

Efeito do metil jasmonato no amadurecimento e no controle da antracnose em goiaba ‘Kumagai’

Ripening of ‘Kumagai’ guavas and anthracnose control as affected by methyl jasmonate

Barbara Marçon Pereira da Silva¹, Raquel Mantovani Binoti¹, Patrícia Cia², Sílvia Regina de Toledo Valentini¹, Ilana Urbano Bron^{1*}

1. Instituto Agronômico - Centro de Ecofisiologia e Biofísica - Campinas (SP), Brasil.

2. Instituto Agronômico - Centro de Engenharia e Automação - Jundiaí (SP), Brasil.

RESUMO: O metil jasmonato (MJ) é um regulador endógeno que pode influenciar o processo de amadurecimento de frutos e o sistema de defesa contra patógenos. O objetivo do trabalho foi verificar a influência desse regulador na fisiologia pós-colheita, no controle da antracnose e nas características físico-químicas de goiabas (*Psidium guajava* L.) ‘Kumagai’. As goiabas foram colhidas nos estádios verde e amarelo e tratadas com 0, 1 e 10 $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ de MJ por volatilização em tambores herméticos (200 L) com circulação de ar por 24 h. Os frutos foram inoculados com *Colletotrichum gloeosporioides* (10^5 conídios·mL⁻¹) 24 e 48 h após o tratamento. Durante o amadurecimento, a 25 °C e 80 – 90% de UR, foram realizadas análises de respiração, produção de etileno, incidência e severidade da antracnose e análises físico-químicas. Os dados foram submetidos à análise de variância e as médias, comparadas pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$ e $0,10$). A aplicação de 1 e 10 $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ de MJ provocou discreto aumento na respiração, produção de etileno e amarelecimento da casca em frutos colhidos no estágio amarelo. O tratamento com 1 e 10 $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ de MJ não teve efeito na redução da severidade e na incidência de *C. gloeosporioides* quando aplicado em frutos nos 2 estádios de amadurecimento e inoculados após 24 ou 48 h do tratamento. Conclui-se que a aplicação de 1 e 10 $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ de MJ teve pouca influência no amadurecimento e não controlou a antracnose em goiabas ‘Kumagai’.

Palavras-chave: *Colletotrichum gloeosporioides*, *Psidium guajava* L., regulador vegetal.

ABSTRACT: Methyl jasmonate (MJ) is an endogenous regulator that can influence fruit ripening and the defense system against pathogens. This work verified the influence of this regulator on postharvest physiology, control of anthracnose and physical-chemical attributes of ‘Kumagai’ guava (*Psidium guajava* L.). Guavas harvested at mature-green and ripe stages were treated with 0, 1 and 10 $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ MJ as gas in hermetic containers (200 L) with air circulation for 24 h. Fruit were inoculated with *Colletotrichum gloeosporioides* spore suspension (10^5 spores·mL⁻¹) 24 and 48 h after treatment. During ripening, at 25 °C and 80 – 90% of relative humidity, respiration, ethylene production, anthracnose incidence, severity and quality of guavas were assayed. Data were subjected to analysis of variance and means, compared by Tukey’s test ($p \leq 0.05$ and 0.10). The application of 1 and 10 $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ MJ had little influence on ripening of ‘Kumagai’ guava with a slight increase in respiration, ethylene production and yellowing of fruit harvested at ripe stage. Treatments with 1 and 10 $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ MJ did not reduce the severity and incidence of *C. gloeosporioides* when applied in fruit harvested at ripe and mature-green stages and inoculated 24 or 48 h after MJ treatment. In conclusion, the MJ treatment, at 1 and 10 $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ concentrations, had little influence on ripening and did not control anthracnose in ‘Kumagai’ guavas.

Key words: *Colletotrichum gloeosporioides*, *Psidium guajava* L., growth regulator.

*Autor correspondente: ilana@iac.sp.gov.br

Recebido: 31 Dez. 2015 – Aceito: 25 Abr. 2016

INTRODUÇÃO

A goiaba é muito apreciada pelas suas qualidades nutricionais e organolépticas, fato que favorece a expansão de seu mercado. No entanto, a intensa atividade metabólica durante o amadurecimento e, conseqüentemente, uma vida útil curta após a colheita constitui um entrave para o aumento da comercialização desse fruto. Outro fator que pode dificultar a comercialização é a infecção por diversos microrganismos, dentre eles, o fungo *Colletotrichum* spp., agente causal da antracnose (Pandey et al. 1997).

Vários são os métodos usados para minimizar os efeitos do amadurecimento em frutas e reduzir a incidência de patógenos durante a pós-colheita, entre eles está o uso de reguladores vegetais (Terry e Joyce 2004).

O metil jasmonato (MJ) é um regulador que pode influenciar vários aspectos do crescimento e desenvolvimento das plantas (Creelman e Mullet 1997; Cortes 2000). Além disso, está envolvido na proteção direta contra estresses bióticos e abióticos, desempenhando papel central na sinalização que ativa a indução de defesa das plantas (Gundlach et al. 1992).

O tratamento com MJ mostrou ser eficiente na redução da antracnose em nêsperas (Cao et al. 2008) e em tomates (Tzortzakis 2007), inibiu a podridão causada por *Botrytis cinerea* em morangos (Zhang et al. 2006), promoveu redução na incidência de *Monilinia fructicola* e *Penicillium expansum* em pêssegos (Yao e Tian 2005b) e de *Penicillium digitatum* em toranjas (Droby et al. 1999).

Uma vez envolvido na resistência a vários tipos de estresse, é esperado que esse composto interfira também na fisiologia do amadurecimento. Em morangos verdes, a aplicação de MJ provocou um aumento da respiração e da produção de etileno, além da indução da biossíntese de antocianina e degradação de clorofila (Pérez et al. 1997; Mukkun e Singh 2009). Em contrapartida, Soto et al. (2012) relataram atraso no amadurecimento de pêssegos tratados com MJ, indicado pelo efeito inibitório do regulador na biossíntese de etileno.

Fato interessante é que as respostas do fruto ao tratamento com MJ, aparentemente, estão associadas à concentração desse regulador (Buta e Moline 1998), ao estágio de desenvolvimento em que o fruto se encontra no momento da aplicação e a diferenças entre as espécies/cultivares (Fan et al. 1997; Pérez et al. 1997).

Nesse contexto, este trabalho objetivou relacionar a aplicação do MJ, em 2 concentrações, com alterações na fisiologia pós-colheita, nas características físico-químicas e

no controle de antracnose em goiabas 'Kumagai' colhidas em 2 estádios de amadurecimento.

MATERIAL E MÉTODOS

Os experimentos foram conduzidos no Laboratório de Tecnologia Pós-colheita do Instituto Agrônomo (IAC). Foram utilizadas goiabas 'Kumagai', provenientes de pomar comercial no Município de Campinas (SP) e colhidas em 2 estádios de amadurecimento, verde e amarelo, segundo a coloração da casca, avaliada visualmente (Figura 1).

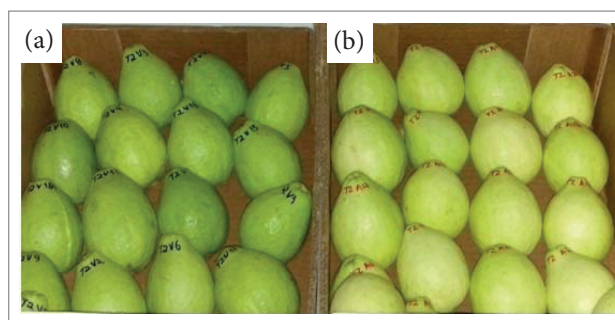


Figura 1. Aparência de goiabas da variedade Kumagai colhidas no estágio verde (a) e estágio amarelo (b).

No primeiro experimento, as goiabas foram acondicionadas em tambores herméticos com capacidade de 200 L e circulação forçada de ar a 25 °C. O MJ foi aplicado em placas de poliestireno contendo papel de filtro embebido com solução de 1 e 10 $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$, considerando-se o volume dos tambores. Os frutos permaneceram expostos ao MJ, durante 24 h. Como testemunha, utilizaram-se frutos não expostos ao MJ, mantidos em tambores herméticos com papel de filtro embebido em água destilada, sob a mesma temperatura. Dois lotes de frutos foram inoculados com *Colletotrichum gloeosporioides*: o primeiro logo após o período de 24 h de exposição ao MJ e o segundo, 48 h após o início do tratamento. A inoculação foi realizada através de ferimento subcuticular com auxílio de seringa cromatográfica de 100 μL (Hamilton®), introduzindo-se 10 μL da suspensão contendo 10^5 conídios·mL⁻¹ na região equatorial de cada fruto. A suspensão de esporos foi preparada adicionando-se 15 mL de água destilada em uma placa de Petri contendo colônia do patógeno, previamente incubada por 8 dias em meio batata-dextrose-ágar (BDA) a 25 °C. A concentração da suspensão de esporos foi determinada em câmara de Neubauer. A área inoculada foi previamente demarcada com

caneta para confirmação de que os sintomas apresentados eram decorrentes da inoculação e não de infecção proveniente do campo. Após a inoculação, os frutos foram armazenados a 25 °C, com 80 a 90% de umidade relativa, e avaliados diariamente quanto à incidência (porcentagem de frutos que apresentaram sintomas) e severidade (diâmetro da lesão) da antracnose. Para a avaliação do desenvolvimento da doença, foram utilizadas 5 repetições com 4 frutos como unidade experimental. Os dados obtidos (incidência e severidade das podridões) foram utilizados para o cálculo da área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD), conforme a seguinte equação (De Capdeville et al. 2002):

$$AACPD = \sum [(y_i + y_{i+1})/2 \times (t_{i+1} - t_i)]$$

onde: y_i é a incidência da doença na i -ésima observação; t_i é o tempo em dias na i -ésima observação.

A cada 2 dias, os frutos foram analisados quanto às características físico-químicas. A firmeza da polpa foi avaliada com penetrômetro manual (Efegi, modelo FT-327), com ponteira cilíndrica de 8 mm, tomando-se 2 leituras em lados opostos do fruto, e expressa em N. O teor de sólidos solúveis (SS) no suco foi determinado com refratômetro ATTO-2WAJ e expresso em °Brix. A acidez titulável (AT) foi determinada por titulometria segundo Carvalho et al. (1990) e expressa em porcentagem (%) de ácido cítrico. A coloração foi avaliada com colorímetro Color Reader CR-10, Konica Minolta (escala L, C, °H), efetuando-se 2 leituras por fruto. O teor de ácido ascórbico foi determinado por titulometria com DCFI até coloração rosada persistente por 15 s e os resultados obtidos, expressos em mg de ácido ascórbico por 100 g de polpa (Carvalho et al. 1990). Para a avaliação das características físico-químicas, foram utilizadas 4 repetições com 2 frutos como unidade experimental.

Para a avaliação da respiração e produção de etileno, 10 frutos com massa conhecida (média de 166 g) foram acondicionados em 10 frascos herméticos de vidro com capacidade de 250 mL e armazenados a 25 °C e 85 – 90% de umidade relativa por 7 dias. Diariamente, os frascos foram fechados e, após 1 h, foram coletadas amostras gasosas do interior de cada recipiente com seringa cromatográfica de 1 mL para a dosagem de etileno e CO₂. As amostras foram analisadas em cromatógrafo a gás, marca Varian 450 - GC (BRUKER), equipado com um detector de ionização por chama (FID) e detector de condutividade térmica (TCD) para análise de CO₂ e etileno presentes nas amostras. As temperaturas da coluna,

injetor, FID e TCD foram, respectivamente, 80; 120; 250 e 200 °C, e os fluxos de gases foram 20 mL·min⁻¹ para o hélio utilizado como gás de arraste, 30 mL·min⁻¹ para o gás de hidrogênio, 300 mL·min⁻¹ para o ar sintético e 20 mL·min⁻¹ para o gás de referência do TCD. Os resultados foram determinados pela diferença entre a concentração gasosa inicial (frascos fechados) e final (após 1 h), sempre pela comparação com padrões conhecidos de CO₂ e C₂H₄. Os resultados foram expressos em mL de CO₂·kg⁻¹·h⁻¹ e em µL de C₂H₄·kg⁻¹·h⁻¹.

O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado em arranjo fatorial triplo (2 estádios de amadurecimento × 3 concentrações de MJ × dias de armazenamento). Os resultados das análises físico-químicas e de respiração e etileno foram submetidos à análise de variância e a comparação de média foi realizada pelo teste de Tukey a 5%, utilizando-se o programa ASSISTAT. As médias de incidência e severidade da antracnose foram comparadas pelo teste de Tukey a 10% de probabilidade, por meio do programa Sisvar.

Com base no primeiro experimento, um segundo ensaio foi realizado para confirmar os resultados de controle da antracnose. Para tanto, selecionou-se o estádio de amadurecimento, a concentração de MJ e o período de inoculação para os quais houve alguma redução de incidência e/ou severidade da antracnose. Goiabas 'Kumagai' colhidas no estádio amarelo foram tratadas com 1 µmol·L⁻¹ de MJ, inoculadas 48 h após o início do tratamento com o MJ e avaliadas diariamente quanto à incidência e severidade da antracnose. O método utilizado para o tratamento e a avaliação dos dados foram os mesmos descritos no primeiro experimento.

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado em arranjo fatorial triplo (estádio de amadurecimento × concentração de MJ × dias de armazenamento). Os dados coletados foram submetidos à análise de variância e a comparação de média foi realizada pelo teste de Tukey a 10% de probabilidade, utilizando-se o programa Sisvar.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Frutos colhidos no estádio verde, tratados ou não com MJ, apresentaram respiração constante até o quinto dia de amadurecimento. A partir dessa data, houve aumento significativo ($p \leq 0,05$) na atividade respiratória das goiabas

tratadas e não tratadas, que, no sétimo dia, atingiram valores de 53 e 57 mL de $\text{CO}_2 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$, respectivamente. Não houve diferença entre os tratamentos durante o período de armazenamento ($p > 0,05$) (Figura 2a). Nos frutos colhidos no estágio amarelo, o tratamento com MJ, independentemente da concentração do produto, foi responsável por aumento

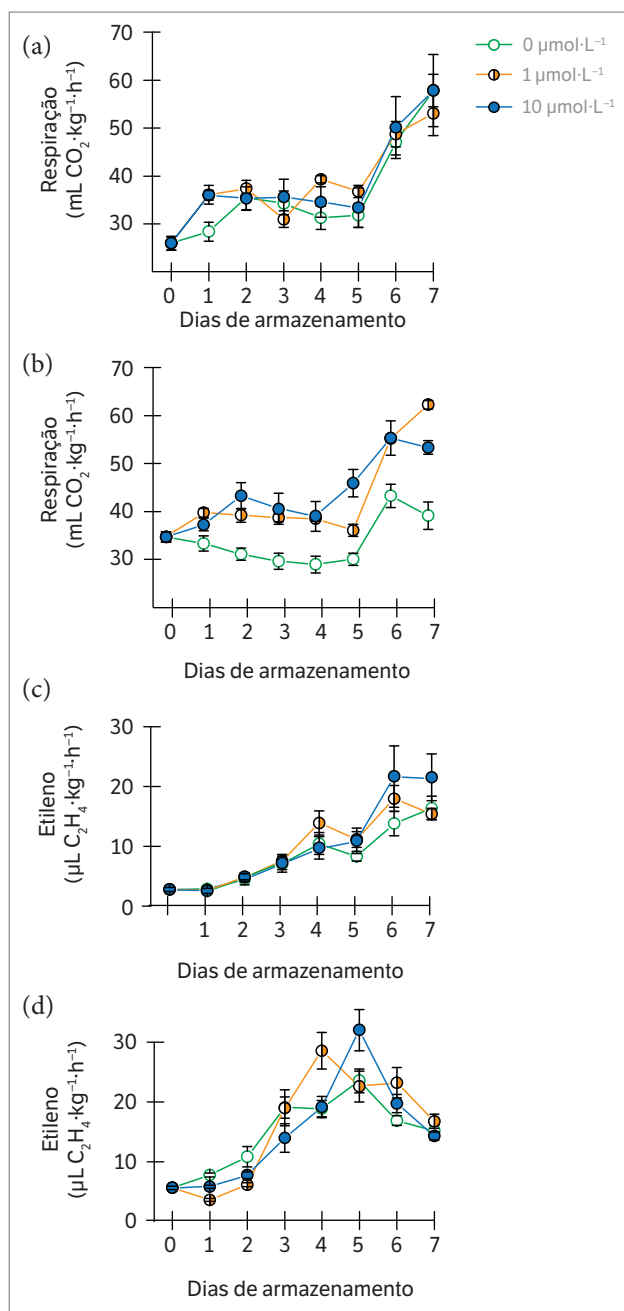


Figura 2. Respiração ($\text{mL de CO}_2 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$) e produção de etileno ($\mu\text{L de C}_2\text{H}_4 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$) de goiabas 'Kumagai' colhidas nos estádios verde (a, c) e amarelo (b, d) tratadas com MJ e armazenadas a 25 °C e 85 – 90% de umidade relativa por 7 dias. Barras verticais indicam o erro padrão da média ($n = 10$).

na respiração dos frutos ($p \leq 0,05$). No sétimo dia de armazenamento, os frutos não tratados e tratados com 1 e 10 $\mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ de MJ apresentavam respiração de 39; 62 e 54 mL de $\text{CO}_2 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$, respectivamente (Figura 2b).

Goiabas colhidas no estágio verde, tratadas e não tratadas, apresentaram aumento na produção de etileno ao longo do armazenamento ($p \leq 0,05$) e, na maior parte do período estudado, sem diferença entre os tratamentos. Somente no final do armazenamento, no sexto dia, os frutos tratados com 10 $\mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ de MJ apresentaram maior produção de etileno quando comparados àqueles que não receberam o MJ ($p \leq 0,05$) (Figura 2c). Também foi observado aumento na produção de etileno das goiabas colhidas no estágio amarelo sem tratamento com MJ com valores máximos de 23,3 $\mu\text{L de C}_2\text{H}_4 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ aos 5 dias de armazenamento. Diferentemente dos frutos que não receberam o MJ, frutos tratados com 1 e 10 $\mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ de MJ apresentaram pico de produção de etileno aos 4 e 5 dias, com valores de 28 $\mu\text{L de C}_2\text{H}_4 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ e 31 $\mu\text{L de C}_2\text{H}_4 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$, respectivamente ($p \leq 0,05$) (Figura 2d).

Independentemente do tratamento, as goiabas colhidas no estágio verde e amarelo perderam firmeza da polpa ao longo do armazenamento. Somente no primeiro dia, os frutos no estágio verde tratados com 10 $\mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ de MJ apresentaram maior firmeza da polpa em relação aos demais tratamentos, seguidos pelos frutos que não receberam o regulador e os frutos tratados com 1 $\mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ de MJ, que apresentaram menor firmeza da polpa ($p \leq 0,05$) (Figura 3a). Em frutos colhidos no estágio amarelo, não se observou diferença significativa entre os tratamentos ($p > 0,05$) (Figura 3b).

Frutos colhidos no estágio verde e tratados com MJ, independentemente da concentração, perderam a coloração verde da casca mais rapidamente quando comparados àqueles frutos que não receberam a aplicação do regulador ($p \leq 0,05$) (Figura 3c). Esse efeito da aplicação do MJ foi mais evidente do quarto ao sexto dia de armazenamento ($p \leq 0,05$). Para frutos colhidos no estágio amarelo, também houve influência do regulador na coloração da casca, independentemente da concentração aplicada. No início do armazenamento, principalmente nos primeiros 3 dias, e também no sexto dia, os frutos tratados apresentavam menor ângulo de cor ($p \leq 0,05$) (Figura 3d).

Frutos colhidos no estágio verde e tratados com 1 $\mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ de MJ apresentaram redução mais acentuada da acidez ao longo do amadurecimento, comparativamente aos outros tratamentos ($p \leq 0,05$) (Figura 3i). A acidez nos frutos não tratados não

→

apresentou variação durante o armazenamento ($p > 0,05$). Frutos colhidos no estágio amarelo, independentemente do tratamento, permaneceram com teores de acidez com poucas variações durante o armazenamento ($p > 0,05$) (Figura 3j).

Nos frutos colhidos no estágio verde, foi observada diferença significativa nos teores de SS entre os frutos não tratados e os frutos tratados com $1 \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ de MJ somente no terceiro dia; no entanto, essa diferença foi isolada e não se

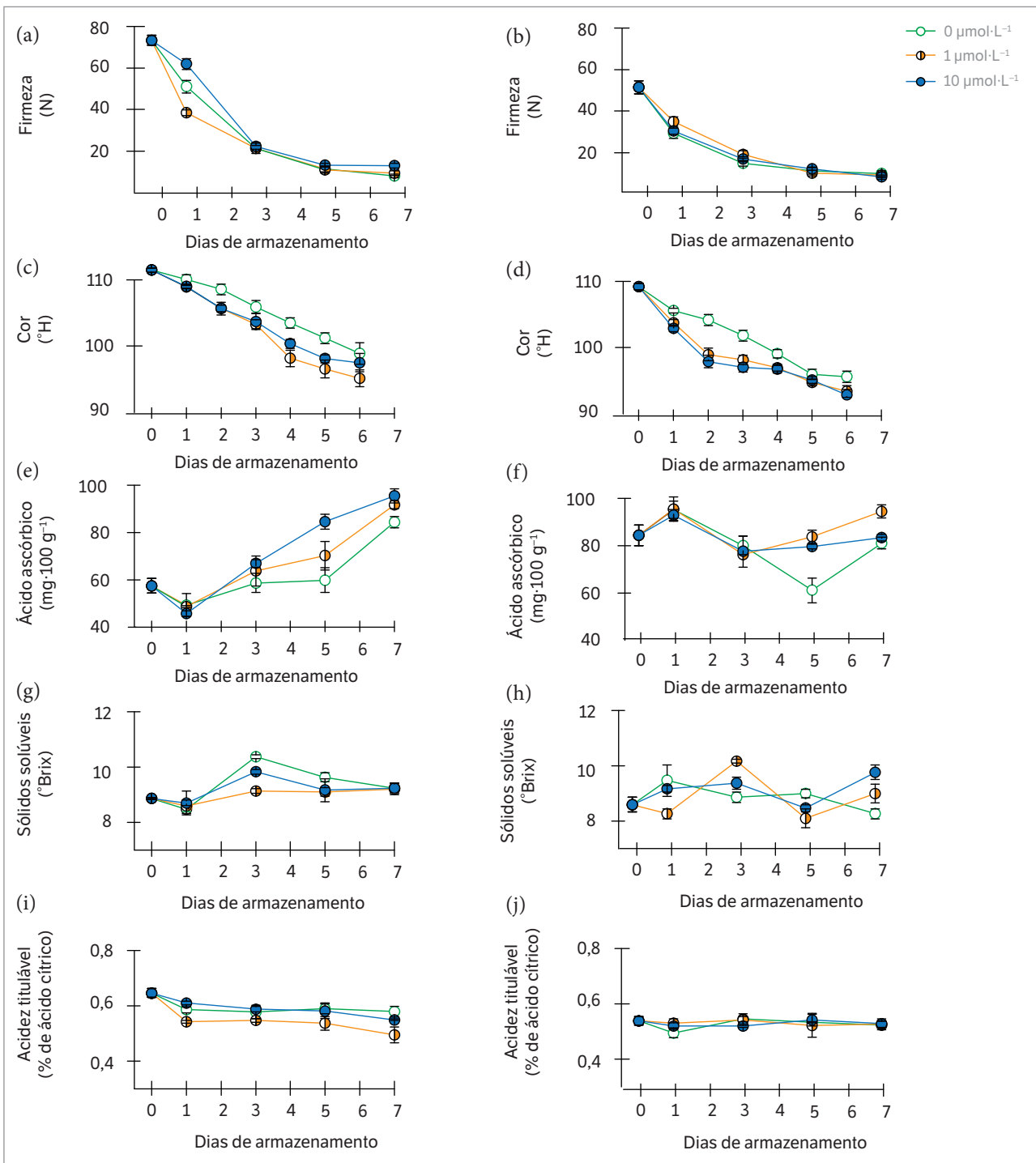


Figura 3. Firmeza da polpa (N), cor da casca ($^{\circ}\text{H}$), sólidos solúveis ($^{\circ}\text{Brix}$), acidez titulável (% de ácido cítrico) e ácido ascórbico ($\text{mg}\cdot 100 \text{g}^{-1}$) de goiabas 'Kumagai' colhidas nos estádios verde (a, c, e, g, i) e amarelo (b, d, f, h, j) tratadas com MJ e armazenadas a 25°C e 85 – 90% de umidade relativa por 7 dias. Barras verticais indicam o erro padrão da média ($n = 4$).

mantve durante o armazenamento ($p \leq 0,05$) (Figura 3g). Também foi observada diferença significativa entre os teores de SS dos frutos colhidos no estágio amarelo que não receberam o regulador e dos frutos tratados com $1 \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ de MJ no primeiro e terceiro dias ($p \leq 0,05$). Não houve diferença entre os teores de SS dos frutos dos tratamentos com 1 e $10 \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ de MJ ($p > 0,05$) (Figura 3h).

Houve aumento no teor de ácido ascórbico nos frutos colhidos no estágio verde a partir do primeiro dia de armazenamento. Apesar de não significativo, esse aumento foi intensificado pela aplicação de MJ. No sétimo dia de armazenamento, enquanto os frutos que não receberam MJ apresentavam $84,3 \text{ mg de ácido ascórbico}\cdot 100 \text{ g}^{-1}$ de polpa, os tratados com 1 e $10 \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ de MJ apresentavam 91,7 e $95,3 \text{ mg de ácido ascórbico}\cdot 100 \text{ g}^{-1}$ de polpa, respectivamente (Figura 3e). Só houve diferença significativa no teor de ácido ascórbico no quinto dia, entre os frutos que não receberam o regulador e os frutos tratados com $10 \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ de MJ ($p \leq 0,05$). Frutos colhidos no estágio amarelo também apresentaram diferença estatística pontual entre os que não receberam o regulador e aqueles tratados com 1 e $10 \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ de MJ ($p \leq 0,05$) (Figura 3f).

Os sintomas da antracnose foram visíveis a partir do segundo dia de armazenamento após a inoculação. Quando o experimento foi realizado pela primeira vez, observou-se que, tanto nos frutos colhidos no estágio amarelo quanto nos colhidos no estágio verde, não houve efeito do regulador na incidência e severidade da antracnose, quando a inoculação foi realizada após 24 h do início da aplicação do MJ ($p > 0,10$) (Figura 4a, c). Ao se realizar a inoculação após 48 h do início do tratamento, foi observada influência da aplicação do regulador. Quando considerada a AACPD, ou seja, todo o período de armazenamento estudado, observa-se que a aplicação do MJ na concentração de $1 \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ em goiabas 'Kumagai' colhidas no estágio amarelo e inoculadas após 48 h foi o único tratamento que exerceu efeito sobre a incidência e a severidade da antracnose ($p \leq 0,10$) (Figura 4b, d).

Quando o experimento foi realizado pela segunda vez, o resultado anterior não se confirmou, a aplicação do MJ na concentração de $1 \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ em goiabas 'Kumagai' colhidas no estágio amarelo e inoculadas após 48 h não reduziu a incidência e a severidade de antracnose ($p > 0,10$). A AACPD para frutos tratados e não tratados, considerando-se a incidência da doença, foi de 510 e 550, respectivamente. Considerando-se a severidade, a AACPD foi de 15,6 e 16,7 para frutos tratados e não tratados, respectivamente.

A aplicação de MJ aumentou a respiração e a produção de etileno em goiabas 'Kumagai', principalmente naquelas colhidas no estágio amarelo (Figura 2b, d), acelerando o processo de amadurecimento nesses frutos. Esse aumento na velocidade do amadurecimento, mesmo que discreto, pode ser observado na aceleração da perda da cor verde dos frutos (Figura 3d) e também no aumento da quantidade de ácido ascórbico nos frutos tratados (Figura 3f). Alterações na cor da goiaba, como perda da cor verde da casca, têm

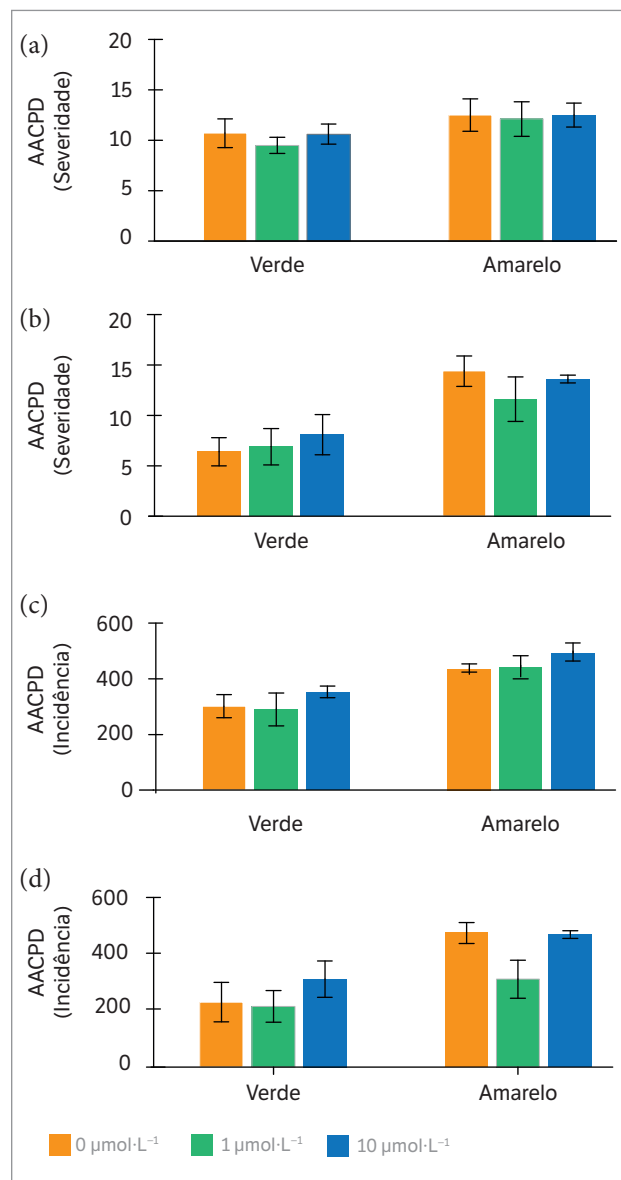


Figura 4. Área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD) para severidade (cm) e incidência (%) da antracnose em goiabas 'Kumagai' colhidas nos estádios verde e amarelo, inoculadas após 24 h (a, c) e 48 h (b, d) do tratamento com 0, 1 e $10 \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ de MJ e mantidas a 25°C e 85 – 90% de umidade relativa por 8 dias. Barras verticais indicam o erro padrão da média ($n = 5$).

sido consideradas um bom indicador do amadurecimento. A mudança de cor da casca é dependente da produção do etileno, que, por sua vez, foi aumentada nos frutos tratados com MJ (Figura 2d), provavelmente causando um aumento na expressão de várias enzimas envolvidas na quebra de clorofila e biossíntese de carotenoides (Wills et al. 1999).

A maioria dos trabalhos demonstra que a aplicação exógena de MJ promove o amadurecimento de frutos climatéricos pelo estímulo da produção de etileno, como ocorre em pêssego (Ziosi et al. 2008) e manga (Lalel et al. 2003). Fan et al. (1997), em estudo com maçãs e tomates, constataram que o aumento do nível de jasmonato endógeno pode ser suficiente para induzir a produção de etileno do sistema I para o sistema II e consideraram que concentrações baixas de jasmonatos ($0,001$ a $1 \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$) são capazes de resultar em alterações fisiológicas nesses frutos. Em resposta à aplicação exógena de MJ, o aumento da atividade de ACC oxidase precede à atividade de ACC sintase (Yu et al. 2009), sugerindo que a atividade de ACC oxidase é o passo-chave para controlar a produção de etileno em resposta à aplicação (Larrigaudiere e Vendrell 1993). O efeito do MJ não está apenas relacionado diretamente com as enzimas associadas à síntese de etileno. Aumentos na atividade de lipoxigenase (LOX) foram observados em diferentes plantas em resposta à aplicação de MJ (Cheong e Yang 2007; González-Aguilar et al. 2003), e os radicais superóxidos formados pela LOX ativam a ACO e, conseqüentemente, a biossíntese de etileno.

Venkatachalam e Meenune (2015) constataram que o tratamento com MJ em lichias aumentou a atividade da superóxido dismutase (SOD), catalase (CAT) e glutathione peroxidase (GPX), o que provavelmente reduziu a velocidade das alterações fisiológicas e bioquímicas dos frutos, bem como aumentou a capacidade antioxidante do fruto, prolongando o armazenamento à baixa temperatura.

Os efeitos da aplicação exógena do MJ sobre a fisiologia do amadurecimento ainda não estão suficientemente claros e parecem ser bastante dependentes da espécie, dos cultivares estudados e do estágio fisiológico dos frutos no momento da aplicação do regulador (Fan et al. 1997; Khan e Singh 2007; Ziosi et al. 2008; Kucuker e Ozturk 2014).

De acordo com Saniewski et al. (1987), o tratamento com MJ acelera ou retarda o amadurecimento dos frutos por influenciar positiva ou negativamente a produção de etileno, dependendo da fase de maturação do fruto. Saniewski (1997) demonstrou que o tratamento com MJ promoveu a produção de etileno em maçãs na fase pré-climatérica,

mas reduziu a produção de etileno quando aplicado na fase pós-climatérica. Em morangos menos maduros, o tratamento com jasmonatos promoveu maior respiração, enquanto que um decréscimo na produção de CO_2 foi observado para frutos já maduros ou mesmo sobremaduros (Pérez et al. 1997).

Os resultados da aplicação do regulador nas características físico-químicas também são contraditórios. Em estudo conduzido por González-Aguilar et al. (2001), o MJ favoreceu o desenvolvimento da cor dos frutos sem alterar a perda de firmeza e massa em mangas armazenadas a 20°C . Estudos demonstram que o tratamento com MJ promoveu decréscimo da firmeza em morangos (Pérez et al. 1997), mas não afetou a firmeza de mangas 'Tommy Atkins' (González-Aguilar et al. 2000). De acordo com Ziosi et al. (2008), a aplicação de MJ é responsável pelo atraso na transcrição da poligalacturonase durante o amadurecimento, e esse resultado é dependente da cultivar utilizada e da concentração do produto.

Nilprapruck et al. (2008) relataram que abacaxis tratados com 10^{-3} ; 10^{-4} e 10^{-5} M de MJ e armazenados a 10°C não apresentaram diferenças significativas no teor de SS totais, acidez titulável, açúcares totais e açúcares redutores com relação aos frutos-controle. Contudo, efeitos contrários já foram relatados; framboesas tratadas com MJ apresentaram maior teor de SS, açúcares totais, frutose, glicose, sacarose e ácido málico e cítrico do que as frutas não tratadas com esse regulador (Wang e Zheng 2005). Em estudo com ameixas, Kucuker e Ozturk (2014) constataram que os frutos tratados com MJ apresentaram maior firmeza da polpa.

Com relação ao desenvolvimento da doença, obteve-se uma redução significativa da incidência e severidade da antracnose quando os frutos foram inoculados 48 h após o tratamento com MJ (Figura 4b, d). Para Yao e Tian (2005a), a indução de resistência e a proteção sistêmica acontecem gradualmente, dessa forma, acredita-se que esse tempo tenha sido suficiente para a indução de resistência contra o patógeno. A necessidade de um intervalo de tempo para que se estabeleça o estado induzido do fruto é um critério intrínseco ao processo de indução de resistência (Hammerschmidt e Kuc 1995). El Ghaouth et al. (2003) investigaram a ação de *Candida saitoana* na indução de resistência contra *B. cinerea* em maçãs recém-colhidas e armazenadas a 4°C e concluíram que o tratamento com o microrganismo antagônico após 48 h da inoculação do patógeno resultou em redução de 50% no tamanho das lesões quando comparado ao tratamento realizado 24 h após a inoculação. Dessa forma, o indutor de resistência adequado deve combinar um pequeno intervalo

de resposta com uma proteção prolongada (Hammerschmidt e Kuc 1995).

Nos frutos em que houve efeito da aplicação do MJ, este só foi observado naqueles colhidos mais amarelos (Figura 4). Esse efeito do estágio de amadurecimento também foi confirmado quando se avaliaram as alterações na fisiologia e as características pós-colheita.

Os resultados de incidência e severidade de antracnose também indicaram efeito distinto entre as concentrações de MJ aplicadas, quando a inoculação foi feita 48 h do início do tratamento; a concentração de $1 \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ resultou em redução significativa da incidência e severidade da antracnose em frutos colhidos no estágio amarelo (Figura 4b, d). O mesmo foi constatado por Jin et al. (2009), que obtiveram resultados positivos no controle de *Penicillium expansum*, *B. cinerea* e *Rhizopus stolonifer* em pêssegos tratados com a concentração de $1 \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$, tida como a mais eficaz dentre as avaliadas. Em contraste, Cao et al. (2008) avaliaram o efeito de MJ na redução de incidência de *C. acutatum* em nêspers armazenadas a 20°C , e o resultado indicou que a aplicação de $10 \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ foi a mais eficaz no controle da doença.

Além de particularidades entre as espécies, os vários efeitos dos jasmonatos como regulador vegetal estão relacionados, dentre outros fatores, à sua estrutura e à concentração aplicada. O uso de concentrações elevadas de MJ leva a um estímulo do amadurecimento e, conseqüentemente, da senescência (Buta e Moline 1998; Pérez et al. 1993), o que pode minimizar o efeito positivo da indução de resistência (González-Aguilar et al. 2003) e predispor o fruto à infecção.

Isso está de acordo com Anderson (1989) e Mason e Mullet (1990), os quais observaram que concentrações elevadas de MJ ($50 \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$) induzem a senescência em culturas de células e as concentrações mais baixas ($1 - 10 \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$) alteram as proteínas e RNAm sem induzir a senescência. Zapata et al. (2014), em estudo com a aplicação pré-colheita de MJ em ameixas, constataram que a concentração de 2 mM acelerou o processo de amadurecimento dos frutos, enquanto que a aplicação de 0,5 mM de MJ atrasou o processo de maturação.

No segundo experimento, não foi verificado nenhum efeito no controle da antracnose quando os frutos foram expostos a $1 \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ de MJ. Portanto, como a defesa contra estresses bióticos e abióticos nas plantas consiste em uma rede complexa de respostas, fica evidente que o efeito do tratamento com o regulador durante a pós-colheita dos frutos é muito variável e que estudos que relacionem a concentração, o estágio de desenvolvimento e mecanismos de ação desse composto ainda são necessários para o esclarecimento do papel do mesmo em frutos.

CONCLUSÃO

A aplicação de 1 e $10 \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ de MJ teve pouca influência no amadurecimento; houve aumento da respiração, da produção de etileno e o amarelecimento da casca das goiabas 'Kumagai' colhidas no estágio amarelo. A aplicação de 1 e $10 \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ de MJ não controlou a antracnose nos frutos.

REFERÊNCIAS

- Anderson, J. M. (1989). Membrane-derived fatty acids as precursors to second messengers. In W. F. Boss e D. J. Morre (Eds.), *Second messengers in plant growth and development* (p. 181-212). New York: Alan R. Liss.
- Buta, J. G. e Moline, H. E. (1998). Methyl jasmonate extends shelf life and reduces microbial contamination of fresh-cut celery and peppers. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 46, 1253-1256. <http://dx.doi.org/10.1021/jf9707492>.
- Cao, S., Zheng, Y., Yang, Z., Tang, S., Jin, P., Wang, K. e Wang, X. (2008). Effect of methyl jasmonate on the inhibition of *Colletotrichum acutatum* infection in loquat fruit and the possible mechanisms. *Postharvest Biology and Technology*, 49, 301-307. <http://dx.doi.org/10.1016/j.postharvbio.2007.12.007>.
- Carvalho, C. R. L., Mantovani, D. M. B., Carvalho, P. R. N. e Moraes, R. M. M. (1990). *Análises químicas de alimentos*. Campinas: ITAL.
- Cheong, J. J. e Yang, D. C. (2007). Signaling pathways for the biosynthesis and action of jasmonates. *Journal of Plant Biology*, 50, 122-131. <http://dx.doi.org/10.1007/BF03030620>.
- Cortes, H. P. (2000). *Introdução aos hormônios vegetais*. Brasília: Embrapa.
- Creelman, R. A. e Mullet, J. E. (1997). Biosynthesis and action of jasmonates in plants. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, 48, 355-381.

- De Capdeville, G., Wilson, C. L., Beer, S. V. e Aist, J. R. (2002). Alternative disease control agents induce resistance to blue mold in harvested 'Red Delicious' apple fruit. *Phytopathology*, 92, 900-908. <http://dx.doi.org/10.1094/PHYTO.2002.92.8.900>.
- Droby, S., Porat, R., Cohen, L., Weiss, B., Shapio, B., Philosoph-Hadas, S. e Meir, S. (1999). Suppressing green mold decay in grapefruit with postharvest jasmonate application. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 124, 184-188.
- El Ghaouth, A., Wilson, C. L. e Wisniewski, M. (2003). Control of postharvest decay of apple fruit with *Candida saitoana* and induction of defense responses. *Phytopathology*, 93, 344-348. <http://dx.doi.org/10.1094/PHYTO.2003.93.3.344>.
- Fan, X., Mattheis, J. P., Fellman, J. K. e Patterson, M. E. (1997). Effect of methyl jasmonate on ethylene and volatile production by Summerred apples depends on fruit developmental stage. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 45, 208-211. <http://dx.doi.org/10.1021/jf9603846>.
- González-Aguilar, G. A., Fortiz, J., Cruz, R., Baez, R. e Wang, C. Y. (2000). Methyl jasmonate reduces chilling injury and maintains postharvest quality of mango fruit. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 48, 515-519. <http://dx.doi.org/10.1021/jf9902806>.
- González-Aguilar, G. A., Wang, C. Y. e Buta, J. G. (2001). Methyl jasmonate reduces chilling injury symptoms and enhances colour development of 'Kent' mangoes. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 81, 1244-1249. <http://dx.doi.org/10.1002/jsfa.933>.
- González-Aguilar, G. A., Wang, C. Y. e Buta, J. G. (2003). Methyl jasmonate and modified atmosphere packaging (MAP) reduce decay and maintain postharvest quality of papaya 'Sunrise'. *Postharvest Biology and Technology*, 28, 361-370. [http://dx.doi.org/10.1016/S0925-5214\(02\)00200-4](http://dx.doi.org/10.1016/S0925-5214(02)00200-4).
- Gundlach, H., Miller, M. J., Kutchan, T. M. e Zenk, M. H. (1992). Jasmonic acid is a signal transducer in elicitor-induced plant cell cultures. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 89, 2389-2393.
- Hammerschmidt, R. e Kuc, J. (1995). *Induced resistance to disease in plants*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- Jin, P., Zheng, Y., Tang, S., Rui, H. e Wang, C. Y. (2009). Enhancing disease resistance in peach fruit with methyl jasmonate. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 89, 802-808. <http://dx.doi.org/10.1002/jsfa.3516>.
- Khan, A. S. e Singh, Z. A. S. (2007). Methyl jasmonate promotes fruit ripening and improves fruit quality in Japanese plum. *Journal of Horticultural Science & Biotechnology*, 82, 695-706. <http://dx.doi.org/10.1080/14620316.2007.11512293>.
- Kucuker, E. e Ozturk, B. (2014). Effects of pre-harvest methyl jasmonate treatment on post-harvest fruit quality of Japanese plums. *African Journal of Traditional, Complementary and Alternative Medicines*, 11, 105-117. <http://dx.doi.org/10.4314/ajtcam.v11i6.11>.
- Lalel, H. J. D., Singh, Z. e Tan, S. C. (2003). The role of methyl jasmonate in mango ripening and biosynthesis of aroma volatile compounds. *Journal of Horticultural Science & Biotechnology*, 78, 470-484. <http://dx.doi.org/10.1080/14620316.2003.11511652>.
- Larrigaudiere, C. e Vendrell, M. (1993). Cold-induced climacteric rise of ethylene metabolism in Granny Smith apples. In J. C. Pech e C. Balague (Eds.), *Cellular and molecular aspects of the plant hormone ethylene* (p. 136-141). Boston: Kluwer Academic Publishers.
- Mason, H. S. e Mullet, J. E. (1990). Expression of two soybean vegetative storage protein genes during development and in response to water deficit, wounding, and jasmonic acid. *Plant Cell*, 2, 569-579. <http://dx.doi.org/10.1105/tpc.2.6.569>.
- Mukkun, L. e Singh, Z. (2009). Methyl jasmonate plays a role in fruit ripening of 'Pajaro' strawberry through stimulation of ethylene biosynthesis. *Scientia Horticulturae*, 123, 5-10. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scienta.2009.07.006>.
- Nilprapruck, P., Pradisthakarn, N., Authanithe, F. e Keebjan, P. (2008). Effect of exogenous methyl jasmonate on chilling injury and quality of pineapple (*Ananas comosus* L.) cv. Pattavia. *Silpakorn University Science and Technology Journal*, 2, 33-42. <http://dx.doi.org/10.14456/sustj.2008.9>.
- Pandey, R. R., Aurora, D. K. e Dubey, R. C. (1997). Effect of environmental conditions and inoculum density on infection of guava fruits by *Colletotrichum gloeosporioides*. *Mycopathology*, 137, 165-172.
- Pérez, A. G., Sanz, C., Olías, R. e Olías, J. M. (1997). Effect of methyl jasmonate on *in vitro* strawberry ripening. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 45, 3733-3737. <http://dx.doi.org/10.1021/jf9703563>.
- Pérez, A. G., Sanz, C., Richardson, D. e Olías, J. M. (1993). Methyl jasmonate vapor promotes β -carotene synthesis and chlorophyll degradation in Golden Delicious apple peel. *Journal of Plant Growth Regulation*, 12, 163-167. <http://dx.doi.org/10.1007/BF00189648>.

- Saniewski, M. (1997). The role of jasmonates in ethylene biosynthesis. In A. K. Kanellis, North Atlantic Treaty Organization, Scientific Affairs Division, Biology and biotechnology of the plant hormone ethylene (p. 39-45). Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- Saniewski, M., Czapski, J., Nowacki, J. e Lange, E. (1987). The effect of methyl jasmonate on ethylene and 1-aminocyclopropane-1-carboxylic acid production in apple fruits. *Biologia Plantarum*, 29, 199-203. <http://dx.doi.org/10.1007/BF02876829>.
- Soto, A., Ruiz, K. B., Ziosi, V., Costa, G. e Torrigiani, P. (2012). Ethylene and auxin biosynthesis and signaling are impaired by methyl jasmonate leading to a transient slowing down of ripening in peach fruit. *Journal of Plant Physiology*, 169, 1858-1865. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jplph.2012.07.007>.
- Terry, L. A. e Joyce, D. C. (2004). Elicitors of induced disease resistance in postharvest horticultural crops: a brief review. *Postharvest Biology and Technology*, 32, 1-13. <http://dx.doi.org/10.1016/j.postharvbio.2003.09.016>.
- Tzortzakis, N. G. (2007). Methyl jasmonate-induced suppression of anthracnose rot in tomato fruit. *Crop Protection*, 26, 1507-1513. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cropro.2006.12.014>.
- Venkatachalam, K. e Meenune, M. (2015). Effect of methyl jasmonate on physiological and biochemical quality changes of longkong fruit under low temperature storage. *Fruits*, 70, 69-75. <http://dx.doi.org/10.1051/fruits/2014046>.
- Wang, S. Y. e Zheng, W. (2005). Preharvest application of methyl jasmonate increases fruit quality and antioxidant capacity in raspberries. *International Journal of Food Science Technology*, 40, 187-195. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2621.2004.00930.x>.
- Wills, R., McGlasson, B., Graham, D. e Joyce, D. (1999). Introducción a la fisiología y manipulación poscosecha de frutas, hortalizas y plantas ornamentales. Zaragoza: Acribia.
- Yao, H. J. e Tian, S. P. (2005a). Effect of pre- and post-harvest application of salicylic acid or methyl jasmonate on inducing disease resistance of cherry fruit in storage. *Postharvest Biology and Technology*, 35, 253-262. <http://dx.doi.org/10.1016/j.postharvbio.2004.09.001>.
- Yao, H. J. e Tian, S. P. (2005b). Effects of a biocontrol agent and methyl jasmonate on postharvest diseases of peach fruit and the possible mechanism involved. *Journal of Applied Microbiology*, 98, 941-950. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2672.2004.02531.x>.
- Yu, M., Shen, L., Fan, B., Zhao, D., Zheng, Y. e Sheng, J. (2009). The effect of MeJA on ethylene biosynthesis and induced disease resistance to *Botrytis cinerea* in tomato. *Postharvest Biology and Technology*, 54, 153-158. <http://dx.doi.org/10.1016/j.postharvbio.2009.07.001>.
- Zapata, P. J., Martinez-Espla, A., Guillen, F., Diaz-Mula, H. M., Martinez-Romero, D., Serrano, M. e Valero, D. (2014). Preharvest application of methyl jasmonate (MeJA) in two plum cultivars. 2. Improvement of fruit quality and antioxidant systems during postharvest storage. *Postharvest Biology and Technology*, 98, 115-122. <http://dx.doi.org/10.1016/j.postharvbio.2014.07.012>.
- Zhang, F. S., Wang, X. Q., Ma, S. J., Cao, S. F., Li, N., Wang, X. X. e Zheng, Y. H. (2006). Effects of methyl jasmonate on postharvest decay in strawberry fruit and the possible mechanisms involved. *Acta Horticulturae*, 712, 693-698. <http://dx.doi.org/10.17660/ActaHortic.2006.712.87>.
- Ziosi, V., Bonghi, C., Bregoli, A. M., Trainotte, L., Biondi, S., Sutthiwal, S., Kondo, S., Costa, G. e Torrigiani, P. (2008). Jasmonate-induced transcriptional changes suggest a negative interference with the ripening syndrome in peach fruit. *Journal of Experimental Botany*, 59, 563-573. <http://dx.doi.org/10.1093/jxb/erm331>.