リンゴ果実の貯蔵に伴う品質及び生理的变化と果実の成熟期との関連

吉岡 博人・青葉 幸二・福元 将志*

果樹試験場盛岡支場 020-01 盛岡市下厨川字鍋屋敷

Relationships between Qualitative and Physiological Changes during Storage and Maturation in Apple Fruit

Hiroto YOSHIOKA, Kouji AOBA and Masashi FUKUMOTO

Morioka Branch, Fruit Tree Research Station, Ministry of Agriculture,
Forestry and Fisheries, Shimokuriyagawa, Morioka 020-01

Summary

Apple fruits of 'Starking Delicious', 'Jonagold', 'Golden Delicious', 'Fuji', and 'Ralls Janet' were harvested at maturity and stored at 20°C for studies of the relationships between time of maturity and storability of fruits.

1. No relationship was found between time of maturity and the firmness of the fruits at maturity, although the fruit softened more rapidly in early season cultivars than in late season ones during storage at 20°C.

2. Except for cultivar 'Fuji', the late season cultivars contained higher acid content at maturity but decreased more sharply during storage than early season cultivars. NADP-malic enzyme activity in fruits showed higher activity in late season cultivars than early season ones.

3. The late season cultivars 'Fuji' and 'Ralls Janet', showed very low ethylene evolution rate and ethylene concentration in the central core during storage, compared to the others. The ratio of ethylene evolution rate to ethylene concentration in the central cores in 'Fuji' and 'Ralls Janet' was low compared to the other cultivars. However, except for these two, the late season cultivars showed higher ethylene evolution rates and ethylene concentrations in central cores than the early season ones, and there was no relationship between fruit storability and the ratio of ethylene evolution rate to ethylene concentration.

4. 1-Aminocyclopropane-1-carboxylic acid (ACC) content in the fruit tended to increase, accompanying the increase of ethylene evolution, during storage in all cultivars. In 'Fuji' and 'Ralls Janet', the fruit contained appreciable amounts of ACC just after harvest when ethylene evolution was not detected.

These results suggest that the regulation of fruit softening and NADP-malic enzyme activity during apple fruit ripening is related to time of maturity of the fruit.

緒 言

果実の貯蔵性を高めるため低温貯蔵、CA 貯蔵、プラスチック包装、エチレン除去剤の利用など、さまざまな鮮度保持技術が開発されている(4, 11)。これらの鮮度保持技術は、収穫後の果実の生理活性を抑制して貯蔵流通過程における消耗や老化の進行による変質を抑えることによって、鮮度を保持しようとするものである。果実にはイチゴやイチジクなどのように非常に貯蔵性の低い果

実とリンゴのように貯蔵性の高い果実が存在する。また同じ種類の果実でも品種によって貯蔵性に大きな違いのえられる場合もある。したがって果実の貯蔵流通の改善には貯蔵技術の開発のみならず貯蔵性の高い形質を備えた品種の育成も重要である。しかし、果実の種類や品種間による貯蔵性の相違がいかなる要因によって生じるのかはほとんど説明されていない。

本報ではリンゴ果実について品種間における貯蔵性の相違と成熟期の早晩性との関係を明らかにするとともに、エチレン発生量の変化、果心内エチレン濃度、1-アミノシクロプロパン-1-カルボン酸 (ACC) 含量、NADP-

1988年6月24日 受理
果樹試験場番号: C-135

* 現在 福島県果樹試験場

リンゴ酸酵素活性などの関係を調査し、貯蔵性とこれら要因との関連を検討した。

材料及び方法

リンゴ品種の熟期と貯蔵性ならびに貯蔵生理との関係を明らかにするため、成熟期の異なるリンゴ5品種を20℃に貯蔵し、貯蔵中のエチレン生成量や果肉の軟化速度などの違いを比較検討した。

1. 供試品種

実験に用いたリンゴ果実は果樹試験場盛岡支場の圃場で栽培された‘スターキングデリシャス’、‘ジョナゴールド’、‘ゴールデンデリシャス’、‘ふじ’、‘国光’の5品種であった。各品種の収穫日（第1表）は毎年の収穫適期日（暦日）を参考にして収穫した。分析は大きさの揃った中位大の果実を9個用い、果肉硬度、果心内エチレン濃度については1果ずつ測定し、他の項目については3個を1グループとして3反復の測定を行い、それぞれ平均値を求めた。

2. 果実品質の測定

果肉硬度はマグネス・テラー硬度計（直径11mmのプランジャー）を用い、剥皮した果実の赤道部について2カ所測定した。またジュースで果肉組織を磨碎し、ろ紙でろ過した後、糖含量は屈折計示度から、酸含量は滴定酸量からリンゴ酸として求めた。

3. NADP-リンゴ酸酵素活性の測定

リンゴ果実からの酵素液の調製は、リンゴ果実の果肉組織を50mM アスコルビン酸、20mM メルカプトエタノールと3% 不溶性ポリビニルピロリドン (PVPP) を含む0.1M トリス-塩酸緩衝液 (pH 7.5) でホモジナイズし、13,000×g 20分間の遠心分離により可溶性画分を分離して酵素液とした。活性の測定は80mM トリス-塩酸 (pH 7.5)、1mM 塩化マンガン、0.3mM NADP、6mM リンゴ酸ナトリウムを含む反応液に酵素液を加えて30℃で反応させ、酵素作用によって生成するNADPH量を反応液の340nmの吸光値の増加で測定した。

4. エチレン発生量ならびに果心内エチレン濃度の測定

果実のエチレン発生量は果実（3個、約800g）を3l

の容器に1時間密閉したヘッドスペースガスについて、また果心内エチレン濃度は果心内に注射針を挿入して果実1個当たり1mlのガスを採取し、それぞれガスクロマトグラフィーで分析求めた。

5. ACC 含量の測定

果肉組織の1-アミノシクロプロパン-1-カルボン酸 (ACC) の抽出は、試料10gを20mlの冷5%スルホサルチル酸とともにホモジナイズし、遠心分離して得られた上澄にPVPP1gを加えてポリフェノール類を吸着除去した後、ダウエックス50 (H⁺型) に吸着した画分を2Nのアンモニア水溶液で溶出したのち濃縮し、水で定容する山木らの方法(14)を用いた。ACCの分析はLizadaとYang(9)の方法を用いた。

結 果

リンゴ品種の成熟期と貯蔵中の品質変化ならびに生理的变化との関係を調査するために使用した果実は、10月15日収穫の中生の‘スターキングデリシャス’から11月18日に収穫した晩生の‘国光’までそれぞれ成熟期の異なる5品種であった（第1表）。第5図、第6図に示すように‘ゴールデンデリシャス’については収穫直後のエチレン発生量が $58.1 \pm 15.2 \mu\text{l/kg/h}$ 、果心内エチレン濃度が $12.7 \pm 8.3 \mu\text{l/l}$ に達していた。しかし、他の果実は収穫時にはエチレン発生、果心内エチレンとも検出されず、貯蔵2日後に初めてエチレンの発生を認めた。したがって‘ゴールデンデリシャス’は樹上でクライマクテリック期に入っていたものと思われるが、他の果実はほぼクライマクテリック直前の果実を収穫したものと考えられる。果実は収穫後直ちに20℃に貯蔵し貯蔵中の品質変化を調査した。図にはそれぞれの果実の収穫日を0日として表した。

1. 果肉の軟化と成熟期

収穫時に比較的硬い‘ふじ’、‘国光’は貯蔵中の軟化が緩やかであり、収穫時に軟らかい‘ジョナゴールド’、‘ゴールデンデリシャス’は貯蔵中の軟化が比較的大きかった。しかし収穫時に硬い‘スターキングデリシャス’は貯蔵中の軟化が最も激しく収穫時の果実の硬さと貯蔵中の軟化速度との関連は少ないものと思われた（第1図）。一方、成熟期と軟化速度との関係を見ると、供試品種中で成熟期の早い‘スターキングデリシャス’、‘ジョナゴールド’は軟化が速く、晩生品種の‘ふじ’、‘国光’では軟化が遅く、成熟期がこれらの中間にある‘ゴールデンデリシャス’の軟化速度は、これらの中間であった。

2. 酸含量、NADP-リンゴ酸酵素活性の変化と成熟期

収穫時の酸含量は晩生品種ほど高い傾向を示し、供試

Table 1. Harvest date of apple fruit used for experiments.

Cultivars	Picking date
‘Starking Delicious’	15/Oct.
‘Jonagold’	24/Oct.
‘Golden Delicious’	28/Oct.
‘Fuji’	4/Nov.
‘Ralls Janet’	18/Nov.

Fig. 1. Changes of fruit firmness in different cultivars of apple during storage at 20°C. Apple fruits of five different cultivars were harvested at maturity and stored at 20°C. Vertical bars indicate standard deviations.

した5品種の内でも最も晩生の‘国光’は最も早生の‘スターキングデリシャス’の3倍近い含量を示した(第2図)。しかし晩生品種である‘ふじ’は、酸含量の少ない品種であった。貯蔵中の酸含量の低下は晩生品種ほど著しい傾向を示した。しかし酸含量の少ない‘ふじ’の酸含量の低下速度は比較的緩やかであった。貯蔵中の酸含量の低下に關与する(2)と言われているNADP-リンゴ酸酵素活性は、晩生品種ほど高く貯蔵中の活性増大も大きかった(第3図)。

3. 糖含量の変化と成熟期

晩生品種の‘国光’を除き収穫時の糖含量は成熟期の遅い品種ほど高いことを認めた(第4図)。各品種とも貯蔵中の変化は少なく、やや増加する傾向がみられた。

4. エチレン発生量、果心内エチレン濃度及びACC含量の変化と成熟期

貯蔵中のエチレン発生量(第5図)、果心内エチレン濃度(第6図)とも晩生品種の‘ふじ’、‘国光’で著しく低いことを認めたが、‘スターキングデリシャス’、‘ジョナゴールド’、‘ゴールデンデリシャス’の3品種中では成熟期が遅い品種ほどエチレン発生量、果心内エチレン濃度は高いことを認めた。また‘ふじ’、‘国光’ではエチレン発生量が少ない割には果心内エチレン濃度が高い傾向を示した。ACC(第7図)は各品種とも含量のばらつきが見られたが、エチレン発生量の増大に伴い増加する傾向が見られた。‘ふじ’、‘国光’についてはエチレン発生の認められない収穫直後の果実にもACCがかなり存在することが特徴的であった。

考 察

果実の貯蔵性は果実の種類や品種あるいは栽培条件な

Fig. 2. Changes in acid content in different cultivars of apple fruit during storage at 20°C. SD: ‘Starking Delicious’, JG: ‘Jonagold’, GD: ‘Golden Delicious’. Vertical bars as in Fig. 1.

Fig. 3. Changes of NADP-malic enzyme activity in different cultivars of apple fruit during storage at 20°C. Vertical bars as in Fig. 1.

Fig. 4. Changes in sugar contents in different cultivars of apple fruit during storage at 20°C. SD: ‘Starking Delicious’, JG: ‘Jonagold’, GD: ‘Golden Delicious’, RJ: ‘Ralls Janet’. Vertical bars as in Fig. 1.

Fig. 5. Changes in ethylene evolution rate in different cultivars of apple fruit during storage at 20°C. Vertical bars as in Fig. 1.

Fig. 6. Changes in ethylene concentration in central core of fruits in different cultivars of apple. Vertical bars indicate as in Fig. 1.

Fig. 7. Changes in 1-aminocyclopropane-1-carboxylic acid (ACC) content in different cultivars of apple fruit during storage at 20°C. SD: 'Starking Delicious', JG: 'Jonagold', RJ: 'Ralls Janet' Vertical bars as in Fig. 1.

どによって異なる。リンゴの場合、暖地で生育した果実や、窒素、水分の多い土壌で生育した果実は貯蔵性が悪く(8)、カリウム(16)やカルシウム(1)の多い果実、また有袋果は無袋果より(8)貯蔵性が高いと言われている。また品種間で貯蔵性に大きな違いのあることもよく知られている。このように貯蔵性の違う原因は果実自身の内的な生理的要因によるものと考えられ、高品質な果実を供給するためには貯蔵流通技術の開発のみならず、貯蔵性の高い形質を持った果実を生産することが重要である。とくに貯蔵性の低い樹種については、貯蔵性の優れた品種育成が、重要と考えられる。

品種間での貯蔵性の相違に関しては、北村ら(6,7)はメロン果実についてクライマクテリック時に呼吸の明瞭な増加を示す品種は貯蔵性が低いとし、また加藤ら(5)はリンゴで「ふじ」がとくに貯蔵性が高いのは呼吸量と組織内エチレン濃度が非常に少ないことと関連があると述べている。Smith (12) はリンゴの早生品種は晩生品種に比べ、単位重量当たりの細胞数と呼吸量が大きく、貯蔵性が劣ると報告している。一方、瀧下ら(13)は現在わが国で経済栽培されている品種のうち、本研究に用いた5品種を含む17品種について細胞の大きさを調査し、各品種の熟期の早晩生と細胞の大きさには全く相関が見られないことを明らかにしている。わが国のリンゴ栽培は摘果作業などの栽培技術によって欧米に比べはるかに大きな果実を生産しているため、このような結果の違いとなったのかも知れない。いずれにしてもわが国で栽培されている品種については、成熟期の早晩性と細胞数の多少とは相関がないものと思われる。したがって、成熟期と貯蔵性との関係は細胞の大きさと関係するものとは考えにくい。

リンゴ果実の貯蔵中における果肉の軟化は、供試した5品種の中では成熟期の早い品種で明らかに速く、晩生の「ふじ」や「国光」では非常に緩慢であった(第1図)。一方貯蔵中の酸含量の低下は「ふじ」を除き成熟期の遅い品種ほど著しい傾向が見られた(第2図)。このことは成熟期の遅い品種ほどリンゴ酸の分解に関与するNADP-リンゴ酸酵素活性が高いことと関連するものと考えられる(第3図)。NADP-リンゴ酸酵素活性については、ここで供試した品種より成熟期の早い「さんざ」、'つがる'で、さらに低いことを認めており(15)、本酵素活性は成熟期の早晩性と関連しているものと考えられた。「ふじ」については酵素活性が高いにもかかわらず貯蔵中の酸含量の減少は他の果実より緩やかであった。このことは、酵素と基質の細胞内での局在性など酵素活性以外の調節機構が働いている可能性を示唆しているものと思

われる。このように成熟期の早い品種は果肉の軟化による貯蔵性の低下が顕著であり、一方成熟期の遅い品種は軟化は遅いが、NADP-リンゴ酸酵素活性が高く、本酵素の作用による酸含量の低下に注意する必要がある。ただし、‘ふじ’の例でみられるように、本酵素活性量のみで酸含量の低下し易さを判断することはできないものと思われる。

果実の貯蔵中の軟化速度とエチレンとの関係についてみると、晩生の‘ふじ’、‘国光’ではエチレン発生量（第5図）、果心内エチレン濃度（第6図）とも他の品種に較べ著しく低いことが、これら2品種でとくに高い硬度保持性を示す要因の一つとなっているものと推察された。一方‘スターキングデリシャス’、‘ジョナゴールド’、‘ゴールデンデリシャス’の3品種中では果肉が軟化し難い成熟期の遅い品種ほどエチレン発生量や果心内エチレン濃度は高く、果肉の軟化し易さとエチレン生成量の多少には直接的な関係は認められなかった。なお‘ふじ’、‘国光’ではエチレン発生量/果心内エチレン濃度の値が他の品種に較べ低いこともこれら2品種の特徴であった。さらに‘国光’、‘ふじ’ではエチレン生成がほとんど認められない収穫直後に、すでに多量のACCを組織内に含んでおり（第7図）、ACC合成酵素あるいはACC合成酵素とエチレン生成酵素の誘導がエチレン合成の制御段階と考えられている他の植物組織(3)と異なった制御機構をもつ可能性を示している。

成熟時期の遅い品種ほど成熟に伴う果肉の軟化が遅く貯蔵性が高いという現象はリンゴだけでなく西洋ナシやモモなど他の果実でも経験的に知られており、成熟時の軟化速度と成熟期の早晩性が密接に関係していることを示すものと思われる。したがってエチレンの作用機作や‘成熟調節機構’の解明、さらに‘果実の貯蔵性を決定する’内的要因を解明する上に、成熟時期の早晩性と果肉の軟化速度やNADP-リンゴ酸酵素活性との関係は大変興味深い問題であり、さらに検討を加える必要のあるものと考えられる。

摘 要

リンゴ果実の成熟期の早晩性と果実の貯蔵性の関係を明らかにするため、‘スターキングデリシャス’、‘ジョナゴールド’、‘ゴールデンデリシャス’、‘ふじ’、‘国光’の5品種を用い収穫後直ちに20℃に貯蔵し、貯蔵に伴う品質変化ならびに生理的変化を調査した。

1. 品種の熟期と収穫時の果肉硬度との間にはとくに関連は見られなかった。貯蔵中の硬度の変化をみると、成熟期の早い品種ほど軟化し易かった。

2. 収穫時の酸含量は‘ふじ’を例外として成熟期の

遅い品種ほど高かった。貯蔵中の酸含量の低下は‘ふじ’を除き成熟期の遅い品種で顕著であった。

3. NADP-リンゴ酸酵素活性は、成熟期の遅い品種ほど高く貯蔵中の活性増大も大きかった。

4. 貯蔵中のエチレン発生量、果心内エチレン濃度とも成熟期の遅い品種の‘ふじ’、‘国光’で著しく低かったが、他の三品種については成熟期の遅い品種が高い値を示した。また‘ふじ’、‘国光’ではエチレン発生量/果心内エチレン濃度比が低かった。

5. ACC含量はエチレン発生の増大に伴い増加する傾向が見られた。‘ふじ’、‘国光’についてはエチレン発生の認められない収穫直後の果実にもかなりのACCが存在した。

以上のように品種の熟期と貯蔵性は関連があり、成熟期の早い品種ほど果肉の軟化が速く貯蔵性が劣った。一方、成熟期の遅い品種は果肉の軟化は遅く貯蔵性は高いが、NADP-リンゴ酸活性が高く貯蔵中の酸含量が低下しやすかった。

謝 辞 本研究の遂行に当たりご協力頂いた、当支場技術主任藤本國夫氏ならびに伊藤ツヤ子氏に厚くお礼申し上げます。

引用文献

1. BRAMLAGE, W. J., M. DRAKE and J. H. BAKER. 1974. Relationships of calcium content to respiration and postharvest condition of apples. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 99: 376-378.
2. HULME, A. C. and J. C. RHODES. Pome fruit. p. 333-369. In: H. C. Hulme (ed.) The biochemistry of fruits and their products. Academic Press. London.
3. 兵藤 宏. 1986. 園芸作物におけるエチレンの生成とその生理学(2). 農及園. 61: 1266-1270.
4. 伊庭慶昭・福田博之・垣内典夫・荒木忠治. 1985. 果実の成熟と貯蔵. 養賢堂. 東京.
5. 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.
6. 北村利夫. 1974. メロン果実の貯蔵に関する研究(第1報). 追熟中における呼吸量, エチレン生成および揮発性物質の変化と品種間差異. 山形大紀要(農学). 7: 253-260.
7. 北村利夫・梅本俊成・岩田 隆・赤沢経也. 1976. メロン果実の貯蔵に関する研究(第2報)追熟中における呼吸量およびエチレン生成量の変化と品種間差異. 園学雑. 44: 197-203.
8. 工藤亜義. 1985. 果実の貯蔵 1. 果実の貯蔵技術リンゴ. 伊庭慶昭, 福田博之, 垣内典夫, 荒木忠治編. 果実の成熟と貯蔵. p. 296-308. 養賢堂. 東京.
9. LIZADA, C. C. and S. F. YANG. 1979. A

- simple and sensitive assay for 1-aminocyclopropane-1-carboxylic acid. *Anal. Biochem.* 100: 140-145.
10. 望月武雄. 1975. 果実の品質と肥料—特に窒素を中心として—. 青木二郎編, 新編リンゴの研究. p. 294-327. 津軽書房. 青森.
 11. 緒方邦安. 1977. 青果保蔵汎論. 建帛社. 東京.
 12. SMITH, W. H. 1940. The histological structure of the flesh of the apple in relation to growth and senescence. *J. Pom. and Hort. Sci.* 18. 249-260.
 13. 瀧下文孝・福田博之. 1985. 果実の細胞成長調査. 果樹試盛岡年報 昭 59: 46-47.
 14. 山木昭平・副島淳一・松田勢津子・土屋七郎. 1983. わい化の生理学的解明—果樹各器官における aminocyclopropanecarboxylic acid (ACC) の分別定量. 昭和58年度果樹試験場研究室長会議資料. p. 241-242.
 15. 吉岡博人・青葉幸二・福元将志. 1987. リンゴ品種の熟期の早晚性と果実の貯蔵性, NADP-リンゴ酸酵素活性との関係. 園学要旨. 昭62春: 472-473.
 16. 吉岡博人・青葉幸二・福元将志・藤本國夫. 1989. リンゴ果実の品質および貯蔵性に及ぼす施用窒素, カリウムの影響. 園学雑. 投稿中.