

Ivana Kipke, Fruk, G., Jemrić, T.¹

pregledni znanstveni rad

Djelovanje 1-metil ciklopropena na fiziološke procese i kakvoću voća poslije berbe

Sažetak

Ubrano voće mora što dulje zadržati svježinu, imati što bolja organoleptička svojstva, i ne smije pokazivati simptome bolesti i ozljeda. To nije uvijek lako postići, ali u novije vrijeme razvijeni su tehnološki postupci kojima se ovaj cilj lakše ostvaruje. Takav je postupak primjena 1-metil ciklopropena (1-MCP). 1-MCP se ubraja u derivate ciklopropena, a koristi se kao sintetski regulator rasta biljaka. Strukturno je srodan s prirodnim biljnim hormonom etilenom. 1-MCP je inhibitor aktivacije etilena koji sprječava djelovanje ovog hormona dozrijevanja kod većine klimakterijskog voća, ali se učinak razlikuje od vrste do vrste. Kod jabuka 1-MCP značajno smanjuje sintezu etilena i održava tvrdoću plodova dulje vrijeme dok je sinteza etilena kod bresaka samo neznatno smanjena ili ostaje nepromijenjena. Primjena 1-MCP učinkovito sprječava negativne fiziološke promjene tijekom skladištenja i čuvanja većine voća, ali su moguće i neke negativne posljedice njegove uporabe. 1-MCP je 2011. godine registriran i u Hrvatskoj pa ovaj rad ima za cilj pregled najvažnijih istraživanja u ovom području kako bi se dale korisne smjernice za praksu.

Ključne riječi: 1-MCP, čuvanje, etilen, fiziološki poremećaji, trulež

Uvod

Od otkrića 1-metil ciklopropena (1-MCP) 1996. godine, proveden je veliki broj istraživanja o njegovom djelovanju (Watkins, 2006). 1-MCP se ubraja u derivate ciklopropena, a koristi se kao sintetski regulator rasta biljaka. Strukturno je srodan s prirodnim biljnim hormonom etilenom. U komercijalne svrhe rabi se za usporavanje dospijevanja voća i povrća u skladištima i hladnjačama te za očuvanje svježine rezanog cvijeća.

Pri njegovoj upotrebi u obzir treba uzeti mnoge faktore uključujući kultivar, fazu razvoja, vrijeme koje je prošlo od berbe do tretiranja te višestruku aplikaciju. Ovisno o vrsti koju tretiramo, 1-MCP ima različito djelovanje na respiraciju, produkciju etilena i hlapivih tvari, degradaciju klorofila i ostale promjene boje, promjene proteina i membrana, mekšanje plodova, bolesti i poremećaje, sadržaj kiselina i šećera. Na tržištu je tek od nedavno u obliku pripravka naziva SmartFresh™ kojeg proizvodi tvrtka Agrofresh. Ovaj pripravak je registriran u 27 zemalja, od toga u 22 za jabuku (Sozzy and Beaudry, 2007). Od godine 2011. SmartFresh™ je registriran i u Hrvatskoj (Jemrić i sur. 2012).

Otkriće 1-MCP

Istraživanje koje je dovelo do otkrića 1-metil ciklopropena (1-MCP) 1996. godine, započelo je nastojanjem znanstvenika sa Sveučilišta Sjeverna Karolina da razumiju efekte čuvanja u kontroliranoj atmosferi (CA) i proces vezanja etilena na receptor.

Kako je u to vrijeme bilo poznato da ion srebra (Ag⁺) sprječava djelovanje etilena, većina znanstvenika se usredotočila na njegovu primjenu kao inhibitora, ali ne i biokemičar Edwar Sisler. On je zajedno s kolegama usmjerio istraživanja na sintetiziranje olefina² i njihovih analoga koji imaju sličan učinak.

Trudeći se označiti mjesto vezanja etilena iskoristio je diazo ciklopentadien (DACP) koji ga je doveo do otkrića snažnog učinka ciklopropena, produkata fotooksidacije DACP na proces inhibicije djelovanja etilena.

Derivat koji se pokazao kao odličan inhibitor etilena, a dobar za praktičnu upotrebu, zbog slabije hlapivosti od ciklopropena, bio je 1-MCP (Sisler i Blankenship, 1996).

Kemijska svojstva i mehanizam djelovanja 1-MCP

Kemijski gledano, 1-MCP je derivat ciklopropena, spojeva koji su produkt fotooksidacije diazo ciklopentadiena (DACP). Strukturnu građu čini ciklički alken, ciklopropen, na čiji prvi C-atom je vezana jedna metilna skupina (-CH₃). Upravo ta strukturna građa ga povezuje s prirodnim biljnim hormonom etilenom. Molekularna formula mu je C₄H₆. Pri standardnom tlaku i temperaturi, 1-MCP je hlapivi, neutrovan plin molekularne težine 54 g·mol⁻¹.

U usporedbi s etilenom, 1-MCP je aktivan na znatno nižoj temperaturi (Sisler i Serek, 1997). Ovaj spoj u plodovima djeluje kao ireverzibilan inhibitor vezanja etilena na receptor što znači da u njegovoj prisutnosti receptor uopće ne može detektirati etilen jer se na njegovo mjesto vezao 1-MCP čiji afinitet vezanja je približno 10 puta veći od afiniteta etilena (Sisler i Serek, 2003).

Ako je vezanje etilena na receptor spriječeno, etilen više ne potpomaže dospijevanje i senescenciju plodova, plodovi prestaju biti osjetljivi na vanjski etilen, dok je istovremeno i sinteza unutrašnjeg etilena usporena. Rezultat je sporije dospijevanje i mekšanje plodova te je time održana njihova visoka kakvoća i produljen je period konzumacije. Osim toga, na ovaj način inhibirani i ostali procesi koje katalizira etilen:

- respiracija
- pretvorba škroba u šećer
- raspadanje stanične stijenke
- promjena boje plodova.

¹ Irena Kipke, studentica MS studija Hortikultura-Voćarstvo, dipl.ing. Goran Fruk, dr.sc. Tomislav Jemrić, Agronomski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zavod za voćarstvo, Svetošimunska 25, Zagreb

² Olefini su aciklički i ciklički ugljikovodici koji imaju jednu ili više dvostrukih veza (izuzev aromatskih spojeva). Olefini uključuju alkene i cikloalkene kao i odgovarajuće poliene.

Kod plodova banane, čini se da faktori kao kultivar, zrelost plodova, prethodna izloženost etilenu, uvjeti uzgoja imaju velik utjecaj na uspješnost korištenja 1-MCP-a i mogućnost da plodovi na kraju dozriju. Banane tretirane 1-MCP-om i držane u polietilenskim vrećicama na kraju dozriju, što upućuje na mogućnost da plod može stvarati nove receptore (Jiang i sur., 1999). Ipak, banane tretirane 1-MCP-om mogu također ostati zelene boje ili dozrijeti s neravnomjernom obojenošću (Harris i sur., 2000). Ako ne dođe do dospijevanja, vjeruje se da se receptori nisu obnovili. Predložen je tretman visokim temperaturama koji bi kod banana poboljšao sintezu etilen-receptora (Jiang i sur., 2002). Sisler i sur. (1996) napominju da se 1-MCP veže na receptore etilena, ali se vjerojatno natječe s endogenim etilenom za mjesto vezanja. Nesrazmjerno dospijevanje kod banana nakon tretmana 1-MCP-om može ograničiti komercijalnu upotrebu 1-MCP-a u industriji banana ako se ne definiraju prikladni protokoli.

Djelomična uspješnost primjene kod nekih kultivara jabuka pokazuju da se receptori mogu obnoviti ili da je vezanje 1-MCP-a nepotpuno. Kultivar jabuka 'McIntosh', na primjer, vjerojatno treba veće koncentracije 1-MCP-a, možda i stoga što taj kultivar sintetizira veliku količinu etilena (Watkins i sur., 2000).

1-MCP i djelovanje endogenog i egzogenog etilena

1-MCP štiti plodove i od endogenog i egzogenog etilena. Objavljene su studije u kojima se 1-MCP koristio u prisutnosti apliciranog etilena i/ili u prisutnosti endogenog etilena. Rezultat na oba testa varirao je ovisno o proizvodu. Neke vrste su imale koristi od aplikacije 1-MCP-om bez obzira na prisutnost egzogenog etilena, dok su druge vrste imale malu korist od apliciranog 1-MCP-a ukoliko je bio prisutan egzogeni etilen.

Punjenje tkiva vodom, koje se događa u slučaju aplikacije egzogenog etilena na plodove lubenice (*Citrullus lanatus*), može se zaustaviti ako plod tretiramo 1-MCP, iako lubenica proizvodi malo endogenog etilena (Blankenship i Dole, 2003).

Učinak 1-MCP-a na jagodi izloženoj djelovanju egzogenog etilena ovisi o zrelosti plodova i koncentraciji 1-MCP-a (Ku i sur., 1999; Tian i sur., 2000). Međutim, 1-MCP je također produžio život plodova nakon berbe u prisutnosti egzogenog etilena (Jiang i sur., 2001).

Djelovanje 1-MCP na fiziološke procese

Sinteza etilena

1-MCP smanjuje sintezu etilena u jagodama (Jiang i sur., 2001), usporava sintezu etilena u marelicama i šljivama (Dong i sur., 2002) te inhibira sintezu etilena u jabukama 'Fuji' (Fan i Mattheis, 1999a; Fan i Mattheis, 1999b), 'Red Delicious' i 'Granny Smith' (Fan i sur., 1999a; Fan i sur., 1999b).

U plodovima avokada tretiranima 1-MCP-om odgođen je klimakterij za 6 dana i sma-

njen učinak etilena za 50% (Jeong i sur., 2002), dok je kod šljiva (Abdi i sur., 1998), marelice (Fan i sur., 2000) i breskve (*Prunus persica* var. *persica*) (Hayama i sur., 2008) sinteza etilena nakon tretmana 1-MCP-om bila smanjena. Smanjenje produkcije etilena kod plodova kivija ovisno je o temperaturi (Kim i sur., 2001).

Nakon primjene 1-MCP-a kod bresaka nije uočena osjetljivost ACC sintaze na CO₂ tijekom dospijevanja (Mathooko i sur., 2001) dok je kod nekih sorata bresaka uočeno privremeno povećanje sinteze etilena (Fan i sur., 2002; Cin i sur., 2006).

Kad su kruške (*Pyrus communis*), koje su već bile podvrgnute potrebnim niskim temperaturama, tretirane 1-MCP-om, prestale su dospijevati najmanje 26 nakon izlaganja višim temperaturama. Aktivnost ACC sintaze i ACC oksidaze te sinteza etilena bila je znatno smanjena kod krušaka tretiranih 1-MCP-om (Lelievre i sur., 1997; De Wild i sur., 1999).

Degradacija klorofila i promjena boje

1-MCP onemogućava ili odgađa degradaciju klorofila i promjenu boje kod mnogih vrsta voća. Odzelenjavanje naranči (*Citrus sinensis*) bilo je blokirano djelovanjem 1-MCP-a, a stimulirano egzogenim etilenom (Porat i sur., 1999).

Tretman 1-MCP-om omogućio je bananama da požute prije nego omekšaju (Sisler i sur., 1996b). Postepeno tretiranje propilenom nakon tretiranja 1-MCP-om odgodilo je odzelenjavanje, a plodovi su imali nejednaku boju (Golding i sur., 1998). Harris i sur. (2000) otkrili su da banane tretirane 1-MCP-om nisu razvijale boju na komercijalno zadovoljavajućoj razini. Degradacija klorofila kod 'Fuji' i 'Granny Smith' jabuka je bilo također inhibirano 1-MCP-om (Fan i Mattheis, 1999b; Jemrić i sur., 2012).

Omjer klorofila a i b je bio smanjen u tretmanu jagoda (*Fragaria x ananassa*) 1-MCP-om, ako se usporedi s kontrolom (Tian i sur., 2000). Jiang i sur. (2001) otkrili su da 1-MCP održava boju plodova kod jagoda, a s druge strane inhibira aktivnost fenilalanin amonijak liaze i smanjuje produkciju antocijanina.

Plodovi marelica tretirani 1-MCP-om bili su zeleniji i pokazivali su manju promjenu boje plodova od netretirane kontrole (Fan i sur., 2000). Ista stvar vrijedi i za breskve (Kluge i Jacomino, 2002).

Drugi znanstvenici su otkrili da promjena boje kože marelica i šljiva nije bila pod djelovanjem 1-MCP-a (Dong i sur., 2002), dok su Abdi i sur. (1998) zaključili da etilen nije nužan za razvoj boje klimakterijskih šljiva.

Nije bilo utjecaja 1-MCP-a na promjenu boje ili smeđenje peteljke nakon berbe kod trešnje (*Prunus avium*) (Gong i sur., 2002).

Respiracija

Kod jagoda 1-MCP inhibira povećanje respiracije inducirane etilenom u rano ubranim plodovima, ali ne i u kasno ubranim plodovima (Tian i sur., 2000). Klimakterijsko disanje kod šljiva bilo je odgođeno nakon primjene 1-MCP-a (Abdi i sur., 1998; Dong i sur., 2002). Respiracija je bila smanjena i kod marelica tretiranih 1-MCP-om (Fan i sur., 2000), jabuka 'Fuji' (Fan i Mattheis, 1999b), 'Granny Smith' i 'Red Delicious' (Fan i sur., 1999a; Fan i sur., 1999b).

Respiracija kod banana je smanjena tretmanom s propilenom uz to da je postepeno dodavan plinoviti 1-MCP (Golding i sur., 1998).

Ipak, tretman 1-MCP-om nije imao učinak na nektarine (*Prunus persica* var. *nectarina*) (Dong i sur., 2001a) i marelice (Dong i sur., 2002).

Ovakvi rezultati su vjerojatno posljedica zrelosti plodova, izbora kultivara ili nekog drugog nepoznatog čimbenika. Stimuliranje respiracije egzogenim etilenom kod trešnje pojavilo se bez obzira na tretman 1-MCP-om (Gong i sur., 2002), vjerojatno zbog činjenice da je trešnja neklimakterijski plod.

Tvari arome

Razvoj tvari arome je proces ovisan o etilenu zbog toga što je u šljivama tretiranim 1-MCP-om došlo do smanjenja tvari arome, a primjena propilena je potaknula sintezu arome (Abdi i sur., 1998). To bi značilo da propilen reagira ili s različitim receptorima ili omogućava oslobađanje receptora.

1-MCP inhibirao je ukupnu tvorbu alkohola i estere u jabuci 'Fuji' (Fan i Mattheis, 1999a) i 'Gala' (Fan i Mattheis, 2001), dok na nastajanje heksanola u 'Fuji' jabukama nije utjecao. Sinteza ukupnih tvari arome bila je smanjena u sortama jabuka 'McIntosh' i 'Delicious' (Rupasinghe i sur., 2000b) i Granny Smith (Jemrić i sur., 2012). U marelici je došlo do usporavanja sinteze hlapivih alkohola i estera nakon tretmana 1-MCP-om (Fan i sur., 2000). 1-MCP je izazvao kvantitativne promjene u sastavu tvari arome kod banana. Povećao je količinu alkohola, a smanjio količinu estera (Golding i sur., 1999).

Mekšanje plodova

1-MCP odgađa mekšanje plodova većine voćnih vrsta, ali na neke vrste nema učinka. Mehanička svojstva tkiva plodova jabuke manje su se promijenila kad su plodovi bili tretirani 1-MCP-om (Baritelle i sur., 2001). Jabuke su zadržale tvrdoću nakon tretmana 1-MCP-om, što se pokazalo sortama: 'Delicious', 'Granny Smith', 'Fuji', 'Gala', 'Idared', i 'Jonagold' (Fan i sur., 1999a; Jemrić i sur., 2012; Mir i sur., 2001, Rupasinghe i sur., 2000b; Watkins i sur., 2000). Tretman 1-MCP-om na jabukama je postigao bolju tvrdoću plodova nego čuvanje u kontroliranoj atmosferi (Mir i sur., 2001). Watkins i sur. (2000) zaključili su da je kombinacija 1-MCP-a i kontrolirane atmosfere bolja nego pojedinačna uporaba ovih postupaka.

1-MCP-u je održao tvrdoću plodova marelica (Fan i sur., 2000), nektarina (Dong i sur., 2001a), bresaka (Kluge i Jacomino, 2002), šljiva (Dong i sur., 2002; Dong i sur., 2001b; Skog i sur., 2001) i jagoda (Jiang i sur., 2001).

Nakon čuvanja pri niskim temperaturama, 1-MCP nije ometao dospijevanje nektarina u usporedbi s plodovima tretiranim etilenom (Dong i sur., 2001a). Plodovi bresaka tretirani 1-MCP-om dva dana nakon berbe bili su znatno tvrdi od onih koji nisu bili tretirani, ali su brže omekšali do iste razine kao i netretirani plodovi četiri dana poslije berbe. 1-MCP održava tvrdoću plodova u ranijim fazama dospijevanja sve do četvrtog dana nakon berbe (Hayama i sur., 2008).

S druge strane, ni 1-MCP ni etilen nisu imali učinak na mekšanje plodova naranče (Porat i sur., 1999). Uočeno je da nema razlika u tvrdoći plodova jagode ako se isti tretiraju samo etilenom ili etilenom i 1-MCP-om zajedno (Tian i sur., 2000). 1-MCP u količini od 2 µl/l zapravo je uzrokovao veći gubitak tvrdoće u usporedbi s plodovima koji nisu bili tretirani (Tian i sur., 2000).

Količina kiseline

Učinak 1-MCP-a na titracijsku kiselost je različit kod različitih vrsta voća. 1-MCP odgađa opadanje vrijednosti askorbinske kiseline u ananasu (Selvarajah i sur., 2001) i smanjenje titracijske kiselosti kod šljiva (Dong i sur., 2002) te održava titracijsku kiselost kod sorata jabuka 'Red Delicious', 'Granny Smith', 'Fuji', 'Jonagold' i 'Gala' (Fan i sur., 1999a i Fan i sur., 1999b). Kod marelica 1-MCP nije djelovao na titracijsku kiselost (Dong i sur., 2002).

Koncentracija šećera

Topljivi šećeri bili su povišeni u plodu ananasa (Selvarajah i sur., 2001), papaje (Hofman i sur., 2001) i jabuke (Fan i sur., 1999a) tretiranih 1-MCP-om.

Nasuprot tome, topljivi šećeri bili su smanjeni djelovanjem 1-MCP-a kod plodova jagode bez obzira na prisutnost ili odsutnost egzogenog etilena (Tian i sur., 2000).

1-MCP nije imao nikakav učinak na topljive šećere u narančama (Porat i sur., 1999), marelicama i šljivama (Dong i sur., 2002), mangu (Hofman i sur., 2001) i jabukama (Rupasinghe i sur., 2000b i DeEll i sur., 2002).

Watkins i sur. (2000) su otkrili razlike u reagiranju različitih sorata jabuka na tretman 1-MCP-om. Neke sorte su imale smanjen, a druge povećan sadržaj topivih šećera u odnosu na kontrolu.

Gubitak težine plodova (kalo)

1-MCP nije spriječio smanjenje težine kod plodova naranče (Porat i sur., 1999), ali je usporio smanjenje težine plodova avokada (Jeong i sur., 2002).

Utjecaj 1-MCP-a na fiziološke poremećaje plodova, ozljede i bolesti

Učinak 1-MCP-a na bolesti je raznolik. U nekim slučajevima tretman 1-MCP-om smanjuje fiziološke poremećaje kao što je, primjerice, površinski scald jabuke (Fan i sur., 1999b). Otkriveno je da 1-MCP potiskuje površinski scald i do 90% kod 'Delicious' jabuka tijekom skladištenja u normalnoj atmosferi (Rupasinghe i sur., 2000a).

Suprotno tome, kod nekih vrsta tretman 1-MCP-om povećava pojavu bolesti i fizioloških poremećaja. Tako je crvenilo mesa nektarine bilo izraženo u većoj mjeri kod plodova tretiranih 1-MCP-om u usporedbi s netretiranim plodovima (Dong i sur., 2001a).

Jabuke tretirane 1-MCP-om pokazale su veći stupanj unutarnjeg posmeđenja tkiva od netretiranih jabuka, ali je pojava bila manje izražena na nižim temperaturama (Fan i Mattheis, 2001). Sorta 'Granny Smith' tretirana 1-MCP-om nije razvila voštanu prevlaku na kori ploda (Fan i sur., 1999b). Unutarnje posmeđenje plodova marelice bilo je izraženije u plodovima koji su bili tretirani 1-MCP-om (Dong i sur., 2002). Proces smeđenja mesa bresaka nakon čuvanja na 5°C bio je jače izražen kod plodova tretiranih 1-MCP-om. Unutarnje posmeđenje nije bilo povezano s tretmanom 1-MCP-om u slučajevima kad su breskve bile skladištene na 0 ili 10°C te ako su se koristili kasnije ubrani plodovi (Fan i sur., 2002).

Plodovi naranče tretirani 1-MCP-om imali su više ozljeda od niskih temperatura nego kontrolni plodovi (Porat i sur., 1999). Međutim, 1-MCP je smanjio ili eliminirao truljenje i diskoloraciju mezokarpa avokada induciranog niskim temperaturama (Pesis i sur., 2002) te unutarnje posmeđenje tkiva ananasa (Selvarajah i sur., 2001).

Naranče tretirane 1-MCP-om imale su više trulih plodova od plodova kontrole (Porat i sur., 1999) pa autori smatraju da je endogeni etilen u plodovima naranči vjerojatno potreban za održavanje obrambenih mehanizama. Kod jagode, 1-MCP u povišenim koncentracijama povećao je propadanje plodova (Ku i sur., 1999; Jiang i sur., 2001). Ovaj tretman je inhibirao poželjne metaboličke procese i stimulirao one nepoželjne što je vjerojatno također posljedica aktivacije prirodnih obrambenih mehanizama ploda (Ku i sur., 1999). Pojava truleži bila je učestalija i kod plodova avokada i papaje tretiranih 1-MCP-om u usporedbi s netretiranim plodovima (Hofman i sur., 2001). Na mangu tretiranom 1-MCP-om pojava truleži peteljke bila je dvostruko jače izražena nego kod netretiranih plodova (Hofman i sur., 2001).

Suprotno navedenim rezultatima, proces truljenja marelice je bio usporen zbog upotrebe 1-MCP-a (Dong i sur., 2002). 1-MCP je smanjio, ali ne i spriječio truljenje kod jabuka, posebno ne pri višim temperaturama (Mir i sur., 2001).

Zaključak

Zbog svoje djelotvornosti na kontrolu fizioloških procesa u plodu poslije berbe, 1-MCP ima važno mjesto u optimizaciji tehnologije čuvanja voća i drugih hortikulturnih proi-

zvođa. Potrebno je u obzir uzeti i negativne strane njegove primjene jer postoje istraživanja iz kojih se vidi da u nekim slučajevima nije pokazao dobre rezultate.

Prema tome bi buduća istraživanja trebala usmjeriti prema optimizaciji primjene 1-MCP-a, odnosno odrediti ograničavajuće čimbenike za njegovu djelotvornost.

Literatura

- Abdi, N., McGlasson, W.B., Holford, P., Williams, M. and Mizrahi, Y.** (1998.): Responses of climacteric and suppressed-climacteric plums to treatment with propylene and 1-methylcyclopropene. *Postharvest Biol. Technol.* 14, pp. 29–39.
- Baritelle, A.L., Hyde, G.M., Fellman, J.K. and Varith, J.** (2001.): Using 1-MCP to inhibit the influence of ripening on impact properties of pear and apple tissue. *Postharvest Biol. Technol.* 23, pp. 153–160.
- Blankenship, S.M., Dole, J.M.** (2003): 1-Methylcyclopropene: a review. *Postharvest Biol. Technol.* 28, pp. 1–25.
- Cin, V.D., Rizzini, F.M., Botton, A., P. Tonutti** (2006.): The ethylene biosynthetic and signal transduction pathways are differently affected by 1-MCP in apple and peach fruit. *Postharvest Biol. Technol.* 42, pp. 125–133.
- DeEll, J.R., Murr, D.P., Porteous, M.D. and Rupasinghe, H.P.V.** (2002.): Influence of temperature and duration of 1-methylcyclopropene (1-MCP) treatment on apple quality. *Postharvest Biol. Technol.* 24, pp. 349–353.
- De Wild, H.P.J., Woltering, E.J. and Peppelenbos, H.W.** (1999.): Carbon dioxide and 1-MCP inhibit ethylene production and respiration of pear fruit by different mechanisms. *J. Exp. Bot.* 50, pp. 837–844.
- Dong, L., Zhou, H., Sonogo, L., Lers, A. and Lurie, S.** (2001a): Ethylene involvement in the cold storage disorder of 'Flavortop' nectarine. *Postharvest Biol. Technol.* 23, pp. 105–115.
- Dong, L., Zhou-Hong, W., Sonogo, L., Lers, A. and Lurie, S., 2001b. Ripening of 'Red Rosa' plums: effect of ethylene and 1-methylcyclopropene. *Aust. J. Plant Physiol.* 28, pp. 1039–1045.
- Dong, L., Lurie, S. and Zhou, H.** (2002.): Effect of 1-methylcyclopropene on ripening of 'Canino' apricots and 'Royal Zee' plums. *Postharvest Biol. Technol.* 24, pp. 135–145.
- Environmental Protection Agency. Federal Register, July 26, 2002. Vol. 67, Number 144, pp. 48 796–48 800
- Fan, X. i Mattheis, J.P.** (1999a): Impact of 1-methylcyclopropene and methyl jasmonate on apple volatile production. *J. Agric. Food Chem.* 47, pp. 2847–2853.
- Fan, X. i Mattheis, J.P.** (1999b): Methyl jasmonate promotes apple fruit degreening independently of ethylene action. *HortScience* 34, pp. 310–312.
- Fan, X. i Mattheis, J.P.** (2001.): 1-Methylcyclopropene and storage temperature influence responses of 'Gala' apple fruit to gamma irradiation. *Postharvest Biol. Technol.* 23, pp. 143–151.
- Fan, X., Argenta, L. and Mattheis, J.P.** (2000): Inhibition of ethylene action by 1-methylcyclopropene prolongs storage life of apricots. *Postharvest Biol. Technol.* 20, pp. 135–142.
- Fan, X., Argenta, L. and Mattheis, J.P.** (2002): Interactive effects of 1-MCP and temperatures on 'Elberta' peach quality. *HortScience* 37, pp. 134–138.
- Fan, X., Blankenship, S.M. and Mattheis, J.P.** (1999a): 1-Methylcyclopropene inhibits apple ripening. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 124, pp. 690–695.
- Fan, X., Mattheis, J.P. and Blankenship, S.M.** (1999b): Development of apple superficial scald, soft scald, core flush, and greasiness is reduced by MCP. *J. Agric. Food Chem.* 47, pp. 3063–3068.
- Golding, J.B., Shearer, D., Wyllie, S.G. and McGlasson, W.B.** (1998): Application of 1-MCP and propylene to identify ethylene-dependent ripening processes in mature banana fruit. *Postharvest Biol. Technol.* 14, pp. 87–98.

- Golding, J.B., Shearer, D., McGlasson, W.B. and Wyllie S.G.**, (1999): Relationships between respiration, ethylene, and aroma production in ripening bananas. *J. Agric. Food Chem.* 47, pp. 1646–1651.
- Gong, Y., Fan, X. and Mattheis, J.P.** (2002): Responses of 'Bing' and 'Rainier' sweet cherries to ethylene and 1-methylcyclopropene. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 127, pp. 831–835.
- Harris, D.R., Seberry, J.A., Wills, R.B.H. and Spohr, L.J.** (2000): Effect of fruit maturity on efficiency of 1-methylcyclopropene to delay the ripening of banana. *Postharvest Biol. Technol.* 20, pp. 303–308.
- Hayama, H., Tatsuki, M., Nakamura, Y.** (2008): Combined treatment of aminoethoxyvinylglycine (AVG) and 1-methylcyclopropene (1-MCP) reduces meltin-flesh peach fruit softening. *Postharvest Biol. Technol.*, 50, pp. 228 – 230.
- Hofman, P.J., Jobin-Décor, M., Meiburg, G.F., Macnish, A.J. and Joyce, D.C.** (2001): Ripening and quality responses of avocado, custard apple, mango and papaya fruit to 1-methylcyclopropene. *Aust. J. Exp. Agric.* 41, pp. 567–572.
- Jemrić, T., Fruk, G., Kortylewska, D., Aljinović, S.** (2012): Postharvest quality and sensory characteristics of 'Granny Smith' apple treated with SmartFresh™ (1-MCP). *Agric. conspec. sci.* (u tisku)
- Jeong, J., Huber, D.J. and Sargent, S.A.** (2002): Influence of 1-methylcyclopropene (1-MCP) on ripening and cell-wall matrix polysaccharides of avocado (*Persea americana*) fruit. *Postharvest Biol. Technol.* 25, pp. 241–364.
- Jiang, Y., Joyce, D.C. and Macnish, A.J.** (1999): Extension of the shelf life of banana fruit by 1-methylcyclopropene in combination with polyethylene bags. *Postharvest Biol. Technol.* 6, pp. 187–193.
- Jiang, Y., Joyce, D.C. and Terry, L.A.** (2001): 1-methylcyclopropene treatment affects strawberry fruit decay. *Postharvest Biol. Technol.* 23, pp. 227–232.
- Jiang, Y., Joyce, D.C., Macnish, A.J. and Jiang Y.M.** (2002): Softening response of banana fruit treated with 1-methylcyclopropene to high temperature exposure. *Plant Growth Regul.* 36, pp. 7–11.
- Kim, H.O., Hewett, E.W. and Lallu, N.** (2001): Softening and ethylene production of kiwifruit reduced with 1-methylcyclopropene. *Acta Hort.* 553, pp. 167–170.
- Kluge, R.A., Jacomino, A.P.** 2002. Shelf life of peaches treated with 1 methylcyclopropene. *Scientia-Agricola* 59, pp. 69–72.
- Ku, V.V.V., Wills, R.B.H. and Ben-Yehoshua, S.** (1999): 1-Methylcyclopropene can differentially affect the post-harvest life of strawberries exposed to ethylene. *HortScience* 34, pp. 119–120.
- Lelievre, J.M., Tichit, L., Dao, P., Fillion, L., Nam, Y.W., Pech, J.C. and Latche, A.** (1997): Effects of chilling on the expression of ethylene biosynthetic genes in Passe-Crassane pear (*Pyrus communis* L.) fruits. *Plant Mol. Biol.* 33, pp. 847–855.
- Mathooko, F.M., Tsunashima, Y., Owino, W.Z.O., Kubo, Y. and Inaba, A.** (2001): Regulation of genes encoding ethylene biosynthetic enzymes in peach (*Prunus persica* L.) fruit by carbon dioxide and 1-methylcyclopropene. *Postharvest Biol. Technol.* 21, pp. 265–281.
- Mir, N.A., Curell, E., Khan, N., Whitaker, M. and Beaudry, R.M.** (2001): Harvest maturity, storage temperature, and 1-MCP application frequency alter firmness retention and chlorophyll fluorescence of 'Redchief Delicious' apples. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 126, pp. 618–624.
- Pesis, E., Ackerman, M., Ben-Aire, R., Feygenberg, O., Feng, X., Apelbaum, A., Goren, R. and Prusky, D.** (2002): Ethylene involvement in chilling injury symptoms of avocado during cold storage. *Postharvest Biol. Technol.* 24, pp. 171–181.
- Porat, R., Weiss, B., Cohen, L., Daus, A., Goren, R. and Droby, S.** (1999): Effects of ethylene and 1-methylcyclopropene on the postharvest qualities of 'Shamouti' oranges. *Postharvest Biol. Technol.* 15, pp. 155–163.

- Rupasinghe, H.P.V., Murr, D.P., Palyath, G. and DeEll, J.R.** (2000a): Suppression of α -farnesene synthesis in 'Delicious' apples by aminoethoxyvinylglycine (AVG) and 1-methylcyclopropene (1-MCP). *Physiol. Mol. Biol. Plants* 6, pp. 195–198.
- Rupasinghe, H.P.V., Murr, D.P., Paliyath, G. and Skog, L.** (2000b): Inhibitory effect of 1-MCP on ripening and superficial scald development in 'McIntosh' and 'Delicious' apples. *J. Hort. Sci. Biotech.* 75, pp. 271–276.
- Selvarajah, S., Bauchot, A.D. and John, P.** (2001): Internal browning in cold-stored pineapples is suppressed by a postharvest application of 1-methylcyclopropene. *Postharvest Biol. Technol.* 23, pp. 167–170.
- Sisler, E.C., Blankenship, S.M.** (1996): Methods of counteracting an ethylene response in plants. U.S. Patent Number 5,518,988.
- Sisler, E.C., Serek, M.** (1997): Inhibitors of ethylene responses in plants at the receptor level: recent developments. *Physiol. Plant.* 100, pp. 577–582.
- Sisler, E.C., Serek M.** (2003): Compounds interacting with the ethylene receptor in plants. *Plant Biol* 5: 473–80.
- Skog, L.J., Schaefer, B.H. and Smith, P.G.** (2001): 1-Methylcyclopropene preserves the firmness of plums during postharvest storage and ripening. *Acta Hort.* 553, pp. 171–172.
- Sozzi G.O., Beaudry R.M.** 2007. Current perspectives on the use of 1-methylcyclopropene in tree fruit crops: an international survey. *Stewart Postharvest Rev* 3: 1–16
- Tian, M.S., Prakash, S., Elgar, H.J., Young, H., Burmeister, D.M. and Ross, G.S.** (2000): Responses of strawberry fruit to 1-methylcyclopropene (1-MCP) and ethylene. *Plant Growth Regul.* 32, pp. 83–90.
- Watkins C.B.** (2006): The use of 1-methylcyclopropene (1-MCP) on fruits and vegetables. *Biotech Adv.* 24: 389–409.
- Watkins, C.B., Nock, J.F. and Whitaker, B.D.** (2000): Responses of early, mid and late season apple cultivars to postharvest application of 1-methylcyclopropene (1-MCP) under air and controlled atmosphere storage conditions. *Postharvest Biol. Technol.* 19, pp. 17–32.

Napomena: Prikazani rezultati proizašli su iz znanstvenog projekta (Optimizacija čuvanja breskve i nektarine tretmanima poslije berbe), provedenog uz potporu Ministarstva znanosti, obrazovanja i športa Republike Hrvatske.

surveying scientific study

The effect of 1-methylcyclopropene to physiological processes and quality of fruit after harvesting

Summary

Picked fruit should maintain its freshness as longer as possible, have the best possible organoleptic traits and shouldn't manifest any symptoms of disease and damage. That is not always easy to achieve, but technological procedures that help accomplish this goal have been developed lately. One such procedure is the application of 1-methylcyclopropene (1-MCP). 1-MCP belongs to cyclopropane derivatives and it is used as synthetic plant growth regulator. It is structurally related to natural plant hormone ethylene. 1-MCP is the inhibitor of ethylene activation, which prevents the activity of this hormone of maturation with most of climacteric fruit, but its effect differs in different kinds of fruit. 1-MCP significantly decreases synthesis of ethylene and maintains firmness of apples for a long period of time, whereas the synthesis of ethylene in pears is only slightly decreased or remains unchanged. The application of 1-MCP effectively prevents negative physiological changes during storage of most fruit kinds, but some negative consequences of its usage are also possible. 1-MCP was registered in 2011 in Croatia too, so this paper has the aim to review the most important researches in this area in order to give useful guidelines for its usage.

Keywords: 1-MCP, storage, ethylene, physiological disorders, decay