ニホンナシ‘新水’果皮の黒変に伴う生理的变化と温度 及び化学物質による制御¹

山崎利彦・鈴木勝征・山木昭平

果樹試験場 305 茨城県つくば市藤本

Physiological Changes with “Kokuhen” Injury on Fruit Skin of Japanese Pear
(*Pyrus serotina* Rehd.) and Protection by Temperature Control and Chemicals.

Toshihiko YAMAZAKI, Katsuyuki SUZUKI and Shohei YAMAKI

Fruit Tree Research Station, Tsukuba, Ibaraki 305

Summary

“Kokuhen” injury (a physiological disorder in which the fruit skin turns black) often appeared after harvesting Japanese pear (cultivar ‘Shinsui’ maturing in mid-summer. The purpose of this report is to make clear the relationship between “Kokuhen” injury and the storage temperature, to reduce this disorder by the application of chemicals, and to investigate biochemical aspects such as the alteration of polyphenol oxidase activity and membrane permeability with the disorder.

1. The symptom of injury did not appear when fruit harvested at optimum maturity were stored at a range of 1° to 10°C.

The symptom began to increase above 20°C, and appeared rapidly and severely at 30° to 35°C. The whole fruit skin turned black completely within 36 hrs of storage at 50°C. However, the symptom was restricted transiently at 40°C.

2. The injury was typically restricted by dipping fruit in 1,000 ppm IAA solution. A solution of 1,000 ppm GA₃, also, was effective to protect it.

3. There was no difference in optimum pH or Km value of polyphenoloxidase activity between injured fruit and healthy fruit. Moreover, the activity did not rise with increased injury.

4. The leakage of potassium from fruit slices increased gradually during incubation from 2 to 3 days before the appearance of injury, and rose more as the injury became worse. By compartment analysis (2, 11), the leakage rate of potassium from the vacuoles of fruit flesh was very slow at 1° to 10°C.

However, it rose rapidly above 30°C. This enhancement of rate paralleled the intensity of injury. The leakage rate of potassium from the vacuoles was also reduced transiently at 40°C, and the appearance of injury was restricted.

Thus, “Kokuhen” injury of Japanese pear is suggested to be caused by loss of cellular compartmentation, attributed to an increase in permeability of the tonoplast.

緒 言

ニホンナシでは収穫後に果皮が急激に黒褐色に変わる現象があり、一般に黒変と呼ばれている。黒変が発生した直後は変色部は果皮に限られているが、その後急激に果心部も変色し、次いで果肉が水浸状に淡黒色に変化する。

黒変を生じやすい品種は新水や早玉などの早生品種であるが、幸水では新水と異なり果皮全面の黒変ではなく、果点を中心に黒変が進むので、果点黒変と呼称されることもある。

黒変は果実の熟度と密接な関係があり、熟度が進むにつれて増大することが知られている(6, 20, 23)。また収穫後の温度とも関係があり、10°Cに保持した果実よりも20°C、あるいは室温に保持した果実のほうが黒変の

¹ 1986年7月28日 受理

発生が早い(14)．本研究では収穫後の果実温度との関係をさらに詳細に検討すると同時に薬剤による黒変の制御手段と黒変の発生機構について検討した．

実験材料及び方法

1. 果実の黒変症状の区分と温度処理

実験には埼玉県園芸試験場産の新水を用い、黒変は症状の程度によって次の5段階に分けた．指数1：果皮表面の1～2か所にわずかに黒変が認められる．指数2：黒変が果皮表面積の25%以下にみられる．指数3：25～50%にみられる．指数4：50～70%にみられる．指数5：75%以上にみられる(第1図)．また黒変の発生に及ぼす温度の影響を知るために、果色のカラーチャート(8, 22)の3.5から4.0の果実を収穫し、1℃及び5℃から50℃まで5℃間隔の条件下におき黒変の発生をみた．

2. 薬剤処理

黒変を防止する目的で、果実の老化と関連を有すると考えられる物質を中心に薬品を選択し、それらの溶液に収穫直後の果実を5秒間浸漬した．エチレングスの場合は12時間封入処理した．処理後 果実を 30℃ の恒温室に搬入し、黒変の発生を観察した．供試した薬品の種類と濃度は次の通りである．

(実験1)：エチレングス：10 $\mu\text{mol/l}$ 、ジヘレリン酸(GA_3)：1,000 ppm、インドール酢酸(IAA)：1,000 ppm、コハク酸-2-2-ジメチルヒドラジド(SADH)：2,000 ppm

(実験2)：(2-クロロエチル)リン酸(SEPA)：100 ppm、硝酸銀：200 ppm、インドール酢酸(IAA)：100, 1,000 ppm

Fig. 1. Intensity of "Kokuhen" injury appearing on the surface of Japanese pear Shinsui' fruit. The intensity was classified the following degrees based on the per cent of affected area to the whole surface of fruit, index 0, control; 1, slightly; 2, 25%; 3, 25~50%; 4, 50~75%; 5, 75~100%.

3. ポリフェノールオキシダーゼ活性の測定

黒変の発生とポリフェノールオキシダーゼ活性との関係を知るため、果実の赤道面から幅 10 mm、厚さ 1.5 mm の果皮切片を採取し、切片 10 g を細断し 0.1% アスコルビン酸を含む pH 6.2 の 0.1 M リン酸緩衝液 20 ml を加え、さらに 30 mM のメルカプトエタノール及び 2 g のポリクラー AT を加えて磨砕した．ガーゼでろ過し、ろ液を 500×g で遠心分離し沈殿はろ過の際の残さを加えてフラクションⅠとし、残さのポリフェノールオキシダーゼ活性を測定した．上澄液は 10,000×g で遠心分離し、沈殿はフラクションⅡとし、上澄液はフラクションⅢとしてそれぞれのフラクションの活性を測定した．

ポリフェノールオキシダーゼ活性の測定には酸素電極を用い、反応温度は 30℃、緩衝液は 0.1 M クエン酸-リン酸カリ、基質にはカテキンを用いた．

4. 膜の透過性の測定

老化に伴うコンパートメンテーションの変化を知るために膜の透過性の変化を測定した．膜の透過性は膜からの K^+ の溶出を測定することによって求めた． K^+ の溶出実験にはポリフェノールオキシダーゼ活性の測定と同様に、果実の赤道面から果皮を厚さ 1.5 mm に切り取り、正確に 1 cm^2 に細断し、20 切片を実験に供した．切片は 50 ml の 5% 蔗糖液に浮かべ、30℃ に設定した恒温槽中で振とうし、蔗糖液中に溶出される K^+ を原子吸光分光光度計で測定した． K^+ の溶出は純水で多く、蔗糖液濃度が増すにつれて減少した(第2図)．本実験では K^+ を検出しやすくするために、すべて 5% 蔗糖液

Fig. 2. Osmotic dependency of potassium leakage from slices of Japanese pear fruit. The slices were incubated in the medium containing 0, 5 and 10% sucrose at 30℃.

Fig. 3. Temperature dependency of the appearance of "Kokuhen" injury. Fruits were harvested at 20th August (matured stage).

を用いて溶出実験を行った。

結 果

1. 黒変の発生に及ぼす温度の影響

1°C, 5°C 及び 10°C では20日後でも黒変は全く認められなかった。15°C では17日後からわずかに発生がみられたが黒変の進行は遅く、20日後でも黒変の程度は極めて軽かった。20°C では15日後から黒変が生じたが進行はそれほど速くなく、25°C では11~12日後から黒変が顕著となり、黒変の程度は15日後に4に達した。30°C 及び 35°C では黒変は5~6日後に始まり、数日後には全部の果実が黒変した。しかし、40°C では黒変の発生は著しく抑えられ、5日後にわずかに黒変が認められたが、症状は進行しなかった。また、50°C の条件下では36時間で完全に黒変した(第3図)。

このように、35°C までの条件下では温度が上昇するにつれて黒変は速やかに現れ、症状の程度も激しかったが、40°C ではほとんど黒変は生じなかった。しかし、この条件下におかれた果実は健全であったわけではなく、果実は光沢を失って弾力性を帯び、わずかにしわを生じ、食味は極めて劣っていた。

2. 黒変の発生に及ぼす薬剤の効果

実験1の結果では(第4図-a)、無処理区の黒変は収穫5日後から現れ、その後急激に症状は激しくなり8日後には果実の全面に黒変が拡大した。エチレングスで12時間処理した果実の黒変の進行は、初期においては無処理よりいくぶん速かったが、7日後から無処理区と同程度となった。これに対して IAA の 1,000 ppm に浸漬処理した果実では、黒変の発生はほとんど認められず、ほぼ完全に発生を阻止することができた。GA₃ 処理も効果が認められ、収穫9日後における黒変の程度は指数1

にすぎなかった。また、SADH の効果はほとんど認められなかった。実験2の結果によると(第4図-b)、IAA 1,000 ppm では、黒変抑制効果は極めて顕著であったが、100 ppm の効果は非常に劣った。CEPA の効果は実験1の場合と同様に初期には黒変を促進する傾向が認められたが最終的には無処理と差がなく、硝酸銀の効果はほとんど認められなかった。

3. 果実からのエチレンの発生と温度との関係

黒変の発生が 40°C で抑制されことから、黒変の発生とエチレン生成との関係を検討した。第5図は果実を 30°C から 50°C に遭遇させて、果実からのエチレン発生量を測定したものである。その結果によると、30°C から温度が高まるにつれてエチレンの発生は少なくなり、特に 40°C におけるエチレンの発生が抑制された。50°C においた果実は黒変が急激に進み、果肉が煮沸された状態となったため測定を中断した。

4. 黒変の発生とポリフェノールオキシダーゼとの関係

果実が黒変した場合にポリフェノールオキシダーゼ活性が質的、量的に変化するかどうか測定した。

1) ポリフェノールオキシダーゼの至適 pH 及び K_m 値と黒変の関係

フラクシオン I (残さ+沈殿) とフラクシオン II (沈殿) に含まれる本酵素活性の至適 pH は 3.3 であり健全果と黒変果による至適 pH の差は認められなかった(第6図)。またフラクシオン III (上澄液) に含まれる本酵素の至適 pH についても健全果と黒変果の差は認められなかった。

基質にカテキンを用いた場合の K_m 値は 15.4~28.6 で平均して約 20mM であり、フラクシオンによる差は

Fig. 4. Suppression of the appearance of "Kokuhen" injury by application of plant hormones and the other chemicals. a: Fruit was stored at 30°C after dipt for 5 sec in IAA (1,000 ppm), GA₃ (1,000 ppm) and SADH (2,000 ppm) or sealed for 12 hrs in C₂H₄ (10 μ M/l). b: Fruit was stored at 30°C after dipt in IAA (100, 1,000 ppm), AgNO₃ (200 ppm) and CEPA (100 ppm). Fruits were harvested at 20th August (matured stage).

認められなかった。クロロゲン酸を基質に用いた場合の K_m 値は約 4.5mM でカテキンの約 1/5 であり、フラクションによる差は認められなかった。

2) 黒変の発生とポリフェノールオキシダーゼ活性との関係

収穫した果実を 1,000 ppm の IAA に浸漬して黒変の発生を抑えた健全果と、無処理の果実を 31°C の条件下におき、カテキンを基質として黒変に伴う本酵素活性

Fig. 5. Temperature dependency of ethylene evolution. Fruit was sealed in a vessel for 6hrs to assay C₂H₄ evolved after stored at various temperatures. Fruits were harvested at 20th August (matured stage).

Fig. 6. pH dependency of polyphenoloxidase activity in healthy and "Kokuhen" injury fruit. Fraction I, II, and III express 500 $\times$ g pellet of the homogenate, 500 to 10,000 $\times$ g pellet and the supernatant, respectively. The extraction and assay methods of enzyme were described in materials and methods. Healthy fruit was dipt in 1,000 ppm IAA to protect the appearance of "Kokuhen."

の変化を比較した (第7図)。

無処理の果実は3日後から黒変が発生し、6日後には果実全面に黒変が拡大した。しかし、IAAで処理した

Fig. 7. Change of polyphenoloxidase activity with the appearance of "Kokuhen" injury.

Fig. 8. Potassium leakage from sliced tissues of fruit with the appearance of "Kokuhen" injury. Slices were prepared from fruit of 4 days and 2 days before injury, and from injured fruit (index 2 and 4). They were incubated in the medium containing 5% sucrose at 30°C.

果実(健全果)は6日後までは黒変が認められなかった。

ポリフェノールオキシダーゼの全活性は、4日後に一時的に活性が高まった以外は全期間を通じてほぼ等しく、健全果と黒変果との間に活性の差は認められなかった。また4日後の活性増加は上澄液フラクションの活性増加によるものであり、黒変果も健全果もともに増加した。

以上のポリフェノールオキシダーゼに関する結果を総合すると、至適 pH や K_m 値からみた質的变化において健全果と黒変果の間に差は認められず、最大活性も黒

Fig. 9. Difference of potassium leakage among sliced tissues of fruit stored at various temperatures. a: Fruit was stored at 1, 5, 10, 15, 20, or 25°C for 10 days. b: Fruit was stored at 1, 5, 10, 15, 20, or 25°C for 14 days. Then, slices were prepared and incubated in the same medium as Fig. 8. The appearance and intensity of "Kokuhen" injury were shown in Fig. 3.

変によって変化しなかった。

5. 黒変の程度と K^+ の溶出との関係

人為的に黒変を発生させた果実と発生前の果実を用いて反応液中への K^+ の溶出量を測定した結果を第8図に示した。 K^+ の溶出は黒変が発生する4日前の果実に最も少なく、黒変が発生する2日前から増大し、黒変の指数4の状態では K^+ の溶出は著しく増大した。

果実を 1, 5, 10, 15, 20, 25°C の条件下に放置し、黒変の発生に伴う K^+ の溶出量をみた。25°C に置かれた果実は12日後から黒変が発生し、18日後には果実のほとんど全面が黒変した。20°C の果実は16日後に黒変の発生が見られ、15°C では17日後にわずかに黒変が観察されただけであった。これに対し1~10°C では18日後でも黒変は発生しなかった。 K^+ の溶出は10日後と14日後について示した(第9図-a, b)。10日後はどの温度処理でも黒変は発生していなかったが、25°C は黒変発生の

2日前に相当し、20℃は6日前、15℃は7日前に相当していた。25~15℃における果実切片からの K^+ の溶出は、黒変が発生しなかった1~10℃の果実に比べて多く、黒変の発生に先だて K^+ の溶出が増大することが明らかになった(第9図-a)。この傾向は14日後の K^+ 溶出ではさらに顕著に観察され、黒変が発生した25℃区の溶出は1~10℃区の2倍以上に達し、黒変が発生する直前(2~3日前)の15、20℃区でも顕著な増加が認められた。1~10℃における K^+ の溶出は果実の老化に伴って、10日後の溶出より増加はしたが、15~25℃区に比べれば明らかに少なかった(第9図-b)。

以上のことから、果実切片から反応液中への K^+ の溶出量は黒変発生の2~3日前から急激に増大し、黒変の発生に伴ってさらに顕著に増大することが明らかになった。

6. K^+ 溶出量と反応温度との関係

K^+ 溶出の温度依存性を明らかにするため、まだ黒変が発生していない健全果から切片を採取し、反応温度を1℃及び5℃から50℃まで5℃間隔で変化させて K^+ の溶出量を測定した。第10図の結果から、 K^+ の溶出量は1~25℃までは温度の上昇につれてわずかに増大しただけであり、生体によってよく制御されていたが、30、35℃では温度の上昇に従ってしだいに増大した。40℃では溶出量の停滞がみられたが、45、50℃で再び溶出量は急増した。この図からは K^+ の溶出速度を明らかにすることはできないため、さらに速度論的な解析を試みた。

第11図はCram(2)、Macklonら(11)の解析方法によ

Fig. 10. Temperature dependency of potassium leakage from sliced tissues of fruit. Slices were prepared from healthy fruit, and incubated in the same medium as Fig. 8.

Fig. 11. Time course analysis of potassium content remained in sliced tissues. Each plot was expressed as a logarithm of the value subtracting each amount plotted in Fig. 10 from the original potassium amount in slices. This analysis method, so called compartment analysis, was shown in detail in the previous papers(2, 11).

って組織内の各コンパートメントからの K^+ 溶出をみた結果である。それによれば、1~10℃の30分以降の K^+ の溶出速度は極めて遅く、15~25℃ではやや増加したが1℃から25℃までの溶出速度の差は比較的小さく、30℃以上で急激な増加が見られた。しかし、40℃では溶出速度は特異的に低下した。

考 察

収穫後の温度と黒変の発生をみた結果では、1~10℃においた果実は20日後でも黒変は発生せず、15℃以上では温度の上昇につれて発生は早まり、とくに30~35℃では黒変は5~6日後に始まり、症状も激しかった。

40℃の温度に遭遇させた場合は黒変の発生はほぼ完全に抑制された。ある高温条件下で果実の追熟が抑制されることは多くの果実で知られており、セイヨウナシの場合、40℃ではエチレンの発生は全く認められなくなり(7)、追熟も阻害され、呼吸のクライマクテリックライズがみられなくなると報告されている(13)。これと同じく追熟に障害を引き起こす温度はスモモ、モモなどの核果類では26.5~30℃であり(9, 10, 12, 16, 24, 26)、トマトでは33℃であることが知られている(15)。また、バナナ(25)やアボカド(3)などの熱帯果樹では40℃で追

熟が阻害されると報告されている。

ここにあげたすべての果実で共通していることは、追熟障害をひき起す温度条件下では、エチレンの生成が著しく阻害され、呼吸のクライマクテリックライズが消失することであり、外部から与えたエチレンに対する感受性も低下する。このようなことから、障害温度に遭遇した果実では何らかの代謝異常が起り、ごく初期の段階ではこの代謝異常は可逆的であるが、その後酵素の変性が生ずるものとみられている(21)。

黒変に対する薬剤の効果を検討した結果では、1,000 ppm のような高濃度の IAA の効果が顕著であり、高濃度の GA_3 (1,000 ppm) も黒変の抑制に有効であった。Frenkel(5) は樹上のセイヨウナシの成熟に対する IAA と 2,4-D の効果を検討し、これらオーキシンの濃度を増すにつれて成熟は阻害され、呼吸のクライマクテリックライズが阻害されたと述べ、オーキシンによってエチレンの生成は促進されたがオーキシンの阻害効果はエチレンの効果を上廻ったとしている。Sacher(19) は成熟に対する植物ホルモンの効果を総括してオーキシンはエチレンや ABA の効果を妨げ細胞を幼若期の状態に維持する老化遅延効果が顕著であるとしている。また GA_3 も個々に、あるいはオーキシンと連携して ABA と拮抗的に作用し、老化遅延の方向に働くと述べている。

黒変の発生にはポリフェノールオキシダーゼ活性の増大、あるいは同酵素の質的な変化も関与していると考えられたので、その可能性を検討した結果、黒変が現われる前後の各フラクションのポリフェノールオキシダーゼ活性は健全果と差が認められなかった。またその質的变化は至適 pH と基質の K_m 値を用いて比較したが、黒変果と健全果の間に差は認められなかった。

以上の考察から新水の黒変は樹上における成熟や収穫後の追熟が進むにつれて速やかに現れることは明らかであるが、その原因はポリフェノールオキシダーゼの質的な変化や量的な変化によるものではなく、果皮付近の細胞の老化がより速く進むことによってコンパートメンテーションが失われる結果ではないかと推測される。

コンパートメンテーションに関するこの推測を実証するために、膜からの K^+ の溶出を測定した。その結果、溶出量は黒変が発生する 2～3 日前から急激に増大し、黒変が発生した果実では健全果の約 2 倍に達した。膜の透過性の増大にともない、ポリフェノールオキシダーゼと基質の接触が生じ、黒変が発生することは当然考えられ、Sacher(18) は細胞膜の調節機能が失われることによって、液胞内に隔離されていたフェノール化合物が細胞質に存在する酵素と接触してキノンが形成され、さら

に重合する可能性について述べている。

黒変はまた温度が高いほど発生が早く、かつ症状も激しいことから、健全果の切片を用いて、1°C から 50°C までの反応温度と K^+ の溶出量との関係をみた。切片からの K^+ や糖の溶出速度を知る手段として切片中の残量の対数と溶出時間を用いて解析するコンパートメントアナリシス法が用いられてきている。このような解析法では K^+ や糖の溶出は 3 相に分れることが知られており(1, 4, 11, 17)、第 I 相は切断されたり傷つけられた細胞、及び細胞間隙から溶出されるもので、3～5 分のインキュベーションでほとんどが溶出される。第 II 相は原形質から、第 III 相は液胞からの溶出とされている。第 10 図の結果では初期の測定時間を 5 分間隔としたために、第 I 相と第 II 相を区別することはできなかった。今までの研究によると、細胞間隙、細胞質からの溶出に要する時間はエントウの上胚軸を用いた例では約 10 分であり(11)、ビートの切片では約 20 分とみられている(1)。また著者らのニホンナシ果実での実験では約 20 分であった(未発表)。したがって、第 11 図の 30 分以降の K^+ 溶出速度は第 III 相の液胞からの溶出速度を示すものとみることができる。

この第 III 相の K^+ 溶出から溶出速度を求めたところ、1～25°C までは温度が上昇しても溶出速度はそれほど増加しなかったが、30°C 以上では温度の上昇につれて急激に増大した。すなわち、25°C 以下の温度では膜の透過性は比較的長時間にわたって、生体的によく制御されていたが、30°C 以上の温度では生体的な制御機構はうすれて、 K^+ の溶出が高くなったものとみられる。

黒変は、1～15°C ではほとんど発生せず、25°C では 12 日後に発生が見られたのに対し、30°C 及び 35°C では発生は極めて速く、5～6 日後には発生した。また 40°C ではほとんど発生せず、50°C では 1 日で果実は黒変した。これらのことから、黒変は各温度における K^+ の溶出速度にほぼ比例して発生した。また、黒変の発生が特異的に停止した 40°C では K^+ の溶出速度もまた特異的に低下した。

以上のことから、ニホンナシの黒変は液胞などの膜の透過性の増大によって引き起こされるコンパートメンテーションの喪失と密接な関係があると結論することができよう。

黒変の防止対策としては、薬剤処理では 1,000 ppm の IAA が最も有効であり、1,000 ppm の GA_3 も有効ではあったが、濃度が高すぎて実用は困難であろう。また 100 ppm の IAA では効果が低すぎて実用には供し得ない。したがって、黒変を防止するためには完熟 4～

5日前のカラーチャート3~4で収穫し、収穫後は15°C以下の低温条件に置くことが必要であろう。実際面では市場への出荷過程で高温に遭遇させないことが特に重要と考えられる。

摘 要

盛夏に収穫されるニホンナシ‘新水’の果実には収穫後にしばしば黒変現象がみられる。この研究では黒変発生と収穫後の温度との関係、及び薬剤処理の効果を明らかにすると同時に、黒変に伴う果実のポリフェノールオキシダーゼ活性、膜の透過性の変化を検討し黒変の発生機構について考察した。

1. 収穫後の果実を1~50°Cの温度に置いて黒変の発生をみたところ、1~10°Cでは黒変は発生せず、20°Cから増加しはじめ30°C及び35°Cでは黒変は極めて速やかに現れ、症状も激しかった。しかし40°Cでは黒変は抑えられ、50°Cでは36時間以内に果実の全面が黒変した。

2. 黒変は1,000 ppmのIAAによって顕著に抑制された。また、1,000 ppm GA₃も黒変の抑制に有効であった。

3. ポリフェノールオキシダーゼの至適pH及びK_m値は黒変果と健全果で差がなく、酵素活性も黒変によって高まるようなことはなかった。

4. 果実に黒変が発生する2~3日前から、果実切片からK⁺の溶出量は急激に増加し、黒変の発生に伴ってさらに増大した。

膜からのK⁺の溶出についてコンパートメントアナリシスの手法(2,11)によって解析した結果、果肉細胞の液胞からのK⁺の溶出速度は、1~10°Cでは極めて遅く、30°C以上で急激に増加した。また黒変がほとんど発生しなかった40°Cでは、K⁺の溶出速度も特異的に低下した。

以上のことから、ニホンナシの黒変は液胞の透過性増大等によるコンパートメンテーションの喪失によって引き起こされることが示唆された。

謝 辞 本研究を実施するに当たり、大友忠三氏(現埼玉県首席専門技術員)、向井武勇氏(現埼玉県経営普及課)からは供試果実の提供をしていただき、また、水戸部満氏(埼玉園試)、森田彰氏(福岡農総試)、野方俊秀氏(佐賀果試)の各氏には依頼研究員として調査に御協力をいただいた。あわせて厚く感謝の意を表す。

また、前栽培部長の千葉勉氏からは終始並々ならぬ御援助と激励をいただいた。特に記して謝意を表す。

引用文献

1. BARBIER, H., F. NALIN and J. GUERN. 1982. Freezing injury in sugar beet root cells: Sucrose leakage and modifications of tonoplast properties. *Plant Science Letters* 26: 75—81.
2. CRAM, W. J. 1968. Compartmentation and exchange of chloride in carrot root tissue. *Biochim. Biophys. Acta* 163: 339—353.
3. EAKS, I. L. 1978. Ripening, and ethylene production of Hass avocado fruits at 20° to 40°C. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 103: 567—578.
4. EHWALD, R., D. KOWALLICK, A. B. MESHCHERYAKOV and V. P. KHOLODOVA. 1980. Sucrose leakage from isolated parenchyma of sugar beet roots. *J. Exp. Bot.* 31: 607—620.
5. FRENKEL, C. and R. DYCK. 1973. Auxin inhibition of ripening in Bartlett pears. *Plant Physiol.* 51: 6—9.
6. 浜地文雄・森田 彰・清水博之・栗山隆明. 1983. 西南暖地早生ナシの流通技術改善に関する研究. 第3報果色による収穫適期の判定. 福岡農総試研報. B-2: 11—19.
7. HANSEN, E. 1942. Quantitative study of ethylene production in relation to respiration of pears. *Bot. Gaz.* 103: 543—558.
8. KAJIURA, I., K. SUZUKI and T. YAMAZAKI. 1975. Color chart for Japanese pear (*Pyrus serotina* var. *culta* REHDER). *HortScience* 10: 257—258.
9. 加藤公道・佐藤良二. 1985. 異なる温度での白肉桃の追熟生理. 園学雑. 44(1): 89—97.
10. 小宮山義弘・原川 守・辻 政雄. 1979. 高温貯蔵(30°C)がスモモの品質に及ぼす影響. 食品工誌. 26(9): 371—374.
11. MACKLON, A. E. S. and N. HIGINBOTHAM. 1970. Active and passive transport of potassium in cells of excised pea epicotyls. *Plant Physiol.* 45: 133—138.
12. 眞部正敏・樽谷隆之. 1977. 収穫後の高温追熟がモモの生果及び缶詰製品の肉質に及ぼす影響. 食品工誌. 24(8): 404—408.
13. MAXIE, E. C., F. G. MITCHELL, N. F. SOMMER, R. G. SNYDER and H. L. RAE. 1974. Effect of elevated temperature on ripening of Bartlett pear, *Pyrus communis* L. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 99: 344—349.
14. 森田 彰・浜地文雄・姫野周二・栗山隆明. 1983. 西南暖地早生ナシ流通技術改善に関する研究. 第4報輸送温度について. 福岡農総試研報. B-2: 21—24.
15. 小倉長雄・中川弘毅・竹花秀太郎. 1975. 緑白熟期トマト果実の短期高温貯蔵がその後の室温貯蔵性に及ぼす影響について. 農化. 49(4): 189—196.

16. PENTZER, W. T. and F. W. ALLEN. 1944. Ripening and breakdown of plum as influenced by storage temperature. *Proc. Amer. Soc. Hort. Sci.* 44 : 148—156.
17. PITMAN, M. G. 1963. The determination of the salt relations of the cytoplasmic phase in cells of beet root tissue. *Aust. J. Biol. Sci.* 16 : 647—668.
18. SACHER, J. A. 1962. Relations between changes in membrane permeability and the climacteric in banana and avocado. *Nature* 195 : 577—578.
19. SACHER, J. A. 1973. Senescence and post-harvest physiology. *Annu. Rev. Plant Physiol.* 24 : 197—224.
20. 柴田精治・赤井昭雄・黒上九三郎・中川正視. 1978. ニホンナシ「新水」の栽培特性と果実の日持ちに関する研究. 徳島果試研報. 7 : 7—22.
21. SZYBALSKI, W. 1967. Effect of elevated temperature on DNA and on some polynucleotides : Denaturation, renaturation and cleavage of glycosidic and phosphate ester bonds. p. 73—113. In : A. H. ROSE(ed.) *Thermobiology*. Academic Press. New York.
22. 山崎利彦・鈴木勝征. 1980. 果実の成熟度判定のためのカラーチャートの作成とその利用に関する研究 (第1報). 果樹試報 A. 7 : 19—44.
23. 山崎利彦・鈴木勝征. 1982. ニホンナシの果色と黒変との関係. 農水省果樹試験果実及び葉のカラーチャートの開発と利用方法に関する研究集録. 146—147.
24. 山口正己・京谷英寿. 1986. スモモ果実追熟特性の品種間差異, とくに高温条件下 (30°C) での日持ち特性について. 果樹試報 A. 13 : 1—12.
25. 吉岡博人・上田悦範・緒方邦安. 1978. パナナ果実の追熟に及ぼす高温の影響. 食品工誌. 25(11) : 607—611.
26. UOTA, M. 1955. Effect of temperature and ethylene on evolution of carbon dioxide, ethylene, and other oxidizable volatiles from three varieties of plum. *Proc. Amer. Soc. Hort. Sci.* 65 : 231—243.