ハイパースペクトルイメージングによる青果物のアントシアニン 色素分布の評価に関する研究 第2報 イチゴのアントシアニン色素分布の可視化

小林太一^{1,2}・永田雅輝¹・後藤有美子¹・豊田 寛¹・ジャスパ タラダ^{1,2}

¹ 宮崎大学農学部 889-2192 宮崎市学園木花台西 1-1

² 鹿児島大学大学院連合農学研究科

Study on Anthocyanin Pigment Distribution Estimation for Fresh Fruits and Vegetables Using Hyperspectral Imaging Part2. Visualization of Anthocyanin Pigment Distribution of Strawberry (*Fragaria X ananassa* Duchesne)

Taichi KOBAYASHI^{1,2}, Masateru NAGATA¹, Yumiko GOTO¹, Hiroshi TOYODA¹ and Jasper TALLADA^{1,2}

¹ Faculty of Agriculture, University of Miyazaki, Miyazaki 889-2192 Japan

² United Graduate School of Agricultural Sciences, Kagoshima University

Abstract

Non-destructive measurement of some internal properties of fruits for quality and safety is becoming important to the consumers and the industry in whole. The main goal of this research is to develop prediction models that can estimate anthocyanin pigment absorbance in strawberry using hyperspectral imaging in the visible range. The variety of strawberry was 'Akihime'. A hyperspectral imaging system was developed based on a liquid crystal tunable filter that took images from 450 nm to 600 nm at 1 nm interval. Using stepwise multiple linear regressions, calibration model wavelengths were selected using the second derivative of the smoothed absorbance spectral data. The five-wavelength model had a correlation coefficient (R) of 0.932 with a standard error of calibration of 0.165 and prediction of 0.213 for the sample sets. The calibration model was used to develop the anthocyanin pigment distribution map of the strawberry samples. To account for the effects of fruit size, the distance between the camera and samples was varied by around 20mm because the radius of strawberry fruits is less than 20 mm. However, it did not affect the results. With this results, the anthocyanin pigment estimation in strawberry using hyperspectral imaging was found possible.

Keywords: anthocyanin pigment content, hyperspectral imaging, quality estimation, strawberry

緒 言

2005 年 7 月 8 日受付

2005 年 11 月 10 日受理

Corresponding author: Masateru Nagata

(nagatam@cc.miyazaki-u.ac.jp)

近年, 食に対する消費者の健康・安全指向の強い高まりから, 農産物の品質評価・検査は, これまで以上に厳密さが求められるようになった。これに伴って, 計測精度の技術的向

上が重要な課題となっている (Kawano, 2003; Nagata, 2002; Nagata, 2004).

このような背景から、近年、分光画像情報から農産物の品質情報の特徴抽出を行う手法としてハイパースペクトルイメージングによる計測法が注視されている。農業生産物の範疇における本計測法の発展は、米国では1990年代後半頃からChi Thai, Lu Reufuらにより進められてきた (Evans, M. d. *et al.*, 1998; Lu, R., 2003). 我が国では杉山, 蔦らによるメロンの糖度分布評価が行われた (Sugiyama, 1999; Tsuta *et al.*, 2002a; Tsuta *et al.*, 2002b).

ハイパースペクトルイメージングは、狭い波長間隔で連続的に画像 (分光画像) を取得し、画素単位で解析する手法でVIS-NIR領域において利用されている。本手法は、スペクトロメーターを用いた分光分析に比べて、平面領域における分光分析が可能であることから目的とする対象物の品質評価や成分分布状態の可視化等、高度な解析ができるメリットがある。筆者らも2000年頃から本手法に着手し、果菜類の品質評価・検査システムの開発のためにその基礎研究を遂行してきた (Nagata *et al.*, 2004a; Nagata *et al.*, 2004b).

本課題は、最近、消費者の感心の高い機能性について、特にアントシアニン色素分布の評価をハイパースペクトルイメージングによって行うことを目的に、第1報では有色サツマイモ (紫イモ) のアントシアニン色素分布の評価を検討した (Nagata *et al.*, 2007, 投稿中)。

続報として、第2報ではイチゴのアントシアニン色素分布の評価について試みたので報告する。

実験装置および方法

1. 供試材料

供試したイチゴ (*Fragaria X ananassa* Duchesne.) は宮崎産 (生産地: 宮崎市木花) のハウス栽培イチゴで、品種は‘章姫’である。試料は平成17年1月下旬から4月上旬にかけて生産農家のハウスから朝方に採取したイチゴ (計120個) を供試した。試料の性状は着色度合が1~2分, 3~6分, 7~10分, 階級はL, 2L, 3L (半径15~20 mm), 等級はAランクである。この着色度, 階級および等級の判別は、試料採取時に生産農家をお願いした。イチゴは太陽光の当たっている面の日表面と当たらない面の日裏面とに色付き (着色度) の違いがあることから (Uematsu, 1998), この両面における着色度, すなわち、アントシアニン色素の抽出および分光画像を取得することにした。

2. ハイパースペクトルイメージング撮影装置および画像の取得とその処理

1) 撮影装置および画像取得

撮影器具は、有効画素数1,572,864画素, 14 bit階調の冷却CCDカメラ (Apogee製, AP2E), レンズ (NIKKOR, 1:1.4, f = 50), 液晶チューナブルフィルター (CRI製, VS-V153-10-HC-20, 半値幅5 nm) から構成され、被写体の上方650 mmに設置した。照明は、ハロゲンランプ (フィリップス製, 50W) を光源にもつDLライト (エスアイ精工製) を用いて、影が出来にくいように被写体上方 (350 mm) の4ヶ所から照射した。また、ハレーションを除去するために、ライトおよびカメラレンズ先端に偏光フィルターを取り付けた。

撮影装置は、外乱光の影響を除去するために、装置全体をブラックボードと暗幕で覆った。また、光源部から発生する熱の影響を除くために、撮影ボックスの側面および上面に取り付けた冷却ファンで排熱し、装置内温度を22℃に保った。

画像取得は、イチゴを安定して撮影できるように、くほみのある試料架台を作成し、それに試料 (がく片を取り除いたイチゴ) を置き、冷却CCDカメラの画像処理ソフトウェア (Max-Im) を用いて450~600 nmの範囲において1 nm間隔で行い、日表面および日裏面の分光画像 (画像サイズ512×726画素) を1試料につき302枚 (片面151枚) パソコンに取込んだ。この時の撮影条件は、冷却CCDカメラの冷却温度を-15℃に設定し、シャッタースピードを1.3s, 絞りをF = 8とした。

2) 画像処理

取得した分光画像には、暗流ノイズ, バイアス電圧, 各画素の感度ムラ, 光学系の光量ムラが含まれるので (Fukushima, 1999) 画像補正を行い、各画素を14bit階調の輝度値で表現した。さらに、(1)式によって吸光度に変換した (Iwamoto, *et al.*, 2002).

$$A_{(x,y)} = \log(I_{s(x,y)} / I_{(x,y)}) = \log(1 / I_{norm(x,y)}) \quad (1)$$

ここで、 $A_{(x,y)}$ は吸光度値、 $I_{s(x,y)}$ は標準白色板の反射光の強さ、 $I_{(x,y)}$ は試料の反射光の強さ、 $I_{norm(x,y)}$ は補正画像である。

(1)式によって得られた各画素の吸光度を試料ごとに平均した値 ($\bar{A}$) を、450~600 nmの波長域 (1 nm間隔) で連続的にプロットしてスペクトルを求めた。次に、このスペクトルの加算的なベースライン変動の除去や微小ピーク等を強調するために二次微分処理を行った。

3. アントシアニン色素の化学的抽出法

アントシアニン色素の含量は、対象物からの抽出液の吸収波長 (490~530 nm) における最大吸収波長の吸光度を測定し、その値の大小によって相対量として示されている。本研

図1 アントシアニン色素分布

Fig. 1 Anthocyanin pigment distribution

究では、アントシアニン色素の抽出には50%酢酸溶液を用いた(Adachi and Yoshitama, 2004; Ohda *et al.*, 2000).

本実験に供試したイチゴ‘章姫’は、図1に示すように、表皮面の近くに色素が一様に沈着し、表面の着色度合からアントシアニン色素の分布評価がしやすい品種であった。そこで、色素抽出用試料は画像取得面と一致する日表面と日裏面とに果肉を分割して、その重量の3倍の重さの溶液に一晩(20時間以上)浸漬した。その抽出液の透過光強度をスペクトロメーター(Avantes製, Avaspec-2048)を用いて490～530 nmの範囲において測定し、吸光度変換を行い、最も吸収の強い波長をアントシアニン色素の吸収波長(λ_a)とし、その吸光度を色素の相対濃度の実測値とした。

4. 検量線の作成および評価

検量線を作成するにあたって、試料ごとの日表面および日裏面の二面から得た分光画像の各波長における平均吸光度二次微分値($d^2\bar{A}$)を説明変数、アントシアニン色素抽出液における λ_a の吸光度を目的変数とした。これらの値を用いて重回帰分析し、アントシアニン色素を表す予測値(吸光度)を求める検量線を作成した。得られた検量線については、検量線評価用試料を用い、次式で標準偏差を算出してその精度を評価した(Iwamoto *et al.*, 2002).

$$SEP = \sqrt{\sum_{i=1}^n (d_i - \bar{d})^2 / (n - 1)} \quad (2)$$

ここで、SEPは検量線評価用試料に対する標準誤差、 d_i は検量線による予測値(吸光度)と抽出法による実測値(吸光度)の差、 $\bar{d}$ は d_i の平均値、 n は評価用試料の数である。

5. アントシアニン色素分布の可視化

1) 可視化画像の作成

アントシアニン色素の分布を評価するために可視化画像を作成した。そのために着色度1～2分、3～6分、7～10分の試料の分光画像を取得し、前述と同様の画像処理を行い、画素ごとに検量線に適用してアントシアニン色素の相対濃度(吸光度)を求め、その差異をMatlab Ver 6.5.1を用いてカラーマッピング(可視化画像)した。

2) アントシアニン色素の個体間評価

目視や実画像からでは確認しにくい個体間のアントシアニン色素の含有度合やその分布を評価するために、収穫適期(着色度7～10分)の試料を用いて、日表面および日裏面のアントシアニン色素分布の可視化画像を作成した。次に、それをもとに吸光度を0.1単位に分け、個体ごとの度数分布を作成し、それを比較することでアントシアニン色素の分布割合の個体間評価を行った。評価の方法は、A(優)およびB(良)の二段階判定とし、抽出液の平均吸光度(着色度7～10分の日表面と日裏面の平均値)を評価基準値と定めて、分布波形から平均吸光度以上の面積割合が50%以上であればA、50%未満であればBとした。

6. 画像取得時の撮影距離がアントシアニン色素の予測値に及ぼす影響

本研究では、撮影距離(試料の最高部位からカメラまでの距離)は常に一定(650 mm)とした。しかし、イチゴではその最高部位と側面の高低差が最大で20 mmあったことから、被写界深度を出来る限り深く(絞り値F=8)することで画像がボケないように調整した。そこで、この高低差が画像精度に及ぼす影響の有無についても検討してみた。測定は着色度3～6分および7～10分の試料を用いて、果皮表層部から縦15×横15×厚5(mm)の試験片を作成し、撮影距離を650 mmから5 mm間隔で670 mmまでの5段階における分光画像を取得し、それらを4.項の検量線に適用してアントシアニン色素(吸光度)の予測値を求めて、影響の有無を調べた。

結果 および 考察

1. アントシアニン色素の波長解析

1) 抽出液の吸光度および吸光度二次微分スペクトル

化学的抽出法によるアントシアニン色素抽出液の吸光度および吸光度二次微分スペクトルの解析結果は図2のように、504 nm, 509 nm, 512 nm, 518 nm および 524 nm において強い吸収が見られた。本実験でのアントシアニン色素の吸収波長(λ_a)は、最も強い吸収が見られた $\lambda_a = 504$ nmと決定した。表1は検量線作成用および検量線評価用に用いた試

図2 抽出液の吸光度および吸光度二次微分スペクトルの解析結果

Fig. 2 Absorbance and 2nd derivative absorbance spectra of extracted material.

料の着色度ごとの日表面と日裏面の吸光度を示した。これより、着色が進むにつれて吸光度は高くなり、また、日表面が日裏面より吸光度は高く、その差は着色度1～2分で0.024、3～6分で0.136、7～10分で0.171となり、着色が進むにつれ広がっていることが判った。

2) 分光画像の吸光度二次微分スペクトル

図3はハイパースペクトルイメージングで撮影した450～600 nmにおける分光画像の一例を示す。ここでは10 nmごとの分光画像を着色度別に示した。これらの分光画像から果実面の吸光度（濃度）が明確に判断できる。これらの分光画像を用いてアントシアニン色素の吸収波長である490～530 nmの波長域において、着色度ごとの分光画像による吸光度二次微分スペクトルを図4に示した。いずれの着色度においても508 nm、512 nm および514 nmの波長で強い吸収が見られた。

これらの吸収波長を図2における抽出液の吸収波長と比較したところ、分光画像による508 nm、512 nm および514 nmは、抽出液の504 nm、509 nm および512 nmに類似する吸収波長であることより、ハイパースペクトルイメージングによるアントシアニン色素評価の適用性が確認できた。なお、分光画像からの吸収波長と抽出液からの吸収波長に2～4 nmの差異が見られたが、これは測定物（液体、固体）の差および測定器の機差等が影響したと思われる。

表1 抽出液の吸光度測定値

Table 1 Basic data of absorbance by extracted liquid of anthocyanin pigments

	Calibration set (80 samples)					
	Ripeness: 10-20%		Ripeness: 30-60%		Ripeness: 70%-Fully	
	Sunny	Unsunny	Sunny	Unsunny	Sunny	Unsunny
	side	side	side	side	side	side
Mean	0.062	0.038	0.477	0.341	1.466	1.295
Max.	0.127	0.088	1.166	0.785	1.908	1.835
Min.	0.018	0.016	0.207	0.112	0.698	0.560
S.D.	0.024	0.018	0.252	0.214	0.314	0.388
	Prediction set (40 samples)					
Mean	0.039	0.022	0.485	0.395	1.489	1.253
Max.	0.104	0.054	1.347	1.148	1.846	1.854
Min.	0.021	0.014	0.133	0.11	0.825	1.014
S.D.	0.019	0.018	0.312	0.302	0.272	0.303

※ An spectral image (absorbance) of 10nm pace

図 3 分光画像の一例

Fig. 3 An example of spectral imaging

図 4 分光画像による吸光度二次微分スペクトルの解析結果

Fig. 4 Second derivative spectra from spectral imaging

表2 検量線の作成および評価結果

Table 2 Result of parameters of calibration and prediction by wavelength models

Selected Wavelength					Calibration					Prediction				
λ_1	λ_2	λ_3	λ_4	λ_5	R	SEC	R	Bias	SEP	R	Bias	SEP		
508					0.285	0.545	0.318	-0.030	0.553					
508,506					0.824	0.322	0.702	0.064	0.417					
508,506,507					0.831	0.316	0.708	0.084	0.414					
508,506,507,531					0.900	0.248	0.870	0.035	0.288					
508,506,507,531,533					0.957	0.165	0.932	0.032	0.213					

2. 検量線の作成と評価

アントシアニン抽出液の吸収スペクトルで最も吸収の強い波長 (λ_a :504 nm) に由来する分光画像の 508 nm を第 1 波長

図 5 5 波長の検量線による予測値と実測値の関係

Fig. 5 Relationship between measured and predicted anthocyanin pigment absorbance (five wavelength) .

として、5 波長までの検量線の作成結果と評価結果を表 2 に示す。これより、選択波長が増加すると、重相関係数は高くなり、検量線評価時の標準誤差は減少した。よって、本研究では 5 波長 (λ_{508} , λ_{506} , λ_{507} , λ_{531} , λ_{533}) の検量線を採用することにした。その時の検量線は、次式の通りである。

図6 可視化画像の例

Fig. 6 Anthocyanin pigment distribution map.

図7 アントシアニン色素分布の可視化画像の例（着色度7～10分）

Fig. 7 Anthocyanin pigment distribution map of samples (70% to full ripe)

図8 アントシアニン色素（吸光度）の度数分布

Fig. 8 Percentage of anthocyanin pigment (absorbance).

表3 アントシアニン色素の品質評価
Table 3 Anthocyanin pigment quality estimation

Sample No	Percentage of anthocyanin pigment (Absorbance)		Estimation
	Less than average	More than average	
1	8	92	A
2	41	59	A
3	4	96	A
4	15	85	A
5	63	37	B
6	67	33	B

Average absorbance : 1.381

予測値(A_p)

$$= -0.313 - 33.699 d^2 \bar{A}(\lambda_{508}) + 22.694 d^2 \bar{A}(\lambda_{506}) - 2.935 d^2 \bar{A}(\lambda_{507}) + 48.350 d^2 \bar{A}(\lambda_{531}) - 43.790 d^2 \bar{A}(\lambda_{533}) \quad (3)$$

ここで、 $d^2 \bar{A}$ は各選択波長における平均吸光度二次微分値である。

この場合の予測値(A_p)は $R = 0.932$, $SEC = 0.165$, $SEP = 0.213$ となり、良好な評価精度が得られた。この時の予測値(A_p)と実測値(A_m)の関係を図5に示した。これより、アントシアニン色素含有が著しく低い場合、すなわち、無着色の果実は予測値(A_p)が負となり検量線に適合しなかった。このことは、イチゴのアントシアニン色素は催色期から急激に増加するもので、無着色の緑色果や白色果には含まれないと言われていることと一致するものである(Uematsu, T. 1998)。

3. アントシアニン色素分布の可視化

1) 可視化画像の作成

図6は、(3)式を用いて作成した可視化画像(A_p は0.0～

1.9で表示)の一例を示すが、実画像および吸光度画像も併記した。これより、着色が1～2分、3～6分、7～10分と進むにつれて、果頂部から果梗部へとアントシアニン色素が蓄積していることが明確に判断できる(Uematsu, 1998)。このことは、アントシアニン色素の蓄積状態を詳細にとらえることができるもので、色素評価の手段として有効であることが示唆された。

2) アントシアニン色素の個体間評価

図7は、10分着色(No. 1～No. 3)および7～8分着色(No. 4～No. 6)の実画像に対する可視化画像(強調するため A_p は1.0～1.8で表示)の結果の一例を示す。実画像で示すように10分着色(No. 1～No. 3)の果実間では、目視的に若干の濃淡差が見られるものの、ほぼ同じ赤色を示しているが、可視化画像の結果はNo. 3においてアントシアニン色素の含有が多く見られた。7～8分着色(No. 4～No. 6)の果実間でも同様に、実画像で示すように同一の赤色に見えるが、可視化画像の結果はNo. 4においてアントシアニン色素の含有が多く見られた。このことは、果実の着色中にアントシアニン色素を含む波長(検量線の5波長)が多く存在することを意味するものである。このように、目視では確認しにくいアントシアニン色素の多少および分布ムラを、ハイパースペクトルイメージングを用いることで、精細に表現することができた。

図8は、図7の可視化画像をもとに作成した個体ごとのアントシアニン色素の分布割合(度数分布)を示す。この結果、アントシアニン色素含有の高い試料は、低い試料より右側でピークを示すことから、個体間におけるアントシアニン色素含有の評価の判断は容易である。次に、平均吸光度1.381を評価基準値にして二段階評価をした結果は、表3のようにAとBに区別することができることから、アントシアニン色素の含有を果実ごとに相対評価できることが示唆された。

4. 画像取得時の撮影距離がアントシアニン色素の予測値に及ぼす影響

カメラ高さ650 mmから670 mmまでの撮影距離の影響によるアントシアニン色素の予測値(5波長) A_p は、着色度3～6分で0.86～0.89、着色度7～10分で1.10～1.14の範囲にあり、 A_p の差は0.03～0.04と極めて小さかった。今回のイチゴのような果実では、撮影距離の影響は無視できた。

摘 要

- (1) 品質評価・検査システムの開発研究の一環として、ハイパースペクトルイメージングによるイチゴのアントシアニン色素の評価を行った。
- (2) 分光画像の取得は、高感度冷却CCDカメラと液晶

チューナブルフィルターを用いて450-600 nmの可視光領域を1 nm間隔で分光画像を取得した。画像処理は分光画像を画素ごとに輝度値から吸光度値に変換し、平均吸光度二次微分値を求めてスペクトルの作成を行った。

- (3) アントシアニン色素は、抽出液(50%酢酸に20時間以上浸漬)の吸光度二次微分スペクトルから490～530 nmの範囲で最も吸収の強い波長を選んだ。
- (4) アントシアニン色素の検量線は、分光画像から求めた平均吸光度の二次微分値を目的変数、化学的抽出法で最も吸光度の強い波長の吸光度値を目的変数として重回帰分析から求めた。
- (5) 検量線から画素ごとの吸光度を求め、その値をカラーマッピングしてアントシアニン色素分布の可視化画像を作成した。
- (6) 分光画像では508 nmと抽出液では504 nmにおいてアントシアニン色素を表す波長が強く認められたので、508 nmを第一波長に検量線を作成した。5波長での実測値と予測値との間には、重相関係数 $R = 0.932$ 、標準誤差 $SEP = 0.213$ であり、予測精度は良好であった。
- (7) 選択された波長域で検量線を適用し、アントシアニン色素分布の可視化画像と分布割合のグラフを作成し、個体間の評価を試み、ハイパースペクトルイメージングの有用性を確認した。
- (8) 撮影距離による影響は、設定値から20 mm程度の差ではアントシアニン含有の予測精度になんら支障はなかった。

謝 辞

本研究は、文部科学省科学研究費(課題番号16658098)の支援を受けて遂行した。試料はイチゴ栽培農家持原善伸氏の協力を得た。実験の遂行にあたっては研究室専攻学生中辻寿文君の協力を得た。ここに記して関係者各位に深く感謝申し上げる。

引用文献

- Adachi, Y., *et al.* 2004. How to Study on Plant Pigment, ed. by Research Association of Plant Pigment (in Japanese) (植物色素研究法 植物色素研究会編). Osaka Municipal Universities Press, Osaka, 10
- Evans, M. D., Thai, C. N. and Grant, J. C. 1998. Development of a spectral imaging system based on a liquid crystal tunable filter. Trans. ASAE 41(6): 1845-1852.
- Fukushima, H. 1999. Introduction to cooled CCD camera for amateur astronomy (in Japanese) (天文アマチュア

- のための冷却 CCD カメラ入門). SeibundouSinkousya, Tokyo, 149–152.
- Iwamoto, M., Kawano, S., Uozumi, J. 2002. An introduction to Near-Infrared spectroscopy (in Japanese) (近赤外分光法入門). Saiwaishobo, Tokyo, 50–57.
- Kawano, S., *et al.* 2003. Food Non-destructive Measurement Handbook (in Japanese) (食品の非破壊計測ハンドブック). Science Forum, Tokyo, 16–18.
- Lu, R. 2003. Detection of bruises on apples using Near-infrared hyperspectral imaging. Trans. ASAE 46(2): 523–530.
- Nagata, M. 2002. Quality judgment and estimation of agricultural products (in Japanese). Journal of Kyushu Branch of JSAM, 51: 59–64.
- Nagata, M. 2004. Spectral image and non-destroying quality measurement (in Japanese). Kyushu Branch Report of SHITA, 51: 59–64.
- Nagata, M., Kobayashi, T., Gegima, Y., M., Amri., Goto., Y., Hetsugi, R. 2004a. Basic studies for trial on quality estimation and test for fresh fruit and vegetables from spectral image using tunable imaging filter (in Japanese). Bulletin of Faculty of Agriculture, University of Miyazaki, 50(12): 57–64.
- Nagata, M., Kobayashi, T., Tallada, J., Toyoda, H. 2004b. Trial study on non-destructive prediction sugar content Tomatoes by NIR spectral imaging using liquid crystal tunable filter (in Japanese). Journal of Kyushu Branch of JSAM, 53: 11–15.
- Nagata, M., Kobayashi, T., Tallada, J., Toyoda, H., Goto, Y. 2006. Study on anthocyanin pigments estimation for fresh fruit and vegetables using a hyperspectral imaging Part1 Visualization of anthocyanin pigments distribution of purple-fleshed sweetpotato (*Ipomoea batatas* Poir) (in Japanese). J. SHITA, 18(1): 42–49.
- Ohda, R., Igarashi, K., Tsukui, A. 2000. Anthocyanin –Food Color with Health Benefits– (in Japanese) (アントシアニン – 食品の色と健康 –). Kenpakusya, Tokyo, 74.
- Sugiyama, J. 1999. Visualization of sugar content in the flesh of a Melon by Near-Infrared imaging. J. Agric. Food Chem, 47: 2715–2718.
- Tsuta, M., Sugiyama, J., Sagara, Y. 2002a. Near-Infrared imaging spectroscopy based on sugar absorption band for Melon. J. Agric. Food Chem, 50: 48–52.
- Tsuta, M., Sugiyama, J., Sagara, Y. 2002b. Near-Infrared imaging spectroscopy using a hyper-spectral camera –Visualization of the sugar distribution in the flesh Melons– (in Japanese). Journal of the Institute of Image Information and Television Engineers, 56(12): 159–162.
- Uematsu, T. 1998. A theory and a fact of strawberry cultivation (in Japanese) (イチゴ栽培の理論と実際). Seibundoushinkousya, Tokyo, 167–169.