

農産物の品質判定に関する基礎的研究

—分光反射特性によるナス光沢の定量化—

松岡孝尚*・宮内樹代史*・孫 徳明*

要 旨

農産物の色、つや（光沢）は、品質評価の指標のひとつとして大変重要であるが、その測定例は少ない。そこで、供試材料にその品質評価基準として光沢が重要視されるナスを用い、スペクトロラジオメータシステムにより表面の分光反射特性を測定することで、光沢の定量化を試みた。その結果、光沢の度合いを、可視領域分光比反射率として定量化することができた。この値を指標として、種々の貯蔵条件による経時変化を調べたところ、貯蔵開始後48時間において、貯蔵条件に関わらず光沢は著しく劣化した。また、収穫時の光沢が良いものほど、劣化の度合いが激しいことが明らかとなった。

〔キーワード〕 品質評価, ナス, 光沢, 分光比反射率, 定量化

Basic Studies on the Quality Evaluation of Agricultural Products

—Quantification of Gloss of Eggplants by Spectral Characteristics—

Takahisa MATSUOKA*, Kiyoshi MIYAUCHI*, Deming SUN*

Abstract

Color and gloss are important elements in quality evaluation of agricultural products. As compared with data on the color, there is few data on the gloss. The gloss in surface of eggplant was measured by spectral radio-meter system, and the degree of gloss was quantified by integrated relative spectral reflectance in visible range. The changes of gloss with time under some storage conditions were investigated, and it was found that the relative spectral reflectance values for eggplants decreased remarkably after 48 hours of storage regardless of conditions. The decrease of relative spectral reflectance value was observed remarkably in glossy samples.

〔Keywords〕 quality evaluation, eggplant, gloss, relative spectral reflectance, quantification

I 緒 言

近年、多様化する消費者の要求により、様々な高品質の農産物が生産されるようになった。これに伴い、品質評価の面でも新しい評価法が求めら

れ、近赤外分光法による非破壊評価¹⁾をはじめとして、農産物に応じた品質評価の研究^{2)~9)}が数多くなされている¹⁰⁾。農産物の品質構成要素としては、味、香り、外観等があげられるが、農産物の種類によりその重要度は異なる¹¹⁾。そこで、農産物ごとにその指標を考慮し、総合的に評価する方法を検討することが急務となっている。

本研究では、総合的な評価法のための一つの指

* 高知大学農学部 (〒783 南国市物部 乙200 ☎0888-64-5133) Faculty of Agriculture, Kochi University, Nankoku-shi, 783 Japan

標として、品質の構成要素の中で明確な基準がなく未だ人の目で判断されている光沢に着目し、これを定量化する方法を検討した。供試材料には、光沢が重要な品質評価の指標であるナスを用いた。一般にナスの商品価値は、大きさ、形状、色、光沢、硬さ等によって決まるが、中でも色と光沢は非常に重要視されている。この光沢はナス果実の生育段階や生育過程における灌水、施肥、通風等の栽培条件に左右され、光沢の良いナスは果肉が軟らかく高品質で、光沢のないナスは果肉が硬く品質が落ちる¹²⁾と言われている。

ここでは、スペクトロラジオメータシステムを用い、ナス表面の分光反射スペクトルを測定することで、光沢を定量的に評価することを試みた。第一の目的は、目で判断して明らかに光沢に違いのあるナスが、その表面の分光反射スペクトルにより区別できるかどうかを確認することである。また、定量化した指標を用い、種々の条件で貯蔵したナスの光沢がどのように変化するかを調査したので、これを報告する。

II 測定方法

1. 供試材料

供試材料は、平成5年10月初旬～11月中旬にかけて、高知大学農学部圃場で収穫された‘千両2号ナス’である。これをA(黒紫色、光沢大)、B(黒紫色、光沢小)、C(赤紫色、光沢中)の3つの区分に分類した。今回の測定では、装置の都合上、曲がりがなく、真っ直ぐに結実したもので、最大径が50～53mmのものを選別し、測定に供した。

2. 測定装置

測定装置の概略図を図1に示す。装置は試料台、光源、スペクトロラジオメータ本体(CI SYSTEMS, SR5000)及び制御用コンピュータ(HEWLET PACKARD, VECTRA, IBM-PC/AT 互換機)から成る。試料台は任意の角度で回転させることができ、これをビト管移動装置(理化精機, F-204D 型)に装着することで、試料の位置を上下左右に調整し、測定部位をSR5000の検出位置に合わせることができる。光源には300Wのハロゲンランプ(SYLVANIA, JCD 100V-300WL)を用いた。光源から試料までの距離は

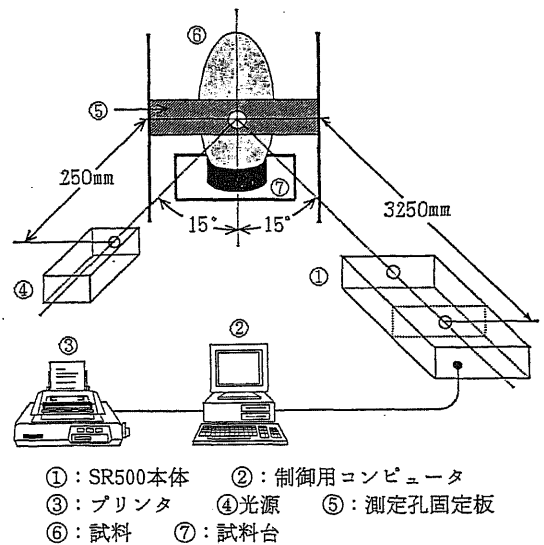


図1 測定装置の概略図

Fig. 1 Schematic diagram of experimental apparatus

表1 SR5000 の測定パラメータ

Table 1 Measurement parameters of SR5000

光源	ハロゲンランプ (300W)
C. V. F	SR-CVF7
ディテクタ	SR-105-PbS/Si
分光波長範囲	0.405~2.5 μ m
入・反射角	15°
SCAN回数	3回
F. O. V	5 mrad
SCAN TIME	32 s

250mm, 試料からSR5000本体までの距離は3250mm, 入反射角は15°とした。尚、測定は外乱の影響を考慮し暗室内で行い、背景の反射の影響を抑えるために試料台後方に暗幕を張った。測定時の室温は22～24°Cであった。

3. SR5000 の測定パラメータ

SR5000の測定パラメータは表1に示すとおりである。今回の測定では、C. V. F(連続可変フィルタ, SR-CVF7)とディテクタ(SR-105-PbS/Si)の組み合わせにより、有効分光波長範囲を0.405～2.5 μ mとした。他のパラメータの決定法については以下に述べる。

F. O. V(視野角, FIELD OF VIEW), SCAN TIME(C. V. F SCAN TIME), SCAN回数(NUMBER OF SCANS)は、試料や環境条件

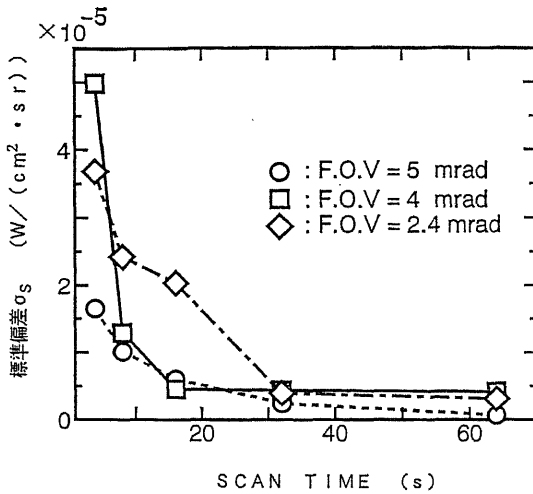


図2 F.O.V.及びSCAN TIMEの測定精度への影響

Fig. 2 The influence of F.O.V and SCAN TIME on measurement accuracy

に応じて決定する必要がある¹³⁾。F.O.V.が大きいほど検出スポットの面積は大きくなり、SR5000に入射する光エネルギーが増加する。このため相対的に外乱の影響を抑えることができ、安定した測定データを得ることができる。しかし、F.O.V.を大きくすると曲率の影響により、測定誤差が大きくなる。また、SR5000に入射したエネルギーの総量は、単位時間内の入射エネルギー量として記録されるため、SCAN TIMEが長いほど正確な測定データが得られる。SCAN回数についても同様であるが、ここではSCAN回数を3回とした¹⁴⁾。そしてF.O.V.とSCAN TIMEを決定するために、F.O.V.を2.4, 4, 5 mrad, SCAN TIMEを4, 8, 16, 32, 64 sとしたときの試料表面の反射エネルギーをそれぞれ3回ずつ測定し、その標準偏差を求めた。結果を図2に示す。これより、本測定ではF.O.V.を5 mrad, SCAN TIMEを32 sに決定した。すなわち、試料表面の径16mmのスポット範囲の反射特性を32秒にわたって3回測定した平均を測定値とした。

尚、試料直径が測定精度に及ぼす影響¹⁵⁾¹⁶⁾を検討するため、白色塗料(大日本塗料, 白色合成樹脂, エナメル)を塗布したφ38~60mmの硬質塩化ビニールパイプの反射エネルギーを測定したところ、図3に示す結果が得られた。F.O.V.が大

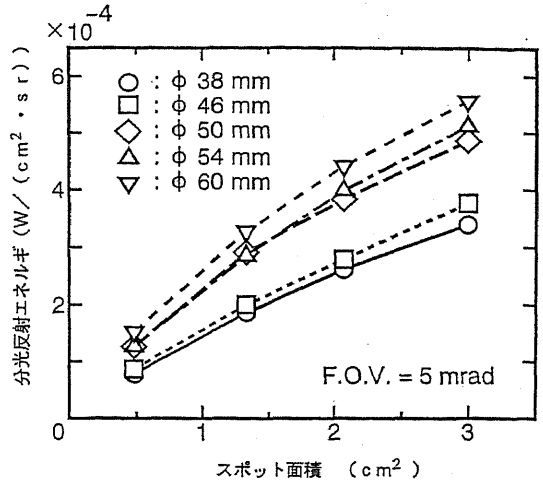


図3 試料直径の影響

Fig. 3 The influence of diameter on measurement accuracy

きいほど曲率による影響も大きくなるが、F.O.V.が5 mradの場合、φ50mmとφ54mmの測定値の最大偏差は3.92%であった。このことから、最大径50~53mmのナスを供試材料に用いた本測定においては、直径の影響による測定誤差は4%を大きく越えないと推定される。

4. 分光比反射率¹⁷⁾の計算方法

光源の分光反射エネルギーは、ナスのそれに比して 10^8 倍のオーダーで、非常にエネルギーレベルが高いため、分光比反射率を求める際の基準としては不適當である。そこで、分光反射エネルギーのレベルがナスよりも高く、しかも同じオーダーであるWHITE REFERENCE (CI SYSTEMS, 以下WRと略記)を基準として用いた。WRはアルミニウム板表面に純金をコーティングしたもので、熱及び化学的に非常に安定した拡散反射板である。従って、環境からの入射光を完全に乱反射するため、その分光反射エネルギーは安定したスペクトルとなる。また、WRと光源の分光反射エネルギーの比は一定(3.24×10^{-3})であるので、分光比反射率を求める際の基準として適當である。これらのことから、ここでは試料の分光反射エネルギーの測定結果をWRの分光反射エネルギーの測定結果で除したものを試料の分光比反射率 $\rho(\lambda)$ と定義した。

$$\rho(\lambda) = Q_s / Q_w \quad (1)$$

また、可視領域(ここでは $0.405 \sim 0.780 \mu\text{m}$ とする)での分光比反射率 ρ_i を次式により求めた。

$$\rho_i = \int_{0.405}^{0.780} \rho(\lambda) d\lambda \quad (2)$$

ここで、

$\rho(\lambda)$: 分光比反射率 [-]

ρ_i : 可視領域分光比反射率 [-]

λ : 波長 [μm]

Q_s : 試料の分光反射エネルギー
[$\text{W}/(\text{cm}^2 \cdot \mu\text{m} \cdot \text{sr})$]

Q_w : WR の分光反射エネルギー
[$\text{W}/(\text{cm}^2 \cdot \mu\text{m} \cdot \text{sr})$]

尚、これらの計算は SR5000 付属のソフトウェアにより行った¹⁸⁾。

III 測定結果及び考察

1. 一個体表面の各部位における光沢

ナスに限らず、農産物表面の色・つやは不均一である。そこで、ナス表面の反射特性が部位によりどの程度違うかを調べるために、A区分ナス(黒紫色、光沢大)を用い、最大径周上32点(断面I, 回転角度 11.25°)及び最大径から上下10mmの周上8点(断面II, III, 回転角度 45°)における分光反射スペクトルを測定し、可視領域分光比反射率 ρ_i を算出した。その結果を表2に示す。各測定点でのスペクトルはほぼ同様の形であったが、 ρ_i の値にはややばらつきがあった。このため、試料の最大径周上について何点か測定した平均で一個体の分光反射特性を表現することにした。

測定点数を決定するために、最大径周上を32点測定した結果から、32, 16, 8, 4点の可視領域分光比反射率 ρ_i の平均値と標準偏差を求めた。その結果を表3に示す。32点の平均値がナス一個体の ρ_i の値を表わしているとする、誤差は16点の場合 0.64%, 8点の場合 2.29%, 4点の場合 10.12% であった。また、本研究で設定したパラメータにおいて、スペクトロラジオメータが測定できるスポット直径は 16.25mm である。試料の最大径は $50 \sim 53\text{mm}$ なので、8点測定すればスポット直径の延長は 130mm となり、周上の80%程度をカバーしたことになる。

以上のことから本研究では、ナスの最大径上8

表2 一個体表面の可視領域分光比反射率
Table 2 Relative spectral reflectance in visible range at some surface area

測定番号 I	断面I (最大径周上)	断面II (上部10mm)	断面III (下部10mm)
1	0.285	0.329	0.285
2	0.296		
3	0.299		
4	0.290		
5	0.331	0.291	0.347
6	0.338		
7	0.419		
8	0.333		
9	0.281	0.343	0.286
10	0.231		
11	0.297		
12	0.277		
13	0.258	0.374	0.314
14	0.395		
15	0.232		
16	0.225		
17	0.266	0.268	0.272
18	0.370		
19	0.385		
20	0.515		
21	0.497	0.292	0.360
22	0.315		
23	0.295		
24	0.265		
25	0.360	0.356	0.318
26	0.375		
27	0.440		
28	0.386		
29	0.406	0.369	0.393
30	0.420		
31	0.292		
32	0.332		
平均値	0.335	0.328	0.322
標準偏差	0.0739	0.0398	0.0420

点で測定した平均値を、そのナス一個体の分光比反射率とした。

2. 収穫直後のナスの色と表面光沢

このようにして求めた収穫直後のA, B, C区分の代表的なナスの分光比反射率のスペクトルを図4に示す。波長範囲 $0.45 \sim 0.65 \mu\text{m}$ では波長が長いほど分光比反射率は小さくなり、波長範囲 $0.65 \sim 0.85 \mu\text{m}$ では波長が長いほど大きくなる傾向があった。尚、ディテクタによる測定可能波長域の下端である $0.405 \mu\text{m}$ 付近でのデータは光源自体の分光放射エネルギーが弱いため不安定であ

表3 測定点数別の可視領域分光比反射率の標準偏差*

Table 3 Standard deviation of relative spectral reflectance in visible range for different numbers of measurements

測定点数 J	32	16	8	4
平均全反射率 (ρ_t)	0.336	0.338	0.328	0.289
		0.334	0.332	0.310
			0.349	0.379
			0.335	0.373
				0.367
				0.355
				0.318
			0.298	
σ_s^{**}	0.000	0.002	0.008	0.034
$Q(\%)^{***}$	0.00	0.64	2.29	10.12

* A区分ナス（黒紫色，光沢大），最大径51mm

** $J=32$ のときの σ_s に対する平均可視領域分光比反射率の標準偏差

*** $Q=100\sigma_s/0.336$

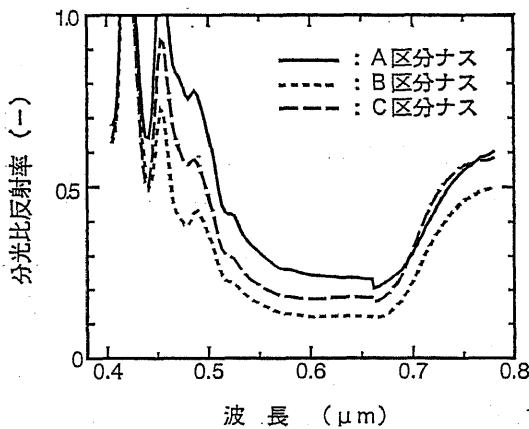


図4 収穫直後のナスの分光比反射率

Fig. 4 Relative spectral reflectance of eggplants soon after harvest

る。分光比反射率は全体的に、 $0.6\mu\text{m}$ 前後の黄色・黄赤色領域では低く $0.7\mu\text{m}$ 、前後の赤色領域では高い結果となった。C区分ナス（赤紫色）の波形は、波長範囲 $0.696\sim 0.763\mu\text{m}$ において、A（黒紫色）のそれを上回る結果となった。この波長範囲が赤色の波長域であるため、このナスの色の特徴をよく表わしているものと考えられる。

また、A（黒紫色，光沢大）とB（黒紫色，光

表4 貯蔵条件
Table 4 Storage conditions

	A区分	B区分	C区分
10°C包装	A ₁	—	—
10°C無包装	A ₂	—	—
25°C包装	A ₃	—	—
25°C無包装	A ₄	B	C

※ 貯蔵環境の湿度： $65\pm 3\% \text{R.H.}$

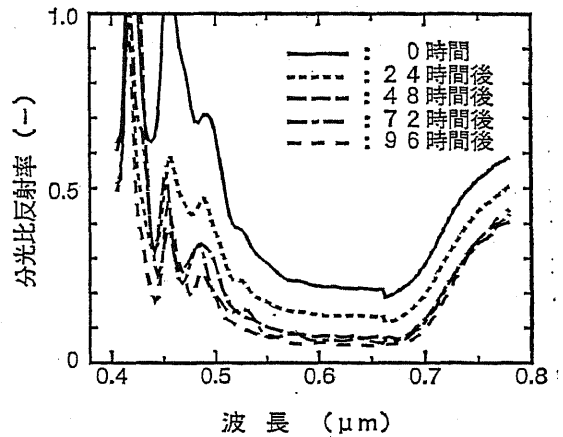


図5 分光比反射率の経時変化 (A₄, 25°C 無包装)

Fig. 5 Changes of relative spectral reflectance with time (A₄, 25°C without wrapping)

沢小)のナスでは、スペクトルは同様であったが、分光比反射率の絶対値において差が認められた。A, B両ナスの色あいにはほぼ同様であるため、この分光比反射率の大小が光沢の大小を示しているものと思われる。色合いが異なるナスを混在させた状態で表面光沢の大小を判別する指標としては、色合いの影響を受けない、スペクトルがほぼ相似となる波長範囲の分光比反射率を用いることが適当である。同色ナス(A, B)については、可視領域にわたってスペクトルはほぼ相似であるので、可視領域分光比反射率により、表面光沢の良否を判別できるものと考えられる。尚、この値はAが0.33, Bが0.23であった。

3. 貯蔵条件と光沢の変化

さらに、収穫時のナスの光沢が貯蔵条件¹⁰⁾によりどのように変化するかを調べるため、試料を表4に示す条件で96時間にわたって貯蔵し、分光反射特性及び重量の経時変化を測定した。試料の

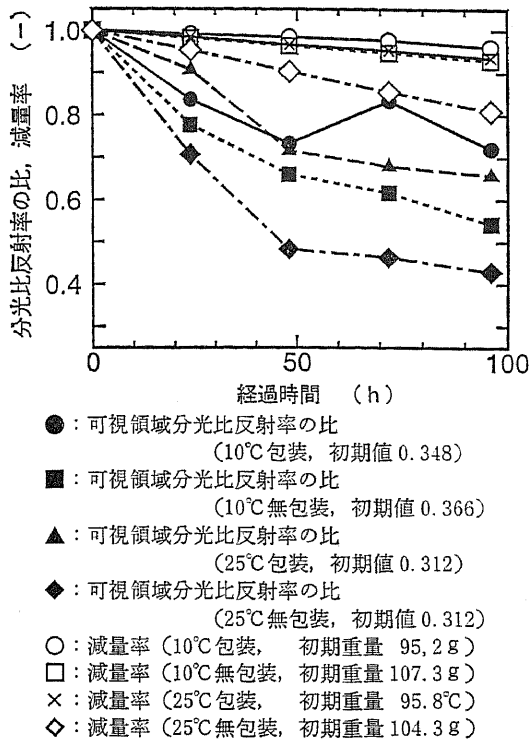


図6 可視領域分光比反射率の比と減量率の経時変化 (A₁~A₄)

Fig. 6 Changes of relative spectral reflectance ratio and weight loss ratio with time (A₁~A₄)

包装には、市販の食品包装用ラップフィルム（ポリエチレン製）を用いた。図5は25°C、無包装のA区分ナスの分光比反射率の経時変化である。スペクトルはほぼ同じ波形を保つが、絶対値は時間経過に伴って低下し、貯蔵開始時に0.312であったものが、96時間後には0.132となった。この傾向は貯蔵条件に関係なく確認されたことから、光沢の大小は可視領域分光比反射率で評価できるものと考えられる。

貯蔵中の変化の度合いを詳細に検討するために、可視領域分光比反射率及び重量を、貯蔵開始時の値を1としたときの比で表し、それぞれを可視領域分光比反射率の比、減量率とした。図6に各貯蔵条件下におけるA区分ナスの可視領域分光比反射率の比と減量率の経時変化を示す。可視領域分光比反射率の比は、どの条件下においても、貯蔵開始後48時間の間に急激に低下し、その後は

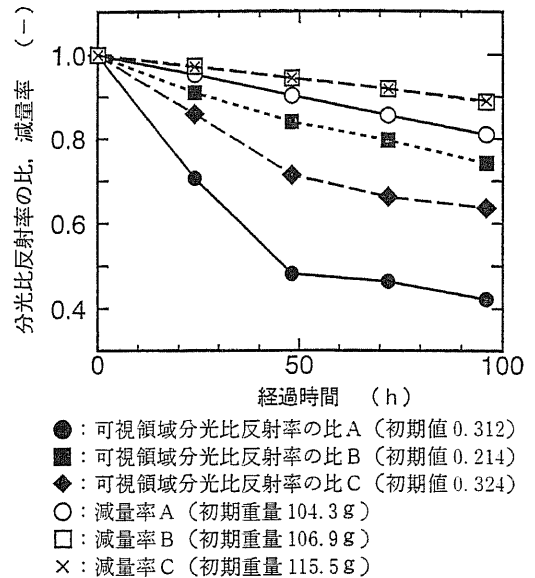


図7 可視領域分光比反射率の比と減量率の経時変化 (A~C, 25°C無包装)

Fig. 7 Changes of relative spectral reflectance ratio and weight loss ratio with time (A~C, 25°C without wrapping)

緩やかに低下する傾向となった。96時間経過後では、10°C包装区が最も高い値となり、以下25°C包装区、10°C無包装区、25°C無包装区の順となった。

観察の結果、10°C包装区では96時間経過後も光沢がある程度保持されていたが、25°C無包装区では48時間後には光沢が失われていた。目視により光沢消失と判断した時期のナスは、可視領域分光比反射率の比が0.7以下であった。このことから、A区分ナスについては可視領域分光比反射率の比を指標として、貯蔵期間中の光沢の有無を判断できるものと考えられる。

尚、重量はどの試験区においても一定速度で減少する傾向であったが、25°C無包装区が最も減少速度が大きかった。

4. ナスの光沢変化の特性

図7に25°C無包装で貯蔵したA, B, C区分ナスの可視領域分光比反射率の比と減量率の経時変化を示す。可視領域分光比反射率の比の低下の度合いはA区分が最も激しく、次いでC, Bという順となった。このことは、同色（黒紫色）のナスについては、収穫時の光沢が良い方が可視領域分

光比反射率の低下が激しいことを示している。また、赤紫色のナスは、黒紫色のナスよりも可視領域分光比反射率の低下度合が小さい結果となったのは、可視領域分光比反射率を求めた波長域に赤色系をよく反射する波長（図4参照）を含んでいるためと考えられる。また、重量減少はAはが最も激しかった。

この結果から、収穫時の光沢が良い黒紫色のナスほど重量減少が激しく、光沢が早く失われることが明らかとなった。これは、光沢の良いナスほど表面から水分蒸発が激しいためと考えられる。

IV 摘 要

ナスの品質構成要素のひとつである表面光沢を定量的に評価するため、スペクトロラジオメータシステムを用いて、その表面の分光反射特性を測定・検討したところ以下の知見を得た。

1) ナス一個体の反射特性を、その最大径周上8点の分光比反射率の平均値として表現することができた。

2) 赤紫色ナスは黒紫色ナスに比して波長範囲0.696~0.763 μm での分光比反射率が高い。

3) 同色ナスについては、可視領域分光比反射率を指標として、表面光沢の良否を判定することができる。

4) ナスの可視領域分光比反射率は、貯蔵条件に関わらず、貯蔵開始後48時間の間に急激に低下した。

5) 貯蔵条件による光沢保持期間は、可視領域分光比反射率の比を指標として判断することができ、25°C無包装区では約1日、10°C包装区では約4日であった。

6) 収穫時の光沢が良い黒紫色のナスほど重量減少が激しく、光沢の劣化が早かった。

以上の結果から、ナスの表面光沢はその分光反射特性により相対的に評価できることが確認された。また、ナスの光沢変化特性を明らかにしたことは、流通・鮮度保持技術の向上に寄与するものと考えられる。

参 考 文 献

- 1) 天間 毅, 上田映介, 松江 一, 篠木藤敏, 対馬武夫:
近赤外分光法によるリンゴ糖度の測定, 第6回非破壊計

測シンポジウム講演要旨集, 日本食品工業学会, 98-102, 1990

- 2) Gaffney, J.J., Jahn, O.L.: Photoelectric color sorting of vineripened tomatoes, USDA Marketing Research Report No. 868, 1970
- 3) Bulley, N.R., Staley, L.M., Mehra, H.K.: Electronic color sorting of strawberries, Canadian Agricultural Engineering, 15(2), 103-106, 1973
- 4) Gaffney, J.J.: Reflectance properties of citrus fruits. Trans. ASAE, 16(2), 310-314, 1973
- 5) 中馬 豊, 中司 敬: DLE によるカキ果実の選別自動化に関する研究 (第1報), 農機誌, 42(2), 279-285, 1979
- 6) Kranzler, G. A.: Applying digital image processing in agriculture, Agricultural Engineering, 66(3), 11-13, 1985
- 7) 加藤宏郎: 高周波インピーダンスによる農産物の非破壊鮮度判定 (第3報), 農機誌, 55(1), 75-83, 1993
- 8) 陳 介余, 宮里 満, 石黒悦爾: 振動特性による農産物の内部品質の判定 (第1報), 農機誌, 55(3), 65-72, 1993
- 9) 李 曉明, 岩尾俊男, 藤浦建史, 沢沢 栄, 毛利健太郎: 画像処理による青果物の損傷果検出システム (第1報), 農機誌, 55(4), 91-98, 1993
- 10) 河野澄夫: 非破壊計測法の概要—農産物の非破壊品質評価について—, 第9回非破壊評価シンポジウム講演要旨集, 日本食品工業学会, 1-13, 1993
- 11) 渡邊良昭, 石谷孝佑: 農産物の品質と鮮度, 食品流通技術, 21(4), 53-59, 1992
- 12) 尹 獲, 町田治幸, 松丸好次, 小菅治郎: ナスのつくり方, 農山漁村文化協会, 東京, 102-104, 1984
- 13) CI SYSTEMS ed.: SR5000 Computerized IR Spectro-Radiometer Manual Part A, SR5000 SYSTEM OVER VIEW-6, 1987
- 14) 松岡孝尚, 宮内樹代史, 孫 徳明: 乾燥過程における大根の遠赤外線分光放射特性, 高知大学学術研究報告 (農学編), 42巻, 11-22, 1993
- 15) 中馬 豊, 志賀 徹, 守田和夫: 光反射利用による温州ミカンの選別自動化に関する研究 (第1報), 農機誌, 40(3), 389-395, 1978
- 16) 中馬 豊, 河野澄夫, キョウセイ: 果実の光学的性質とその選別工程への利用 (第2報), 農機誌, 37(4), 587-592, 1975
- 17) 日本色彩学会編: 新編色彩科学ハンドブック (第2回改訂版), 東京大学出版会, 1989
- 18) CI SYSTEMS ed.: SR5000 Computerized IR Spectro-Radiometer Manual Part B, SR5000 SYSTEM OVER VIEW-7, 1987
- 19) 農林省農業研究センタープロジェクト研究第4チーム: 特許にみる青果物鮮度保持技術の動向, 流通システム研究センター, 東京, 15-16, 1991
- (原稿受理平成6年4月1日・質問期限平成7年3月31日)

コメ ン ト

[読者のコメント]

本実験の「光沢」のデータと、色データ(L. a. b)との比較があれば、さらに良かったと思いますが。

「光沢」の消失の原因は、色素の化学変化ですか、または表面細胞の老化ですか。表面のミクロな観察(例えば、顕微鏡写真)では、「光沢」の差異は表現できませんか。

[コメントに対する著者の見解]

一般に、正常なナス果は黒紫色を呈し、赤色を強く帯びているものは商品価値が劣ります。赤紫色ナスは、黒紫色ナスの対極として用いたに過ぎ

ません。本研究では、同色(黒紫色)のナス果において、光沢の良否を相対的に評価し、その変化特性を調べることに主眼をおいたため、L. a. bの測定は行いませんでした。しかし、いずれの場合も、測定期間中の色合い(L. a. b)は大きく変化しないものと推察されます。

光沢の消失は、色素の化学的変化よりも、水分蒸発による果皮表面(クチクラ層)の劣化に起因するところが大きいと考えられます。このことについては、ご指摘の、表皮細胞の微視的な観察等の手法により、今後詳しく検討したいと存じます。

◀新しい出版物▶

シンポジウム

農作業の安全と機械化技術(Part 2)

—PL法と農業機械—

編集・発行 農業機械学会 平成6年11月

B5版 41頁 定価 2,000円(送料込)

長年の懸案であったPL(製造物責任)法がついに国会を通過し、1994年7月1日に公布された。1年の周知期間を置いたのち、1995年7月1日から施行される。これまではほとんど輸出企業にとっての課題でしかなかったPLが、いよいよ国内問題にもなるということで、産業界からは大きな関心と少なからぬ不安をもって迎えられている。しかしながら、PLへの対応は、これからの時代に企業が避けて通ることの出来ない道であって、その対応に向けて一層の体制強化が求められている。

1. PL法と農業機械メーカーの課題
付:米国の農業機械関係PL裁判事例

四日市大学経済学部教授 山口正久

2. 安全な機械への技術的課題

蚕糸・昆虫農業技術研究所

生体機能模倣研究室長 石川文武

付. 製造物責任法