

# マンダリン類果実の品質保持における収穫後温度の重要性

(独)農業・食品産業技術総合研究機構 果樹研究所  
カンキツ研究興津拠点 松本 光

## はじめに

収穫後のカンキツ果実は、貯蔵庫内のほか店頭陳列や輸送中などにおいて、低温から高温までさまざまな温度にさらされる。ウンシュウミカンなどのマンダリン類(皮が薄くてむきやすい品種)は、カンキツ果実の中でも収穫後、比較的、短期間で風味等の品質劣化が起こりやすい。このため、近年、マンダリン類における収穫後の品質劣化機構の解明と、風味などの内部品質保持に最適な収穫後条件の解明研究が進められている。

収穫後条件のなかでも貯蔵温度や収穫後の果実の取り扱い温度は、外観や風味などの果実品質に大きな影響を及ぼす。これまで、マンダリン類の最適貯蔵温度は、腐敗防止や外観保持の観点から、比較的、低温の3~5℃に設定されてきた。しかし、最近、マンダリン類を3~5℃で数ヶ月間、保存すると、見た目は良好に保たれているにもかかわらず、異常な香りが発生して風味が劣化し、食味が低下する場合があることがわかってきた。これまでに、いくつかの国の研究グループにより、マンダリン類の最適貯蔵温度と収穫後果実の取り扱い温度の再検討が行われているため、本稿で紹介する。

## イスラエルとアメリカでの研究事例

イスラエルでは、近年、マンダリン類の需要が拡大し、マンダリン類の新品種の開発が積極的に行われている。イスラエルのカンキツ流通業者や輸出業者らは、腐敗のリスクを恐れてマンダリン類を3~4℃の低温で保存する人が多いのが現状である。

これまでイスラエルの研究機関では、多様なマンダリンの既存品種や新品種について、最適な収

穫後の取り扱い方法を大規模に研究してきた。その中で彼らは、果実を低温貯蔵した際に起こる品質変化はマンダリンの品種によって異なり、低温に対して耐性がある品種と耐性がない品種があることを見いだした(Tietel *et al.* 2012)。すなわち、低温耐性があるマンダリン品種は、従来の最適保存温度(3~5℃)の低温で貯蔵しても外観や風味に問題が生じない。これに対して、低温耐性がないマンダリン品種を低温貯蔵すると、果皮障害が発生する前に(すなわち見た目は良好な状態で)、オフフレーバー(異臭)が発生して食味が低下する。このことは、果実が不適切な温度で貯蔵された場合、見た目が劣化する前に、香りや食味などの内部品質が先に劣化する場合があることを意味している。

風味の劣化が見た目で判断できない以上、果実を販売する側にとっても購入する消費者にとっても、これは大きな問題である。そこで彼らは、収穫後のマンダリン類における「香りの品質保持」に重点を置き、多様なマンダリン類の品質劣化機構の解明と品質保持に最適な貯蔵温度を明らかにする研究を開始した。

彼らは低温に対する耐性が異なる2種類のマンダリン品種 'Or' と 'Odem' というマンダリン品種(どちらかというクレメンチンマンダリンに近い品種)を、収穫後、ワックス処理を行い(イスラエルでは、収穫後の果実に、防かび剤を含むワックス処理を行う場合が多い)、従来の最適貯蔵温度である5℃、それより低温の2℃、高温の8℃で果実を約1ヶ月間、貯蔵して、食味の変化を調査した。その結果、'Or' マンダリンは、どの温度でも食味や香りの劣化がほとんどなく良好な食味を維持していた(図-1)。一方、'Odem' マンダリンは、5℃や2℃で貯蔵すると

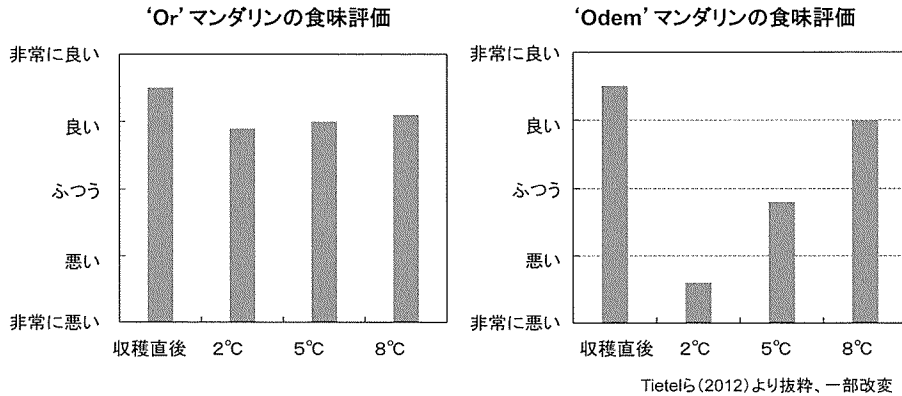


図-1 'Or' および 'Odem' マンダリンを1ヶ月間、保存した際の食味変化

オフフレーバーが発生し、特に2°Cでは著しく食味が劣化したが、8°Cで保存した果実ではオフフレーバーは発生せず、食味が良好に保たれた(図-1)。

これらの結果から、彼らは、低温に対するマンダリン類の感受性(低温耐性)には遺伝的素因が関与するため、個々の品種ごとに、品種固有の安全な貯蔵温度域(良好な風味を維持した状態で貯蔵できる温度域)を調査した上で果実を貯蔵・流通させる必要がある事を報告した(Tietel *et al.* 2012)。

これまで、カンキツ果実を貯蔵中に嫌気状態(酸素不足)に置くと、エタノールやアセトアルデヒドが果肉中に集積してオフフレーバーが発生することは知られていた。しかし彼らは、果実の低温保存中においては、エタノールやアセトアルデヒドのほかに、脂肪酸やアミノ酸が代謝されて発生する種々の香気成分が、オフフレーバーの一因となっている可能性があることを見いだした。そして、これらの成分は、収穫後の果実が、低温貯蔵中にエネルギー不足になった際、それを補うために異常な代謝変化を起こすことにより生成するのではないかと推測している(Tietel *et al.* 2011)。

さらに彼らは、低温耐性のある 'Or' マンダリンでは、低温貯蔵中に集積する香気成分が少ないのに対し、低温耐性のない 'Odem' マンダリンでは、オフフレーバーが発生する2°Cや5°Cの低温で特異的に増減する香気成分が多数あることを見いだした。'Odem' マンダリンでは、香気成分のなかでもテルペン類の集積が貯蔵温度に

より制御されており、8°Cではテルペン類が集積しないのに対し、オフフレーバーが発生する低温では顕著に集積することから、テルペン類が 'Odem' マンダリンのオフフレーバーに何らかの寄与をしている可能性があることを報告している(Tietel *et al.* 2012)。

マンダリン類の貯蔵温度に関しては、アメリカのグループも、同様の現象を観察している。彼らは、'マーコット' マンダリンを、0°C、4°C、8°Cで保存して食味変化を調査した。その結果、0°Cおよび4°Cで保存した果実に比べて、8°Cで保存した果実のほうが、香りや食味が良好に保たれた。このことから、'マーコット' マンダリンの風味を損なわない最適保存温度は、従来の温度よりも高い8°C付近である可能性を報告した(Obenland *et al.* 2011)。

さらにObenland *et al.* は、'マーコット' 等の幾つかのマンダリン品種を5°Cで短期間(1~4週間)貯蔵した後、果実を出庫し、低温の5°Cに置いた場合と室温程度の20°Cに置いた場合の食味変化を調査した。その結果、出庫後5°Cに置いた果実の食味は良好であったのに対し、出庫後20°Cに置いた果実の食味は急激に劣化し、この食味劣化は出庫前の貯蔵期間が長くなるほど著しいことを報告した(Obenland *et al.* 2013)。食味劣化に伴って、アルコールやエステル等の香気成分が果肉に集積するが、出庫後20°Cでは、たった1日でこれらの香気成分が著しく増加して食味が劣化す

る場合があった。また、果実を収穫後、低温貯蔵せず最初から20℃で短期間(1~4週間)おいた場合でも、香氣成分が短期間で顕著に集積して食味が劣化した。

これらの研究結果は、マンダリン類の果実品質(特に香りの品質)を維持するためには、収穫後果実の取り扱い温度を注意深くコントロールする必要があることを示している。すなわち、品種固有の適切な貯蔵温度で果実を貯蔵するだけでなく、貯蔵前や貯蔵後(出庫後の流通段階など)の果実の取り扱い温度を適切に制御することが、高品質果実を消費者に供給する上で重要である。

### ウンシュウミカンにおいて、収穫後の成分変化を最小限にする温度

ウンシュウミカンも貯蔵などの収穫後条件によっては、外観が良好であるにもかかわらず、異味異臭が発生して食味が低下する場合がある。我々は、ウンシュウミカンにおいて、異味異臭の発生などによる果実の食味低下を起こしにくい収穫後条件を見いだすためには、収穫後の成分変化を最小限にする条件を調査する必要があると考えた。すなわち、適切な時期に収穫した、とりたての果実には異味異臭は発生していないので、収穫直後の果実の生理状態をなるべく維持しやすい条件で貯蔵すれば、異味異臭は出ないであろうと判断したのである。

次に果実の生理状態を反映する成分として、我々は糖、有機酸、アミノ酸に着目した。これらの成分は生物の代謝の中心に位置する一次代謝成分であり、果実の生理状態が変化したり、果実がストレスを感じたりすると、含量が大きく変化することが知られている(Guy *et al.* 2008)。そこで、我々は収穫後の条件として温度に着目し、ウンシュウミカンを異なる温度で保存して、糖・有機酸およびアミノ酸の含量変化を調査し、収穫後の成分変化が最も少ない温度(収穫直後の果実の生理状態をなるべく維持しやすい温度)を調査した(松本・生駒 2012)。

ウンシュウミカンとして‘青島温州’を用い

て、これまでウンシュウミカンの最適貯蔵温度とされてきた5℃と、それより高い10℃、室温程度の20℃、真夏のハウスミカンを想定した30℃の4段階で2週間保存し、果肉中の糖(3種類)、有機酸(4種類)およびアミノ酸(20種類)の含量変化を調査した。その結果、糖と有機酸の総含量は、どの温度でもあまり変化しなかった。しかし、アミノ酸の含量は、温度の影響を大きく受ける種類が存在した(図-2)。図-2には、温度の影響を受けた特定のアミノ酸の含量変化率(2週間後の含量を収穫直後の含量で割った値)を示した。棒グラフが、横軸より上に伸びた成分は収穫後に含量が増加した成分、横軸より下に伸びた成分は含量が減少した成分である。

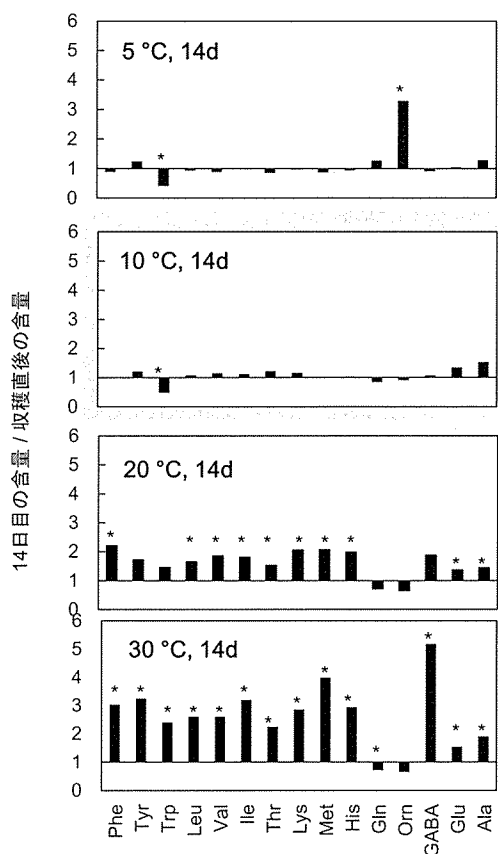


図-2 ‘青島温州’の果肉における収穫後の成分含量変化率

(\* Student's t 検定により 5%水準で有意差あり, Orn: オルニチン)

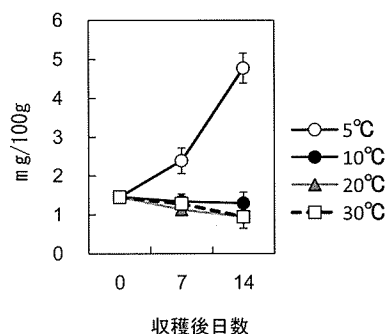


図-3 青島温州の果肉におけるオルニチン含量の推移

低温の5°Cで保存した果実では、アミノ酸の一種であるオルニチンが約3.3倍に急増し(図-2)、その含量は収穫時に約1.5mgであったのが、2週間で約5mgにまで増加した(図-3)。一方、20°Cや30°Cの高温では、フェニルアラニン、バリン、リジン等の特定のアミノ酸が急激に増加し、高温になるほど顕著に集積した(図-2)。これに対して、10°Cでは、このような急激なオルニチン等のアミノ酸集積は起こらず、収穫直後の成分含量をおおむね維持していた(図-2,3)。

一般的に、植物が低温や高温などの環境ストレスに晒されると、ストレスに対応するために、植物体内で代謝変化が起こり、特定のアミノ酸が集積することが知られている(Guy *et al.* 2008)。オルニチンは、低温ストレスや低温障害を受けた植物体内で集積することが報告されている。このことから、収穫後のウンシュウミカン果実においても5°Cという温度は、おそらく果実にとっては寒すぎる温度であり、果実内で低温ストレスに対応する代謝変化(異常代謝)が起こった結果、オルニチンが顕著に集積したと考えられる(図-3)。

植物が高温ストレスや高温障害を受けた場合でも、植物体内で特定のアミノ酸が集積することが知られている(Guy *et al.* 2008)。ブロッコリーなどの作物においても、収穫後、20°C程度の温度で保存するとタンパク質分解などの生理的変化が起こり、特定のアミノ酸が集積することが報告されている。このことから、収穫後のウンシュウミカン果実においても20°Cという温度は、おそら

く果実にとっては適温よりは高い温度であるため果実内で代謝変化が起こった可能性がある。

一方、10°Cという温度は、果実にとっては、おそらくストレスが少なく代謝変化を起こすが必要ない温度だったので、低温特異的なオルニチン集積や高温特異的なアミノ酸集積は起こらず、収穫直後の果実の成分含量を維持しやすかったのではないかと考えられる(図-2)。

次に、低温でのオルニチンの集積や高温でのアミノ酸集積が、‘青島温州’という晩生品種に特異的な現象なのか、ウンシュウミカンに共通している現象なのかを確認するため、‘宮川早生’ (早生品種)と‘シルバーヒル温州’ (中生品種)を、20°Cと5°Cで2週間保存して、糖・有機酸・アミノ酸の含量変化を調査した。その結果、20°Cでは、フェニルアラニン、トリプトファン、バリン、リジンおよびヒスチジンが3品種に共通して集積した(図-4)。5°Cでは、収穫直後に比べてオルニチン含量が‘宮川早生’で約3倍、‘シルバーヒル温州’で約4倍に増加した(図-4)。

このことから、5°Cでのオルニチン集積は、ウンシュウミカンに共通した現象であり、ウンシュウミカン果実において、収穫後の成分変化を最小限にする温度は、5°Cよりも高い、10°C付近である可能性が示された(松本・生駒 2012)。

尚、我々は低温での異常代謝により集積するオルニチンが、ウンシュウミカンの貯蔵臭の原因物質であるとは考えていない。低温での異味異臭は低温貯蔵後、2週間程度では発生せず、数ヶ月間経過して初めて発生するからである。今後、オルニチンが集積する条件下で、貯蔵臭に関連するどのような成分が発生しているのか、詳細に検討する必要がある。

一方で、イスラエルの研究グループが指摘している揮発性成分が、ウンシュウミカンの貯蔵臭の原因物質かどうかという点については、現状では明らかではない。イスラエルやアメリカの研究で使用されたマンダリンは、ウンシュウミカンとは風味がかなり違うほか、果実をワックス処理する

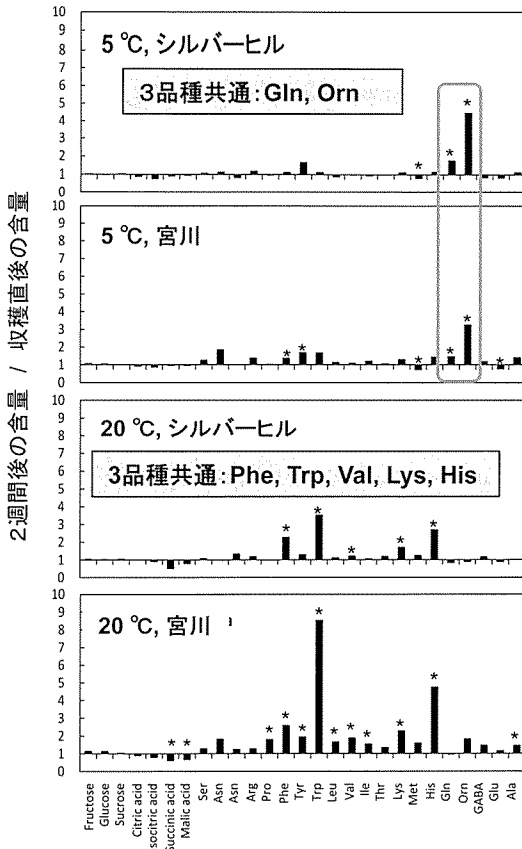


図-4 ‘シルバーヒル温州’ および ‘宮川早生’ の果肉における収穫後の成分含量変化率  
 (\* Student's t 検定により 5% 水準で有意差あり,  
 Orn: オルニチン)

ため、日本において発生しているウンシュウミカンの貯蔵臭とは異なる可能性があり、今後さらなる研究が必要である。

生産現場での実例（冷風貯蔵庫）

近年、静岡県内で冷風貯蔵庫というウンシュウミカンの新しい貯蔵庫が普及し始めている。この貯蔵庫は、庫内を一定の温度に制御するだけでなく、送風方法を工夫して、庫内の隅々まで、常に微風を送ることにより、果実周囲の湿度を低くして、腐敗を少なくすることに役立っている。この冷風貯蔵庫の設定温度は8℃とされており、この温度は、静岡県内の良好な貯蔵庫が、8℃程度であったという実態調査に基づいて決定されている。

この貯蔵庫を用いることで、12月上旬に収穫した‘青島温州’を3~4ヶ月間、貯蔵して、果皮障害を起こさず見た目の鮮度を維持しつつ、貯蔵臭がなく良好な食味を維持して4月上旬まで出荷することに成功している(杉山 2012)。

この現場での成功事例からも、ウンシュウミカンの保存に適した温度は、従来の5℃よりは高く、長期貯蔵の場合は8℃付近が良いようだ。

おわりに

今回、ウンシュウミカン等のマンダリン類の果実品質に及ぼす収穫後温度の影響に関する最近の研究動向について、イスラエル、アメリカおよび日本での研究事例と、日本の生産現場での実例を紹介した(図-5)。これらの事例は、①外観だけでなく、食味や香りを維持しながら貯蔵できるマンダリン類の安全な貯蔵温度域は品種によって異なること、②品種固有の安全温度域を明らかにし、その範囲内において、なるべく低温で貯蔵することが香りや食味等の品質保持に重要であること、③ウンシュウミカンにおいて最適な貯蔵温度域は、従来の3~5℃よりもやや高い温度域の可能性があること、④マンダリン類の果実品質を維持するためには、貯蔵温度だけでなく、貯蔵前・貯蔵後(出庫後の流通段階など)の果実の取り扱い温度を適切に制御することが重要であることを示唆している。

近年、多様なカンキツ品種が開発されているが、個々の品種本来のおいしさ(食味や香り等)を消費者に届けるために、今後は腐敗防止や外観保

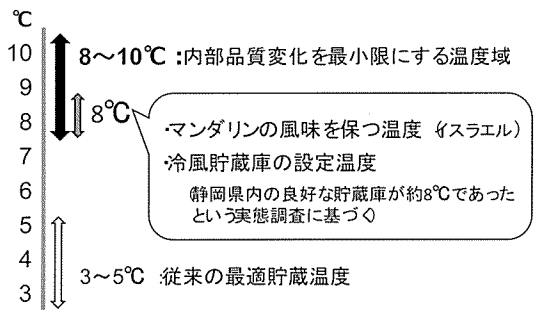


図-5 マンダリン類の最適貯蔵温度域

持だけでなく、食味や香りを保つという観点で、品種ごとに最適な収穫後の果実の取扱い方法(貯蔵温度等)を検討していく必要があると考えている。

#### 引用文献

- Guy, C., F. Kaplan, J. Kopka, J. Selbig and DK. Hinda 2008. Metabolomics of temperature stress. *Physiologia Plantarum*. 132, 220-235.
- Matsumoto, H. and Y. Ikoma 2012. Effect of different postharvest temperatures on the accumulation of sugars, organic acids, and amino acids in the juice sacs of Satsuma mandarin (*Citrus unshiu* Marc.) fruit. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 60, 9900-9909.
- Obenland, D., S. Collin, J. Sievert and M. Lu Arpaia 2013. Mandarin flavor and aroma volatile composition are strongly influenced by holding temperature. *Postharvest Biology and Technology* 82, 6-14.
- Obenland., D., S. Collin, B. Mackey, J. Sievert and M. Lu Arpaia 2011. Storage temperature and time influences sensory quality of mandarins by altering soluble solids, acidity and aroma volatile composition. *Postharvest Biology and Technology* 59, 187-193.
- 杉山博茂 2012. 温暖化時代に対応する温州ミカンの貯蔵技術－冷風貯蔵技術－. *果実日本* 67, 60-65.
- Tietel, Z., E. Lewinsohn, E. Fallik and R. Porat 2012. Importance of storage temperatures in maintaining flavor and quality of mandarins. *Postharvest Biology and Technology* 64, 175-182.
- Tietel, Z., E. Feldmesser, E. Lewinsohn, E. Fallik and R. Porat 2011. Changes in the transcriptome of Mor Mandarin flesh during storage; emphasis on molecular regulation of fruit flavor deterioration. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 59, 3819-3827.