1-methylcyclopropene (1-MCP) 処理とエチレン吸収剤処理が収穫時期の異なるカキ ‘西条’ 果実のドライアイス脱渋後の軟化と日持ち性に及ぼす影響

倉橋孝夫^{1*}・松本敏一¹・板村裕之²

¹ 島根県農業試験場 693-0035 島根県出雲市芦渡町

² 島根大学生物資源科学部 690-8504 島根県松江市西川津町

Effects of 1-Methylcyclopropene (1-MCP) and Ethylene Absorbent on Softening and Shelf Life of
Dry Ice-treated Japanese Persimmon ‘Saijo’ Harvested at Various Maturation Stages

Takao Kurahashi^{1*}, Toshikazu Matsumoto¹ and Hiroyuki Itamura²

¹ Shimane Agricultural Experiment Station, Ashiwata, Izumo 693-0035

² Faculty of Life and Environmental Science, Shimane University, Nishikawatsu, Matsue 690-8504

Summary

Effects of 1-methylcyclopropene (1-MCP) and an ethylene absorbent (active carbon containing palladium chloride) treatment on fruit softening and shelf life after removal of astringency by dry ice (CO₂) in Japanese persimmon ‘Saijo’ (*Diospyros kaki* Thunb.) harvested at various stages, were investigated. At the end of the dry ice treatment, 78.1% of the control (non-treated) fruit harvested at the early stage (October 1) softened, whereas no control fruit harvested at the middle stage of the harvesting season (between October 22 and 29) softened, 50.0% of the control fruit harvested on November 11 softened. The ethylene concentration in the polyethylene bag 48 hours after start of dry ice treatment was highest in fruit harvested at the early stage. It decreased gradually in fruits harvested at a more mature stage. Both 1-MCP and ethylene absorbent treatments significantly decreased the fruit softening rate after the removal of astringency in fruit harvested at the early stage. However, there was little inhibitory effect of 1-MCP and ethylene absorbent on the softening of fruit harvested at the late stage. In fruit harvested at the middle stage, 1-MCP treatment prolonged the shelf life of fruit by about 6 days, compared to the non-treated control fruits, the ethylene absorbent treatment was ineffective in prolonging shelf life.

Key Words: ethylene absorbent, fruit quality, Japanese persimmon, 1-MCP, shelf life.

緒 言

中国地方特産のカキ‘西条’は黄色の紡錘形をした渋ガキで、多くのカキ品種の中でも糖度が高く、肉質も緻密で食味が非常に優れている。成熟果は生食用だけでなく干し柿や菓子の原料などにも用いられている。

現在、カキ‘西条’の脱渋は、ポリエチレン袋に果実とドライアイスを封入することで行われている。この方法では脱渋処理終了時に軟化果実が発生する場合がある。また、脱渋時には健全果であっても、その後の日持ち期間が2日程度と短い。特に収穫期前半の10月上旬に収穫した果実は軟化しやすい。このため、脱渋中の軟化防止技術の確立と日持ち期間の延長が望まれている。

収穫後のカキ果実の軟化に関して、板村ら(1991)はカキ‘平核無’の採取後または脱渋後の果実軟化はエチレンによって引き起こされ、未熟時に収穫されるほど多発し、熟度が進むにつれて発生が少なくなると報告している。この軟化を誘発するエチレンは各種のストレスによって増加する。ハウス栽培カキ‘刀根早生’では水分ストレスで誘導されたへた部のエチレンにより軟化(Nakanoら, 2002)し、カキ‘西条’では、水分ストレスと炭酸ガスストレスによって増加したエチレンにより軟化する(Itamuraら, 1997; Nakanoら, 2001)ことが報告されている。

これらのことから、脱渋時のエチレンの働きを制御すれば果実軟化の抑制に有効と考えられる。エチレンの作用を抑制する方法として、果実のエチレン受容体の作用を阻害する方法や生成されたエチレンをエチレン吸収剤で吸収する方法などがある。エチレン作用阻害剤として

平成16年1月6日 受付. 平成16年6月11日 受理.

* Corresponding author.

の 1-methylcyclopropene(1-MCP) の使用は, リンゴ (Dauny・Joyce, 2002; Saftner ら, 2003) およびバナナ (Pelayo ら, 2003) などでは貯蔵果実の軟化速度を抑え, 果実を長期間健全に保つなどの顕著な効果があると報告されている。カキでも‘刀根早生’や‘西条’など (Harima ら, 2003; Nakano ら, 2002; 許ら, 2004) で軟化抑制効果が認められている。しかし, 軟化の発生程度が異なる収穫初期から終期におけるカキ‘西条’の 1-MCP による軟化抑制効果を検討した報告はみあたらない。

また, カキに対するエチレン吸収剤の効果については, 間苧谷ら (1982) が‘富有’で, 板村ら (1993) が‘西条’でポリエチレン袋内へのエチレン吸収剤の封入により貯蔵性が向上したとしているが, ドライアイス脱渋処理解除直後に発生する‘西条’の軟化に関する報告は見あたらない。

本報告では, カキ‘西条’の収穫初期から終期の果実を用いて, ドライアイス脱渋を行い, 収穫時期別の軟化発生程度を明らかにするとともに, 1-MCP およびエチレン吸収剤による軟化防止と日持ち性向上の効果を検討した。

材料および方法

島根県農業試験場圃場の露地栽培早生‘西条’を 2002 年 10 月 1 日, 11 日, 22 日, 29 日および 11 月 11 日に収穫後, 3 時間以内に供試した。収穫は, 島根県の出荷基準に基づいて, 果頂部からヘタ部の 2/3 程度の果皮色が 3~3.5 (農林水産省果樹試験場基準カラーチャート値) 以上を指標として行った。処理区としては 1000 ppb 1-MCP (商品名エチルブロック, ローム・アンド・ハース・ジャパン) 区, 500 ppb 1-MCP 区, エチレン吸収剤 (塩化パラジウム入り活性炭 10 g, 商品名フレッシュキープ E, クラレケミカル) 区, 無処理区を設けた。1 処理に果実 13 個 (約 2.5 kg) を用い各区, 3 反復の調査を行った。

1-MCP 処理区は, 117 L のプラスチック容器に果実 7.5 kg と各濃度の 1-MCP (エチルブロック 1 g 当たり水 22 ml を入れて気化) を入れて密封し, 12 時間常温下に置いた。処理後, 直ちに果実 2.5 kg とドライアイス (果実重の 1.2%) を 0.06 mm 厚の低密度ポリエチレン袋 (600 × 350 mm) に入れて密封し, 常温下で 5 日間脱渋処理を行った。

エチレン吸収剤処理区と無処理区では果実 2.5 kg を 0.06 mm 厚の低密度ポリエチレン袋に入れて, 乾燥しないように封をして 1-MCP 処理と同時間常温下に保持した後, ドライアイスとエチレン吸収剤入りパック 1 個, またはドライアイスのみを入れて密封し, 常温下で 5 日間脱渋処理を行った。

各処理終了直後に軟化率を調査した。果実の一部でも赤く変色し水浸状部がみられれば軟化と判定した。果肉硬度は果実硬度計 (直径 5/16 インチ円筒形プランジャー, 富士平) を用いて, 切断した赤道部で測定した。脱渋後の日持ち日数は, 脱渋完了時には健全であった果実を室内

の常温下に置いて調査した。また, ドライアイス封入 48 時間後に脱渋袋内のガスを 1 ml 採取してエチレン濃度を活性アルミナカラムと FID 検出器付のガスクロマトグラフ (GC-18A, 島津製作所) で測定した。

結 果

ドライアイス脱渋終了時 (5 日目) の軟化率は, 無処理区で収穫初期の 10 月 1 日収穫果が 78.1% と最も高く, 次いで 11 月 11 日収穫果の 50%, 10 月 11 日収穫果の 42.3% であり, 収穫盛期の 10 月 22 日と 29 日収穫果はすべて健全であった (第 1 図)。収穫初期の 10 月 1 日収穫果では 1-MCP およびエチレン吸収剤処理区とも軟化率が無処理区の 1/4 程度に減少した。10 月 11 日収穫果では 1-MCP 処理区の軟化率が 1/10 程度に減少したが, エチ

Fig. 1. Effects of 1-MCP and ethylene absorbent treatments on fruit softening rate in ‘Saijo’ persimmon harvested at various stages. Harvested fruits that were treated with dry ice (CO₂) for 5 days to remove astringency were subsequently stored at ambient temperature.

レン吸収剤処理区では約 1/2 に減少したにとどまった。収穫終期の 11 月 11 日収穫果の軟化率は無処理区に比べ 1-MCP 処理区で約 2/3、エチレン吸収剤処理区で 1/2 に減少したが、果頂部の軟化が認められ、両処理の効果は他の時期より効果が劣った。また、10 月 1 日収穫果の無処理区とエチレン吸収剤処理区においては、脱渋後 1 日間果実は健全でその後急激に軟化し、7 日目にはすべて軟化したのに対し、1-MCP 処理区の果実は、脱渋後 2 日間健全でその後徐々に軟化し 12 日目ですべて軟化した。10 月 11 日、22 日および 29 日収穫果においては、無処理区とエチレン吸収剤処理区ではほぼすべての果実が脱渋後 2 日間健全であったものの、その後急激に軟化し、8~10 日目にはすべての果実が軟化したのに対し、1-MCP 処理区では、脱渋後 7~10 日間健全であった。11 月 11 日収穫果においては 1-MCP 処理区で軟化速度が遅かったが、各処理区とも脱渋後 1 日間のみ健全で、その後徐々に軟化した。各収

Fig. 2. Effects of 1-MCP and ethylene absorbent treatments on fruit firmness in 'Saijo' persimmon fruit harvested at various stages. Harvested fruit were treated with dry ice (CO_2) for 5 days to remove astringency. Fruit firmness was determined at the end of the dry ice treatment. Vertical bars show SE ($n=3$).

Fig. 3. Effects of 1-MCP and ethylene absorbent treatments on ethylene concentration in the polyethylene bag at 48 hours after start of dry ice (CO_2) treatment in 'Saijo' persimmon harvested at various stages. The treated fruits were stored at ambient temperature. Vertical bars show SE ($n=3$).

穫時期とも 1000 ppb 1-MCP 区と 500 ppb 1-MCP 区の間では効果に顕著な差は認められなかった。

無処理区の果肉硬度は収穫初期の 10 月 1 日収穫果が 0.3 kg と最も軟らかく 10 月 11 日収穫果で 1.2 kg, 11 月 11 日収穫果が 1.5 kg であり、収穫盛期の 10 月 22 日と 29 日収穫果では 2 kg 以上であった (第 2 図)。果肉硬度は 1-MCP 処理により収穫初期の 10 月 1 日収穫果で 2 kg と無処理区の約 7 倍となったが、エチレン吸収剤処理区では 0.8 kg と無処理区の約 3 倍であった。10 月 11 日収穫果の果実硬度は 1-MCP 処理区、エチレン吸収剤処理区とも約 2 kg で無処理区よりやや硬かった。しかし、他の収穫時期では 1-MCP、エチレン吸収剤処理とも無処理区と比べて差が認められなかった。

無処理区の袋内のエチレン濃度は、収穫期前半の 10 月 1 日収穫果で 1.8 ppm と最も高く、収穫期が遅くなるにしたがって低下し、11 月 11 日の収穫果ではごく僅かであった (第 3 図)。1-MCP 処理区では 10 月 2 日と 10 月 11 日収穫果でエチレンが検出されたものの無処理区より著しく少なかった。エチレン吸収剤処理区では、エチレンがほとんど吸収されたため、10 月 2 日のみわずかに検出され、その後の収穫果では検出されなかった。

考 察

カキ '西条' は脱渋後の日持ちが悪いため、脱渋しながら出荷されるが、脱渋中やその後の急速な軟化は販売上の妨げとなっている。特に、収穫期前半の果実で軟化程度が大きく生産・流通現場において大きな問題となっている。

カキ '西条' の脱渋時の軟化は、果実から発生したエチレンが各種の細胞壁分解酵素の活性を促進することで起こっていると考えられる (許ら, 2004)。また、このエチレンは、水分ストレスと炭酸ガス脱渋処理に伴うストレスによって誘導されると報告されている (Nakano ら, 2001)。

無処理区の脱渋中の軟化発生は、収穫初期の果実で多く、収穫盛期の果実ではほとんどみられなかったが、収穫終期の果実では再び増加した。また、ドライアイス封入 48 時間後の脱渋袋内のエチレン濃度は、10 月 1 日収穫果が最も高く、それ以降の収穫果で急激に減少した。特に、10 月 1 日収穫果は袋内のエチレン濃度が高く、軟化率が 78% と非常に高い上に、脱渋後の果肉硬度が低く、脱渋後の日持ち期間も 1 日と短かった。生育ステージとカキの軟化については、Itamura ら (1997) が 8 月下旬から 11 月下旬までのカキ '西条' の収穫後のエチレン生成と日持ち性を検討したところ、未熟な段階で収穫した果実ほど多量のエチレンを生成し、日持ち期間が短くなると報告している。また、板村 (1986) は、発育段階の異なるカキ '平核無' 果実を貯蔵したところ、未熟果は完熟果に比べて呼吸量やエチレン生成量が多く、果実の軟化も急速に進行したとしている。これらのことから、カキ '西

条'の収穫期前半の軟化は、エチレン生成量や呼吸量などの生理活性が未熟な段階ほど活発なことに起因すると考えられ、この時期の軟化を抑制するためには、エチレン生成またはその作用を抑制する必要があると示唆される。一方、収穫終期の果実では、脱渋処理後の軟化抑制や日持ち性向上に対し1-MCP、エチレン吸収剤処理ともに一定の効果を示したが、その効果は収穫初期や盛期ほど顕著ではなかった。これは、収穫終期の果実は一見外観は健全であるが、果頂部にわずかな軟化が発生するためであった。Kuboら(2003)は、脱渋処理しない果実や1-MCP処理果実でも徐々に果肉硬度が低下することから、カキの軟化にはエチレンに依存しない軟化もあると示唆している。この果頂部の軟化は、先端部が果実の中で最も早く組織ができる部位のため、老化が最も進んだ結果であり、エチレンに依存しない軟化の可能性もあるが、この点についてはさらに詳細な検討が必要である。

カキでは、1-MCP処理により'刀根早生'や'西条'で脱渋後の軟化を抑制したことが報告されている(Harimaら, 2003; Nakanoら, 2003; 許ら, 2004)。本研究においても、1-MCP処理による脱渋後の果実軟化の抑制効果が認められるとともに、ドライアイス封入48時間後のエチレン生成は、1-MCP処理により各収穫時期とも抑えられた。Nakanoら(2002)は、カキ'西条'をCTSD(Constant Temperature Short Duration)法で脱渋処理を行ったところ、処理2日後に最初のエチレンの増加が起こり、いったん減少した後、5日後に再び増加したが、1-MCP処理により初期のエチレン生成が増加し、5日後の自己触媒的な増加は抑えられたと報告している。Nakanoら(2002)の報告と比較すると、本報告ではドライアイス脱渋中のエチレン生成が抑えられていることから、エチレンの自己触媒的増加がCTSD脱渋より早期に起こり、これを1-MCPが抑制していると考えられる。

収穫時期別に1-MCPの脱渋処理解除直後の軟化防止効果を検討したところ、処理区の軟化率はエチレン濃度の高い10月1日収穫果では無処理区の1/5に、10月11日収穫果では1/7に減少して極めて効果が高かったが、収穫期後半の11月11日収穫果では2/3しか減少しなかった。このことから、収穫期前半の軟化はエチレンの影響が大きいと、1-MCP処理により抑えられたが、収穫終期に多く発生する果頂部の軟化はエチレンの影響が比較的少ないため効果が低いことが示唆される。

脱渋後の日持ち期間についてみると、無処理区の日持ち期間は、10月1日収穫果は僅か1日で、その後急激に軟化したが、その後の収穫期では2日健全で、3~4日目に軟化した。1-MCP処理によって、各収穫時期とも日持ち性が向上した。収穫時期で比較すると、全ての果実が健全である日数は収穫初期の10月2日収穫果では2日程度であったが、収穫盛期の10月11日から10月30日までの収穫果は7~10日間に延びた。収穫初期の収穫果は脱渋袋

内のエチレン濃度が高いため、1-MCPの効果が脱渋処理解除直後の軟化抑制にのみ現れ、日持ち期間延長にまで効果が現れなかったと考えられる。それに対して、収穫盛期の果実は、エチレン濃度が低いことから、1-MCPの効果が日持ち性向上まで有効に働いたと推察される。

1-MCPの処理濃度は1000 ppbと500 ppbで両者の効果にほとんど差がないことから500 ppbで十分であると考えられる。また、処理時期は脱渋前処理で脱渋中の軟化防止、日持ち期間延長に顕著な効果があったが、角脇ら(2003)は、ドライアイス脱渋と同時処理によっても効果が認められたと報告していることから、処理時期は脱渋前および同時処理のどちらでも良いと考えられる。

ドライアイス封入48時間後のエチレン吸収剤処理区のエチレン濃度は、無処理区で軟化が最も多く発生した10月1日収穫果で僅かに検出されたが、その後の収穫果では検出されなかった。このことからエチレン吸収剤により、脱渋中に果実から発生したエチレンをほぼ吸着できたため脱渋処理解除直後の果実軟化が顕著に抑えられたものの、脱渋処理終了後にポリエチレン袋の密封を解除したため日持ち期間までは延長できなかったものと考えられる。

摘 要

収穫初期から終期のカキ'西条'の果実を用いて、収穫時期別の軟化発生程度と1-MCPおよびエチレン吸収剤を用いた脱渋中の軟化防止と脱渋後の日持ち性向上効果を検討した。その結果、無処理区の脱渋完了時の軟化発生は、収穫初期の10月1日収穫果で78.1%と最も高く、収穫時期が遅れるのに伴って徐々に低下し、収穫盛期の10月22日と29日収穫果ではほとんど認められなかったが、収穫終期の収穫果では50.0%と再び増加した。脱渋時のドライアイス封入48時間後の袋内エチレン濃度は、収穫初期の10月1日収穫果が最も高く、収穫時期が遅くなるにつれて低下した。また、1-MCP処理により、収穫期前半の脱渋処理解除直後の軟化発生は抑えられたが、収穫終期の抑制効果は低かった。収穫盛期の日持ち期間は1-MCP処理により無処理区と比較して約6日間延長できた。さらに、エチレン吸収剤処理により、収穫期前半の脱渋処理解除直後の果実軟化は抑えることができたが、脱渋後の日持ち期間は延長できなかった。

引用文献

- Dauny, P. T. and D. C. Joyce. 2002. 1-MCP improves storability of 'Queen Cox' and 'Bramley' apple fruit. HortScience 37: 1082-1085.
- Harima, S., R. Nakano, S. Yamauchi, Y. Kitano, Y. Yamamoto, A. Inaba and Y. Kubo. 2003. Extending shelf-life of astringent persimmon (*Diospyros kaki* Thunb.) Fruit by 1-MCP. Postharvest Biol. Technol. 29: 318-323.

- 板村裕之. 1986. 成熟段階の異なるカキ‘平核無’果実のアルコール脱渋に伴う軟化と呼吸量及びエチレン生成量の関係. 園学雑. 55: 89–98.
- 板村裕之・北村利夫・平 智・原田 久. 1991. カキ‘平核無’果実の軟化とエチレン生成および呼吸の関係. 園学雑. 60: 695–701.
- Itamura, H., Y. Ohno and H. Yamamura. 1997. Characteristics of fruit softening in Japanese persimmon ‘Saijo’. *Acta Hort.* 436: 179–188.
- 板村裕之・横井 誠・山村 宏・内藤隆次. 1993. カキ‘西条’の長期貯蔵に関する研究. 口食低温誌. 19: 14–19.
- 角脇利彦・田村文男・田辺賢二・板井章浩. 2003. カキ‘西条’果実のドライアイス脱渋中の1-MCP処理による日持ち性の向上. 園学中四国支部要旨 42: 20.
- Kubo, Y., R. Nakano and A. Inaba. 2003. Cloning of genes encoding cell wall modifying enzymes and their expression in persimmon fruit. *Acta Hort.* 601: 49–55.
- 間亭谷 徹・山田昌彦・栗原昭夫・秋元稔万・井伊谷雄平. 1982. 脱エチレン剤の利用による Pollination constant の甘ガキの貯蔵法. 園学雑. 51: 195–202.
- Nakano, R., S. Harima, E. Ogura, S. Inoue, Y. Kubo and A. Inaba. 2001. Involvement of stress-induced ethylene biosynthesis in fruit softening of ‘Saijo’ persimmon. *J. Japan. Soc. Hort. Sci.* 70: 581–584.
- Nakano, R., S. Inoue, Y. Kubo and A. Inaba. 2002. Water stress-induced ethylene in the calyx triggers autocatalytic ethylene production and fruit softening in ‘Tonewase’ persimmon grown in a heated plastic-house. *Postharvest Biol. Technol.* 25: 293–300.
- Nakano, R., E. Ogura, Y. Kubo and A. Inaba. 2003. Ethylene biosynthesis in detached young persimmon fruit is initiated in calyx and modulated by water loss from the fruit. *Plant Physiol.* 131: 276–286.
- Pelayo, C., E. V. D. VilasBoas, M. Benichou and A. A. Kader. 2003. Variability in responses of partially ripe bananas to 1-methylcyclopropene. *Postharvest Biol. Technol.* 28: 75–85.
- Safer, R. A., J. A. Abbott, W. S. Conway and C. L. Barden. 2003. Effects of 1-methylcyclopropene and heat treatments on ripening and postharvest decay in Golden Delicious apples. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 128: 120–127.
- 許 昌国・板村裕之・中務明. 2004. 1-methylcyclopropene (MCP)処理がカキ‘西条’のドライアイス脱渋果のエチレン生成と軟化および細胞壁分解酵素活性に及ぼす影響. 園学雑. 73: 184–188.