

Metil jasmonatın sebzelerde hasat öncesi ve hasat sonrası fizyolojisine etkisi

Selen AKAN¹, Ruhsar YANMAZ¹, Gamze ÇAKIRER¹, Köksal DEMİR¹

¹Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Bahçe Bitkileri Bölümü 06110 Dışkapı, ANKARA

Alınış tarihi: 14 Ekim 2016, Kabul tarihi: 14 Kasım 2016

Sorumlu yazar: Selen AKAN, e-posta: sakan@agri.ankara.edu.tr

Öz

Sebze yetiştiriciliği ve muhafazasında bilinen büyümeyi düzenleyicilerin yanı sıra hasat öncesi ve sonrası kaliteyi korumak ve uzun süreli muhafaza edebilmek için fizyolojik etkileri nedeniyle jasmonik asitin (JA) metil esteri olan metil jasmonatın da (MeJA) kullanıldığı bilinmektedir. MeJA, bitki bünyesinde mevcut olup bitkinin farklı dokularında farklı miktarlarda bulunmaktadır. MeJA içsel hormon olarak bilinmekle birlikte dışsal uygulama olarak hem gaz hem de solüsyon formunda kullanılabilir. MeJA'nın, sebze yetiştiriciliğinde tohum çimlenmesini ve kök gelişimini engellediği, uzun gün bitkilerinde çiçeklenmeyi geciktirdiği, bitki bünyesinde klorofil parçalanmasını hızlandırdığı, proteinaz enzim aktivitesini engellediği, aromatik bileşenleri ve antosiyaninleri artırdığı, hastalık ve zararlı gelişimini engellediği yapılan araştırmalar ile ortaya çıkarılmıştır. Sebzelerde hasat sonrasında fungal patojenler sebebiyle önemli kalite kayıpları oluşmaktadır. Fungal patojenler ile mücadelede yaygın olarak sentetik kimyasal fungusitler kullanılmaktadır. Ancak patojenlerin bu fungusitlere karşı direnç kazanması ve kalıntıya sebep olması ile alternatif çözüm arayışlarına gidilmiştir. Bu sebeple MeJA kullanımının hastalık kontrolünde bitkilerin doğal savunma mekanizmasını artıracığı düşünülmektedir. MeJA'nın dışsal uygulama olarak kullanılmasıyla bitki hücrelerinde sekonder metabolitlerin teşvik edilmesi, gen savunma mekanizmasının oluşturulması ve yerleşik patojenlere karşı direnç artırılması yönünde tespitler bulunmaktadır. MeJA'nın hasat sonrası etkinliğinin ortaya çıkarılmasından sonra, sebzelerin muhafazasında karararma ve üşüme zararının azaltılması, ağırlık ve renk kaybının engellemesi,

aromatik özelliklerin korunması, köklenme ile filizlenmenin engellenmesi ve mikrobiyal aktivitenin azaltılması sayesinde kimyasal ve görsel kalite korunumu amaçlı kullanımının da yaygınlaşabileceği düşünülmektedir. Bu çalışma ile MeJA'nın sebzelerde hasat öncesi ve sonrasında oluşturduğu etkileri konusunda yapılan araştırma sonuçları derlenmiştir.

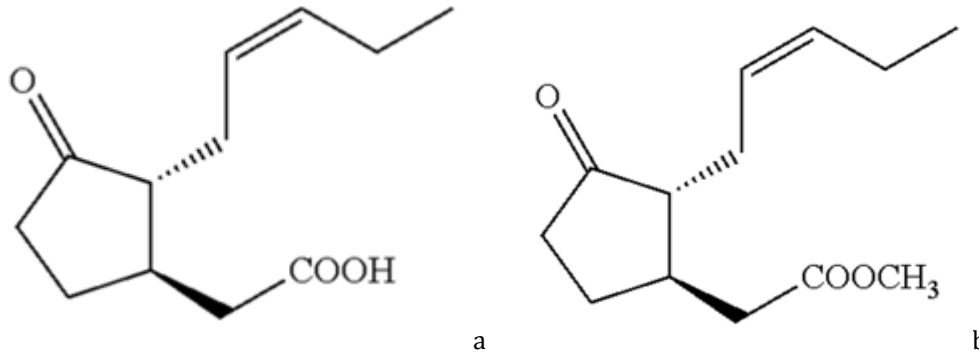
Anahtar kelimeler: Metil jasmonat, sebzecilik, muhafaza, kalite

Effects of methyl jasmonate on pre and postharvest physiology of vegetables

Abstract

Methyl jasmonate (MeJA) methyl ester of jasmonic acid (JA) is known to be used maintain quality and long term storage due to physiological effects before and after harvest on vegetables. MeJA is available within the plant and found in different amounts in different tissues of the plant. Although MeJA is known as endogenous hormone, it can be used as exogenous treatment in the form of both solution and gas. MeJA is reported to prevents seed germination and root development, delays flowering in long day plants, accelerates the chlorophyll degradation, inhibits proteinase enzyme activity, increases aromatic compounds and anthocyanins, prevents disease and pest development in vegetable species. Significant quality losses occur due to fungal pathogens in vegetables after harvest. Synthetic chemical fungicides are used commonly against fungal pathogens. However, due to residue and pathogen resistance against fungicides so alternative solutions are required. Therefore MeJA are thought to increase the natural defense mechanisms of plants for control

disease. By means of exogenous treatment of MeJA, secondary metabolites are induced in plant cell, generating gene defense mechanism and enhance resistance against to settled pathogens. Determination of postharvest efficacy of MeJA, in reduction of browning and chilling injury, inhibiting weight loss, discolorage, sprouting and rooting and maintainance of aromatic compounds during vegetable storage, it is believed that MeJA treatment will be widespread to maintain chemical and visual quality. In this study, researches about the effects of methyl jasmonate on pre and postharvest physiology of vegetables were reviewed.



Şekil 1 Jasmonik asit (a) ve metil esteri Metil Jasmonat (b)

MeJA molekülleri, stoma vasıtasıyla bitkilerde iletim sistemine girer ve proteinaz inhibitör genlerini aktive eder. Bunun yanı sıra MeJA sitoplazmadan yaprak hücrelerine yayılır ve burada hücre içi esterazlar sayesinde jasmonik asite hidrolize olur (Edward ve ark., 1990).

MeJA, JA biyosentezi, sekonder metabolizma, savunma proteinleri, hücre duvarı oluşumunu düzenleyen genleri içermekte (Cheong ve ark., 2003), patojene karşı PR (pathogen related) proteinlerini çoğaltarak doğal direnç mekanizmasını artırıp mikrobiyal bozulmayı engellemektedir (Ding ve ark., 2001). MeJA, çok sayıda yüksek yapılı bitkide doğal olarak bulunmaktadır. Bu bileşik, bitkinin fizyolojik ve biyokimyasal işlemlerinde elisitör olarak görev yapmakta ve sinyal ajanı olarak kabul edilmektedir (Creel-man and Mullet, 1997). MeJA konusundaki birçok çalışmada, hasat sonrası uygulama olarak depolama süresince bahçe bitkileri ürünlerinde yaralanmaya bağlı olarak artan stresi azalttığı belirtilmiş olup bu stresin, üşüme zararı, hastalık, mekanik zarar ve tuz stresi gibi durumlarda ortaya çıktığı belirtilmiştir (Peña-Cortès ve ark., 2005; Sayyari ve ark., 2011).

Key words: Methyl jasmonate, vegetable, storage, quality

Giriş

Jasmonik asitin metil esteri olan metil jasmonat (MeJA) (Şekil 1) en fazla yasemin (*Jasminum grandiflorum*) ve *Rosemarinus officinalis* bitkilerinin uçucu yağlarında bulunan bileşik olarak tanımlanmıştır. Bu özelliğiyle günümüzde parfüm endüstrisinin başlıca girdilerinden birisidir.

Yapılan araştırmalarda MeJA direkt bitkilere uygulandığında; gelişimi engelleme, hassasiyeti artırma, özel yaprak proteinlerini teşvik etme gibi farklı etkilerde bulunmaktadır (Ueda and Kato, 1980; Yamane ve ark., 1981; Curtis, 1984).

MeJA, yaralanma durumunda proteinaz inhibitörü proteinlerin oluşumunu teşvik eder (Örneğin domateslerde I ve II inhibitörleri). MeJA ve türevleri yaralanma ve patojen ataklarında hücreler arası sinyal taşınımı ve iletilmesinde anahtar rol oynar (Edward ve ark., 1990).

MeJA uygulamaları sıvı ve gaz şeklinde olmak üzere 2 şekilde yapılmaktadır. Sıvı olarak daldırma ve püskürtme şeklinde, gaz formunda ise istenilen konsantrasyonda 3-6 saat süre ürünün MeJA ile muamele edilmesinden olumlu sonuçlar alınabileceği ifade edilmektedir (Gonzalez-Aguilar ve ark., 2001).

1. MeJA'ın Sebze Türlerinde Hasat Öncesi Etkileri

MeJA'ın sebzelerde kök ve gövde gelişimini (Staswick ve ark., 1992), klorofil parçalanmasını, karotenoid oluşumunu engellediği (Saniewski ve ark., 1983), solunum aktivitesini azalttığı (Popova ve ark., 1998) ve bitkinin hassasiyetini artırdığı şeklinde etkileri bulunmaktadır (Yeh ve ark., 1995).

MeJA uygulamaları ile ilgili araştırmalar çoğunlukla domates, turp ve lahanalar türleri üzerinde yoğunlaşmıştır. Bu konuda yapılan araştırmalarda, MeJA uygulamasının domates yapraklarında sinyal sonrası savunma mekanizmasını güçlendiren kafeik asit ve putresin'in birleşiminden oluşan kafeoilputresin miktarını artırdığı (Chen et al., 2006), soya fasulyesi ve turp fidelerinde antosiyanin sentezini artırdığı (Franceschi ve ark., 1991; Feys ve ark., 1994) belirtilmiştir. Sun ve ark. (2012) tarafından yapılan çalışmada ise, Çin lahanasında hasattan 6 gün önce 100 μ M dozunda MeJA uygulamasının 6 gün sonra glukozinalat, toplam fenol ve antioksidan kapasitesini artırdığı saptanmıştır.

Mısır, domates, turp ve soğan fidelerinde gaz halinde 50 μ L dozunda MeJA uygulamasının turp hipokotilleri hariç diğerlerinde antosiyanin birikimini artırdığı belirlenmiştir. Bu durumun sebze türlerinin farklı serbest aminleri içermesinden kaynaklanabileceği belirtilmiştir. Aynı şekilde MeJA uygulamasının hipokotildeki hücre çoğalması ve büyümesi için gerekli olan poliaminlerden biri olan putresine bakıldığında, miktarı türlere göre değişiklik göstermiştir. Domates yapraklarında MeJA, putresin seviyesini artırmış, soğan ve turp yapraklarında ise etkili olmamış ancak az miktarda hücre büyümesini sağlayan diğer aminlerden spermine rastlanmıştır. Mısır dokularında ise yüksek oranda aromatik amin olan feniletilamin (PEA) saptanmıştır (Horbowicz ve ark., 2014).

Turp fidelerinde yapılan araştırmada, turp tohumları 100 μ M dozunda MeJA ile muamele edilmiş bir kısmı ışıkta diğer kısmı karanlıkta bırakılarak 12 gün sonra fide gelişimi incelenmiştir. Araştırmanın sonucunda, filizlerin MeJA ve ışığa maruz bırakılması ile antosiyanin içeriğinin ve ekimden 3 gün sonraki tüm genlerin taşınımının olumlu yönde etkilendiği bildirilmiştir (Park ve ark., 2013).

MeJA uygulaması bazı sebze türlerinde glukozinalat biyosentezini artırmaktadır. Brokolide yapılan araştırmalarda mevcut neoglucobrassin ve gluconasturtini (Kim ve Juvik, 2011), lahanalarda ise glucoiberin, progoitrin, sinigrin, ve gluconapin glukozinatlarını artırdığı belirlenmiştir (Fritz ve ark., 2010). Aynı araştırmacılar bu etkinin çeşitlere bağlı olarak değiştiğini saptamışlardır.

MeJA uygulamaları, bazı fungusların çimlenme aşamalarında gelişmelerini etkileyerek hastalığın yayılmasının kontrol altına alınmasında etkili

olmaktadır. Örneğin domateslerde yapılan araştırmada erken dönemde antraknoz hastalığının spor çimlenmesini %38, spor üretimini ise %33 oranında baskıladığı, buna karşılık yaralı dokularda baskılamada etkili olmadığı ortaya konulmuştur (Conrath ve ark., 2002).

2. MeJA'nın Sebze Türlerinde Hasat Sonrası Etkileri

MeJA uygulamalarının etkisinin tür, çeşit ve uygulama dozuna bağlı olarak değişebileceği, aynı zamanda hasat sonrası solunumu ve olgunlaştırma hormonu olarak adlandırılan etilen sentezini azalttığı bildirilmektedir (Sun ve ark., 2013; Wang ve ark., 2014; Zapata ve ark., 2014; Ozturk ve ark., 2014; Ozturk ve ark., 2015).

MeJA uygulaması, domatesin depolanması sırasında meyve kalitesinin korunmasını sağlamakta ve antioksidan oluşumunu hızlandırmaktadır (Zhu ve Tian, 2012). Bu konuda yapılan bir araştırmada MeJA'nın domateslerde Botrytis cinerea'ya karşı meyve direncini güçlendirdiği sonucu ortaya konulmuştur (Yu ve ark., 2009). Yine MeJA'nın, domateste serbest oksijen radikalleri üretimini düzenlediği ve katalaz gen ifadesinin artışını sağladığı ve direnç mekanizmasını artırdığı bildirilmiştir (Zapata ve ark., 2014). Brokolide 1 mM dozunda MeJA uygulamasının hasat sonrası etilen biyosentezini artırdığı, buna bağlı olarak meyvenin duyarlılığını artırdığı bildirilmiştir (Watanabe ve ark., 2000). Biber ve kerevizde MeJA'nın mikrobiyal aktiviteyi (Buta ve Moline 1998), kabaklarda ve biberlerde ise üşüme zararını azalttığı (Wang ve Buta, 1994; Meir ve ark., 1996) yapılan araştırmalar ile ortaya konulmuştur.

Hasat sonrası 1, 5 -10 μ M dozlarında 10 dakika süre ile MeJA uygulanarak 20°C sıcaklık ve %85-90 oransal nemde (ON) 10 gün süre ile streç filme kaplanarak depolanan patlıcanlarda, kontrole kıyasla 5 μ M MeJA dozunun etilen üretimini baskı altına aldığı ve meyvenin duyarlılığını azalttığı saptanmıştır (Fan ve ark., 2016). Tüm MeJA uygulamaları çanak yaprak kararması ve ağırlık kaybını azaltmış, soyulmuş patlıcanlarda da antosiyanin ve sertlik kaybını yavaşlattığı, toplam fenol içeriği ve kararmaya sebep olan polifenol oksidaz (PFO) enzim aktivitesinin çanak yaprak ve meyve etinde azaldığı belirtilmiştir. Bunun yanında MeJA'nın domateste olduğu gibi patlıcanda da peroksidaz ve katalaz aktivitesi ve gen ifadelerini teşvik ettiği ortaya konulmuştur. Bu sonuca göre araştırmacılar, hasat sonrası patlıcanda

MeJA kullanımının kaliteyi koruduğunu ve hasat sonrası ömrü artırdığını ifade etmişlerdir. Öte yandan araştırmacılar bu çalışmada, en etkili dozun da 1 μM olduğunu belirtmişlerdir.

Karnabaharda hasat öncesi MeJA uygulamasının hasat sonrası kalitesine ve antikanser biyoaktivitesine etkisini belirlemek amacıyla yapılan çalışmada, 500 μM dozunda MeJA hasattan 4 gün önce uygulanmış ve hasat sonrası karnabaharlar 4°C'de 10, 20 ve 30 gün süre ile depolanmıştır. MeJA, kontrole göre glukozinatlardan glucoraphanin miktarını 1.5, glucobrassicin miktarını 2.4 ve neoglucobrassicini miktarını da 4.6 kat artırmıştır. Ayrıca, araştırmada MeJA'nın antikanser biyoaktivitesi üzerine etkisi de incelenmiş ve bu aktivitede etken olan quinone reduktaz aktivitesini yükselttiği saptanmıştır. Depolama koşulları yönünden 4°C'de 10 gün süre ile depolamanın görsel renk ve hasat sonrası kalitesini en iyi şekilde koruduğu belirlenmiştir (Mo Ku ve ark., 2013).

MeJA uygulamasının havuçlardaki etkisi de belirlenmiştir. Bu amaçla 250 μL^{-1} dozunda MeJA uygulamasının farklı işleme şekillerde işlenmiş (1/4 oranında kesme, dilimleme ve küçük parçalara ayırma) havuçlarda fenolik bileşikler üzerindeki etkisi incelenmiştir. 4 litrelik cam kavanozlarda 15°C'de 12 gün süre ile muhafaza edilen havuçlarda en yüksek değerler, fenolik asitlerden klorojenik asit 461 mgkg^{-1} ve 2 mgkg^{-1} ile izokumarin miktarına parçalanmış havuçlarda, 6.5 mgkg^{-1} ile ferulik asit ve 180 mgkg^{-1} ile kuinik asit miktarına ¼ oranında kesme işlemi yapılan havuçlarda saptanmıştır. En düşük değerlere ise işlem görmediği için stres faktörünün düşük olduğu ve strese bağlı artan fenolik bileşiklerin düşük olması sebebiyle denemeye bütün olarak alınan kontrol grubu havuçlardan alınmıştır (Heredia ve ark., 2009).

JA (0, 0.1, 0.5 ve 1 nM) çözeltisinin rendelenmiş havuçların kalitesi üzerine etkilerinin araştırıldığı bir çalışmada, 4°C'de 10 gün süre ile depolanan havuçlarda 2 gün aralıklarla yapılan organoleptik özellikler (aroma, tekstür ve acılık), pH ve suda çözünür kuru madde (SÇKM) miktarlarındaki değişimler, JA'nın tüm dozlarda kalite kayıplarını geciktirebileceği ortaya konulmuştur (Ergün ve Kösetürkmen, 2008).

10-3, 10-4 ve 10-5 M dozunda MeJA uygulamasının sarımsakta filizlenme ve köklenmeye etkilerinin araştırıldığı çalışmada daldırma şeklinde MeJA uygulaması sonrasında sarımsaklar 10 °C sıcaklıkta 5 hafta süre ile depolanmıştır. Depolama sonucunda

MeJA'nın 10-5 M dozu kök gelişimini etkilemezken, 10-3 M dozu %70 oranında, 10-4 M dozu ise %35 oranında köklenmeyi azaltmıştır. Filizlenme oranı ise MeJA'nın kuru kabuktan meristematik dokulara ulaşmaması nedeniyle belirlenmemiştir (Cantwell ve ark., 2003).

MeJA'nın farklı dozlardaki çözeltilerinde (0, 10-5, 10-4, 10-3 ve 2x10-3 M) 3 dakika süre ile daldırma şeklinde bekletilen fındık turpları (Cherry belle çeşidi) 0°C ve 15°C sıcaklıkta 7 gün süre ile depolandığında, yüksek konsantrasyonda MeJA dozlarının turplarda köklenme ve filizlenmeyi engellendiği, ayrıca yüzey terlemesini engelleyerek su kaybını azalttığı belirlenmiştir. Diğer yandan, MeJA uygulamasının kontrol grubuna kıyasla organik asitlerden malik, sitrik ve süksinik asit ile fruktoz, glukoz ve sakkarozdan oluşan karbonhidratların bitki bünyesinde daha iyi tutulmasını sağladığı da bildirilmiştir (Wang, 1998).

Domates meyvelerine (Charleston çeşidi) hasat sonrası MeJA'nın 220 μL^{-1} dozu uygulandıktan sonra, 27 gün süre ile 10°C ve 20°C sıcaklıkta depolanmıştır. Depolama sonunda, MeJA uygulanarak 10°C'de depolanan örneklerin L* (parlaklık), renk değerleri (a* ve b*) ve sertliklerini daha iyi koruduğu, her iki sıcaklıkta da etilen üretimini ve CO₂'yi azalttığı bildirilmiştir (Baltazar ve ark., 2007).

Börülce meyvelerinde MeJA'nın düşük sıcaklıkta muhafaza sırasında kalite üzerine etkisinin araştırıldığı bir çalışmada MeJA'nın 0.5, 1, 2, 4 ve 8 μM dozlarında 10 dakika süre tutulan börülce meyveleri 4°C sıcaklık ve %90-95 ON'de 10 gün süre ile depolanmıştır. Araştırma sonunda, 1 μM MeJA dozunun üşüme zararını azalttığı, duyu kaliteyi artırdığı, ağırlık kaybı, SÇKM, klorofil ve askorbik asit miktarındaki azalmayı yavaşlattığı belirlenmiştir (Fan ve ark., 2016).

Sonuç

Bitki bünyesinde bulunan doğal uçucu bileşiklerin geniş spektrumlu mikroorganizmalara karşı etkili olduğu bu çalışmada verilen araştırma sonuçları ile tekrar gündeme getirilmiştir. Doğal uçucu bileşenlerden biri olan MeJA, dışsal olarak hem hasat öncesi hem de hasat sonrası kullanımda kalite özelliklerinin artırılmasında kullanılabilir. MeJA kullanımının ucuz, bulunması kolay, uygulanması pratik olduğundan uygulamada bir şans olabilir. Günümüzde meyve ve sebzelerin yıkama ve dezenfeksiyonunda yaygın olarak kullanılan klorin bazlı kimyasalların kullanımının Avrupa Birliği tarafından yasaklanması ve bunun yerine uçucu

bileşenlerin kullanılmasının öngörülmesi de, kalıntı bırakmadığı bilinen uçucu bileşenlerden olan MeJA'nın alternatif bir dezenfektan olarak uygulamada kullanılabilme şansı bulunmaktadır. MeJA'nın birçok sebze türünde etkinliğinin belirlenmesine rağmen, henüz bu konudaki çalışmalar yeterli düzeyde bulunmamaktadır. Gelecekte ekonomik boyutuna da dikkate alan detaylı çalışmaların yapılması önerilmektedir.

Kaynaklar

- Baltazar, A., Espina-Lucero, J., Ramos-Torres, I. ve Gonzalez-Aguilar, G., 2007. Effect of methyl jasmonate on properties of intact tomato fruit monitored with destructive and nondestructive tests. *Journal of Food Engineering*, 80 (4): 1086-1095.
- Buta, J.G., 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.
- Cantwell, M.I., Kang, J., Hong, G., 2003. Heat treatment control sprouting and rooting of garlic cloves. *Postharvest Biology and Technology*, 30 (1): 57-65.
- Chen, H., Jones, A.D., Howe, G.A., 2006. Constitutive activation of the jasmonate signaling pathway enhances the production of secondary metabolites in tomato. *FEBS Letters*, 580: 2540-2546.
- Cheong, J.J., Choi, Y.D., 2003. Methyl jasmonate as a vital substance in plants. *Trends in Genetics*, 19: 409-413.
- Conrath, U., Pieterse, C.M.J., Mauch-Mani, B., 2002. Priming in plant-pathogen interactions. *Trends in Plant Science*, 7: 210-216.
- Creelman, R.A., Mullet, J.E., 1997. Biosynthesis and action of jasmonates in plants. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, 48: 355-381.
- Curtis, R., 1984. Abscission-inducing properties of methyl jasmonate, ABA, and ABA-methyl ester and their interactions with ethephon, AgNO₃, and malformin. *Plant Growth Regulation*, 3: 157-168.
- Ding, C.K., Wang, C.Y., Gross, K.C., Smith, D.L., 2001. Reduction of chilling injury and transcript accumulation of heat shock proteins in tomato fruit by methyl jasmonate and methyl salicylate. *Plant Science*, 161: 1153-1159.
- Ergün, M., Kösetürkmen, N., 2008. Jasmonik asit ve salisilik asit uygulamalarının rendelenmiş taze havuç kalitesi üzerine etkileri. *Harran Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 12 (1): 49-55.
- Fan, L., Wang, Q., Lv, J., Gao, L., Zuo, J., Shi, J., 2016. Amelioration of postharvest chilling injury in cowpea (*Vigna sinensis*) by methyl jasmonate (MeJA) treatments. *Scientia Horticulturae*, 203: 95-101
- Farmer, E.E., Ryan, C.A., 1990. Interplant communication: Airborne methyl jasmonate induces synthesis of proteinase inhibitors in plant leaves. *Proceedings of the National Academy of Science, Botany*, 87: 7713-7716.
- Feys, B.J.F., Benedetti, C.E., Penfold, C.N., Turner, J.G., 1994. Arabidopsis mutants selected for resistance to the phytotoxin coronatine are male sterile, insensitive to methyl jasmonate, and resistant to a bacterial pathogen. *Plant Cell*, 6: 751-759.
- Franceschi, V. R., Grimes, H.D., 1991. Induction of soybean vegetative storage proteins and anthocyanins by low-level atmospheric methyl jasmonate. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 88: 6745-6749.
- Fritz, V.A., Justen, V.L., Bode, A.M., Schuster, T., Wang, M., 2010. Glucosinolate enhancement in cabbage induced by jasmonic acid application. *Hortscience*, 45 (8): 1188-1191.
- Gonzalez-Aguilar, G.A., Buta, J.G., Wang, C.Y., 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.
- Heredia, J.B., Cisneros-Zevallos, L., 2009. The effects of exogenous ethylene and methyl jasmonate on the accumulation of phenolic antioxidants in selected whole and wounded fresh produce. *Food Chemistry*, 115: 1500-1508.
- Horbowicz, M., Kosson, R., Sempruch, C., Debski, H., Koczkodaj, D., 2014. Effect of methyl jasmonate vapors on level of anthocyanins, biogenic amines and decarboxylases activity in seedlings of chosen vegetable species. *Acta Scientiarum Polonorum Hortorum Cultus*, 13 (1): 3-15.
- Kim, H.S., Juvik, J.A., 2011. Effect of selenium fertilization and methyl jasmonate treatment on glucosinolate accumulation in broccoli florets. *Journal of American Society of Horticultural Science*, 136 (4): 239-246.
- Ku, K.M., Choi, J-H, Kushad, M.M, Jeffery, E.H, Juvik, J.A., 2013. Pre-harvest methyl jasmonate treatment enhances cauliflower chemoprotective attributes without a loss in postharvest quality. *Plant Foods for Human Nutrition*, 68: 113-117.
- Meir, S., Philosoph-Hadas, S., Lurie, S., Droby, S., Akerman, M., Zauberman, G., Shapiro, B., Cohen, E., Fuchs, Y.,

1996. Reduction of chilling injury in stored avocado, grapefruit, and bell pepper by methyl jasmonate. *Canadian Journal of Botany*, 74: 870-874.
- Ozturk, B., Ozkan, Y., Yıldız, K., 2014. Methyl jasmonate treatments influence bioactive compounds and red peel colour development of 'Braeburn' apple. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 38(5): 688-699.
- Ozturk, B., Yıldız, K., Kucuker, E., 2015. Effect of pre-harvest methyl jasmonate treatments on ethylene production, water-soluble phenolic compounds and fruit quality of Japanese plums. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 95: 583-591.
- Park, W.T., Kim, Y.B., Seo, J.M., Kim, S.J., Chung, E., Lee, J.H., Park, S.U., 2013. Accumulation of anthocyanin and associated gene expression in radish sprouts exposed to light and methyl jasmonate. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 61: 4127-4132.
- Peña-Cortés, H., Barrios, P., Dorta, F., Polanco, V., Sánchez, C., Sánchez, E., Ramírez, I., 2005. Involvement of jasmonic acid and derivatives in plant response to pathogen and insects and in fruit ripening. *Journal of Plant Growth Regulation*, 23: 246-260.
- Popova, L.P., Tsonev, T.D., Vaklinova, S.G., 1988. Changes in some photosynthetic and photorespiratory properties in barley leaves after treatment with jasmonic acid. *Journal of Plant Physiology*, 132: 257-261.
- Saniewski, M., Nawacki, J., Czapski, J., 1987. The effect of methyl jasmonate on ethylene production and ethylene-forming enzyme activity in tomatoes. *Journal of Plant Physiology*, 129: 175-180.
- Sayyari, M., Babalar, M., Kalantari, S., Martínez-Romero, D., Guillén, F., Serrano, M., Valero, D., 2011. Vapour treatments with methyl salicylate or methyl jasmonate alleviated chilling injury and enhanced antioxidant potential during postharvest storage of pomegranates. *Food Chemistry*, 124: 964-970.
- Staswick, P.E., Su, W., Howell, S.H., 1992. Methyl jasmonate inhibition of root growth and induction of a leaf protein are decreased in an *Arabidopsis thaliana* mutant. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 89: 6837-6840.
- Sun, B., Yan, H., Zhang, F., Wang, Q., 2012. Effects of plant hormones on main health-promoting compounds and antioxidant capacity of Chinese kale. *Food Research International*, 48: 359-366.
- Sun, D.Q., Lu, X.H., Hu, Y.L., Li, W.M., Hong, K.Q., Mo, Y.W., Cahill, D.M., Xie, J.H., 2013. Methyl jasmonate induced defense responses increase resistance to *Fusarium oxysporum* f.sp. cubense race 4 in banana. *Scientia Horticulturae*, 164: 484-491.
- Ueda, J., Kato, J., 1980. Isolation and identification of a senescence-promoting substance from wormwood (*Artemisia absinthium* L.). *Plant Physiology*, 66: 246-249.
- Wang, C.Y., Buta, J.G., 1994. Methyl jasmonate reduces chilling injury in *Cucurbita pepo* through its regulation of abscisic acid and polyamine levels. *Environmental and Experimental Botany*, 34: 427-432.
- Wang, C.Y., 1998. Methyl jasmonate inhibits postharvest sprouting and improves storage quality of radishes. *Postharvest Biology and Technology*, 14 (2): 179-183.
- Wang, K.T., Jin, P., Han, L., Shang, H.T., Tang, S.S., Rui, H.J., Duan, Y.F., Kong, F.Y., Kai, X., Zheng, Y.H., 2014. Methyl jasmonate induces resistance against *Penicillium citrinum* in Chinese bayberry by priming of defense responses. *Postharvest Biology and Technology*, 98: 90-97.
- Watanabe, K., Kamo, T., Nishikawa, F., Hyodo, H., 2000. Effect of methyl jasmonate on senescence of broccoli florets. *Journal of the Japanese Society for Horticultural Science*, 69 (5): 605-610.
- Yamane, H., Takagi, H., Abe, H., Yokota, T., Takahashi, N., 1981. Identification of jasmonic acid in three species of higher plants and its biological activities. *Plant and Cell Physiology*, 22: 689-697.
- Yeh, C.C., Tsay, H.S., Yeh, J.H., Tsai, F.Y., Sahih, C.Y., Kao, C.H., 1995. A comparative study of the effects of methyl jasmonate and abscisic acid on some rice physiological processes. *Journal of Plant Growth Regulation*, 14: 23-28.
- Yu, M.M., Shen, L., Fan, B., Zhao, D.Y., Zheng, Y., Sheng, J.P., 2009. The effect of MeJA on ethylene biosynthesis and induced disease resistance to *Botrytis cinerea* in tomato. *Postharvest Biology and Technology*, 54: 153-158.
- Zapata, P.J., Martínez-Esplá, A., Guillén, F., Díaz-Mula, H.M., Martínez-Romero, D., Serrano, M., 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.
- Zhu, Z., Tian, S.P., 2012. Resistant responses of tomato fruit treated with exogenous methyl jasmonate to *Botrytis cinerea* infection. *Scientia Horticulturae*, 142: 38-43.