

# マンゴー ‘アーウィン’ 果実の成熟による数種の酵素活性の変化

上田 茂登子\*・志水 恒介\*\*・佐々木 勝昭\*\*・渡辺 克美\*・宇都宮 直樹\*\*,\*\*

\*近畿大学農学部食品栄養学科

\*\*近畿大学附属農場

\*\*\*近畿大学農学部農業生産科学科

## Changes in some enzyme activity of ‘Irwin’ mango fruit during maturation

Motoko UEDA\*, Kohsuke SHIMIZU\*\*, Katsuaki SASAKI\*\*,

Katsumi WATANABE\* and Naoki UTSUNOMIYA\*\*,\*\*

\* *Department of Food and Nutrition, Faculty of Agriculture, Kinki University,*

*3327-204, Nakamachi, Nara-shi, Nara 631-8505, Japan*

\*\* *The Experimental Farm, Kinki University, 2355-2, Yuasa, Yuasa-cho, Arita-gun, Wakayama 643-0004, Japan*

\*\*\* *Department of Agricultural, Science, and Technology, Faculty of Agriculture, Kinki University,*

*3327-204, Nakamachi, Nara-shi, Nara 631-8505, Japan*

### Synopsis

Mango fruit ‘Irwin’ produced on 13-year-old trees cultivated in a plastic greenhouse were used for this study. Fruit were harvested approximately 10 (color stage: green), 12 (color stage: purple), 14 (color stage: purplish red) and 16 (color stage: red) weeks after flowering. Variations in the activities of some enzymes related to the degradation of starch and pectins were also examined.

Respiratory rate, pectin esterase activities, polygalacturonase activities and  $\alpha$ - $\beta$  amylase activities increased during maturation of ‘Irwin’ mango fruit. These values increased markedly when the fruit turned purplish red.

Changes in the activities of polygalacturonase,  $\beta$ -D-galactosidase and  $\alpha$ -amylase during maturation appeared to correlate with a marked decrease in the firmness of ‘Irwin’ mango fruit.

Keywords: ‘Irwin’ mango fruit, maturation of mango, polygalacturonase,  $\alpha$ -amylase,  $\beta$ -D-galactosidase

### 1. はじめに

果実の軟化は収穫後の品質や鮮度の低下の大きな要因であり、果実の軟化機構を解明し、軟化を引き起こす酵素を特定することは果実の流通・貯蔵技術の開発に不可欠である。しかし、一部の果実の軟化機構に関しての報告はあるが、マンゴーに関しては少ない。中でも日本で最も多く栽培されている‘アーウィン’に関しての報告が少ないため、果肉の軟化機構の詳細についてはまだ不明な点が多い。

そこで本研究は湯浅農場で栽培された‘アーウィン’果実の成熟における果実特性としての呼

吸量、さらに果肉硬度とそれに関与すると考えられるペクチンや多糖類、またそれを分解する数種の酵素活性（ペクチンエステラーゼ活性、ポリガラクトシドナーゼ活性、セルラーゼ活性、 $\alpha$ -L-アラビノフラノシダーゼ活性、 $\beta$ -D-ガラクトシダーゼ活性、 $\alpha$ - $\beta$ -アミラーゼ活性）について検討を行った。

### 2. 方法

#### 実験材料

本学湯浅農場植栽13年生樹のマンゴー‘アーウィン’果実を用いた。満開期が4月下旬の花穂

を選び、果実の果皮色が、緑色果（満開後約10週）、紫色果（満開後約12週）、赤紫色果（満開後約14週）、赤色果（満開後約16週）の各6～7果実を同一のビニールハウスから採取した。供試果実は計20個とし、果実の測定部位は赤道部を用いた。

#### 試料調製

アセトンパウダーの調製：果肉45gに冷アセトン（-20℃）450mlを加え、ホモジナイザーで2分間磨砕した後吸引ろ過した。残渣を過剰の冷アセトン（試料の5～10倍）で洗浄し脱色させ、吸引ろ過後冷エチルエーテル（試料の3～5倍）で再び洗浄した。室温下で24時間減圧乾燥させ、調製した。アセトンパウダーは実験に供するまで-20℃下で保存した。

AIS (alcohol insoluble solid) の調製：果実30gを磨砕し、120mlの99%エタノールを加え、湯浴中で15分間加熱抽出後、ガラスフィルター(17G-3)でろ過した。さらに残渣を80%熱エタノールで数回繰り返し洗浄し、ガラスフィルター上にエチルエーテルで脱色されるまで洗浄し、風乾後恒量になるまで、減圧乾燥させ、調製した。

粗酵素液の調製（果実軟化酵素活性測定用）：果実軟化酵素活性とデンプン分解酵素活性の測定はアセトンパウダー0.5gにそれぞれ0.1M トリス塩酸緩衝液（pH7.5）15ml、0.02M リン酸緩衝液（pH6.9）25mlを加え、4℃下で一晩攪拌しながら抽出した。遠心分離（12,000 rpm、15分間、4℃）後、上澄液を粗酵素液とした。

#### 果実の軟化

呼吸量（CO<sub>2</sub>排出量）の測定：ヘッドスペース法で行った。ゴム栓のついた一定容器に1果実を入れ密封し、25℃で1時間放置後、注射器で1.0mlを取りガスクロマトグラフィー（カラム：担体はシリカゲルを用いたステンレス製（3mmφ×1m）、キャリアーガス：He、流速40ml/min、熱伝導型検出器）で分析を行った。次に既知濃度のCO<sub>2</sub>とのピーク面積の比で容器の空隙量（容器から試料の体積を引いたもの）をもとに、果実1kgが1時間に排出したCO<sub>2</sub>量を計算した。単位はmg/kg・hとした。

果肉硬度の測定：赤道部の果肉を1cm角に切

断し、測定面は皮側からレオナー（山電製RE-33005）を用いて破断試験を行った。測定には1mm幅のくさび型P-49プランジャーを用い、測定速度は1mm/秒、測定比率は99%とした。1果実当たりそれぞれ5回ずつ測定を行った。

#### 細胞壁構成成分含量の測定：

ペクチンの分別定量 AIS 100mgに蒸留水20mlを加え、20℃で一夜抽出後ガラスフィルターでろ過をした。残渣を蒸留水で洗浄し、洗浄液とろ液を合わせ100mlに定容し、水溶性画分とした。残渣は4%ヘキサメタリン酸ナトリウムを40ml加え、20℃で2時間抽出した。抽出後ろ過し、残渣を蒸留水で洗浄し、洗浄液と合わせ100mlに定容しヘキサメタリン酸ナトリウム可溶性画分とした。残渣はさらに0.05N塩酸を40ml加え、85℃で2時間抽出した。ろ過後蒸留水で洗浄し、洗浄液とろ液を合わせ100mlに定容し塩酸可溶性画分とした。このヘキサメタリン酸ナトリウム可溶性画分と塩酸可溶性画分を合わせたものを不溶性ペクチン含量とした。抽出液はカルバゾール硫酸法で、ウロン酸の測定を行った。

Southgateの多糖類分別定量法 AIS 200～300mgに蒸留水4mlを加え沸騰水浴中で10分間加熱し、試料中のデンプンを糊化させた。冷却後、2M酢酸緩衝液（pH4.6）0.2mlと1%グルコアミラーゼ溶液を加え、37℃で18時間インキュベートしてデンプンを分解させた。これにエタノール20mlを加え、10分間放置後、遠心分離（3,000rpm、10分間）した。上澄液は100ml容量メスフラスコに移し、残渣はさらに80%エタノール10mlを加えて、洗浄し遠心分離した。この時の上澄液は先の上澄液と合わせ、蒸留水で定容した。その後、Somogyi-Nelson法で測定を行った。

酵素処理後の遠心管中の残渣は、沸騰水中で加熱し、エタノールをとばした。次に遠心分離（3,000rpm、10分間）して、上澄液を分離した。この熱水抽出は繰り返し行い、上澄液を集めた。集めた熱水可溶性画分にエタノールを加え、沈殿を生成させ、この残渣に1N H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 10mlを加え、ガラス冷却管を付け沸騰湯浴中に置いた。加水分解後蒸留水で希釈して定容し、ヘキソース、ペントース、ウロン酸の測定に供した。この画分を水溶性の非セルロース多糖類とした。

熱水抽出後の残渣は、1N H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 10 ml を加えて懸濁させ、ガラス冷却器を付け沸騰浴中で2時間半加熱した。加熱後、冷却し等量のエタノールを加え、遠心分離した。上澄液はメスフラスコ(100 ml 容)に移し、残渣はさらに50%エタノールで洗浄し遠心分離した。この洗浄は繰り返し行い、洗液を同じメスフラスコに集め、蒸留水で定容した後、ヘキソース、ペントース、ウロン酸の測定に供した。この希酸可溶性画分を水不溶性の非セルロース多糖類(主にヘミセルロース)とした。

この水溶性、水不溶性の非セルロース多糖類から先に求められた不溶性ペクチン含量を除いたものをヘミセルロース含量とした。

希酸可溶性画分を除いた後の遠心管中の残渣はエタノールで1回、エチルエーテルで2回洗浄し、風乾した後乾燥器に移し、95～100℃で10分間乾燥して溶媒を除去した。次に乾燥した残渣に72%冷1N H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 10 ml を加え、0～4℃に少なくとも24時間放置した。放置後少量の蒸留水を加え速やかに攪拌し、吸引ろ過し、蒸留水で遠心管と残渣を洗い100 ml に定容した。この1N H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 抽出液について、ヘキソース、ペントースの測定を行った。この画分をセルロース含量とした。

なお、ヘキソースはアンスロン硫酸法、ペントースはBailのオルシン法で測定した。

### 果実軟化酵素の測定：

ペクチンエステラーゼ活性 1% citrus pectin を含む0.05M酢酸緩衝液(pH5.0) 5 ml をあらかじめ40℃に保ち、粗酵素液0.5 ml を加え、1時間反応させた後、沸騰水中で10分間加熱し、冷却後、pHメーターを用いて0.02M水酸化ナトリウム溶液でpH8.0まで滴定した。別に沸騰水中で10分間加熱失活した粗酵素液を使用し対照とした。酵素活性は1分間に生成するカルボキシル基の $\mu$  mol 数を果肉100 g 当たりとして算出した。

ポリガラクトuronase活性 0.2Mリン酸二ナトリウム-クエン酸緩衝液(pH5.0) 2 ml、粗酵素液0.01 ml、1%ポリガラクトuron酸0.1 ml、蒸留水0.1 ml を混合し、45℃で5分間インキュベートした。その後、4% NaOH で中和し、Somogyi-Nelson法を行った。酵素活性はガラクトuron酸検量線から定量し、1分間に遊離する

ガラクトuron酸の $\mu$  mol 数を果肉100 g 当たりとして算出した。

セルラーゼ活性 0.5%カルボキシメチルセルロースナトリウム塩溶液1 ml を試験管に取り、30℃恒温水槽につけた。5分後に30℃に保った粗酵素液0.03 ml を加え、30℃で30分間インキュベートした。その後、Somogyi-Nelson法を行った。酵素活性はグルコース検量線から定量し、1分間に遊離するグルコースの $\mu$  mol 数を果肉100 g 当たりとして算出した。

$\alpha$ -L-アラビノフラノシダーゼ活性、 $\beta$ -D-ガラクトシダーゼ活性 粗酵素液0.04～0.2 ml に0.5 ml の10m M  $\rho$ -ニトロフェノール $\alpha$ -L-アラビノフラノシドを含む0.1Mクエン酸-水酸化ナトリウム緩衝液(pH4.5)を加え、37℃で15分間インキュベートした。反応液1.0 ml に2.0 ml の1N炭酸ナトリウムを加え、遊離した $\rho$ -ニトロフェノール濃度を分光光度計で400 nm の吸光度を測定し $\alpha$ -L-アラビノフラノシダーゼ活性を求めた。

$\beta$ -D-ガラクトシダーゼ活性の測定には基質に $\rho$ -ニトロフェノール- $\beta$ -D-ガラクトピラノシドを用い、 $\alpha$ -L-アラビノフラノシダーゼ活性に準じて測定した。両酵素活性は $\rho$ -ニトロフェノール検量線から定量し、1分間に遊離する $\rho$ -ニトロフェノールの $\mu$  mol 数を果肉100 g 当たりとして算出した。

### 果実の糖化

デンプン含量の測定：Southgateの多糖類分別定量法で示した。

### デンプン分解酵素活性の測定：

$\alpha$ -アミラーゼ活性 Blue value法<sup>1)</sup>を用いた。0.2%アミロース溶液2.0 ml と0.4M酢酸緩衝液(pH4.8) 1.0 ml を試験管に取り、30℃に保った粗酵素液1.0 ml を加え混合した。30℃で30分間インキュベートしてから、10 ml の0.5M酢酸を加えて反応を停止した。直ちに1.0 ml を取り出して10 ml のN/3000ヨウ素溶液の中に入れた。1/3000×10/11Nのヨウ素溶液を対照に、分光光度計で700 nm の吸光度を測定した。ブランクは、酵素液のかわりに蒸留水を用いたもので、同操作を行い吸光度を測定した。酵素活性はアミロース1.0 mg に相当する酵素量を1 unit とし、

果肉 1 g 当たりとして算出した。

$\beta$ -アミラーゼ活性 Bernfeld 法<sup>2), 3), 4)</sup>を一部変更して次のように行った。粗酵素液 1.0 ml、0.016M 酢酸緩衝液 (pH4.8) に基質の可溶性デンプン 10 mg を溶かした溶液 3.0 ml で反応液 4.0 ml とし、30℃で 20 分間インキュベートした。反応液 600  $\mu$  l に 3,5-ジニトロサリチル酸試薬 (ジニトロサリチル酸 1.0 g、2N NaOH 20 ml、ロッセル塩 30 g/100 ml) 600  $\mu$  l を入れ、沸騰水浴中に 5 分間置いた。流水で冷却後、分光光度計で 570 nm の吸光度を測定した。酵素活性はマルトースを定量し、1 分間に遊離するマルトースの  $\mu$  mol 数を果肉 100 g 当たりとして算出した。

### 3. 結果

#### 果実の軟化

呼吸量 (CO<sub>2</sub> 排出量) の変化は Fig. 1 に示した。'アーウィン' 果実の呼吸量は緑色果から赤紫色果にかけて 3 倍近く上昇し、その後赤色果で減少、赤紫色果で成熟のピークに達したことが示された。

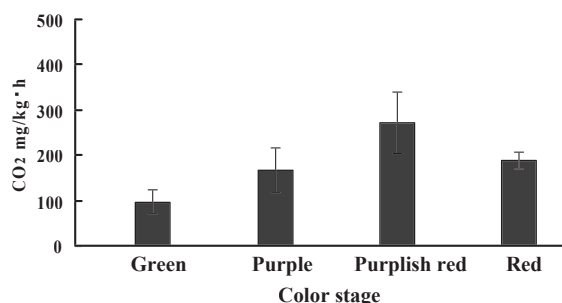


Fig. 1 Change in respiratory rate during maturation of 'Irwin' mango fruit.

果実の品質特性として果肉の硬さが重要であり、その果肉硬度の変化は Fig. 2 に示した。

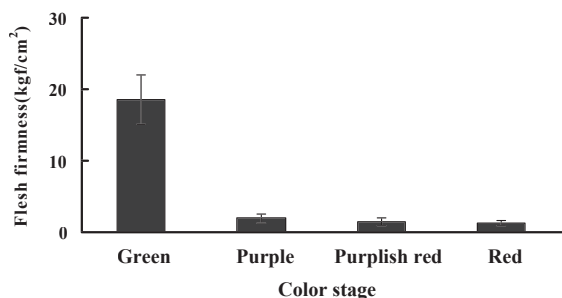


Fig. 2 Change in flesh firmness during maturation of 'Irwin' mango fruit.

果肉硬度は、緑色果から紫色果にかけて大きく

減少し、約 1/10 となったが、その後はほとんど変化しなかった。緑色果で硬かった果実は紫色果にかけて急速に軟化が進み、柔らかくなったことが示された。

果実の軟化は、細胞壁を構成している多糖類とその分解に関わる酵素活性に深く関わっている。

水溶性と不溶性ペクチンおよび全ペクチン含量の変化は Fig. 3 に示した。

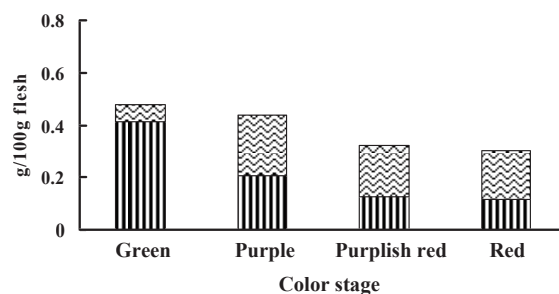


Fig. 3 Changes in total pectin content during maturation of 'Irwin' mango fruit.

■: insoluble    □: soluble

水溶性ペクチン含量は緑色果が著しく低い値を示した。不溶性ペクチン含量は緑色果から紫色果にかけて大きく減少し、赤紫色果、赤色果はほぼ同程度であった。緑色果の果肉が顕著に硬く、果肉硬度の変化と一致した。果実は成熟とともに全ペクチン含量は減少し未熟な時の組成は不溶性の割合が高く、成熟するにつれ可溶化する。本研究においても同様な傾向を示した。

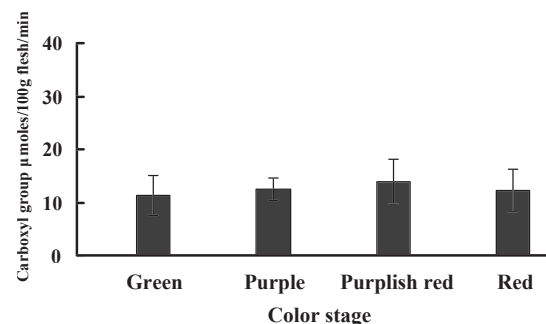


Fig. 4 Change in pectin esterase activities during maturation of 'Irwin' mango fruit.

ペクチンエステラーゼ活性の変化は Fig. 4 に示した。ペクチンエステラーゼ活性は赤紫色果が高く、果皮色が赤色へと変化するにつれわずかに減少した。ペクチンエステラーゼ活性は未熟の時に大で、追熟初期に減少し、以後横這い状態となるとの報告がされている<sup>5)</sup>が、本研究では果実の成熟に伴う顕著な変化は見出せなかった。

ポリガラクトナーゼ活性の変化は Fig. 5

に示した。ポリガラクトナーゼ活性は赤紫色果でピークを示し、以後、赤色果で低下した。セルロース含量の変化は Fig. 6 に示した。セルロース含量は赤紫色果が高く、果皮色が赤色へと変化するにつれ減少した。

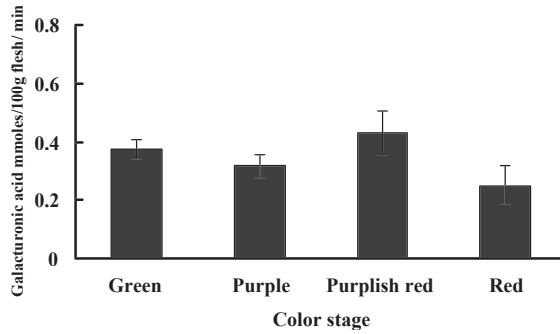


Fig. 5 Change in polygalacturonase activities during maturation of 'Irwin' mango fruit.

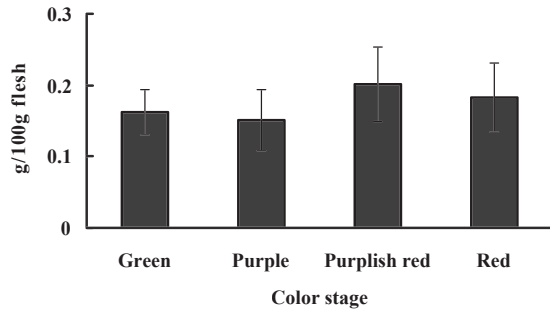


Fig. 6 Change in cellulose content during maturation of 'Irwin' mango fruit.

セルロース分解酵素には、 $\beta$ -1,4 グルコシド結合を切るセルラーゼがある<sup>6)</sup>。

セルラーゼ活性の変化は Fig. 7 に示した。セルラーゼ活性は成熟による大きな変化はみられなかった。

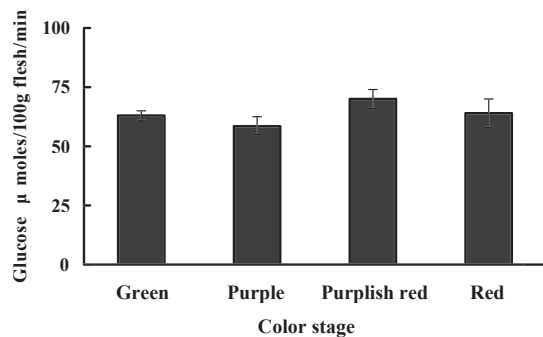


Fig. 7 Change in cellulase activities during maturation of 'Irwin' mango fruit.

ヘミセルロース含量、 $\alpha$ -L-アラビノフラノシダーゼ活性および $\beta$ -D-ガタクトシダーゼ活性の

変化は Fig. 8, 9 に示した。

ヘミセルロース含量は緑色果が高く、果皮色が赤色へと変化するにつれ減少した。中でも緑色果から紫色果にかけては大きく減少した。ヘミセルロース分解酵素には $\alpha$ -L-アラビノフラノシドを分解する $\alpha$ -L-アラビノフラノシダーゼおよび $\beta$ -D-ガタクトシドを分解する $\beta$ -D-ガタクトシダーゼがある<sup>6)</sup>。 $\alpha$ -L-アラビノフラノシダーゼ活性は赤紫色果で高く、果皮色が赤色へと変化するとわずかに減少した。一方、 $\beta$ -D-ガタクトシダーゼ活性は果皮色が緑色から赤色へと変化するにつれ顕著に上昇した。

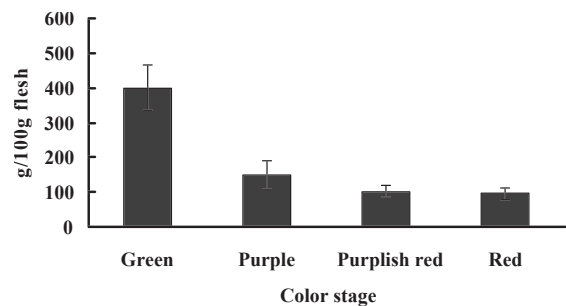


Fig. 8 Change in hemicellulose content during maturation of 'Irwin' mango fruit.

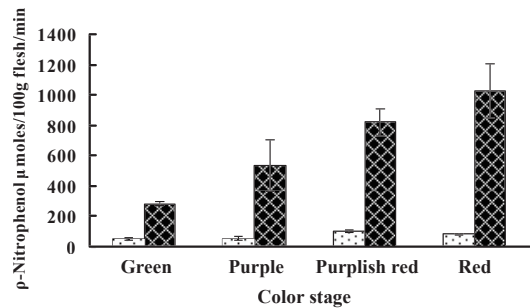


Fig. 9 Changes in  $\beta$ -D-galactosidase and  $\alpha$ -L-arabinofuranosidase activities during maturation of 'Irwin' mango fruit.

□:  $\alpha$ -L-arabinofuranosidase  
 ■:  $\beta$ -D-galactosidase

### 果実の糖化

デンプン含量の変化は Fig. 10 に示した。デンプン含量は緑色果から紫色果にかけて約 1/10 まで激減し、その後は果皮色が赤色へと変化しても同程度の含量を示した。これは果肉硬度との相関が明確であった。デンプン分解酵素には $\alpha$ -アミラーゼおよび $\beta$ -アミラーゼがある。 $\alpha$ -アミラーゼはデンプン中の $\alpha$ -1,4 グリコシド結合を選択的に分解する。最終分解生成物はマルトース、オリゴ糖および少量のグルコースである。 $\beta$ -アミラーゼは $\alpha$ -1,4 グリコシド鎖の非還元性末端か

ら順次  $\beta$ -マルトースを分離する<sup>7)</sup>。

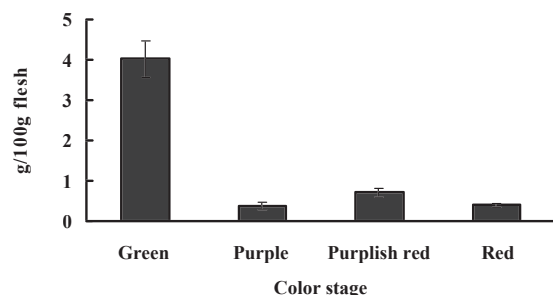


Fig. 10 Change in starch content during maturation of 'Irwin' mango fruit.

$\alpha$ -アミラーゼ活性は緑色果から紫色果にかけて激増し、赤紫色果で最も高く、果皮色が赤色へと変化するにつれ減少した (Fig. 11)。

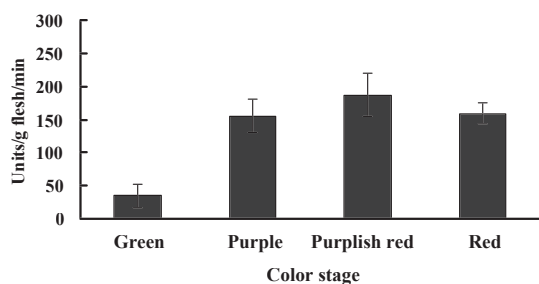


Fig. 11 Change in  $\alpha$ -amylase activities during maturation of 'Irwin' mango fruit.

$\beta$ -アミラーゼ活性は赤紫色果で高く、果皮色が赤色へと変化するにつれ減少した (Fig. 12)。

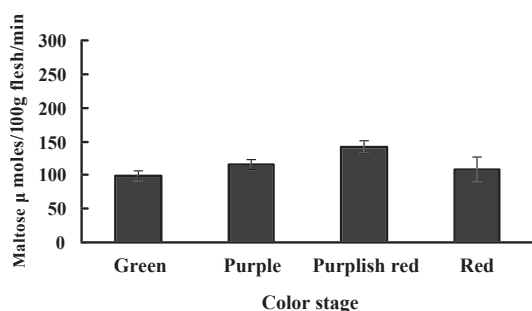


Fig. 12 Change in  $\beta$ -amylase activities during maturation of 'Irwin' mango fruit.

#### 4. 考 察

果実に限らず植物体は生長、成熟に伴って物質代謝の様相が変転し、それにつれて呼吸量も変化する。呼吸量は成長過程において減少していくが、未熟期から完熟期に移る際、呼吸が上昇する。そして、その後最大に達し、再び減少してい

く。このように成長過程で呼吸に上昇がみられる果実はクライマクテリック型果実と言われ、これらの果実はさらに過熟期には再び呼吸が著しく高くなる。果実が完熟に近づく際に起こる呼吸の増大は、果実の種類によっては収穫後で起こりえる。また、果実の輸送・貯蔵は、一概に呼吸量の多少だけでは説明できないが、一般に呼吸量の少ないもの、少ない時が容易である。結果から考えると、果実の成長に伴い減少してきた呼吸量は紫色果で上昇し始め、赤紫色果で最大に達し、その後再び減少していったと言える。

収穫時のバナナの呼吸量は約 50 mg/kg・h であり<sup>8)</sup>、それと比較するとすべての果実においてバナナよりも2倍以上高い呼吸量を示した。

このような呼吸の上昇がみられるのはマンゴーをはじめとするクライマクテリック型果実の特徴であり、呼吸量の変化は果実の軟化に関係し、特に酵素活性の変化と密接な関係があると言われて

いる。果実の肉質に最も影響を及ぼすのは細胞壁の厚さおよび細胞壁を介しての細胞同士の結合である。細胞壁はペクチン、セルロースおよびヘミセルロースから構成されており、これらの構成成分が成熟過程でどのように変化するかによって、果実の肉質は微妙に変化するとされている<sup>5)</sup>。

一般に、果実は軟化に伴い不溶性ペクチン含量が減少し水溶性ペクチン含量が増加する。不溶性ペクチンとはセルロース、糖、塩類などと結合したペクチンであり、細胞間の結合力および接着力を支配する機能を有している。しかし、酵素によりそれが分解されると水に可溶のペクチンとなり細胞間の結合および接着を支配する機能を失い、果実は軟化する。本研究でもそれとよく類似した傾向を示した。

ペクチン分解酵素にはペクチンの脱メチル化に関与するペクチンエステラーゼ (PE) およびポリガラクトキロン酸の1,4-結合を切るポリガラクトキナーゼ (PG) がある。

また、ポリガラクトキナーゼ活性は未熟の時に弱く、果実の成熟に伴い強くなるとの報告がある<sup>5)</sup>。本研究においてはペクチンエステラーゼ活性に比較すると活性が強い傾向を示し、深く果実の軟化に影響を及ぼしていると考えられた。

セルラーゼ活性はセルロース繊維を内部からあるいは末端から切断し細胞壁を分解する。アボガ

ドやニホンナシ果実の軟化には本酵素の急激な活性増加が認められている<sup>5)</sup>が、他の果実ではあまりみられない。マンゴーの品種の中にも果実の軟化に本酵素が関与しているものがあると考えられるが、本研究の結果から ‘アーウィン’ 果実においては深く関与していないと考えられた。

$\alpha$ -L-アラビノフラノシダーゼ活性と $\beta$ -D-ガラクトシダーゼ活性の全体的な活性の強さを比較すると $\beta$ -D-ガラクトシダーゼ活性の方が顕著に高い活性が示された。このことから、 $\beta$ -D-ガラクトシダーゼ活性の方がヘミセルロースの分解に強く関与していることが考えられた。

ヘミセルロース分解酵素である $\alpha$ -L-アラビノフラノシダーゼと $\beta$ -D-ガラクトシダーゼは過熟になる頃に活性が高くなるという報告があり、キウイフルーツ果実では $\beta$ -D-ガラクトシダーゼのみ、リンゴ果実では $\alpha$ -L-アラビノフラノシダーゼ、 $\beta$ -D-ガラクトシダーゼの両酵素が果肉の軟化に関与している可能性がある<sup>5) 9) 10)</sup>と報告されている。本研究でも、果実の成熟に伴いヘミセルロース含量が減少し、酵素活性の上昇がみられ、 $\beta$ -D-ガラクトシダーゼが果肉の軟化に深く関与していると考えられた。

Prasannaらはペクチンをイオン交換クロマトグラフィーで分けるとアラビノガラクトン型重合体およびガラクトン酸含量60%以上のヘテロガラクトンであり、解重合に関与する酵素類はペクチナーゼ、ペクチンエステラーゼ、ガラクタナーゼ、アラビナーゼおよび $\beta$ -ガラクトシダーゼで、これら酵素活性は成熟直前にピークを示すことより果実軟化の見地から考察している<sup>11)</sup>。

Hosakoteらはマンゴー果実の成熟に伴うテクスチャーの軟化と生化学的変化との関係を調べ、デンプン、ペクチン、セルロースおよびヘミセルロース含量は登熟とともに減少したと報告している。さらに<sup>14</sup>Cデンプンを用いて、果肉の糖類画分への<sup>14</sup>Cの取り込みを調べた結果、グルコース、フルクトースおよびスクロースに取り込まれ、熟度が上昇とともにグルコネオゲネシスが起きていることが示された<sup>12)</sup>。本研究において品種間に相違はあるが、ペクチンはポリガラクトチュロナーゼによりヘミセルロースは $\beta$ -D-ガラクトシダーゼ活性により分解・可溶化することが示唆された。

デンプンは加水分解され糖化し減少するが、本研究において緑色果から紫色果にかけてデンプン含量が激減し、 $\alpha$ -アミラーゼ活性が激増していることから、 $\alpha$ -アミラーゼ活性が強く関与していると考えられた。

## 5. 要約

湯浅農場植栽 ‘アーウィン’ 樹は4月下旬満開期を迎えた花穂が着果し、成熟してくると果皮色が緑色の状態から紫色、赤紫色、赤色となる。果実の成熟度と軟化に関与する成分とその関連酵素活性について検討した。

呼吸量は紫色果で上昇し、赤紫色果で最大に達し、その後減少した。果肉硬度は緑色果から紫色果にかけて急激に低下した。

不溶性ペクチン含量は緑色果で最も多く、成熟(果皮の赤色化)とともに減少したが、水溶性ペクチン含量は増加する傾向を示した。ポリガラクトチュロナーゼ活性は赤紫色果で最も高く、その後、果皮の赤色化に伴い減少した。

ヘミセルロース含量は成熟に伴い減少した。 $\alpha$ -L-アラビノフラノシダーゼ、 $\beta$ -D-ガラクトシダーゼ活性は成熟とともに上昇する傾向を示した。 $\beta$ -D-ガラクトシダーゼ活性は $\alpha$ -L-アラビノフラノシダーゼ活性と比較すると顕著に高い活性を示すことより、果実の軟化機構に深く関与していると考えられた。

デンプン含量は緑色果から紫色果にかけて激減した。 $\alpha$ -アミラーゼおよび $\beta$ -アミラーゼ活性は緑色果から赤紫色果にかけて上昇し、その後、果皮の赤色化に伴い減少した。緑色果から紫色果にかけてデンプン含量が激減し、 $\alpha$ -アミラーゼ活性が急増していることから、 $\alpha$ -アミラーゼ活性がデンプンの分解に深く関与していることが考えられた。

ポリガラクトチュロナーゼ、 $\beta$ -D-ガラクトシダーゼおよび $\alpha$ -アミラーゼ活性はマンゴー果実の成熟に深く関与し果実軟化の指標酵素であることが示唆された。

## 6. 引用文献

- 1) 長谷川忠男・相澤孝亮・片岡栄子(1975) 食品酵素高分子概論(下) - 酵素の利用 - pp.

- 33-49, 他人書店, 東京.
- 2) 桐渕滋雄・中村道徳 (1973) 大麦の発芽に伴うデンプン分解酵素活性および炭水化物含量の変動. 日本農芸化学会誌, **47** (5), pp. 333-340.
  - 3) 能岡浄 (1995) イチジク果実の生育に伴う糖質変化および糖代謝に関する酵素活性の挙動. 日本食品科学工学会誌, **42** (4), pp. 219-224.
  - 4) 能岡浄 (1979) 低温障害バナナ果実の追熟に伴う糖質の変化および糖代謝に関する酵素活性の推移. 日本食品科学工学会誌, **26** (2), pp. 57-64.
  - 5) 伊藤三郎 (1991) 果実の科学. pp. 23 ~ 40, 朝倉書店, 東京.
  - 6) 田宮信雄・丸尾文治 (1982) 酵素ハンドブック. pp. 495-511, 朝倉書店, 東京.
  - 7) 原田篤也・小泉岳夫 (1974) 総合多糖類科学. pp. 217-220, 講談社, 東京.
  - 8) 緒方邦安 (1977) 青果保蔵汎論. pp. 48-54, 建帛社, 東京.
  - 9) 吉岡博人・樫村芳記・金子勝芳 (1995) リンゴ果実の軟化時における  $\beta$ -D-ガラクトシダーゼと  $\alpha$ -L-アラビノフラノシダーゼ活性. 園芸学会雑誌, **63** (4), pp. 871-878.
  - 10) 真壁敏明・吉岡博人・三木晃・福元将志 (1998) 'イエロー紅心' キウイフルーツ果実の樹上軟化に伴う細胞壁多糖類の経時変化. 園芸学会雑誌, **67** (1), pp. 59-65.
  - 11) Prasanna, V., Yashoda, H. M., Prabha, T. N., Tharanathan, R. N. (2003) Pectic polysaccharides during ripening of mango (*Mangifera India* L). J. Sci. Food Agric., **83** (11), pp. 1182-1186.
  - 12) Hosakote, M., Yashoda, Tyakai, N., Prabha, Rudapatnam, N., Tharanathan, (2006) Mango ripening: change in cell wall constituents in relation to textural softening. J. Sci. Food Agric., **86** (5), pp.713-721.