

おいしいリンゴの長期供給ニーズに応えるエチレン作用阻害剤 1-MCP

東京農業大学農学部
農学科

吉田 実花

はじめに

リンゴは温州ミカンに次いで産出額が多く、総務省家計調査によれば2013年以降国産果実の中で最も購入されている果物である。8月収穫の早生品種‘つがる’に始まり、中生品種‘ジョナゴールド’、そして晩生品種‘王林’、‘ふじ’へと、品種を変えながら11月まで出荷が続く。その後、翌7月までは貯蔵した果実が出荷されるので、1年中途切れることなく市場に出回ることになる。2017年現在、日本のリンゴ生産量は73万5,200トンで、このうち57% (41万5,900トン) を青森県産が占める (農林水産省2018)。青森県には37万トンの収容力を有する貯蔵庫があり (葛西2017)、年明け以降に出荷される果実の多くを供給している。とくに、4月以降に出荷する長期貯蔵果実に対しては、袋がけにより着色を良くし、早期収穫することで貯蔵性を高めている。しかし、近年は生産者の高齢化の影響もあり、労力のかかる有袋栽培は減少を続けている (長谷川2009)。1990年に80%を占めていた有袋栽培は、2017年には22%まで減少した (葛西2018)。有袋栽培の割合が低下した背景には、防除技術の向上や食味重視の販売戦略なども関わっている。4月以降も無袋栽培果を販売せざるをえない状況の中で、エチレン作用阻害剤1-メチルシクロプロペン (1-MCP) の利用が進められている。

1-MCPは、青果物の貯蔵性を左右するエチレンの作用を抑える品質保持剤で、2002年に米国でリンゴ、ナシ、西洋ナシ、モモ、ネクタリン、スモモ、アンズ、キウイフルーツ、アボカド、マンゴー、パパイヤ、メロン、トマトの計13品目を対象に農薬登録された (櫻村2005)。日本でも2010年にリンゴ、カキ、ナシを対象として農薬登録され、現在はプラム、キウイフルーツ、バナナに対しても登録に向けた手続きが進められている。2018年8月時点では、国内における1-MCPの処理は、8割がリンゴ、2割がカキに対して行われている。

本稿では、今後我が国でも大幅に利用拡大が見込まれる1-MCPについて、リンゴへの処理事例を取り上げ、その品質保持効果と今後取り組むべき課題を整理したい。

1. リンゴ果実に対する1-MCP処理の効果

(1) 青森県産果実への処理

青森県産‘ふじ’果実に1-MCP処理を行い2°Cで貯蔵したところ、CA貯蔵の8か月間には及ばなかったものの、7か月後までは十分酸度と硬度を保持できることが確認された (櫻村ら2010)。

現在リンゴに対する1-MCP処理は、青森県産果実を中心に生産現場への導入が進んでいる。2015年には、青森県で収穫された貯蔵リンゴのうち

約7,600トンの果実に1-MCP処理が行われたという (立木2017)。無袋栽培の拡大とともに、長期貯蔵用果実に対する1-MCP処理の割合が高まっていくことが予想される。今後、さらに安定した品質の果実を供給するために、CA貯蔵と1-MCP処理を組み合わせた貯蔵法も有効だろう。

(2) 熟度の進んだ果実への処理

青森県を除く他産地では、ブランド戦略として完熟リンゴ果実の出荷が進められている (財団法人中央果実生産出荷安定基金協会2010)。無袋栽培した上で、収穫を遅らせて糖度の高い完熟果実を生産し、さらに光センサーにより品質を保証することで、本来のリンゴのおいしさを持った果実を消費者に届けようというものである。一般的に熟度の進んだ果実は貯蔵性が劣るため、これまでは収穫後速やかに販売されることが多かった。しかし、熟度や糖度の面からブランド化を進めようとする産地では、熟度の進んだ糖度の高い果実をより長期間出荷するための品質保持技術も求められている。ここでも1-MCPの利用が有効だと考えられる。

熟度の進んだ果実に対して1-MCP処理を行った試験は、たとえば、岩手県産の果実で行われている。それによると、‘ふじ’では貯蔵温度4°Cで4か月、酸度と硬度が保たれた (奥平・佐々木2004)。青森県産果実に処理を行った櫻村ら (2010) の報告と比べると貯蔵可能期間は短いですが、それで

表-1 リンゴ各品種の内部褐変発生に対する 1-MCP 処理の影響^z

1-MCP処理 による影響 ^y	内部褐変の発生部位		
	果肉	果心線 ^x	果心
助長される	ふじ ¹ プレバーク ²	マコーン ³	—
抑制される	マコーン ³	マコーン ³	ふじ ¹
影響がない	マッキントッシュ ⁴	ふじ ⁵	マッキントッシュ ⁴ グラニースミス ⁵ ふじ ⁵

^z 内部褐変の発生については、低温貯蔵後、20℃7日間の棚もち試験を行ってから調査した

^y 各品種で褐変発生の試験を行った際の貯蔵温度および期間：

¹0℃7か月（吉田ら 2017）、²0.5℃6か月（Matthies・Rudell 2008）、

³3℃3か月（Moran・McManus 2005）、⁴0~1℃6か月（DeEll et al. 2008）、

⁵0℃6か月（Fan・Mattheis 1999a）

^x マコーンに関しては、果心線褐変の抑制程度に年次間差あり

表-2 熟度の進んだ‘ふじ’果実を雪室で貯蔵し収穫7か月後に20℃7日間の棚もち試験をした場合の内部褐変の発生割合^z（吉田ら 2017 を一部改変）

収穫日	貯蔵前 処理	内部褐変率 (%) ^y			合計
		褐変部位			
		果心	果心線	果肉	
11月18日	無処理	76.7 c ^x	3.3 ab	0.0 a	76.7 d
	1-MCP	6.7 ab	0.0 a	3.3 a	10.0 ab
11月24日 (収穫適期)	無処理	23.3 b	0.0 a	3.3 a	23.3 bc
	1-MCP	0.0 a	0.0 a	3.3 a	3.3 a
12月2日	無処理	50.0 c	13.3 b	10.0 a	53.3 d
	1-MCP	3.3 a	0.0 a	36.7 b	40.0 cd
		*	*	*	*

^z 貯蔵は雪室（貯蔵中の平均湿度は0.9℃、 $\geq 95\%$ ）で行った

^y 内部褐変の発生は、低温貯蔵後（収穫7か月後）に20℃7日間の棚もち試験を行った果実について調査した

^x 異なる文字は χ^2 検定により5%水準で有意差あり

も長期間の品質保持が難しい熟度の進んだ果実を4か月間供給できれば、1-MCP 処理の意義は非常に大きいと考えられる。

(3) 早生品種への処理

晩生品種の長期出荷だけに限らず、早生品種の品質保持に 1-MCP を利用する研究も進められている。早生品種‘つがる’は、収穫後速やかに酸度や硬度が低下する。これは、収穫直後からエチレン生成量が高いためであり、このような品種では 1-MCP 処理による品質保持が難しいとされてきた。しかし、Tatsuki ら（2011）によれば、-3℃で24時間予冷してエチレン生成を抑えた後に 1-MCP 処理を行うと、22℃で貯蔵しても22日間酸度お

よび硬度が保持されるという。今後、1-MCP 処理による品質保持は熟度の進んだ果実に適用されるとともに、早生から晩生まで様々な品種に広がっていくことが予想される。

2. リンゴ果実に対する 1-MCP 処理の課題

(1) 内部褐変の発生

以上のように、リンゴ果実に 1-MCP 処理を行うと長期にわたって酸度と硬度が保持でき、また本稿では詳細に触れられなかったが、一部の品種では果皮がべとつく「油上がり」の発生も抑制される（Fan ら 1999）。しかし、‘ふじ’などで貯蔵が長期に及ぶ場合、

1-MCP 処理は内部褐変の発生を助長するとの懸念がある（長内ら 2007；立木 2017）。

内部褐変は、冷蔵貯蔵直後に比べて貯蔵後常温に移した後に発生しやすいそのため、常温に1週間程度置く棚もち試験後に調査するのが望ましい。今のところ我が国では、1-MCP 処理果の内部褐変発生について、棚もち試験を行った上で調査した事例はほとんど公表されていない。海外の文献をみると、品種や部位（果肉、果心線、果心）、収穫年などによって結果は様々である（表-1）。

筆者らは、熟度の進んだ長野県産‘ふじ’に 1-MCP 処理を行って 0.9℃の雪室で貯蔵し、収穫7か月後 20℃に7日間置く棚もち試験を行った（吉田ら 2017）。雪室については後述するが、ここでは温度安定性の高い冷蔵庫と理解いただきたい。内部褐変の発生には収穫時期も関係しているといわれていることから（Doerflinger ら 2015；Moggia ら 2015；福田 1984）、暦日により決められた収穫適期（11/24）とその前後1週間（11/18、12/2）の計3回に分けて収穫した。その結果、内部褐変のうち、果心褐変の発生は 1-MCP 処理により顕著に抑制された（表-2）。一方、果肉褐変は適期1週間後に収穫した果実でも 1-MCP 処理により助長され、無処理に対して3倍以上の発生率（36.7%）を示した。しかし、適期までに収穫することで内部褐変の発生率は激減し、1-MCP 処理果でも 3.3%に抑制された。

表-3 熟度の進んだ‘ふじ’果実の貯蔵後のしわ発生率
(吉田ら 2017 を一部改変)

収穫日	貯蔵前 処理	しわの発生率 (%) ²	
		冷蔵庫 ³	雪室 ³
11月18日	無処理	60.0 c ^x	3.3 ab
	1-MCP	63.3 c	10.0 ab
11月24日 (収穫適期)	無処理	70.0 cd	6.7 ab
	1-MCP	83.3 d	13.3 b
12月2日	無処理	56.7 c	6.7 ab
	1-MCP	63.3 cd	0.0 a

²しわの発生は、低温貯蔵後に20℃7日間の棚もち試験を行った果実について調査した

³貯蔵中の平均温湿度は冷蔵庫で4.4℃、49.2%、雪室で0.9℃、≥95%であった

^x異なる文字はχ²検定により5%水準で有意差あり

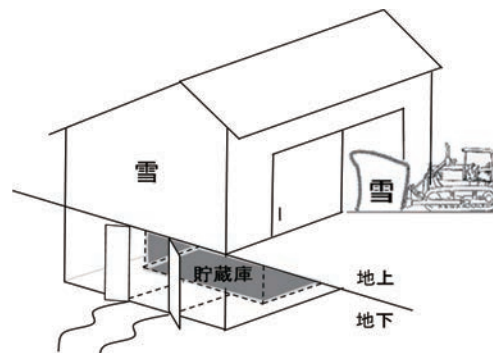


図-1 実験に使用した雪室の模式図(新潟県上越市)

このように、収穫時期を見極めることで、収穫から7か月後の6月下旬まで、味だけでなく内部褐変の発生のない高い品質の果実が供給できることが明らかとなった。もちろん、内部褐変の発生率は年次によって大きく変動するため、さらに調査を重ねていく必要がある。しかし、その年の果実の状態を見極めて適切な貯蔵期間を設定することができれば、1-MCP 処理による熟度の進んだ果実の長期出荷は十分可能だと考えている。なお、1-MCP を処理するとみつ褐変の発生が助長されるとの懸念があるが(奥平・佐々木 2004)、筆者らの試験ではみつ褐変がほとんどみられなかったことも付記しておく。

(2) 香りの低下

リンゴでは、香りが風味に大きく影響する(田中 2017)。1-MCP 処理果では CA 貯蔵果実と同様に香りが低下しやすいといわれている(Fan・Mattheis 1999b)。

リンゴの場合、1-MCP 処理濃度は 1ppm 前後のことが多いが、最近の研究では、処理濃度を少し下げることによって長期貯蔵後の香りを保持しようという試みがある(Lu ら 2018)。また、筆者が行った熟度の進んだ果実では、1-MCP 処理後7か月経っても 20℃7日間の棚もち試験を行えば、香りがある程度感じられた。もちろん 1-MCP 処理と香りの関係に関する研究はまだ

緒についたばかりで、今後、慎重な検討が必要である。それでも香り豊かな長期貯蔵リンゴの流通という課題は、十分克服できるところまできているように思う。

3. 雪室貯蔵による 1-MCP 処理果の高付加価値化

1-MCP 処理は、貯蔵流通中のすべての品質劣化を抑制できるわけではなく、特に蒸散抑制に関してはほとんど効果がない(中村 2014)。熟度の進んだ果実の高い品質を長期的に保持するためには、貯蔵中の温湿度条件も重要となる。

実際に、雪室で貯蔵を行った筆者らの研究では、収穫7か月後まで酸度および硬度を保持した上、4℃の冷蔵庫に比べてしわの発生が顕著に抑制された(吉田ら 2017, 表-3)。しわの発生を防ぐ方法としてフィルム包装なども考えられるが、高湿度環境を実現できる雪室はもっと利用されてもよい。

雪室は雪の冷気で貯蔵庫内を冷やす「天然のスペシャル冷蔵庫」であり、安定した低温かつ高湿度の環境を作ることができる。さらに庫内は無風である。このとき利用した雪室(図-1)は、貯蔵期間中の庫内の温度は、最低 0.5℃、最高でも 2.5℃と安定していた上、湿度も 95%以上を維持できた。1年中雪が融けずに残る雪室も

珍しくなく、冷却に電気を使わずに1年中安定した低温高湿度環境を作ることができる。東日本大震災以降、省エネの面からも再注目されている。1-MCP 処理と、雪室のような品質保持に効果的な貯蔵条件を組み合わせることにより、熟度の進んだリンゴ果実をより高い品質のまま長期間供給することが可能になると考えられる。

最後に

リンゴにおける 1-MCP 処理は、高品質な果実を長期にわたって供給できる、有望な品質保持技術である。今回、熟度の進んだリンゴに対する 1-MCP 処理に関しては‘ふじ’を中心に紹介したが、岩手江刺農業協同組合ではすでに熟度の進んだ‘シナノゴールド’に対して 1-MCP 処理を行っている(駒込 2018)。さらに、1-MCP 処理した果実の半数程度は、岩手県和賀郡西和賀町にある雪室(花巻農業協同組合所有、現地では氷室と呼ばれる)で貯蔵され、「雪っこりんご」の名で5月上旬の販売に成功している。1-MCP 処理により品質を保持した果実は、貯蔵方法・販売方法を工夫することで、その価値をさらに高めることができると考えられる。今後の利用拡大に期待したい。

謝辞

1-MCP 利用の現状について、アグ

ロフレッシュ・ジャパン合同会社篠崎正己氏から情報を提供していただきました。ここに厚く御礼申し上げます。

引用文献

- DeEll J. R. *et al.* 2008. 1-methylcyclopropene concentration and timing of postharvest application alters the ripening of 'McIntosh' apples during storage. *HortTechnology*. 18(4), 624-630.
- Doerflinger F. C. *et al.* 2015. An economic analysis of harvest timing to manage the physiological storage disorder firm flesh browning in 'Empire' apples. *Postharvest Biol. Technol.* 107, 1-8.
- Fan, X. *et al.* 1999. 1-methylcyclopropene inhibits apple ripening. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 124(6), 690-695.
- Fan, X. and J. P. Mattheis 1999a. Development of apple superficial scald, soft scald, core flush, and greasiness is reduced by MCP. *J. Agric. Food Chem.* 47(8), 3063-3068.
- Fan, X. and J. P. Mattheis 1999b. Impact of 1-methylcyclopropene and methyl jasmonate on apple volatile production. *J. Agric. Food Chem.* 47(7), 2847-2853.
- 福田博之 1984. 'ふじ'果実の各種褐変障害の発生とみつ症状及びカルシウム散布との関係. *園学雑*. 53(3), 298-302.
- 長谷川啓哉 2009. リンゴ市場における周年供給の弱体化と対応方向. *農業技術* 64(12), 513-515.
- 葛西智 2017. 青森県産リンゴの流通の現状と課題. *農流技研会報* 312, 4-7.
- 葛西智 2018. 青森県産リンゴの周年供給の安定化に向けた「スマートフレッシュくん蒸剤」の活用. *果実日本*. 73, 59-64.
- 樫村芳記 2005. テクノトピックス; 新規鮮度保持剤 1-MCP. *農業機械学会誌* 67(6), 16-18.
- 樫村芳記ら 2010. 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処理の品質保持効果に及ぼす影響. *園学研* 9(3), 361-366.
- 駒辺利昭 2018. 特集・貯蔵の最新技術: 岩手江刺農業協同組合における 1-MCP を活用した取り組み事例. *果実日本* 73(1), 78-81.
- Lu X. *et al.* 2018. Effect of 1-MCP in combination with Ca application on aroma volatiles production and softening of 'Fuji' apple fruit. *Sci. Hort.* 229, 91-98.
- Mattheis, J. P. and D. R. Rudell 2008. Diphenylamine metabolism in 'Braeburn' apples stored under conditions conducive to the development of internal browning. *J. Agric. Food Chem.* 56(9), 3381-3385.
- Moggia, C. *et al.* 2015. Preharvest factors that affect the development of internal browning in apples cv. Cripp's Pink: Six-years compiled data. *Postharvest Biol. Technol.* 101, 49-57.
- Moran, R. E. and P. McManus 2005. Firmness retention, and prevention of coreline browning and senescence in 'Macoun' apples with 1-methylcyclopropene. *HortScience* 40(1), 161-163.
- 中村ゆり 2014. エチレン作用阻害剤 1-MCP を用いた果実流通技術の動向のトレンド. *日本包装学会誌* 23(2), 105-111.
- 農林水産省 2018. 平成 29 年産りんごの結果樹面積, 収穫量及び出荷量.
- 奥平麻里子・佐々木仁 2004. 1-MCP 処理によるリンゴ中生種及び晩生種の品質保持効果. *東北農研*. 57, 163-164.
- 長内敬明ら 2007. リンゴ'ふじ'の収穫時期別 1-MCP 処理が品質保持に及ぼす影響. *園学研*. 6(別 1), 544.
- Tatsuki, M. *et al.* 2011. Cold pre-treatment is effective for 1-MCP efficacy in 'Tsgaru' apple fruit. *Postharvest Biol. Technol.* 62, 282-287.
- 立木美保 2017. 鮮度保持剤 1-MCP の利用の状況と展望 - 特集・果樹の植物生育調整剤をめぐる最新動向 -. *果実日本* 72, 66-70.
- 田中福代 2017. 香りがリンゴの風味を決定する - 香気成分の制御機構と変動事例 -. *日本調理科学会誌* 50(4), 151-155.
- 吉田実花ら 2017. リンゴ'ふじ'果実の雪室貯蔵における内部褐変抑制のための 1-MCP 処理. *園学研*. 16(4), 479-485.
- 財団法人中央果実生産出荷安定基金協会 2010. 平成 21 年度果実流通改善調査事業報告書 (みかん・りんごの全国ブランド実態調査). 中央果実基金調査資料 No.211