

Atmosfera controlada associada ao óxido nítrico: Uma nova alternativa para a conservação de bananas 'Prata'

Controlled atmosphere associated with nitric oxide: a new alternative for the preservation of 'Prata' bananas

Samara Martins Zanella ¹(ORCID 0009-0002-5604-3627), **Paulo Sérgio Gularte** ¹(ORCID 0000-0003-2399-3546), **Bernardo Cerezer** ²(ORCID 0000-0002-6919-9375), **Marceli Buss** ¹(ORCID 0000-0003-1271-9306), **Aquidauana Miqueloto Zanardi** ²(ORCID 0000-0001-6051-2882), **Cristiano André Steffens** ¹(ORCID 0000-0003-0936-8656)

¹Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, SC, Brasil. *Autor para correspondência: zanellasamara@gmail.com

²Instituto Federal de Santa Catarina, São Miguel do Oeste, SC, Brasil.

Submissão: 07/08/2023 | Aceite: 06/05/2024

RESUMO

O objetivo do presente trabalho foi avaliar o efeito da aplicação de óxido nítrico (NO) na qualidade pós-colheita de bananas 'Prata' durante o armazenamento em atmosfera controlada (AC). Os frutos foram separados em pencas e mantidas, durante 25 dias, em microcâmaras de AC com pressões parciais de 2 kPa de O₂ + 4 kPa de CO₂, 13 ± 1 °C e 92% ± 2% de umidade relativa (UR). Os tratamentos avaliados foram 0 (controle), 20 µL L⁻¹ de NO, no início do armazenamento, 0,5 e 1 µL L⁻¹ de NO aplicado diariamente e 1 e 5 µL L⁻¹ de NO aplicado a cada cinco dias. Após o armazenamento, os frutos foram avaliados na saída da câmara e após seis dias em condições ambiente (23 ± 3°C e UR de 65% ± 5%) quanto as variáveis de coloração da epiderme, taxas respiratória e de produção de etileno, sólidos solúveis, acidez titulável, firmeza de polpa e incidência de podridões. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado. A aplicação de NO, nas doses de 20 µL L⁻¹ no início do armazenamento, 1 µL L⁻¹ diariamente ou a cada cinco dias, proporcionou frutos com melhores atributos de qualidade. Os resultados evidenciam que 1 µL L⁻¹ de NO aplicado diariamente ou a cada 5 dias apresenta-se como mais viável na manutenção da qualidade de bananas 'Prata'.

PALAVRAS-CHAVE *Musa sapientum* L.; etileno; senescência.

ABSTRACT

The objective of the present work was to evaluate the effect of nitric oxide (NO) application on the postharvest quality of 'Prata' bananas during controlled atmosphere (CA) storage. The fruit were separated into bunches and kept in CA microchambers with 2 kPa of O₂ plus 4 kPa of CO₂, 13 ± 1 °C and 92% ± 2% and relative humidity (RH) for 25 days. The fruit were treated with 0 (control), 20 µL L⁻¹ of NO at the start of storage, 0.5 and 1 µL L⁻¹ of NO applied daily and 1 and 5 µL L⁻¹ applied every five days. After storage, fruit were evaluated at the time of chamber opening and, after six days in room conditions (23 ± 3°C and RH of 65% ± 5%) for skin color, respiratory and ethylene production rates, soluble solids, titratable acidity, flesh firmness and rot incidence. The experimental design was completely randomized. Treatments with application of 20 µL L⁻¹ of NO at the start of storage, 1 µL L⁻¹ of NO applied daily and every five days provided fruits with better quality attributes. The results show that 1 µL L⁻¹ of NO applied daily or every 5 days is more viable for maintaining fruit quality.

KEYWORDS: *Musa sapientum* L.; ethylene; senescence.

INTRODUÇÃO

A banana é a fruta mais consumida no Brasil e o país é o quarto maior produtor da fruta do mundo (CNA 2021). A maior parte da produção brasileira de banana é consumida internamente; no entanto, as exportações para mercados distantes, como a Europa, têm crescido nos últimos anos (COLTRO & KARASKI 2019). As bananas do grupo 'Prata' possuem frutos muito atraentes, devido a casca ser bastante amarelada, com pequenas machas marrons e a polpa conter altas concentrações de açúcares, resultando em um sabor bastante adocicado e uma alta aceitabilidade pelos consumidores (BHUIYAN et al. 2020).

Todavia, a banana é uma fruta climatérica que amadurece rapidamente, resultando em mudanças drásticas nos atributos de qualidade e uma vida pós-colheita reduzida, o que limita o transporte marítimo a grandes distâncias (GULARTE et al. 2022).

A atmosfera controlada (AC) é uma técnica amplamente utilizada na América Central para transportar bananas para a América do Norte e para a Europa. Porém, o armazenamento apenas em AC proporciona redução do aroma/sabor da fruta, amadurecimento incompleto, coloração desigual e baixa eficácia no controle de podridões. Dessa forma, é de fundamental importância a identificação de novas tecnologias que complementem os efeitos da AC no retardo do amadurecimento e na manutenção da qualidade de bananas pelo maior tempo possível.

O óxido nítrico (NO) é uma espécie reativa de nitrogênio produzida naturalmente em células vivas que pode reduzir a produção de etileno e retardar a maturação, senescência e perda de qualidade de frutos quando aplicado exogenamente em baixas concentrações (PALMA et al. 2019). Este composto gasoso tem apresentado propriedades anti-senescentes, prolongando a vida pós-colheita dos frutos. Além disso, o NO também pode induzir a atividade de enzimas antioxidantes, controlando o estresse oxidativo e reduzindo a manifestação de distúrbios fisiológicos e a incidência de podridão pós-colheita (SUN et al. 2021). A aplicação do gás em AC é favorecida por se tratar de um ambiente com baixa concentração de O₂, sendo capaz de manter as moléculas de NO estáveis por mais tempo, já que se trata de uma espécie reativa ao oxigênio, e em contato com esse gás, pode oxidar em dióxido de nitrogênio (NO₂), perdendo sua função (SNYDER 1992).

Resultados positivos da aplicação de NO já foram observados em bananas 'Cavendish' em condições similares, reduzindo o estresse oxidativo das frutas e retardando seu amadurecimento (GULARTE et al. 2022). Além disso, outros frutos climatéricos, como ameixas 'Laetitia' tratadas com o gás, durante o armazenamento em AC, demonstraram menor taxa respiratória e produção de etileno, evolução mais lenta da cor da epiderme e em doses baixas, redução no escurecimento interno (STEFFENS et al. 2022). Aplicações em spray de doadores de NO (como nitroprussiato de sódio e s-nitrosoglutationa) em mamão proporcionaram redução na produção de etileno e menor perda de massa e de firmeza de polpa (MACHADO et al. 2022). De forma semelhante, a fumigação de pêssegos com o gás NO, antes do armazenamento em atmosfera refrigerada, retardou o amadurecimento dos frutos, aliviou a ocorrência de injúrias por frio e preveniu a perda de compostos orgânicos voláteis (CAI et al. 2020). Resultados satisfatórios também foram alcançados em maçãs 'Cripps Pink' utilizando NO aplicado no pré-armazenamento, retardando o amarelecimento e reduzindo o escurecimento de polpa (STEFFENS et al. 2021).

O objetivo do presente estudo foi avaliar o efeito do NO (dose e frequência de aplicação) sobre o amadurecimento de bananas 'Prata' armazenadas em AC.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido com bananas da cultivar Prata colhidas em um bananal comercial localizado no município de Luiz Alves (SC), durante a safra 2020/2021. Após a colheita, as pencas foram alocadas em microcâmaras experimentais de 80 L e as condições de AC foram estabelecidas, sendo elas pressões parciais de 2 kPa de O₂; 4 kPa de CO₂; 13 ± 1 °C e 92% ± 2% de umidade relativa (UR). O monitoramento e ajuste da pressão parcial de gases no interior das câmaras experimentais foi realizado diariamente com um analisador eletrônico de gases (Schelle, Alemanha), e a atmosfera corrigida quando necessário.

Os tratamentos avaliados foram 0 (controle) e 20 µL L⁻¹ de NO aplicado no início do armazenamento, 0,5 e 1 µL L⁻¹ de NO aplicado diariamente e 1 e 5 µL L⁻¹ de NO aplicado a cada cinco dias de armazenagem. Foi utilizado NO proveniente de um cilindro de gás de alta pressão (1000 µL L⁻¹ de NO + N₂ para balanço). Os frutos foram armazenados por 25 dias em AC, simulando o período de transporte da fruta para exportação, seguidos de mais seis dias de prateleira (23 ± 3 °C e UR de 65% ± 5%), buscando simular o período de comercialização.

Antes do período de armazenamento (imediatamente após a colheita), os frutos apresentaram os seguintes atributos físico-químicos: coloração da epiderme (*h*^o) de 120,2, taxa respiratória de 50,2 nmol de CO₂ kg⁻¹ s⁻¹ e de produção de etileno de 0,28 nmol C₂H₄ kg⁻¹ s⁻¹, teor de sólidos solúveis de 3,9 °Brix, acidez titulável de 0,16% de ácido málico e firmeza da polpa de 54,3 N.

Após o armazenamento, na abertura da câmara, avaliaram-se as taxas respiratória e de produção de etileno, a coloração da epiderme e a incidência de podridões. Após mais seis dias de *shelf life*, além das mesmas avaliações realizadas na abertura da câmara (exceto incidência de podridões), avaliaram-se também o teor de sólidos solúveis, a acidez titulável e a firmeza da polpa.

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado. Cada tratamento consistiu de seis repetições e unidade experimental composta de uma penca com 12 frutos. Os dados obtidos das diferentes variáveis foram inicialmente submetidos aos testes de Bartlett e Shapiro-Wilk. Quando os dados atenderam aos pressupostos do modelo normal, foram submetidos à análise de variância (ANOVA), e as variáveis significativas ($p < 0,05$) foram comparadas pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na abertura da câmara e após mais seis dias em condições ambiente, 20 $\mu\text{L L}^{-1}$ de NO aplicado no início do armazenamento e de 1 $\mu\text{L L}^{-1}$ de NO aplicado diariamente ou a cada cinco dias de armazenagem proporcionaram menores taxas respiratórias e de produções de etileno, quando comparado ao controle e aos demais tratamentos (Tabela 1). Quando aplicado sobre frutos climatéricos o NO pode reduzir a atividade da enzima ACC oxidase e a expressão do gene ACC oxidase. Além disso, ocorre a formação de um complexo ternário estável, "ACC-ACC oxidase-NO", que impede a oxidação do ACC a etileno (MANJUNATHA et al. 2012). A conversão de S-adenosilmetionina (SAM) em 1-aminociclopropano-1-carboxilato (ACC), e, por conseguinte, na produção de etileno, pode ser regulada em um ponto potencial, o qual é afetado pela capacidade do óxido nítrico (NO) de modular diferencialmente as enzimas envolvidas na síntese e no uso da SAM como precursoras, conforme observado em um estudo de BUET et al. 2021.

Tabela 1. Taxas respiratória e de produção de etileno de bananas 'Prata' armazenadas em atmosfera controlada (2 kPa O_2 + 4 kPa CO_2 ; 13 ± 1 °C; UR de $92 \pm 2\%$) e tratadas com óxido nítrico (NO), após 25 dias de armazenamento e mais seis dias de *shelf life* (23 ± 3 °C e UR de $65 \pm 5\%$).

Table 1. Respiratory and ethylene production rates of 'Prata' bananas stored in controlled atmosphere (2 kPa O_2 + 4 kPa CO_2 ; 13 ± 1 °C; RH of $92 \pm 2\%$) and treated with nitric oxide (NO), after 25 days of storage plus 6 days of *shelf life* (23 ± 3 °C and RH of $65 \pm 5\%$).

Tratamento	Produção de etileno ($\text{nmol C}_2\text{H}_4 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-1}$)		Taxa respiratória ($\text{nmol CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-1}$)	
	Saída da câmara	Após 6 dias de prateleira	Saída da câmara	Após 6 dias de prateleira
0 $\mu\text{L L}^{-1}$	73,6 a	50,6 a	526,7 a	651,7 a
20 $\mu\text{L L}^{-1}$ ^a	0,8 c	12,8 b	65,3 b	90,3 b
0,5 $\mu\text{L L}^{-1}$ ^b	65,5 ab	65,5 a	568,7 a	643,7 a
1 $\mu\text{L L}^{-1}$ ^b	0,6 c	13,5 b	71,7 b	79,2 b
1 $\mu\text{L L}^{-1}$ ^c	8,5 c	9,3 b	78,9 b	95,8 b
5 $\mu\text{L L}^{-1}$ ^c	43,1 b	71,6 a	492,8 a	692,8 a
CV (%)	14,8	15,9	16,1	17,8

Médias seguidas de letras diferentes nas colunas diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). CV = coeficiente de variação. ^a NO aplicado no início do armazenamento em AC (quando a atmosfera de armazenamento foi estabelecida). ^b NO aplicado no estabelecimento do armazenamento em AC e diariamente até o final do armazenamento em AC. ^c NO aplicado no estabelecimento do armazenamento em AC e a cada 5 dias até o final do armazenamento em AC.

A redução na produção de etileno também ocorre devido à interação do NO com outras moléculas sinalizadoras/fitorreguladoras vegetais (como o ácido salicílico), modulando e inibindo a expressão de genes envolvidos na biossíntese do etileno (PALMA et al. 2019). Além disso, o NO inibe a respiração mitocondrial através da ligação reversível à citocromo c oxidase (PANDEY et al. 2019). A menor atividade respiratória dos frutos tratados com NO também pode estar associada à menor produção de etileno, uma vez que a presença desse fitormônio aumenta a respiração durante o amadurecimento de frutos climatéricos (PALMA et al. 2019).

As aplicações de 20 $\mu\text{L L}^{-1}$ de NO no início do armazenamento e de 1 $\mu\text{L L}^{-1}$ de NO diariamente ou a cada cinco dias de armazenagem proporcionaram redução nos teores de SS e AT, assim como, maior firmeza de polpa (Tabela 2). Diferentemente de outros frutos climatéricos, durante o amadurecimento de bananas ocorre o incremento nos valores de SS e AT devido à conversão do amido em açúcares redutores e ácidos orgânicos (DEDDO ADI et al. 2019). Assim, os valores mais baixos de SS e AT em frutas tratadas

com NO indicam atraso no amadurecimento devido à menor degradação do amido e menores níveis de açúcares solúveis e ácidos orgânicos na fruta.

Tabela 2. Conteúdo de sólidos solúveis (SS), acidez titulável (AT), firmeza de polpa (FP), coloração da epiderme e incidência de podridões em bananas 'Prata' armazenada em atmosfera controlada (2 kPa O₂ + 4 kPa CO₂; 13±1°C; UR de 92±2%) e tratada com óxido nítrico (NO), após 25 dias de armazenamento.

Table 2. Soluble solids content (SS), titratable acidity (AT), flesh firmness (FP), skin color and decay incidence in 'Prata' bananas after 25 days of storage in controlled atmosphere (2 kPa O₂ + 4 kPa CO₂; 13±1°C; RH of 92±2%) and treated with nitric oxide (NO).

Tratamento	SS (°Brix)	AT (%)	FP (N)	Coloração da epiderme (h°)		Incidência de podridões (%)
				Saída da câmara	Após 6 dias de prateleira	
0 µL L ⁻¹	19,9 a	0,77 a	8,8 b	101,4 b	89,0 b	63 a
20 µL L ⁻¹ ^a	5,6 c	0,32 b	48,9 a	116,1 a	111,9 a	66 a
0,5 µL L ⁻¹ ^b	18,8 ab	0,67 a	11,8 b	103,0 b	85,4 b	69 a
1 µL L ⁻¹ ^b	7,5 c	0,43 b	39,5 a	115,8 a	108,7 a	35 b
1 µL L ⁻¹ ^c	5,2 c	0,33 b	43,3 a	114,9 a	110,0 a	33 b
5 µL L ⁻¹ ^c	15,2 b	0,63 a	15,8 b	97,3 b	85,7 b	63 a
CV (%)	4,5	1,3	4,9	5,2	6,6	26,5

Médias seguidas de letras diferentes nas colunas diferem entre si pelo teste de Tukey (p<0,05). CV = coeficiente de variação. ^a NO aplicado no início do armazenamento em AC (quando a atmosfera de armazenamento foi estabelecida). ^b NO aplicado no estabelecimento do armazenamento em AC e diariamente até o final do armazenamento em AC. ^c NO aplicado no estabelecimento do armazenamento em AC e a cada 5 dias até o final do armazenamento em AC.

A manutenção da firmeza da polpa pode ser explicada pela menor produção de etileno dos frutos tratados com 20 µL L⁻¹ aplicado no início do armazenamento, 1 µL L⁻¹ de NO diariamente, e 1 µL L⁻¹ de NO aplicado a cada cinco dias de armazenamento em AC. Durante o amadurecimento de frutas climatéricas, o etileno ativa as enzimas da parede celular responsáveis pela solubilização de substâncias pécticas e pela conversão de pectina insolúvel em pectina solúvel, culminando na perda de firmeza da polpa e amaciamento da fruta (PALMA et al. 2019).

Na saída da câmara e após mais seis dias em condições ambiente, os frutos tratados com 20 µL L⁻¹ de NO ao início do armazenamento e 1 µL L⁻¹ de NO aplicado diariamente ou a cada cinco dias de armazenagem apresentaram maior valor de h°, indicando coloração mais esverdeada (Tabela 2). Esses resultados evidenciam que esses tratamentos proporcionaram maior efeito no retardo na evolução da cor da casca das bananas. Os resultados obtidos estão associados à redução na produção de etileno proporcionada por essas condições de aplicação de NO, uma vez que esse hormônio induz a degradação da clorofila e o amarelecimento da fruta (PALMA et al. 2019).

A aplicação de 1 µL L⁻¹ de NO diariamente ou a cada cinco dias de armazenagem reduziu a incidência de podridões dos frutos após o armazenamento (Tabela 2). O NO tem se apresentado como um método com potencial para induzir resistência contra fungos patogênicos e prolongar a vida pós-colheita dos frutos. A atividade antifúngica do NO está relacionada com a capacidade dessa molécula de regular os níveis de peróxido de hidrogênio, estimular a síntese de compostos fenólicos e induzir atividades da fenilalanina amônia-liase, peroxidase, polifenoloxidase, catalase e do ciclo ascorbato-glutationa (GULARTE et al. 2023). Juntamente com o ácido salicílico (SA) o NO é um componente essencial da resposta imune da planta e participa em conjunto com as espécies reativas de oxigênio na ativação da resposta hipersensível e na morte celular durante interações planta-patógeno (SCHELER et al. 2013).

Estudos indicam que o NO está incorporado nesta rede imune, coordenando com várias vias clássicas, como eventos de sinalização relacionados ao SA ou ácido jasmônico/etileno (LEÓN et al. 2013). O NO também pode atuar como um sinal chave no estabelecimento da resistência sistêmica adquirida, devido ao seu papel como mensageiro secundário nas vias de sinalização de vários hormônios vegetais e seus efeitos benéficos na resistência a doenças, já demonstrados em diversas outras espécies (PALMA et al. 2019). Houve redução na severidade de *Penicillium expansum* (mofo-azul), em maçãs 'Cripps Pink' (GULARTE et al. 2023), e inibição significativa de *Monilinia fructicola*, em pêssegos (LI et al. 2016) com

aplicação de NO, e aumento das respostas de defesa e inibição de antracnose em pitaya pelo NO (HU et al. 2019).

Entretanto, o NO possui uma meia-vida curta, em torno de 2 horas, degradando-se rapidamente nas câmaras de AC (BUET et al. 2021). O tratamento com 20 $\mu\text{L/L}$ provavelmente intensificou o estresse oxidativo, uma vez que o NO é uma espécie reativa de oxigênio que, em concentrações elevadas, pode causar danos nas membranas celulares. O aumento da podridão neste tratamento pode ser explicado por diversos fatores. Por exemplo, concentrações mais altas de NO podem resultar em um aumento do estresse oxidativo nas células dos frutos, danificando estruturas celulares e enfraquecendo as defesas naturais contra patógenos, o que aumenta a suscetibilidade à podridão.

Além disso, o NO pode ter um efeito hormético, onde concentrações mais baixas estimulam respostas adaptativas benéficas nas plantas, enquanto concentrações mais altas podem ser prejudiciais. Assim, a concentração mais elevada de NO pode ultrapassar o limiar benéfico, resultando em efeitos negativos como o aumento da podridão. Adicionalmente, em concentrações mais altas, o NO pode causar danos físicos às células da banana, tornando-as mais suscetíveis à infecção por patógenos ou ao desenvolvimento de podridão (BUET et al. 2021).

CONCLUSÃO

Aplicações de 1 $\mu\text{L L}^{-1}$ de NO em AC diariamente ou a cada cinco dias de armazenagem retardam o amadurecimento e reduzem a incidência de podridões em bananas 'Prata', após 25 dias em AC mais 6 dias em condições ambiente, apresentando-se como alternativa para o armazenamento ou durante a exportação.

REFERÊNCIAS

- BUET A et al. 2021. Nitric Oxide as a Key Gasotransmitter in Fruit Postharvest: an overview. *Journal of Plant Growth Regulation* 40: 2286-2302.
- BHUIYAN F et al. 2020. Characterizing fruit ripening in plantain and Cavendish bananas: a proteomics approach. *Journal of Proteomics* 214: 103632.
- CAI H et al. 2020. Exogenous nitric oxide fumigation promoted the emission of volatile organic compounds in peach fruit during shelf life after long-term cold storage. *Food Research International* 133: 109135.
- COLTRO L. & KARASKI TU. 2019. Environmental indicators of banana production in Brazil: Cavendish and Prata varieties. *Journal of Cleaner Production* 207: 363-378.
- CNA. 2021. Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil. Dia da Banana: fruta é cultivada em todos os estados. Disponível em: <https://www.cnabrazil.org.br/noticias/dia-da-banana-fruta-e-cultivada-em-todos-os-estados>. Acesso em: 3 maio 2023.
- DEDO ADI D et al. 2019. Physicochemical changes in plantain during normal storage ripening. *Scientific African* 6: 2468-2276.
- GULARTE PS et al. 2022. Use of nitric oxide for ripening delay and oxidative stress reduction in Cavendish banana stored in a controlled atmosphere. *Journal of Food Processing and Preservation* 46: e16926.
- GULARTE PS et al. 2023. Use of nitric oxide as a strategy for postharvest controlling blue mold in 'Cripps Pink' apples. *Acta horticulturae* 1363: 159-164.
- HU M et al. 2019. Inhibition on anthracnose and induction of defense response by nitric oxide in pitaya fruit. *Scientia Horticulturae* 245: 224-230.
- LEÓN J et al. 2013. Diverse functional interactions between nitric oxide and abscisic acid in plant development and responses to stress. *Journal of Experimental Botany* 65: 907-921.
- LI G et al. 2016. Exogenous nitric oxide induces disease resistance against *Monilinia fructicola* through activating the phenylpropanoid pathway in peach fruit. *Journal of the science of food and agriculture* 97: 3030-3038.
- MACHADO MR et al. 2022. Nitric oxide supply reduces ethylene production, softening and weight loss in papaya fruit. *Bragantia* 81: 1-13.
- MANJUNATHA G et al. 2012. Nitric oxide counters ethylene effects on ripening fruits. *Plant Signaling & Behavior* 7: 476-483.
- PALMA JM et al. 2019. Nitric oxide in the physiology and quality of fleshy fruits. *Journal of Experimental Botany* 70: 4405-4417.
- PANDEY S et al. 2019. Nitric oxide accelerates germination via the regulation of respiration in chickpea. *Journal of Experimental Botany* 70: 4539-4555.
- SCHULER C et al. 2013. Nitric oxide and reactive oxygen species in plant biotic interactions. *Current Opinion in Plant Biology* 16: 534-539.
- SNYDER SH. 1992. Nitric Oxide: first in a new class of neurotransmitters. *Science* 257: 494-496.

- STEFFENS CA et al. 2021. Treatment with nitric oxide preserves the quality of cold stored 'Cripps Pink' apples. *Bragantia* 80: 1-9.
- STEFFENS CA et al. 2022. Treatment with nitric oxide in controlled atmosphere storage to preserve the quality of 'Laetitia' plums. *Lwt* 158: 113033.
- SUN C et al. 2021. Molecular functions of nitric oxide and its potential applications in horticultural crops. *Horticulture Research* 8: 1-17.