

赤外線映像法による農産物の品質判別に関する研究

IV. 果物およびいも類の傷の判別について

宮里 満・石黒悦爾・団野皓文

(農業物理学研究室)

昭和55年8月9日受理

Quality Evaluation of Agricultural Products by Infrared Imaging Method

IV. Grading of Fruits and Root Vegetables for Bruise and Other Surface Defects

Mitsuru MIYAZATO, Etsuji ISHIGURO and Akibumi DANNO

(Laboratory of Agricultural Physics)

緒 言

農産物は収穫後、市場に出荷されるまでにいろいろな欠損や損傷を受ける。例えば、乾燥や急激な気候の変化による裂傷や、病害虫による欠損、台風等による表面の損傷、また収穫中や輸送中に生じる圧縮や衝撃、摩擦等によるすり傷や押し傷等、種々の形の傷が現われる。

これが貯蔵期間の短縮や商品価値の低下等重大な損害を与えることが多い。しかもこれらの傷の有無は、ほとんど人間の目や手で行われている。そのため、全選別行程の中でこの段階に最も多くの人手や時間を要している。また、短時間に多量の選別が困難で、選別者の疲労のために長時間にわたる選別作業中には必然的に選別もれも多くなり、他の正常なものにも悪影響を与えている。

そこで、簡単でしかも迅速・正確に、自動的に選別が可能な装置の開発が強く望まれている。

果物やその他の農産物の表面の欠損部分は微少な温度変化をきたすものと考えられ、その検出に最も適している測定方法を考えた。赤外線映像法は、被選別物に直接触れることなくその物体の表面温度を得ること

ができるので、農産物の表面の傷による微少な温度変化の検出に適しており、その基礎データを得るために本研究を行った。

りんご、みかん類についてはすでに報告したので^{1,2,3)}、今回は梨・甘藷・馬鈴薯について報告する。

実 験 方 法

2-1 供試材料

供試材料としては、果菜類の中から葉菜類を除いて、梨 (*Pyrus serotina* Rehder var. *culta* Rehder, cv. Nijisseiki) 甘藷 (*Ipomoea batatas* Lam. cv. Nohrin No.2) 馬鈴薯 (*Solanum tuberosum* L. cv. Danshaku) を選び、これらは一般市販のものを使用した。これらの形状を Table 1. に示す。

2-2 試料の調整

一般に病害虫や、採取時・輸送・選別中に生じる傷はいろいろな型のものが考えられる。大きく分けて、押し傷(または打ち傷)とすり傷とに分類することができる。そこで本研究では、測定条件を統一するために、実験に用いたすべての農産物を、無傷・押し傷・すり傷を生じたものの3つに分類し、再現性、統一性を考慮して人工的に傷をつけた。

Table 1. Average dimensions and weights of fruits

Kind of samples	Number of samples	Average dimensions		Average weight (g)
		Diameter (mm)	Height (mm)	
Japanese pear (cv. Nijisseiki)	40	78.1	71.9	251.4
Sweet potato (var. Nōrin No.2)	18	—	—	172.5
Potato (var. Danshaku)	18	—	—	204.7

(1) 押し傷

新興通信工業株式会社製の万能引張圧縮試験器, TOM 200D 型を用い, 外径 30mm, 内径 20mm の鋳鉄製中空円筒の端面を試料にあて, 一定速度で加圧し, 5~20kg の力で圧縮し, 押し傷をつけた。

(2) すり傷

直径 3.0mm の円をくり抜いた型紙を試料にあて, 露出した部分を #60 番のサンドペーパーで十分にすってすり傷をつけた。

(3) 切り傷

ナイフで, 最深部が 1cm となるように V 字形に表面を切り取って切り傷とした。切り傷は, さつまいもだけにつけて測定した。

いずれの場合も, 傷の部分の表面温度差の検出が明確にできるように, 試料は測定 24 時間前から, 室温より数度高い恒温室と室温より数度低い恒温室に入れて貯蔵した。

傷をつけた試料の一部が, 傷による腐敗の進行状態により, その表面温度がいかに変化するかを測定するために, 数日間室温におき, 測定 24 時間前に室温より数度高い恒温室と室温より数度低い恒温室に貯蔵した。

2-3 使用機器

赤外線映像装置は, 検出器に $C_d \cdot H_g \cdot T_e$ を使用した

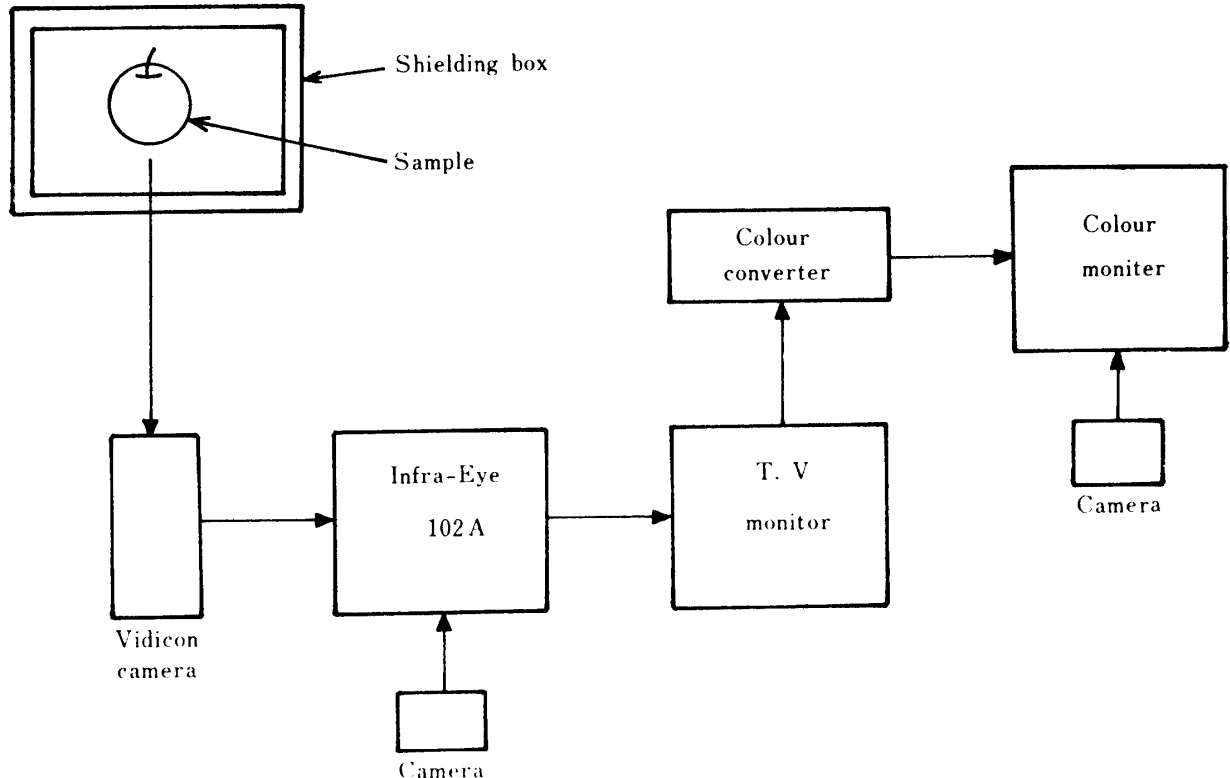


Fig. 1. Block diagram of experimental arrangement of the infrared measurement.

液体窒素冷却型で, 医療用に開発された富士通株式会社製のインフラアイ 102A 型を使用した。

試料貯蔵用の恒温室は, 富士電機株式会社製の R-903 型冷蔵庫と, 中村工業株式会社製の EN-3 型恒温器を使用した。

2-4 表面温度の測定法

表面温度分布像は, すでに発表したモデル実験の場合と同様に, Fig. 1 で示す方法で, モニターテレビジョンの白黒画像を 35mm カメラで撮影した。測定温度幅は, 1・2・3・5°C のレンジを用い, 試料の表面温度差の範囲内で適宜調節した。また表面温度分布像の下端に表示される単掃引線上の温度曲線は, 傷の中央部を通るように調整した。さらに, 温度曲線部分だけを拡大して詳しく調べた。

また, 一部の試料については, カラーモニターテレビジョンのカラー画像を 35mm カメラで撮影して参考にした。

試料を恒温室から取り出し放置すると, 次第に室温に近づいてくる。このように, 試料の温度と室温との温度差により, 試料の表面温度分布の変化を調べるために, 経時変化も同時に測定した。

実験結果及び考察

3-1 梨の表面温度分布

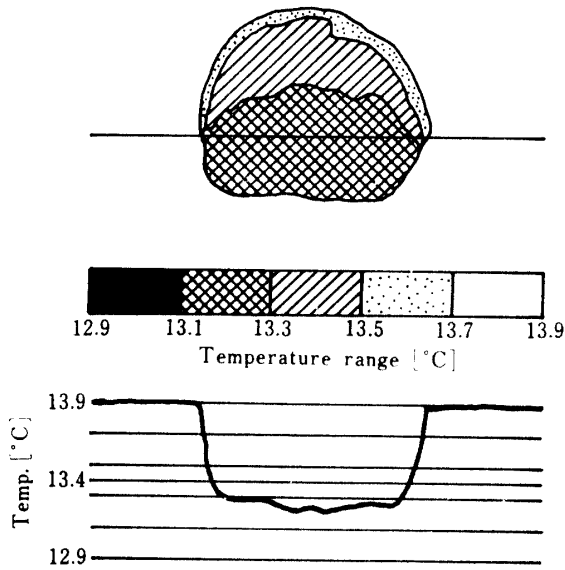


Fig. 2. Thermal image and temperature curve for Japanese pear.

Stored at room temperature for 4 days and then stored at lower temperature for 24 hrs before measurement.

Measuring temperature range: 1.0°C
Base temperature: 13.4°C

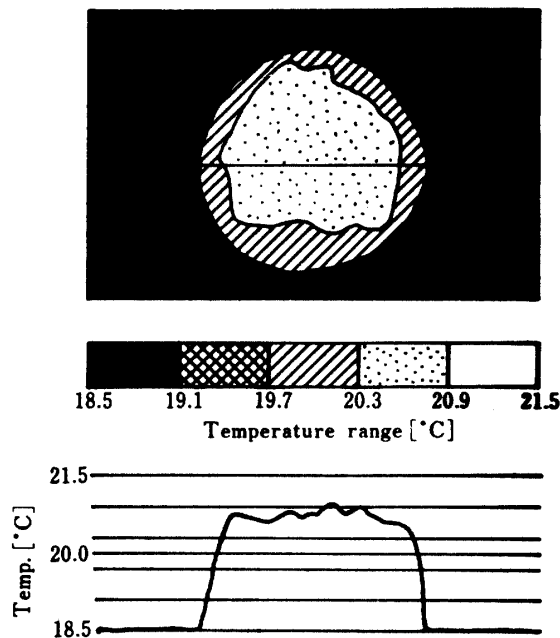


Fig. 3. Thermal image and temperature curve for Japanese pear.

Stored at room temperature for 8 days and then stored at higher temperature for 24 hrs before measurement.

Measuring temperature range: 3.0°C
Base temperature: 20.0°C

Fig. 2 は、常温に放置し、測定開始24時間前に低

温室で貯蔵した無傷の梨の表面温度分布像と、梨の中心軸上を掃引して得られた温度曲線を示したものである。測定温度レンジは 1°C で、この時の中心温度は 13.4°C であった。

Fig. 3 は、常温に放置していたが、あらかじめ測定開始24時間前に更に高い温度の恒温室で貯蔵した無傷の梨の表面温度分布像と温度曲線を示したものである。測定温度レンジは 3.0°C、この時の中心温度は 20.0°C であった。

Fig. 2, Fig. 3 より、高温室、低温室で貯蔵しても、無傷の場合では、表面温度分布像はほとんど均一になり、更に温度曲線は 0.1°C の変動しかないという平坦な曲線を示した。

Fig. 4 は、あらかじめ低温に貯蔵した無傷、弱い押し傷、強い押し傷およびすり傷の梨の表面温度分布像と温度曲線を示したものである。測定温度レンジは

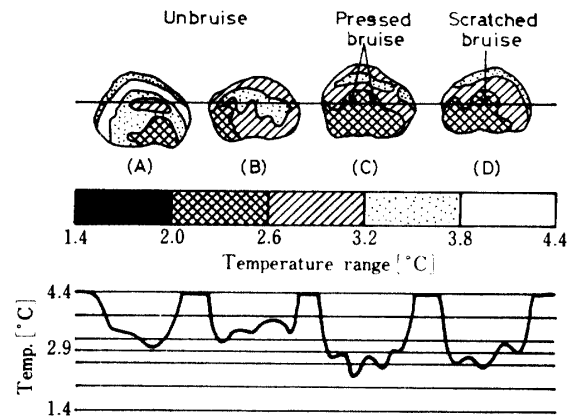


Fig. 4. Thermal images and temperature curve for the bruised and unbruised Japanese pear.

Stored at lower temperature for 7 days and then stored at lower temperature for 24 hrs before measurement. Unbruised: (A), Pressed bruise: (B), (C), Scratched bruise: (D).

Measuring temperature range: 3.0°C
Base temperature: 2.9°C

The time measured: 4min. 40sec.

3.0°C で、この時の中心温度は 2.9°C、低温室より取り出して測定開始後 4分40秒経たたものである。無傷と弱い押し傷の表面温度分布像にはほとんど変化なく、強い押し傷とすり傷の表面温度は、傷の形に対応した表面温度分布像を表わした。弱い押し傷の表面温度分布像が無傷の梨の表面温度分布像のように変化がなかったのは、押し傷のつけ方が弱く、肉眼ではその傷の確認ができないほどのものであったためだと思われる。温度曲線によると、正常な場合と、強い押し傷、すり傷の場合との温度差は、最大で 0.8°C であった。

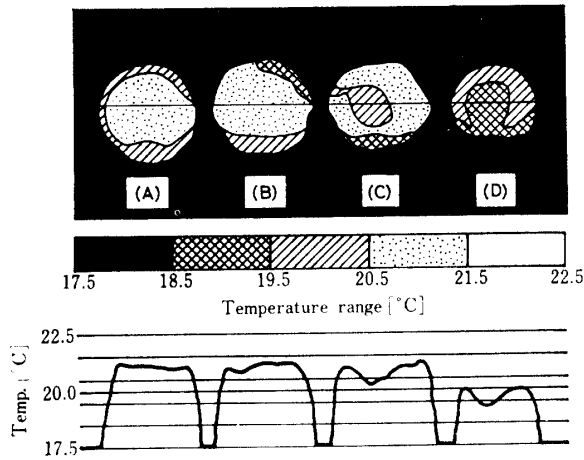


Fig. 5. Thermal images and temperature curve for the bruised and unbruised Japanese pear. Stored at lower temperature for 6 days and then stored at higher temperature for 24hrs before measurement. Unbruised: (A), Pressed bruise: (B), (C), Scratched bruise: (D). Measuring temperature range: 5.0°C Base temperature: 20.0°C The time measured: 4min. 45sec.

Fig. 5は、あらかじめ高温に貯蔵した場合の無傷の押し傷とすり傷の梨の表面温度分布像と温度曲線を示したものである。測定温度レンジは 5.0°C、この時の中心温度は 20.0°C、恒温室から取り出してからの経過時間は 4分45秒であった。低温で貯蔵した場合と同様に、傷の形に応じて押し傷では 2個所、すり傷では中央に 1個所だけに最低温度が現われ、正常な無傷の部分との温度差は、押し傷では約 1°C、すり傷では約 1.5°C も低くなった。

Fig. 6は損傷処理を施し、あらかじめ約24時間低温室に貯蔵した梨の表面温度の経時変化を示したものである。肉眼的に傷の進行はほとんど認められなかつ

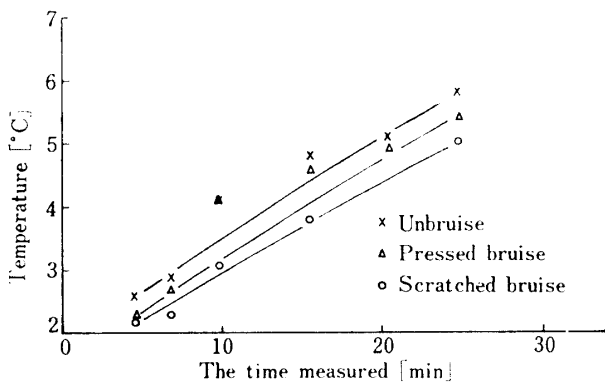


Fig. 6. Relationship between temperature changes at bruised Japanese pear and the time measured. Stored at lower temperature for one day.

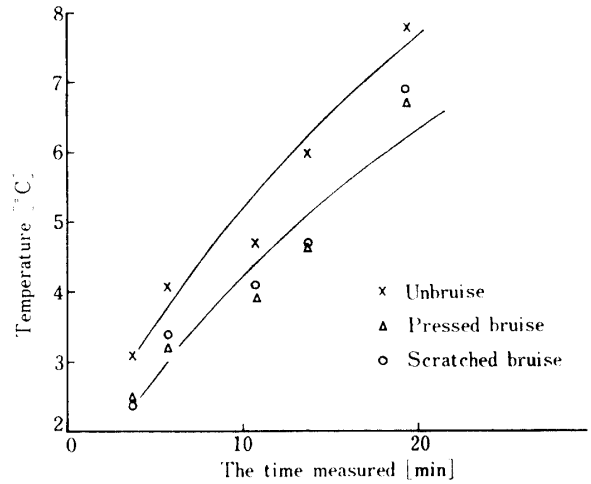


Fig. 7. Relationship between temperature changes at the bruised Japanese pear and the time measured. Stored at room temperature for 4 days and then stored at lower temperature for 24hrs before measurement.

たが、無傷の部分との温度差は、押し傷で約 0.2~0.4 °C、すり傷で約 0.2~1.0°C 低かった。

Fig. 7は、損傷処理を施し 6日間室温に放置し、肉眼的に傷の進行が認められた梨を、さらに24時間前に低温室で貯蔵したものの表面温度の経時変化を示したものである。押し傷、すり傷とも無傷の部分に比べて約 0.3~1.3°C 低く現われた。

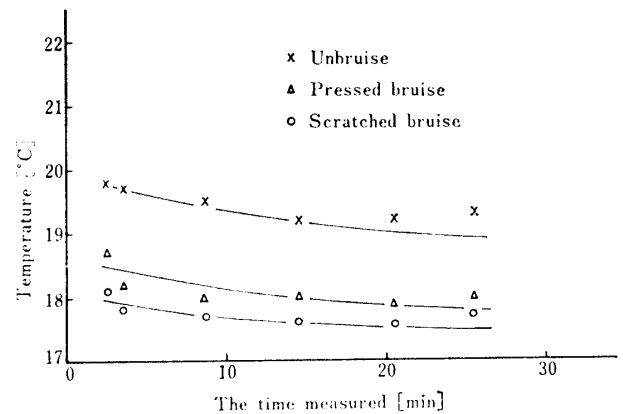


Fig. 8. Relationship between temperature changes at the bruised Japanese pear and the time measured. Stored at higher temperature for one day.

Fig. 8は、損傷処理後あらかじめ24時間、高温に貯蔵した梨の表面温度の経時変化を示したものである。無傷の部分との表面温度差は押し傷で約 0.7°C、すり傷で約 1~1.5°C 低い値を示した。

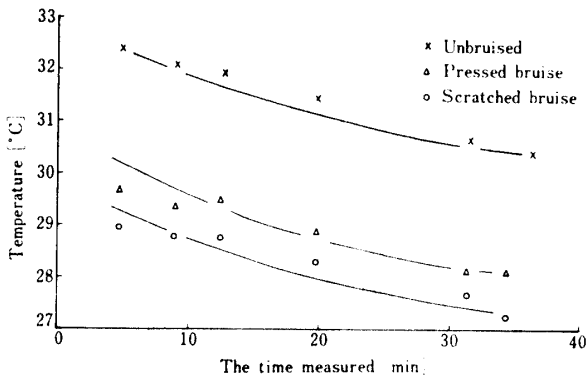


Fig. 9. Relationship between temperature changes at the bruised Japanese pear and the time measured.

Stored at higher temperature for 8 days and then stored at higher temperature for 24hrs before measurement.

Fig. 9は、損傷処理後8日間高温に貯蔵して傷の進行を促進させた梨の表面温度の経時変化を示したものである。押し傷で約2.5°C、すり傷で約3.2°C低く現われ、Fig. 6,7,8と比較すると明らかに温度差は大きくなった。

以上のことから梨についての結果は次の通りである。

(1) 無傷の梨はモデル実験の場合と同様に均一な表面温度の分布を示した。

(2) 測定時の室温より低い温度に貯蔵した場合も高い温度に貯蔵した場合も、傷の部分は正常な無傷の部分より低い温度を示した。

(3) 傷による表面温度差は、あらかじめ低温に貯蔵した場合は、約0.2~1.3°C、あらかじめ高温に貯蔵した場合は約0.7~3.2°C低い値を示した。また押し傷よりもすり傷の方がより低い温度を示した。

(4) 加傷後の経過時間が長いほど表面温度差は大きく現われた。

3-2 甘藷の表面温度分布

甘藷の場合も前述の梨の場合と同様押し傷、すり傷の他に切り傷の処理を行った。供試材料は加傷処理後、あらかじめ測定室温より低い低温室及び高い高温室で貯蔵した。これらの試料を赤外線映像法により表面温度分布を測定した。

Fig. 10は、あらかじめ測定24時間前に低温室に貯蔵した甘藷の表面温度分布像と温度曲線を示したものである。測定温度レンジは3.0°Cで、この時の中心温度は4.8°C、低温室より取り出して測定開始後5分19秒経たものである。切り傷、押し傷、すり傷のい

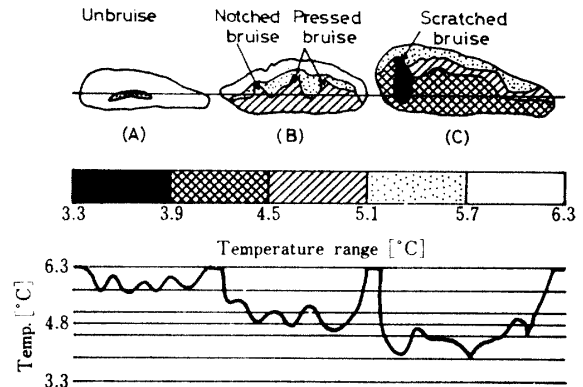


Fig.10. Thermal images and temperature curve for sweet potato.

Stored at lower temperature for one day.

Measuring temperature range: 3.0°C

Base temperature:4.8°C

The time measured: 5min. 19sec.

れの場合も、傷の部分の温度は正常な無傷の部分より約0.6°C低い温度を示した。無傷の甘藷の表面温度分布像は梨の場合と同様に均一な分布を示したが、温度曲線は必ずしも平坦な曲線にはならなかった。これは表面温度分布像よりも温度曲線の方がわずかな温度差をも示すことができるため、温度曲線上の0.2°C前後低い部分は、甘藷表面のくぼんだ部分を示している。

Fig. 11は、あらかじめ測定24時間前に高温室に貯

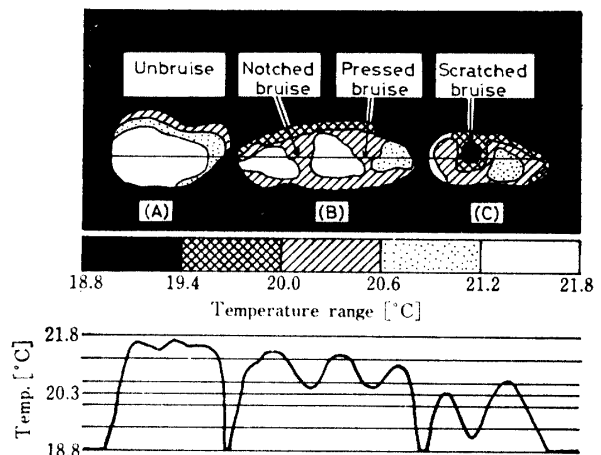


Fig.11. Thermal images and temperature curve for sweet potato.

Stored at higher temperature for one day.

Unbruised: (A), Pressed and notched bruise: (B), Scratched bruise: (C).

Measuring temperature range: 3.0°C

Base temperature: 20.3°C

The time measured: 5min. 35sec.

蔵したさつまいもの表面温度分布像と温度曲線を示したものである。測定温度レンジは 3.0°C 、この時の中心温度は 20.3°C 、測定開始後 5 分 35 秒経過したものである。低温貯蔵した場合と同様に傷の部分には正常な部分より約 2°C 低く現われた。表面温度分布像も傷に対応した像を示した。

Fig.12 は、あらかじめ高温で貯蔵した甘藷について表面温度の測定室における経時変化を示したものである。すり傷の部分の温度は正常な部分の温度より 2°C 以上も低く、また切り傷、押し傷の部分の温度は、無傷の部分より約 1°C 低くなり、すり傷と無傷との中間的な値を示した。

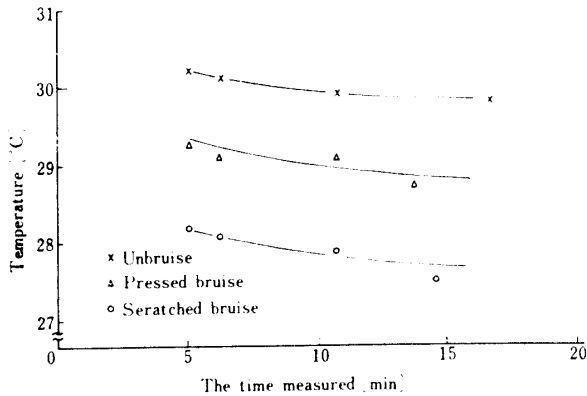


Fig.12. Relationship between temperature changes at the bruised sweet potato and the time measured.

Stored at higher temperature for one day.

以上のことから甘藷についての結果は次の通りである。

(1) あらかじめ測定室温より低い低温室で貯蔵した試料の切り傷、押し傷、すり傷はともに正常な無傷の部分の温度より約 0.6°C 低く現われた。

(2) あらかじめ高温貯蔵した試料では、切り傷、押し傷の部分は約 1°C 、すり傷の部分は約 2°C 無傷の部分より低くなった。

(3) 甘藷の表面は、リンゴや梨と比較すると表面にやや凹凸があるため、無傷の甘藷でも約 0.2°C の温度変化が温度曲線上に雑音として生じた。

(4) 表面温度曲線上に凹凸の雑音がみられたが、その雑音は傷による温度変化よりも小であった。

3-3 馬鈴薯の表面温度分布

Fig. 13 は傷処理を行った後、あらかじめ測定24時間前に低温室に貯蔵した馬鈴薯の表面温度分布像と温度曲線である。測定温度レンジは 5.0°C 、この時の中心温度は 3.5°C 、経過時間は 5 分 6 秒後である。押し

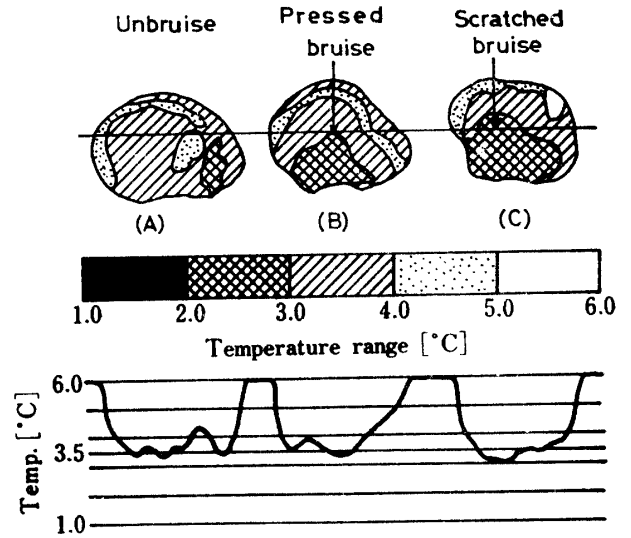


Fig.13. Thermal images and temperature changes at the bruised potato.

Stored at lower temperature for one day.
Measuring temperature range: 5.0°C
Base temperature: 3.5°C
The time measured: 5min. 6sec.

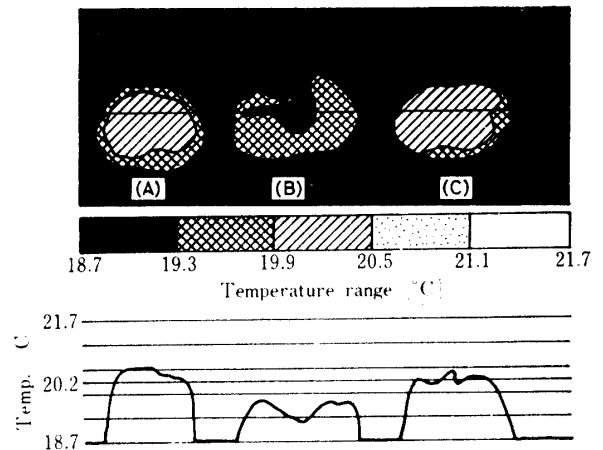


Fig.14. Thermal images and temperature curve for potato.

Stored at higher temperature for one day.
Unbruised: (A), Pressed bruise: (B), Scratched bruise: (C).

Measuring temperature range: 3.0°C
Base temperature: 20.2°C
The time measured: 5min. 20sec.

傷、すり傷ともに正常な無傷の部分よりも約 0.6°C 低い温度を示した。また無傷の馬鈴薯でも芽の部分の深くぼんだ個所は、傷の部分と同様な表面温度分布像と温度曲線を示し、傷の部分との判別は困難であった。しかし、Fig.14, 15に示すように、高温に貯蔵し

た場合は無傷の部分は、均一な表面温度分布像を示し、温度曲線も平坦な曲線を示して芽の部分のくぼみの影響による雑音は表われなかった。

Fig.14 は、測定温度レンジ 3°C この時の中心温度 20.2°C、経過時間が5分20秒後である。

Fig.15 は、測定温度レンジ 5°C、この時の中心温度 19.9°C、経過時間が14分3秒後である。Fig.14の押し傷の部分と Fig.15のすり傷の部分とはともに正常な無傷の部分よりも表面温度はそれぞれ約 0.6°C、2°C 低くなった。しかし、Fig.14のすり傷および Fig.15の押し傷の部分は無傷の部分と全く同じ表面温度分布像と温度を曲線示した。これは今回の実験に用いた馬鈴薯が市販品で収穫後の日数が長かったと思われるが、若干剛性を失ったためと思われる。以上のことから馬鈴薯についての結果は次の通りである。

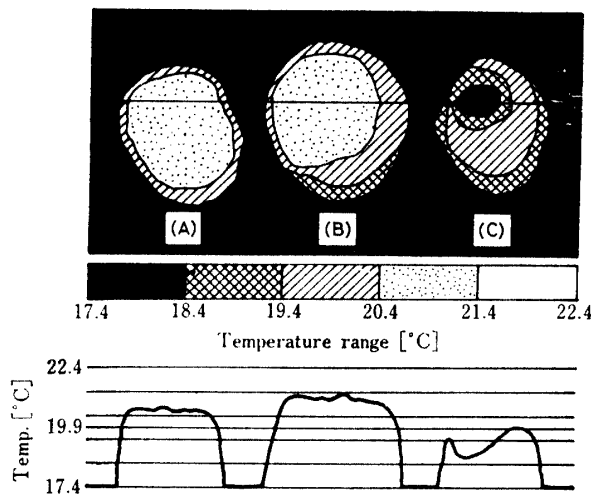


Fig.15. Thermal images and temperature curve for potato.

Stored at higher temperature for one day.
Unbruised: (A), Pressed bruise: (B), Scratched bruise: (C).

Measuring temperature range: 5.0°C

Base temperature: 19.9°C

The time measured: 14min. 3sec.

(1) 低温貯蔵の場合、傷の部分の表面温度は傷の種類に関係なく正常な部分の表面温度よりも約 0.6°C 低く現われた。

(2) 低温貯蔵の馬鈴薯の芽の部分は、傷と類似の表面温度分布像および温度曲線を示した。

(3) 高温貯蔵の場合、押し傷の部分の表面温度は約 0.6°C、すり傷の部分の表面温度は約 2°C 無傷の部分よりも低く現われた。

(4) 高温貯蔵の馬鈴薯の芽の部分の温度変化はほと

んど認められなかった。これは試料の温度と測定室温度との差が小さかったためと思われる。

以上赤外線映像法による農産物品質の判別の応用として、傷の検出について実験を行なった。赤外線映像法は農産物の表面温度の微小変化を検出するのに、試料に直接接触することなく測定することができた。このように、梨やいも類の傷の判別は赤外線映像法により十分可能であることがわかった。

今後さらに他の農産物の傷の検出、農産物鮮度の判別農作物の病害虫の被害の診断、農作物栽培等への応用について研究を進める予定である。

要 約

赤外線映像法により農産物の自動選別の可能性について研究した。この方法によれば、試料の表面温度を試料に接触することなしに測定できる。

実験に使用した供試材料は、梨(二十世紀)、甘藷(農林2号)および馬鈴薯(男爵)であった。押し傷、すり傷、および切り傷を、これらの試料の表面に人工的に施した。

加傷部位の温度は、周辺の正常な表面温度に比べると、一般にやや低温に現われた。すなわち、あらかじめ低温に貯蔵した場合、すり傷の部分と正常な部分との温度差は、梨で約 0.3~1.3°C、甘藷と馬鈴薯では約 0.6°C であった。一方高温で貯蔵した場合は、両者の温度差は、梨で約 3.2°C、甘藷で約 1.0°C、および馬鈴薯で約 2.0°C であった。甘藷や馬鈴薯のようないも類は表面に凹凸があるので、低温に貯蔵した試料の表面の温度分布は一様でなく、約 0.2°C 前後の変化が温度曲線上に雑音として現われた。一方高温に貯蔵した場合は、この雑音はほとんど現われなかった。これらの結果より、赤外線映像法は比較的高温に貯蔵した農産物の選別に有効である。

謝 辞 本研究を行なうにあたり、赤外線映像装置の提供に便宜をはかっていただいた富士通株式会社に感謝いたします。

また実験に協力していただいた当研究室の萩原耕、前園則夫、辻田正文、榎田耕治の諸氏に謝意を表します。

文 献

- 1) Danno, A., Miyazato, M. and Ishiguro, E.: Quality evaluation of agricultural products by infrared imaging method. I. Grading of fruits for bruise and other surface defects. *Mem. Fac. Agr. Kagoshima Univ.*, 14, 123-138(1978)
- 2) Danno, A., Miyazato, M. and Ishiguro, E.: Quality evaluation of agricultural products by infrared imaging method. II. Discrimination of fertilized and unfertilized

- eggs during the incubation period. *Mem. Fac. Agr. Kagoshima Univ.*, **15**, 145-158 (1979)
- 3) Danno, A., Miyazato, M. and Ishiguro, E.: Quality evaluation of agricultural products by infrared imaging method. III. Maturity evaluation of fruits and vegetables. *Mem. Fac. Agr. Kagoshima Univ.*, **16**, 157-164 (1980)

Summary

An infrared imaging method was investigated for the purpose of examining the possibility of an automatic grading of agricultural products. By this method, it was possible to measure the surface temperature of the samples without contact.

Fruits and root vegetables tested in the present experiment were Japanese pear (*Pyrus serotina* Rehder var. *culta* Rehder, cv. Nijisseiki), sweet potato (*Ipomoea batatas* Lam. cv. Nohrin No.2), and potato (*Solsnum tuberosum* L. cv. Danshaku). Pressed, scratched and notched bruises were given artificially on to the surfaces of those samples.

Temperature at the bruise is usually slightly lower compared with the temperature at the unbruised skin. The temperature difference between the temperature of the scratched bruise and those of the unbruised samples stored at lower temperature is 0.3-1.3°C for Japanese pear and 0.6°C for sweet potato and potato, respectively. while, the temperature difference between those stored at higher temperature is 3.2°C for Japanese pear, 1.0°C for sweet potato and 2.0°C for potato, respectively. Since root vegetables, such as sweet potato and potato, are in possession of irregular surfaces, temperature distributions on the surfaces of these samples stored at lower temperature are not homogeneous, varying within about 0.2°C as a noise. While, the noise of those stored at higher temperature appears to be almost zero. Based on these results, it is concluded that the thermal imaging method is very effective for the grading of agricultural products stored at relatively high temperature.