

異なる湿度条件で貯蔵されたカキの果肉硬度と細胞壁多糖類の変化に関する研究

土田 靖久

広島大学大学院生物圏科学研究科

Research of the changes in fruit firmness and cell wall polysaccharides of persimmon fruit under low and high humidity conditions

Yasuhisa TSUCHIDA

*Graduate School of Biosphere Sciences, Hiroshima University,
Higashi-Hiroshima 739-8521, Japan*

要 旨

緒 論

カキ果実はしばしば早期軟化を起し、収穫後の貯蔵流通中に商品価値を落とすことがあり、生産・流通現場で問題となっている。

これまでに、カキの軟化はエチレンの発生によって助長されることが明らかにされており、また、ポリエチレン袋で包装されたカキ果実は、エチレン生成の開始が遅延し、果実軟化の発生が抑制されることが明らかになっている。さらに果実の軟化は、果肉の細胞壁の変化が強く影響することから、カキ果実の水分損失はエチレン生成や果肉細胞壁変化の引き金になっていると考えられる。そこで低湿度および高湿度条件に貯蔵したカキ果実について、果実の水分損失がエチレン生成、細胞壁の糖組成、分子量および果肉硬度におよぼす影響を調査した。

第1章 カキ‘富有’果実の水分損失が果肉細胞壁組成と果実軟化に与える影響

果実の水分損失は老化を引き起こす要因の一つと考えられているが、これまでのところ果実や野菜の水分損失が細胞壁の糖組成におよぼす影響についての報告例は少ない。そこで低湿度および高湿度条件に貯蔵したカキ果実について、果実の水分損失がエチレン生成、細胞壁の糖組成および果肉硬度におよぼす影響を調べた。

収穫適期 (11月16日) に収穫したカキ‘富有’果実を、低湿度条件 (20°C、60% RH) および高湿度条件 (20°C、 $\geq 98.5\%$ RH) に貯蔵し、9日目まで水分損失量、果皮とヘタの蒸散速度、ヘタの含水率、果実とヘタのエチレン生成量および果肉硬度の測定と、果肉の細胞壁分析を行った。ヘタのエチレン生成量は、果実から切り取ったヘタを5通りの湿度条件 (59.1、75.5、85.1、97.6、100%) に

貯蔵したものについて測定した。また低湿度条件の果実について、果皮とヘタの蒸散速度を測定した。

細胞壁多糖類の分析は、果肉から熱水可溶性ペクチン、EDTA可溶性ペクチン、ヘミセルロース、セルロースの各画分を順に採取し、全画分の糖含量分析を行った。また全画分を加水分解し、糖組成分析を行った。

低湿度条件に貯蔵した果実は、貯蔵直後から水分損失を起こし、9日目には収穫直後の93%まで重量が減少した。一方高湿度条件では9日目でも水分損失量は少なく、0.7%の重量減少に留まった。収穫直後のヘタの含水率は57%であったが、低湿度条件では9日目には15%まで減少した。一方高湿度条件では9日目でも54%までの減少に留まった。果皮の蒸散速度は貯蔵期間中約 $0.1\mu\text{mol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$ で一定していたが、ヘタは果皮に比べて常に蒸散量が多く、特に収穫直後に $2.0\mu\text{mol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$ と、最も高く、貯蔵3日目に $1.1\mu\text{mol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$ と半減し、その後は漸減した。

エチレン生成は、低湿度条件で貯蔵2日目から認められ、3日目に最高値の $0.12\mu\text{l}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{hr}^{-1}$ まで増加し、その後漸減した。一方、高湿度条件ではエチレン生成は認められなかった。ヘタのエチレン生成量は、貯蔵湿度が低くなるほど多かった。

収穫直後の果肉硬度は $12.0\text{kg}\cdot\text{cm}^{-2}$ であったが、低湿度条件で日数の経過と共に減少を続けた。8日目には $4.5\text{kg}\cdot\text{cm}^{-2}$ まで急激に低下し、手の触感による軟化が認められた。9日目にはさらに $3.2\text{kg}\cdot\text{cm}^{-2}$ まで低下した。高湿度条件では6日目から低下を始めたが、9日目でも $8.2\text{kg}\cdot\text{cm}^{-2}$ までの低下に留まり、果実軟化は認められなかった。このことより、カキ果実は水分損失を起こすことによりヘタからのエチレン生成がまず起こり、このエチレンの影響により果実軟化が引き起こされると考えられた。

細胞壁の糖含量を測定した結果、貯蔵期間中に顕著に減少したのはEDTA可溶性ペクチン画分とセルロース画分であり、特に低湿度条件で減少が著しかった。

細胞壁画分の糖組成を調べた結果、EDTA可溶性ペクチン画分中のアラビノース (Ara) およびガラクトース (Gal) 含量が、低湿度条件で果実硬度の低下に伴い顕著に減少した。

細胞壁の中性糖全量と果肉硬度の相関を求めた結果、有意な相関が認められたのは、EDTA可溶性ペクチンおよびセルロース画分のみであった。EDTA可溶性ペクチン中のAraおよびGal含量は特に強い相関が認められた。中性糖全量で果肉硬度との間に相関が認められなかった熱水可溶性ペクチンおよびヘミセルロース画分でも、AraおよびGal含量はそれぞれ果肉硬度との間に強い相関が認められた。以上により、Ara、Galおよびセルロース含量はカキの果肉細胞壁の健全性に大きく影響し、カキ果実の水分損失により、まずヘタからエチレン生成が引き起こされ、ペクチン中のアラビノースとガラクトース含量やセルロース含量の減少にもなる果実軟化の原因になると考えられた。

第2章 カキ‘富有’果実の水分損失が果実軟化と果肉細胞の分子量に与える影響

第3章

細胞壁の分子量は、果肉硬度に影響をおよぼす細胞壁の弾性および粘性と密接な関係がある。よって、細胞壁の分子量を分析することは果実の軟化過程における果肉硬度変化のメカニズムを明らかにする上で重要である。よって、カキ果実を低湿および高湿度条件に貯蔵し、細胞壁の分子量の変化を調べた。

第1章で使用した‘富有’果実を供試した。0、3、6および9日目に果肉硬度、果肉細胞壁画分の糖含量および分子量分布の分析を行った。分子量分布は、細胞壁画分をゲル濾過カラムに通し、30秒間隔でフラクションを採取し、それぞれのフラクションの糖含量を測定することによって求めた。

また、分子量分布から平均分子量を算出した。さらに各画分の平均分子量および糖含量と果肉硬度の相関を調べた。

細胞壁多糖類の分子量分布を調べた結果、いずれの画分も湿度条件による差は認められなかったが、平均分子量を算出すると、低湿度条件におけるEDTA可溶性ペクチン画分の全糖の平均分子量は、高湿度条件に比べて常に低い値で推移した。

果肉硬度と細胞壁の各画分の多糖類の平均分子量との相関を単回帰分析した結果、EDTA可溶性ペクチン画分の全糖の平均分子量のみが果肉硬度と相関があった ($r=0.593$)。しかし、全ての多糖類の平均分子量から重回帰分析により求めた果肉硬度の推測値は、実際に測定した果肉硬度との間に強い相関関係が認められた ($r=0.828$)。同じように、果肉硬度と細胞壁の各画分に含まれる多糖類の糖含量 ($\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ FW) の相関係数を単回帰分析で求めた結果、すべての多糖類の相関係数が、平均分子量と果肉硬度の間のそれらに比べて高い値であった。さらに、全ての多糖類の糖含量を用いて、重回帰分析により求めた果肉硬度の推測値は、実際に測定した果肉硬度との間にきわめて強い相関関係が認められた ($r=0.912$)。これらのことにより、カキ果実は水分損失によりペクチンの分子量が減少することにより軟化を起こすことが明らかになった。また、カキ果実の果肉硬度は、特定の細胞壁画分の単独的な変化でなく、すべての画分の変化により決定されており、その寄与は分子量よりも含量の方が高いと考えられた。

総合考察

水分損失が抑えられた高湿度条件の果実は、低湿度条件の果実に比べて果肉硬度の低下が緩やかで、軟化が抑制されたことから、水分損失は果実軟化に大きく影響していると考えられた。

‘富有’果実の蒸散速度は果皮に比べてヘタで著しかった。カキのヘタの気孔密度は葉の約半数あることが明らかになっており、果実の呼吸・蒸散作用にかなりの働きを持っていることが示唆されていることから、カキのヘタは水分を失いやすい器官であると考えられた。ヘタのエチレン生成量は、湿度が下がるほど多い傾向が認められ、果実のエチレン生成は、ヘタの含水率の低下が著しい低湿度条件で顕著だった。一方ヘタの水分損失が抑えられた高湿度条件の果実からはエチレンが検出されなかったことから、カキ果実は、ヘタの水分損失がエチレン生成の引き金になっていると考えられた。

‘富有’果実の果肉細胞壁を構成する多糖類の中で、果肉硬度の減少と共に顕著な減少が認められたのは、EDTA可溶性ペクチンおよびセルロース画分であった。EDTA可溶性ペクチン画分の平均分子量は、細胞壁画分の中で最も大きかった。高分子の多糖類ほど互いに絡み合うことにより摩擦が強くなり、粘性が増加することが明らかにされていることから、カキ果実の果肉細胞壁のうち、EDTA可溶性ペクチンは、果肉硬度への寄与率が最も大きいと考えられた。高湿度条件に貯蔵した果実が軟化を起こさなかったのは、EDTA可溶性ペクチンの平均分子量が低湿度条件に比べて常に高い値であったことによると考えられた。

果肉硬度は細胞壁中に存在する全てのAraおよびGal含量との間に相関が認められたことから、細胞壁中のAraとGalが果肉硬度に強い影響を与えていることが示唆され、細胞壁多糖類中に存在するAraとGalで構成された側鎖が主鎖から切り離されることによって軟化に至ると考えられた。またこれらの中性糖の減少には、 α -L-アラビノフラノシダーゼ、 β -ガラクトシダーゼおよびセルラーゼ等の細胞壁分解酵素が関与していると考えられた。これらの酵素はエチレンにより活性が促進されることが明らかになっている。

以上により、‘富有’果実は、水分損失によりエチレンを生成し、エチレンによりこれらの酵素活

性が上昇し、ペクチンのAraおよびGalの遊離によるペクチンの分子量の減少とセルロースの分解を起すことにより軟化が発生すると考えられた。また果肉硬度は細胞壁多糖類の平均分子量よりも含量と相関が高く、また単独の多糖類よりもすべての多糖類の平均分子量あるいは含量から求めた果肉硬度の推定値との間に、より強い相関が認められたことから、カキ果実の果肉硬度は、特定の細胞壁画分の単独的な変化でなく、すべての画分の変化により決定されており、その寄与は分子量よりも含量の方が高いと考えられた。