収穫から処理までの日数および保管温度がリンゴ‘ふじ’における 1-メチルシクロプロペンの品質保持効果に及ぼす影響

榎村芳記^{*a}・羽山裕子・阪本大輔

農業・食品産業技術総合研究機構果樹研究所 305-8605 つくば市藤本

Influences of Duration and Temperature of Storage between Harvest and Treatment on the Efficacy of 1-Methylcyclopropene in ‘Fuji’ Apple Fruit

Yoshiki Kashimura^{*a}, Hiroko Hayama and Daisuke Sakamoto

National Institute of Fruit Tree Science, National Agriculture and Food Research Organization, Fujimoto, Tsukuba, Ibaraki 305-8605

Abstract

Influences of duration and storage temperature between harvest and 1-methylcyclopropene (1-MCP) treatment on the storability of ‘Fuji’ apple (*Malus pumila* Mill.) fruit were investigated. Fruit were treated with $1 \mu\text{L} \cdot \text{L}^{-1}$ 1-MCP for 18 hours at 20°C on the day after harvest or at 8, 15 or 22 days after harvest (DAH), following storage at 2 or 20°C. Fruit were then stored at 2°C until 209 DAH. Titratable acidity decreased more rapidly at 20°C than at 2°C until treatment. Flesh firmness changed little at either 20 or 2°C. Until 22 DAH, internal ethylene concentration (IEC) at 2°C remained lower than the level at 8 DAH at 20°C because IEC rose more rapidly at 20°C than 2°C. When fruit were stored at 2°C from harvest until treatment, delaying treatment until 22 DAH had no influence on the efficacy of 1-MCP treatment. However, when fruit were stored at 20°C until treatment, suppression of ripening by 1-MCP treatment decreased with increases in treatment delay. The results indicated that ‘Fuji’ apple fruit should be placed in cold storage immediately after harvest until 1-MCP treatment in order to maintain fruit quality during long-term storage.

Key Words : ethylene, fruit quality, storability

キーワード : 貯蔵性, エチレン, 果実品質

緒 言

1-メチルシクロプロペン (1-MCP) は強力なエチレン作用阻害剤であり (Sisler・Serek, 1997), リンゴ (*Malus pumila* Mill.) の収穫果実に暴露処理すると, $1 \mu\text{L} \cdot \text{L}^{-1}$ 以下の極めて低い濃度でも貯蔵中における果肉軟化や滴定酸度の低下, 地色の変化 (クロロフィルの分解) などを顕著に抑制することが知られている (Blankenship・Dole, 2003). 日本の主力品種である‘ふじ’では, 2～8 か月に及ぶ長期貯蔵後でも処理果実は果肉硬度や滴定酸度が高く維持されることが報告されており (艾乃吐拉ら, 2005; Bai ら, 2005; Fan ら, 1999; 榎村, 2006; Özkaya・Dündar, 2009; Tatsuki ら, 2007), その有用性が認められている. ただし, 1-MCP の処理効果は収穫から処理までの時間が長引くほど低下するため, 処理は収穫後速やかに行うことが必要とされている (Blankenship・Dole, 2003). リンゴでも‘Anna’ (Pre-Aymard

ら, 2003), ‘Cortland’ (Watkins・Nock, 2005), ‘Empire’ (Watkins・Nock, 2005), ‘ジョナゴールド’ (Watkins, 2008; Watkins・Nock, 2005), ‘王林’ (Tatsuki ら, 2007) および‘さんざ’ (艾乃吐拉ら, 2005) など多くの品種で, 処理が遅れると効果が低下することが報告されている. しかしながら, ‘ふじ’は貯蔵性が高く長期にわたって販売可能なことから, その生産量は2008年ではリンゴ全体の56%に達しており (農林水産省大臣官房統計部, 2009), 収穫期には連日, 多量の果実が集荷される. このため, 1-MCPを収穫後短期間に処理することは実際上困難な場合が多いものと考えられる. ‘ふじ’においても収穫後3日の処理は収穫翌日の処理に比べて効果が劣るとの報告もあるが (榎村, 2006), 収穫後7日の処理と収穫当日または収穫翌日の処理の間に効果の差はないとの報告もあり (艾乃吐拉ら, 2005; Tatsuki ら, 2007), 収穫から処理までの期間が処理効果に及ぼす影響には不明な点が多い.

そこで, 本研究では, リンゴ‘ふじ’において実用的な品質保持効果を得られる処理期間を明らかにするため, 収穫後2または20°Cで保管した果実における1-MCPの処理効果を検討した.

2009年10月29日 受付. 2010年1月19日 受理.

^{*} Corresponding author. E-mail: kasimura@affrc.go.jp

^a現在: 農林水産省農林水産技術会議事務局 100-8950 東京都千代田区霞が関1-2-1

材料および方法

1. 材料

試験には、2004年11月9日に青森県内のリンゴ生産農家の圃場から収穫したリンゴ‘ふじ’の果実を用いた。

2. 収穫翌日における処理効果

収穫翌日に、 $1\mu\text{L}\cdot\text{L}^{-1}$ の1-MCPを 20°C で18時間暴露処理した果実30果、および同じ時間1-MCPを処理せずに 20°C に放置した果実30果をそれぞれ出荷用段ボール箱に詰め、 2°C に設定した低温貯蔵庫（温度のみ制御）において貯蔵した。なお、1-MCPの処理は、果実を気密性のプラスチックコンテナ（内容積：117.3 L）に密封し、コンテナ内で $117.3\mu\text{L}$ の1-MCPをSmartFresh™（ローム・アンド・ハース・ジャパン）を用いて発生させることにより行った。また、収穫翌日に、10果について果心内エチレン濃度（IEC）、果肉硬度、Brixおよび滴定酸度を測定した。IECは、注射器を用いて、ていあ部から採取した果心内ガス1 mLのエチレン濃度を、活性アルミナを充填したガラスカラム（ $0.3\text{ cm}\times 1\text{ m}$ ）および水素炎イオン化検出器（FID）を装着したガスクロマトグラフ（GC-14A, 島津製作所）（カラム温度： 80°C 、キャリアガスおよび流量：窒素、 $60\text{ mL}\cdot\text{min}^{-1}$ ）を用いて測定することにより求めた。果肉硬度は、赤道部の対向面2か所の果皮を薄く削ぎ取り、11 mm径プローブを装着した硬度計（Ft110, Italest）を用いて測定した。果肉硬度測定部位を除いた果肉から搾汁した果汁を用い、Brixを糖度計（PR-100, アタゴ）で測定するとともに、 0.1 N NaOH でpH 8.1まで滴定することにより滴定酸度を求めた。

収穫後153および209日に1-MCP処理区および無処理区から各10果を取り出し、果肉硬度、Brixおよび滴定酸度を測定した。

3. 収穫後 2°C で保管した果実における処理効果

150果を収穫翌日から 2°C で保管し、収穫後8、15および22日に各40果を取り出した。このうち10果についてIEC、果肉硬度、Brixおよび滴定酸度を測定するとともに、30果については $1\mu\text{L}\cdot\text{L}^{-1}$ の1-MCPを 20°C で18時間暴露処理した後、 2°C で貯蔵した。

収穫後153および209日に 2°C における保管期間を異にする各区から10果を取り出し、果肉硬度、Brixおよび滴定酸度を測定した。測定結果については、収穫翌日に1-MCPを処理または処理せずに貯蔵した果実における測定結果とともにStudent-Newman-Keuls testにより解析した。

4. 収穫後 20°C で保管した果実における処理効果

250果を収穫翌日から 20°C で保管し、収穫後8、15および22日に各70果を取り出した。このうち10果についてIEC、果肉硬度、Brixおよび滴定酸度を測定した。また、30果については $1\mu\text{L}\cdot\text{L}^{-1}$ の1-MCPを 20°C で18時間暴露処理した後、残りの30果とともに 2°C で貯蔵した。なお、1-MCP処理までの保管は、果実を出荷用段ボール箱に詰め、

定温室（温度のみ制御）で行った。

収穫後153および209日に、1-MCP処理の有無および 20°C における保管期間を異にする各区から10果を取り出し、果肉硬度、Brixおよび滴定酸度を測定した。なお、収穫後22日に1-MCPを処理または処理せずに 2°C で貯蔵した果実における収穫後209日のBrixおよび滴定酸度は機器不調のため欠測となった。測定結果については、収穫翌日に1-MCPを処理または処理せずに貯蔵した果実における測定結果とともに、1-MCP処理および 20°C での保管期間の影響を解析するため、両者を要因とする二元配置分散分析を行った。

結 果

1. 収穫翌日から処理までの果実品質およびIECの変化

収穫後、2または 20°C で保管した果実における果肉硬度、滴定酸度、BrixおよびIECの変化を第1図に示した。

Fig. 1 Change in flesh firmness (A), titratable acidity (B), Brix (C) and internal ethylene concentration (IEC) (D) of ‘Fuji’ apple fruit stored at 2°C (●) or 20°C (○). Vertical bars indicate SD ($n = 10$).

Table 1 Effect of interval between harvest and treatment on the efficacy of 1-methylcyclopropene (1-MCP) in ‘Fuji’ apple fruit stored at 2°C.

Storage duration at 2°C (Days after harvest)	Days from harvest to treatment ^z	Flesh firmness (N)	Titratable acidity (g • 100 mL ⁻¹ as malic acid)				Brix
153	Untreated	54.43 ± 3.92 ^y	a ^x	0.119 ± 0.035	a	14.34 ± 1.15	a
	1	61.68 ± 3.84	b	0.196 ± 0.025	b	13.89 ± 0.89	a
	8	64.92 ± 4.01	b	0.226 ± 0.043	b	13.97 ± 0.94	a
	15	61.68 ± 4.86	b	0.227 ± 0.019	b	14.41 ± 0.60	a
	22	60.41 ± 3.53	b	0.213 ± 0.031	b	13.93 ± 0.58	a
209	Untreated	48.69 ± 3.13	a	0.076 ± 0.014	a	13.50 ± 1.07	a
	1	62.03 ± 4.73	b	0.185 ± 0.040	b	14.01 ± 0.53	a
	8	63.69 ± 3.00	b	0.225 ± 0.062	b	13.85 ± 0.56	a
	15	63.25 ± 3.36	b	0.198 ± 0.040	b	13.80 ± 0.67	a
	22	64.87 ± 4.02	b	0.197 ± 0.033	b	13.86 ± 0.60	a

²Fruit were treated with 1 µL · L⁻¹ 1-MCP for 18 h at 20°C in a gas-tight plastic container.^yMean ± SD.^xAt each duration of storage, numbers followed by the same letter within a column are not significantly different at $P < 0.05$ by Student-Newman-Keuls test ($n = 10$).

果肉硬度は、2°C で保管した果実ではやや高まる傾向にあったが、20°C で保管した果実ではほとんど変化しなかった。滴定酸度は、収穫翌日に $0.338 \text{ g} \cdot 100 \text{ mL}^{-1}$ であったものが、収穫後 22 日には、2°C では $0.313 \text{ g} \cdot 100 \text{ mL}^{-1}$ まで、20°C では $0.255 \text{ g} \cdot 100 \text{ mL}^{-1}$ までそれぞれ低下した。Brix は、2°C ではほとんど変化しなかったが、20°C では収穫後 15 日まで増加し、その後低下した。いずれの保管温度でも果肉褐変などの生理障害の発生は認められなかった。20°C で保管した果実の IEC は、収穫後から急激に増加し、収穫後 8 日には $82 \mu\text{L} \cdot \text{L}^{-1}$ に、収穫後 22 日には $287 \mu\text{L} \cdot \text{L}^{-1}$ にそれぞれ達した。一方、2°C で保管した果実の IEC は、収穫後 8 日では収穫翌日とほぼ同等の $1.04 \mu\text{L} \cdot \text{L}^{-1}$ にとどまっていたが、その後は指数関数的に増加し、収穫後 22 日には $23.5 \mu\text{L} \cdot \text{L}^{-1}$ に達した。

2. 収穫後 2°C で保管した果実における処理効果

収穫翌日に 1-MCP を処理または処理せずに、その後 2°C で貯蔵した果実、および収穫翌日から収穫後 8、15 または 22 日まで 2°C で保管した後に 1-MCP を処理し、2°C で貯蔵した果実における長期貯蔵後の果実品質を第 1 表に示した。収穫後 153、209 日とも、1-MCP を処理した果実では、処理時期にかかわらず、果肉硬度、滴定酸度とも無処理果に比べて高く維持された。果肉硬度、滴定酸度とも 1-MCP の処理時期による違いは認められなかった。

3. 収穫後 20°C で保管した果実における処理効果

収穫翌日に 1-MCP を処理または処理せずに、その後 2°C で貯蔵した果実、および収穫翌日から収穫後 8、15 または 22 日まで 20°C で保管した後に 1-MCP を処理または処理せずに、その後 2°C で貯蔵した果実における長期貯蔵後の果実品質、並びに 1-MCP 処理の有無と 20°C での保管期間を要因とする二元配置分散分析の結果を第 2 表に示した。

収穫後 153 日における果肉硬度は、20°C で保管した期間の長さにかかわらず 1-MCP 処理果が無処理果よりも高く、

処理による平均値の差は 5.28 N であった。処理果、無処理果とも、果肉硬度に 20°C での保管期間による差は認められなかった。一方、滴定酸度は、いずれの処理日でも処理果が無処理果よりも高く、処理による差は $0.049 \text{ g} \cdot 100 \text{ mL}^{-1}$ であった。果肉硬度と異なり、1-MCP 処理の有無にかかわらず滴定酸度は 20°C での保管期間が長くなるに伴い低下し、保管期間による差は、最大で $0.045 \text{ g} \cdot 100 \text{ mL}^{-1}$ であった。また、交互作用が認められ、1-MCP の処理効果は処理日により異なった。各処理日の処理果と無処理果における滴定酸度の差は、収穫翌日処理で $0.077 \text{ g} \cdot 100 \text{ mL}^{-1}$ であったものが、収穫後 8、15、22 日処理ではそれぞれ 0.072 、 0.024 、 $0.024 \text{ g} \cdot 100 \text{ mL}^{-1}$ と縮小した。

収穫後 209 日における果肉硬度は 1-MCP 処理果が無処理果よりも高く、処理による差は 7.49 N であった。処理果、無処理果とも、20°C での保管期間による差は認められなかったが、交互作用が認められ、処理効果は処理日により異なった。各処理日の処理果と無処理果における果肉硬度の差は、収穫翌日処理で 13.34 N であったものが、収穫後 8、15、22 日の処理ではそれぞれ 10.25 、 5.69 、 0.68 N と縮小した。滴定酸度は収穫後 153 日と同様な傾向にあったが、1-MCP 処理による差は $0.084 \text{ g} \cdot 100 \text{ mL}^{-1}$ であった。また、各処理日の処理果と無処理果における滴定酸度の差は、収穫翌日処理では $0.109 \text{ g} \cdot 100 \text{ mL}^{-1}$ であったものが、収穫後 8 日処理では $0.093 \text{ g} \cdot 100 \text{ mL}^{-1}$ 、15 日処理では $0.049 \text{ g} \cdot 100 \text{ mL}^{-1}$ と縮小した。

考 察

収穫翌日～収穫後 22 日まで 2°C で保管すると、果肉硬度は低下せず、滴定酸度の減少も 7.4% にとどまったことから、この期間における品質低下はほとんどないものと考えられた。一方、20°C で保管すると、果肉硬度はほとんど変化しなかったが、滴定酸度は 25% 低下し $0.255 \text{ g} \cdot 100 \text{ mL}^{-1}$ と

Table 2 Effect of interval between harvest and treatment on the efficacy of 1-methylcyclopropene (1-MCP) in ‘Fuji’ apple fruit stored at 20°C until treatment.

Storage duration ^z (Days after harvest)	Treatment		Flesh firmness (N)	Titratable acidity (g • 100 mL ⁻¹ as malic acid)	Brix
	Days of 20°C storage	1-MCP treatment			
153	1	Untreated ^y	54.43 ± 3.92 ^w	0.119 ± 0.035	14.34 ± 1.15
		Treated ^x	61.68 ± 3.84	0.196 ± 0.025	13.89 ± 0.89
	8	Untreated	52.07 ± 7.18	0.103 ± 0.021	13.60 ± 0.64
		Treated	60.80 ± 4.04	0.175 ± 0.017	13.57 ± 0.43
	15	Untreated	51.83 ± 8.71	0.109 ± 0.018	13.54 ± 0.73
		Treated	56.34 ± 4.56	0.133 ± 0.014	13.74 ± 0.76
	22	Untreated	56.49 ± 3.36	0.101 ± 0.018	13.23 ± 0.51
		Treated	57.12 ± 4.14	0.125 ± 0.017	13.86 ± 0.51
Two-way factorial analysis of variance (<i>n</i> = 10)					
	Factor		F ratio	F ratio	F ratio
	Days of 20°C storage		1.98	16.998 **	2.598
	1-MCP treatment		20.03 **	105.100 **	0.282
	Interaction		2.27	9.349 **	1.875
209	1	Untreated	48.69 ± 3.13	0.076 ± 0.014	13.50 ± 1.07
		Treated	62.03 ± 4.73	0.185 ± 0.040	14.01 ± 0.53
	8	Untreated	50.21 ± 6.75	0.090 ± 0.019	13.49 ± 0.47
		Treated	60.46 ± 3.45	0.183 ± 0.040	13.60 ± 0.84
	15	Untreated	50.85 ± 4.73	0.081 ± 0.007	13.29 ± 0.58
		Treated	56.54 ± 5.30	0.130 ± 0.016	13.34 ± 0.48
	22	Untreated	54.87 ± 5.12	/ ^v	/
		Treated	55.55 ± 7.91	/	/
Two-way factorial analysis of variance (<i>n</i> = 10)					
	Factor		F ratio	F ratio	F ratio
	Days of 20°C storage		0.46	7.878 **	1.981
	1-MCP treatment		39.20 **	156.422 **	1.530
	Interaction		5.32 **	7.459 **	0.639

^z Fruit were stored at 2°C following 20°C storage.^y Following 20°C storage, fruit were held at 20°C for 18 h without 1-MCP.^x Following 20°C storage, fruit were treated with 1 μL · L⁻¹ 1-MCP for 18 h at 20°C in a gas-tight plastic container.^w Mean ± SD.^v Missing value.** Significant at *P* < 0.01.

なった。20°C で保管した場合も果肉褐変などの生理障害は認められなかったことから、収穫後 22 日まで 20°C で保管した場合の品質低下は主に滴定酸度の減少による。Iwanami ら (2008) も、‘ふじ’ の果実を 20°C で貯蔵した場合は軟化が認められないことを報告している。

収穫後 2°C で保管した場合、すべての処理果において、長期貯蔵後の果肉硬度、滴定酸度は無処理果よりも高く、かつ処理までの日数による違いは認められなかったことから、収穫後 22 日までの処理では処理効果は低下しなかったものと考えられた。

一方、収穫後 20°C で保管した場合も、すべての処理果において、長期貯蔵後の果肉硬度、滴定酸度は無処理果よりも高かったが、収穫後 153 および 209 日における滴定酸度、および収穫後 209 日における果肉硬度に対する処理効果は、処理日が遅れるほど低下する傾向にあった。なお、収穫後 153 および 209 日とも、20°C での保管日数による効

果は滴定酸度に対してのみ認められ、果肉硬度に対しては認められなかった。これは、処理日によって、滴定酸度は大きく異なったのに対し、果肉硬度にはほとんど違いがなかったことによるものと考えられる。

以上のとおり、‘ふじ’ では、収穫後 2°C で保管した場合は収穫後 22 日までに 1-MCP を処理すれば、処理までの品質低下が小さいことに加え、収穫翌日処理と同等の処理効果を得られるため、果実品質は長期間にわたって高く維持されるが、20°C で保管した場合は、処理までの日数が延びるに伴い、処理時の滴定酸度が減少し、かつ 1-MCP の処理効果も低下するため、長期貯蔵後には果実品質、特に滴定酸度が著しく低下するものと考えられた。なお、Brix については、いずれの処理条件においても、多くの報告 (DeLong ら, 2004; Fan ら, 1999; Kostansek・Pereira, 2003; Moya-Leon ら, 2007; Pre-Aymard ら, 2003, 2005; Warner ら, 2003) と同様、1-MCP 処理の影響は認められなかった。

Tatsuki ら (2007) は, ‘王林’ の果実では収穫後にエチレン生成量が増加するため 1-MCP の処理効果が低下している。同様に, Watkins (2008) も ‘ジョナゴールド’ において, 収穫後 IEC が増加すると処理効果が低下することを報告している。エチレン生成量の多い果実や IEC の高い果実で処理効果が低い傾向は, 収穫直後の処理でも認められている (Mir ら, 2001; Toivonen・Lu, 2005; Watkins, 2008)。さらに, 1-MCP 処理時のエチレン生成量と貯蔵後の果肉硬度との間には負の相関関係が認められることから (樫村, 2006), 1-MCP の処理効果は処理時のエチレン生成に大きく依存しているものと考えられる。本研究でも, 20°C で保管した場合には, 処理日が遅くなるに伴い IEC が上昇し, 1-MCP の処理効果が低下した。一方, 収穫後 2°C で保管した場合は, IEC が $23.5 \mu\text{L} \cdot \text{L}^{-1}$ に上昇した収穫後 22 日の果実でも処理効果の低下は認められなかった。‘さんさ’ では IEC が $3.1 \mu\text{L} \cdot \text{L}^{-1}$ に上昇した果実で (艾乃吐拉ら, 2005), ‘ジョナゴールド’ では IEC が $9 \sim 10 \mu\text{L} \cdot \text{L}^{-1}$ に上昇した果実で (Watkins, 2008), それぞれ処理効果が低下することが報告されている。また, 収穫時の IEC が $78.6 \mu\text{L} \cdot \text{L}^{-1}$ の ‘Northern Spy’ では処理効果が認められず (Watkins, 2008), ‘Redchief Delicious’ では収穫が遅くなり IEC が 1.8, 8.3, $41.4 \mu\text{L} \cdot \text{L}^{-1}$ と上昇するに伴い処理効果が低下する傾向が認められている (Mir ら, 2001)。これらの結果が示すように, 1-MCP の処理効果に影響する IEC のレベルは一定しないが, 2°C で保管した場合も収穫後 8 日以降は IEC が指数関数的に増加したことから, 処理までの保管が長期化すれば効果が低下するものと予想される。2°C における IEC の上昇を外挿すれば収穫後 28 日には 20°C における収穫後 8 日のレベルに達すると推測される。

本研究の結果からも示されるように ‘ふじ’ における 1-MCP の処理効果も処理果実のエチレン生成に左右されるものと考えられるが, ‘ふじ’ は成熟期に達してもエチレン生成の顕著な上昇は認められず (樫村ら, 1986; 加藤ら, 1977), かつ収穫期における IEC の個体間変動も小さいことから (樫村ら, 1986), 収穫時期や個体による処理効果の違いは比較的小さいものと期待される。ただし, 収穫時期が遅くなるほどエチレン生成が上昇するまでの期間が短くなることから (加藤ら, 1977), 高い処理効果を得られる期間は短くなるものと考えられる。‘Empire’ でも, 遅く収穫した果実では, 冷蔵しても 1-MCP の処理時期が遅れると処理効果が低下する (Watkins・Nock, 2005)。

本研究により, ‘ふじ’ では収穫後低温で保管することで, 高い処理効果を得られる 1-MCP の処理期間を延長できることが明らかとなった。なお, ‘ふじ’ の貯蔵では, 果肉硬度に比べて滴定酸度の低下が顕著なことに加え, 滴定酸度は 1-MCP を処理しても果肉硬度ほどには維持されないことから, 長期貯蔵後まで良好な品質を保つためには, 滴定酸度を処理時まで高く維持することが重要と考えられた。ただし, 本研究は単年度の結果であり, 低温で保管することに

よる処理期間の延長効果を正確に把握するためには, 複数年にわたって調査する必要がある。また, 1-MCP の処理効果に関わる収穫果実の成熟度は産地や目標とする販売時期によっても異なることから, 主な産地の実態も踏まえ, 収穫時の成熟度を異にする果実を用いた検討も必要である。

摘 要

リンゴ ‘ふじ’ の果実において, 高い品質保持効果を得られる 1-MCP の処理時期を明らかにするため, 収穫後 2 または 20°C で保管した果実に 1-MCP を処理し, 2°C で収穫後 153 および 209 日まで貯蔵した際の果実品質に及ぼす影響を検討した。その結果, いずれの保管温度でも, 滴定酸度は保管に伴い低下したが, 低下の程度は 2°C で小さかった。一方, 果肉硬度は, いずれの保管温度でも保管期間中に変化は認められなかった。また, 2°C で保管した場合, 収穫後 22 日までに 1-MCP を処理すれば収穫翌日処理と同等の処理効果を得られたが, 20°C で保管した場合は, 処理までの日数が延びるに伴い処理効果が低下した。2°C で保管すると IEC の上昇が抑制され, 収穫後 22 日でも 20°C で保管した場合の収穫後 8 日における濃度以下にとどまった。‘ふじ’ では, 収穫後低温で保管することにより, 高い処理効果を得られる 1-MCP の処理期間を延長でき, かつ処理時まで滴定酸度を高く維持できることから, 長期貯蔵後まで品質を良好に保つことができるものと考えられた。なお, 低温による処理期間の延長効果については, 年次や産地による変動を含めて, より詳細な検討が必要である。

引用文献

- 艾乃吐拉 木合塔爾・壽松木 章・小森貞男. 2005. 1-メチルシクロプロペン (1-MCP) 処理がリンゴ 3 品種の貯蔵性に及ぼす影響. 園学研. 4: 439–443.
- Bai, J., E. A. Baldwin, K. L. Goodner, J. P. Mattheis and J. K. Brecht. 2005. Response of four apple cultivars to 1-methylcyclopropene treatment and controlled atmosphere storage. HortScience 40: 1534–1538.
- Blankenship, S. M. and J. M. Dole. 2003. 1-Methylcyclopropene: a review. Postharvest Biol. Technol. 28: 1–25.
- DeLong, J. M., R. K. Prange and P. A. Harrison. 2004. The influence of 1-methylcyclopropene on ‘Cortland’ and ‘McIntosh’ apple quality following long-term storage. HortScience 39: 1062–1065.
- Fan, X., S. M. Blankenship and J. P. Mattheis. 1999. 1-Methylcyclopropene inhibits apple ripening. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 124: 690–695.
- Iwanami, H., S. Moriya, N. Kotoda, S. Takahashi and K. Abe. 2008. Storability in cold temperatures can be evaluated based on changes in fruit quality in apple genotypes under shelf life conditions. HortScience 43: 655–660.
- 樫村芳記. 2006. 1-MCP を利用したリンゴの鮮度保持. 農

- 流技研会報. 268: 11–13.
- 梶村芳記・工藤和典・瀧下文孝・増田哲男・福田博之・西山保直. 1986. 成熟期のリンゴ果実における果心内エチレン濃度の個体間変動. 果樹試報C. 13: 31–51.
- 加藤公道・阿部 薫・佐藤良二. 1977. リンゴ果実の成熟(第1報)成熟期の呼吸量, エチレン排出量および内部エチレン濃度の変化. 園学雑. 46: 380–388.
- Kostansek, E. and W. Pereira. 2003. Successful application of 1-MCP in commercial storage facilities. *Acta Hortic.* 628: 213–219.
- Mir, N. A., E. Curell, N. Khan, M. Whitaker and R. M. Beaudry. 2001. Harvest maturity, storage temperature, and 1-MCP application frequency alter firmness retention and chlorophyll fluorescence of ‘Redchief Delicious’ apples. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 126: 618–624.
- Moya-Leon, M. A., M. Vergara, C. Bravo, M. Pereira and C. Moggia. 2007. Development of aroma compounds and sensory quality of ‘Royal Gala’ apples during storage. *J. Hort. Sci. Biotech.* 82: 403–413.
- 農林水産省大臣官房統計部. 2009. 農林水産統計 平成20年産りんごの結果樹面積, 収穫量及び出荷量.
- Özkaya, O. and Ö. Dündar. 2009. Influence of 1-methylcyclopropene (1-MCP) on ‘Fuji’ apple quality during long-term storage. *J. Food Agric. Environ.* 7: 146–148.
- Pre-Aymard, C., E. Fallik, A. Weksler and S. Lurie. 2005. Sensory analysis and instrumental measurements of ‘Anna’ apples treated with 1-methylcyclopropene. *Postharvest Biol. Technol.* 36: 135–142.
- Pre-Aymard, C., A. Weksler and S. Lurie. 2003. Responses of ‘Anna’, a rapidly ripening summer apple, to 1-methylcyclopropene. *Postharvest Biol. Technol.* 27: 163–170.
- Sisler, E. C. and M. Serek. 1997. Inhibitors of ethylene responses in plants at the receptor level: recent developments. *Physiol. Plant.* 100: 577–582.
- Tatsuki, M., A. Endo and H. Ohkawa. 2007. Influence of time from harvest to 1-MCP treatment on apple fruit quality and expression of genes for ethylene biosynthesis enzymes and ethylene receptors. *Postharvest Biol. Technol.* 43: 28–35.
- Toivonen, P. M. A. and C. Lu. 2005. Studies on elevated temperature, short-term storage of ‘Sunrise’ summer apples using 1-MCP to maintain quality. *J. Hort. Sci. Biotech.* 80: 439–446.
- Warner, H., G. Kollman, D. Faubion and B. Bates. 2003. Apples... and beyond: future goals of 1-MCP. *Acta Hortic.* 628: 221–226.
- Watkins, C. B. 2008. Overview of 1-methylcyclopropene trials and uses for edible horticultural crops. *HortScience* 43: 86–94.
- Watkins, C. B. and J. F. Nock. 2005. Effects of delays between harvest and 1-methylcyclopropene treatment, and temperature during treatment, on ripening of air-stored and controlled-atmosphere-stored apples. *HortScience* 40: 2096–2101.