOGUEIRA, N. L.; ROSSI, M. L. Efeito da aplicação de silício em plantas de milho no desenvolvimento biológico da lagarta-do-cartucho *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae). **Neotropical Entomology**, Londrina, v. 31, p. 305-310, 2002.
- GRAMACHO, I. C. P.; MAGNO, A. E. S.; MANDARINO, E. P.; MATOS, A. **Cultivo e beneficiamento do cacau na Bahia**. Itabuna, BA, Brasil. 1992, 124p.
- HEIL, M.; BOSTOCK, M. R. Induced systemic resistance (ISR) against pathogens in the context of induced plant defences. **Annals of Botany**, London, v. 89, p. 503-512, 2002.
- KORNDÖRFER, G. H.; PEREIRA, H. S.; NOLLA, A. **Análise de silício: solo, planta e fertilizante**. Uberlândia: GPSi/ICIAG/UFU, 2004. 34 p. (Boletim Técnico, 2).
- LAZAR, D. Chlorophyll *a* fluorescence induction. **Biochimica et Biophysica Acta-Bioenergetics**, Amsterdam, v. 1412, p. 1-28. 1999.
- MACEDO, T. B.; BASTOS, C. S.; HIGLEY, L. G.; OSTLIE, K. R.; MADHAVAN, S. Photosynthetic responses of soybean to soybean aphid (Homoptera: Aphididae) injury. **Journal of Economic Entomology**, College Park MD, v. 96, p. 188-193, 2003.
- MENZIES, J.; BOWEN, P.; EHRET, D.; GLASS, A. D. M. Foliar applications of potassium silicate reduce severity of powdery mildew on cucumber, muskmelon, and zucchini squash. **Journal of American Society of Horticulture Science**, Alexandria, v. 117, p. 902-905. 1992.
- OLIVEIRA, L. A.; KORNDORFER, G. H.; PEREIRA, A. C. Acumulação de silício em arroz em diferentes condições de pH da rizosfera. **Revista Brasileira de Ciência e Solo**, Viçosa, v. 31, p. 685-690, 2007.
- PACHEPSKY, L. B.; ACOCK, B. A model 2DLEAF of leaf gas Exchange: development, validation, and ecological application. **Ecological Modelling**, Amsterdam, v. 93, p. 1-18, 1996.

- PINTO, D. G.; AGUILAR, M. A. G.; SOUZA, C. A. S.; SILVA, D. M.; SIQUEIRA, P. R.; CAO, J. R.; ZANETTI, L. V. Alterações fisiológicas após aplicação de silício em cacau e sua influência na preferência por pulgões. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 59, n. 3, p. 360-367, 2012.
- RAIJ, B. van; ANDRADE, J. C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. **Análise química da fertilidade dos solos tropicais**. Campinas: IAC, 2001. 285 p.
- SANTOS BOTELHO, D. M.; POZZA, E. A.; POZZA, A. A. A.; CARVALHO, J. G.; BOTELHO, C. E.; SOUZA, P. E. Intensidade da cercosporiose em mudas de cafeeiro em função de fontes e doses de silício. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v. 30, p. 582-588. 2005.
- SANTOS, M. C. dos; JUNQUEIRA, A. M. R.; SÁ, V. G. M. de; ZANÚNCIO, J. C.; BAUCH, M. A.; SERRÃO, J. E. Efeito do silício em aspectos comportamentais e na história de vida de *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae). **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável**, v. 02, p. 76-88, 2012.
- SANTOS, S. N.; DIGAM, R. C.; AGUILAR, M. A. G.; SOUZA, C. A. S.; PINTO, D. G.; MARINATO, C. S.; SIQUEIRA, P. R.; ARPINI, T. S. Comparação de diferentes métodos de determinação de área foliar em cacauzeiro. In: XIII CONGRESSO BRASILEIRO DE FISILOGIA VEGETAL, 13., 2011, Búzios. **Livro de resumos**. Búzios: SBFV, 2011. v. Único. p. 172.
- SILVA, I. L. S. S.; RESENDE, M. L. V.; RIBEIRO JÚNIOR, P. M.; COSTA, J. C. B.; CAMILO, F. R.; BAPTISTA, J. C.; SALGADO, S. M. L. Efeito de nutrientes combinados com indutores de resistência na proteção contra a vassoura-de-bruxa no cacauzeiro. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 32, p. 61-67, 2008.
- SOUZA, C. A. S.; DIAS, L. A. S. Melhoria Ambiental e Socioeconômica: controle de doenças e pragas. In: DIAS, L. A. S.(Ed.) **Melhoramento genético do cacauzeiro**. Minas Gerais: FUNAPE, 2001. p. 19-21.
- SOUZA, C. A. S.; PINTO, D. G.; AGUILAR, M. A. G.; COELHO, R. L.; GASPARINI JUNIOR, A. J.; CAO, J. R.; BRAGA, T. Z.; SIQUEIRA, P. R. Influência do silício sobre o crescimento, a fluorescência da clorofila a e na incidência de insetos-pragas em genótipos de cacau. **Agrotropica**, Ilhéus, n. 24, v. 1, p. 31 – 40, 2012.
- STRASSER, B. J.; STRASSER, R. J. Measuring fast fluorescence transients to address environmental questions: The JIP-test. – In: MATHIS, P. (ed.): **Photosynthesis: From Light to Biosphere**, 1995, p. 977-980.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 4. ed. Porto Alegre: Artmed, 2009. p. 848.
- TAKAHASHI, E.; MA, J. F.; MIYAKE, Y. The possibility of silicon as essential element for higher plants. **Comments on Agricultural and Food Chemistry**, Lausanne, v. 2, p. 99-122, 1990.
- TSIMILLI-MICHAEL, M.; STRASSER, R. In vivo assessment of stress impact on plants vitality: applications in detecting and evaluating the beneficial role of Mycorrhization on host plants. In: VARMA, A. (Ed.). **Mycorrhiza: State of the art, genetics and molecular biology, ecofunction, biotechnology, eco-physiology, structure and systematic**. Springer, 2008. p. 679-703.