

# 近赤外分光法によるイチゴ果実糖組成の非破壊測定

誌名	日本食品科学工学会誌
ISSN	1341027X
著者名	西沢,隆 森,佑子 福島,慎也 夏賀,元康 丸山,康広
発行元	日本食品科学工学会
巻/号	56巻4号
掲載ページ	p. 229-235
発行年月	2009年4月

農林水産省 農林水産技術会議事務局筑波産学連携支援センター  
Tsukuba Business-Academia Cooperation Support Center, Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council  
Secretariat



## 近赤外分光法によるイチゴ果実糖組成の非破壊測定

西沢 隆, 森 佑子, 福島慎也, 夏賀元康<sup>§</sup>, 丸山康広\*

山形大学農学部

\* 山形県庄内総合支庁農業技術普及課産地研究室

Non-destructive Analysis of Soluble Sugar Components in Strawberry Fruits  
Using Near-infrared SpectroscopyTakashi Nishizawa, Yuko Mori, Shinya Fukushima,  
Motoyasu Natsuga<sup>§</sup> and Yasuhiro Maruyama\*

Faculty of Agriculture, Yamagata University, Tsuruoka, Yamagata 997-8555

\* Agricultural Technique Improvement Research Office, Agricultural Technique Popularization Division,  
Shonai Area, General Branch Administration, Yamagata Prefectural Government,  
Hamanaka, Sakata, Yamagata 998-0112

The non-destructive determination of soluble solid content (SSC), as well as the glucose, fructose, and sucrose concentrations, in strawberry cultivars, including 'Akihime', 'Benihoppe', and 'Sachinoka', using near-infrared (NIR) spectroscopy was examined. Soluble sugars in the cultivars at different maturing stages were analyzed enzymatically and then calibrated against the NIR spectra. The optimal wavelength range for all components was 700–925 nm. The spectral pretreatment such as second derivative and multiplicative scatter correction showed no improvement on the calibration accuracy. The calibration results of the three cultivars analyzed as one group determined  $R^2$  and standard error of prediction for SSC (0.86 ; 0.9%), glucose (0.74 ; 5.6 mg·g<sup>-1</sup> fresh weight (FW)), fructose (0.50 ; 6.3 mg·g<sup>-1</sup> FW) and sucrose (0.51 ; 12.5 mg·g<sup>-1</sup> FW) concentrations to be as good as those determined for each cultivar. Therefore, the NIR non-destructive measurement technique using a wavelength range of 700–925 nm is applicable for the prediction of not only SSC but also the concentrations of each sugar component in strawberries, irrespective of cultivar.

(Received Dec. 3, 2007 ; Accepted Nov. 24, 2008)

**Keywords :** fructose, glucose, near-infrared spectroscopy, strawberry, sucrose

キーワード : イチゴ, 近赤外分光法, グルコース, スクロース, フルクトース

我が国におけるイチゴの育種は、高糖度を維持する品種の育成に重点が置かれているが、果実の味覚には可溶性糖の総量だけでなく、個々の糖の比率も大きく影響する<sup>1)</sup>。イチゴ果実に含まれる糖は、主としてグルコース、フルクトースおよびスクロースであり、ヘキソースであるグルコースおよびフルクトースの比率は、品種によらずほぼ1:1である<sup>2)~4)</sup>。この比率は選抜育種を繰り返しても変わらないことから、イチゴの甘味はヘキソースとスクロースの比率に大きな影響を受ける<sup>1)</sup>。

イチゴ果実の新品種育成には、膨大な数の交雑と選抜を必要とするため、糖濃度を選抜指標とした場合には、可溶性固形物含量 (soluble solid content : SSC) を基にする

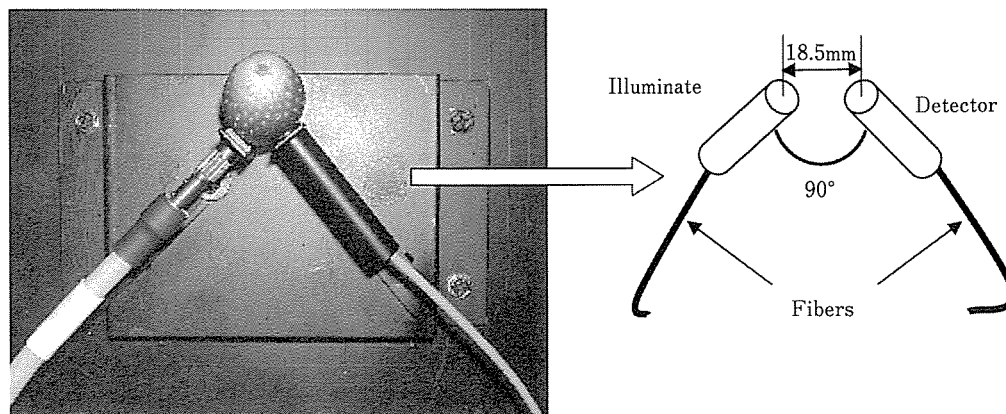
ことが多い<sup>5)</sup>。しかし、SSCと全糖濃度との間の相関は必ずしも高くはなく<sup>3)</sup>、また、組成別の糖濃度を測定したものではないため、従来の方法ではバランスの取れた甘味を持つイチゴを選抜できるとは限らない。

近赤外 (NIR : near-infrared) 分光法は、農産物や食品に含まれる有機物の成分や品質を非破壊的に分析する手法として用いられ、メロン<sup>6)</sup>やリンゴ<sup>7)</sup>のSSC、モモおよびネクタリンの全糖濃度やソルビトール濃度<sup>8)</sup>、マンゴーの全糖濃度<sup>9)</sup>などの測定例があることから、携帯型のNIR分光測定装置を開発できれば、大量の試料の糖濃度測定が可能となる。そこで本研究では、組成別の糖濃度を加味してイチゴの選抜育種を行うことを視野に、NIR分光法を用いた非破壊測定法の有効性について検証した。

〒997-8555 山形県鶴岡市若葉町1-23

\* 〒998-0112 山形県酒田市浜中字八窪1

§ 連絡先 (Corresponding author), toko@tr.yamagata-u.ac.jp



Measuring Stage

Fig. 1 Measuring stage

## 実験方法

### 1. 実験材料

山形県庄内総合支庁農業技術普及課産地研究室で栽培した‘章姫’、‘さちのか’、‘紅ほっぺ’の3品種を、それぞれ約100果供試した。各品種とも2004年4月14、28日および5月12日の3回に分け、緑色期の未熟果から過熟期の赤褐果までを採取し、果実に含まれる糖濃度が広く分布するよう配慮した<sup>4)</sup>。収穫した果実は氷冷し、山形大学農学部に運び実験に供した。

### 2. NIR スペクトルの測定とキャリブレーションの作成

供試したNIR分光測定装置は、光源にタングステンハロゲンランプを使用し、光の入出力に光ファイバーを用いた (Fig. 1)。分光部は回折格子を使用した分光器 (650~1100 nm) から構成されている。がく片を取り除いた果実を試料台に設置し、果実赤道部を室温下で測定した。スペクトルの測定は、拡散透過法を用いた。また、スペクトル測定にはソフトウェア OOIBase 32 (Ocean optics, FL, USA) を用いた。なお、分光器のチャンネル数は1024であり、波長間隔が一定でないため、JIS Z8724 (Methods of measurement for light source color, 1983) にしたがって自作したプログラムにより、1 nm 間隔のスペクトルに変換して解析に用いた。

キャリブレーションは、Unscrambler ver. 7.5 (Camo, Norway) を用い、最適波長範囲の選択およびスペクトルの前処理の検討は Full, cross-validation 法により、また、最適波長範囲における精度の検討には、試料を無作為に3分し、2/3でキャリブレーションを作成し、残りの1/3でバリデーションを行う Test-set 法により、それぞれ PLS (partial least squares) 回帰分析を行った。サンプル数が十分多い場合は Test-set 法によって解析すべきであるが、複数の成分について解析を行うことから、サンプルの選択が煩雑になるため、最適波長範囲の選択およびスペクトル

の前処理の検討には Full cross-validation 法を、また、最適波長範囲における精度の検討には Test-set 法を用いた。

### 3. 可溶性糖の化学分析

スペクトル測定部位である赤道部の果肉を、直径5 mmのコルクボーラーで切り抜いて得られた果肉約1 gを-80°Cで凍結保存し、可溶性糖濃度の分析に用いた。残りの果肉部分は搾汁した後、SSC (PR-101, Atago, 東京) を測定した。可溶性糖濃度分析用サンプルは、4 mlの蒸留水を加えて摩砕した後、電子レンジを用いて40秒間加熱抽出を行った (Ogiwara ら, 1999)<sup>10)</sup>。ろ液は3000 gで15分間遠心分離し、上清液を回収した。この操作を計3回行った後、イオン交換樹脂 (AG-11A8, Bio-Rad, CA, USA) を用いて脱塩し、20 mlに定容した。このうち10 μlを採って、市販の分析キット (F-キット, ベーリンガーマンハイム-山之内, 東京) によりグルコースおよびスクロース濃度を求めた<sup>11)</sup>。フルクトース濃度は、フォスフォグルコースイソメラーゼを用いてフルクトース6-リン酸をグルコース6-リン酸に変換した後、上記の分析試薬を用いて求めた。糖濃度の測定には、マイクロプレートリーダー (BT-MQX 200, Viento, Vermont, USA) を用い、340 nmの吸光度を測定した。

## 実験結果

### 1. SSC および可溶性糖濃度の分布

3品種とも、SSCの平均値は9.2~10.0%と類似しており、変動の範囲も2.8~17.7%の間であった (Table 1)。個々の糖では、3品種ともグルコース濃度とフルクトース濃度の平均値は類似していたものの (36.8~43.6 mg·g<sup>-1</sup> FW)、スクロース濃度の平均値は品種間差が大きくなった (36.0~47.3 mg·g<sup>-1</sup> FW)。また、SSC および可溶性糖濃度について、品種間の平均値の差を統計解析した結果、‘紅ほっぺ’と‘さちのか’との間に有意差は認められず、‘章姫’との間にのみ有意差が認められた。

Table 1 SSC and soluble sugar concentrations in the fruits of three strawberry cultivars

Cultivar	No. of samples	Soluble solid content (%)			Soluble sugar (mg·g <sup>-1</sup> FW)								
		Range	Mean	SD	Glucose			Fructose			Sucrose		
					Range	Mean	SD	Range	Mean	SD	Range	Mean	SD
Akihime	105	2.8-17.7	9.2a*	2.6	14.3-75.7	41.5b	11.3	19.6-65.4	43.6b	9.0	1.3-91.5	36.0a	16.4
Benihoppe	105	3.2-17.0	10.0b	2.8	16.7-73.0	37.8a	10.7	23.3-60.0	38.0a	7.6	5.9-98.6	44.2b	15.5
Sachinoka	104	3.4-16.4	9.9b	2.2	4.5-79.8	36.8a	10.9	5.1-78.2	40.4ab	10.3	5.2-92.8	47.3b	19.7

\*Mean separation within columns by Tukey's multiple range test at  $P \leq 0.05$ .

## 2. 近赤外スペクトル

3品種とも670 nmのクロロフィルの吸収ピークおよび970 nm付近の水の吸収ピーク以外には、目立った吸収ピークは観測されなかった (Fig. 2). また、950 nm以上でスペクトルがスムーズでないものが観測されたが、これは拡散透過する光量が少なく、ノイズの影響が多くなったためである。

## 3. キャリブレーションおよびバリデーション

精度の高いキャリブレーションを得るため、品種、成分ごとに650~1100 nmの範囲で最適波長範囲の検討を行ったところ、3品種ともSSCおよび個々の可溶性糖濃度が示す最適波長範囲が類似していたことから (データ未掲載)、700~925 nmの波長範囲を用いたキャリブレーションを採用した。その結果、供試した '章姫'、'紅ほっぺ' および 'さちのか' 3品種それぞれの測定の精度は、SSCでは  $R^2 = 0.82 \sim 0.89$ ,  $SEP = 0.7 \sim 0.9\%$ , グルコースでは  $R^2 = 0.71 \sim 0.77$ ,  $SEP = 5.1 \sim 5.8 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1} \text{ FW}$ , フルクトースでは  $R^2 = 0.27 \sim 0.63$ ,  $SEP = 5.4 \sim 6.1 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1} \text{ FW}$ , スクロースでは  $R^2 = 0.42 \sim 0.54$ ,  $SEP = 11.6 \sim 12.5 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1} \text{ FW}$  であった (Table 2)。

## 4. 3品種用統合キャリブレーションの作成

NIR分光法によりイチゴ品種の組成別糖濃度を測定する場合、品種ごとに異なるキャリブレーションを用いることは実用的でない。そこで、品種を区別せずに、原スペクトルと化学分析値に基づく新たなキャリブレーションを作成したところ、SSCが  $R^2 = 0.86$ ,  $SEP = 0.9\%$ , グルコースが  $R^2 = 0.74$ ,  $SEP = 5.6 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1} \text{ FW}$ , フルクトースが  $R^2 = 0.50$ ,  $SEP = 6.3 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1} \text{ FW}$ , スクロースが  $R^2 = 0.51$ ,  $SEP = 12.5 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1} \text{ FW}$  となり (Fig. 3), ほぼ品種ごとの解析結果 (Table 2) と等しい精度が得られた。また、スペクトルの前処理が精度の向上に寄与するかどうか、2次微分と乗算的散乱補正 (MSC: multiplicative scatter correction) について検討を行った。2次微分は Savitzky-Golay 法<sup>12)</sup> を用い、多項式の次数を2とし、700~925 nmの波長をギャップ0, セグメントサイズ±10 および±5 で二次微分した (Fig. 4)。これらのスペクトル前処理によって得られた  $R^2$  (SSC:  $0.80 \sim 0.86$ , 組成別可溶性糖濃度:  $0.37 \sim 0.76$ ) および SECV (SSC:  $0.9 \sim 1.1\%$ , 組成別可溶性糖濃

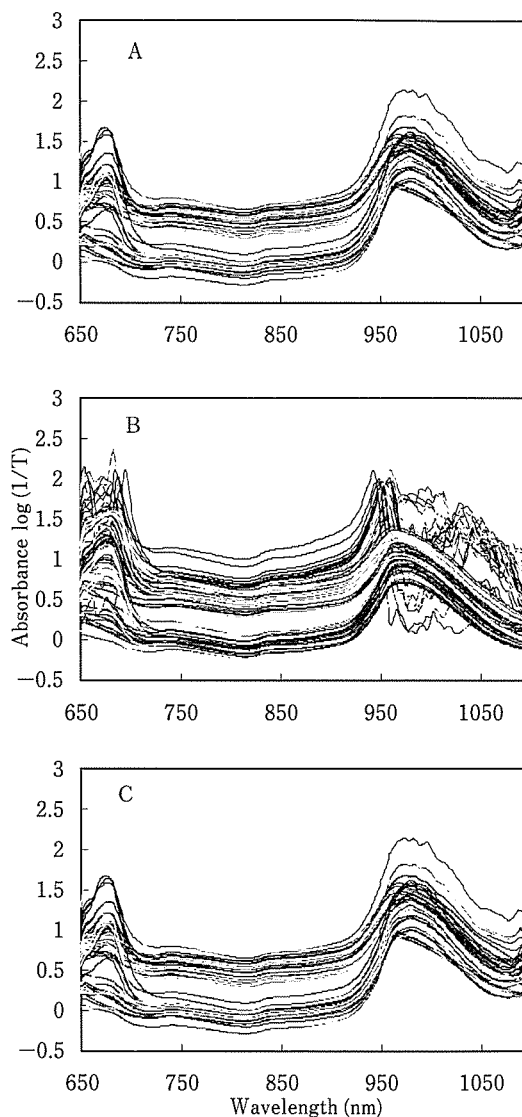


Fig. 2 NIR original spectra of 'Akihime' (A), 'Benihoppe' (B), and 'Sachinoka' (C) using 650-1100 nm

度:  $5.2 \sim 14.2 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1} \text{ FW}$ ) (Table 3) は、原スペクトルによって得られた  $R^2$  (SSC:  $0.85 \sim 0.88$ , 組成別可溶性糖濃度:  $0.48 \sim 0.81$ ) および SECV (SSC:  $0.8 \sim 0.9\%$ , 組成別可溶性糖濃度  $4.8 \sim 13.5 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1} \text{ FW}$ ) (データ未掲載) の値と近いが、むしろ大きくなり、スペクトル前処理は精度向上

Table 2 Calibration results for SSC and soluble sugar concentrations in the fruits of three strawberry cultivars using 700–925 nm

Sugar	Cultivar								
	Akihime			Benihoppe			Sachinoka		
	nF*	R <sup>2</sup>	SEP**	nF	R <sup>2</sup>	SEP	nF	R <sup>2</sup>	SEP
SSC (%)	9	0.82	0.9	10	0.89	0.9	10	0.86	0.7
Soluble sugar (mg · g <sup>-1</sup> FW)									
Glucose	10	0.75	5.8	10	0.77	5.5	7	0.71	5.1
Fructose	10	0.63	5.4	10	0.27	5.5	7	0.51	6.1
Sucrose	9	0.54	11.6	11	0.50	11.9	11	0.42	12.5

\* Number of factors.

\*\* Standard error of prediction.

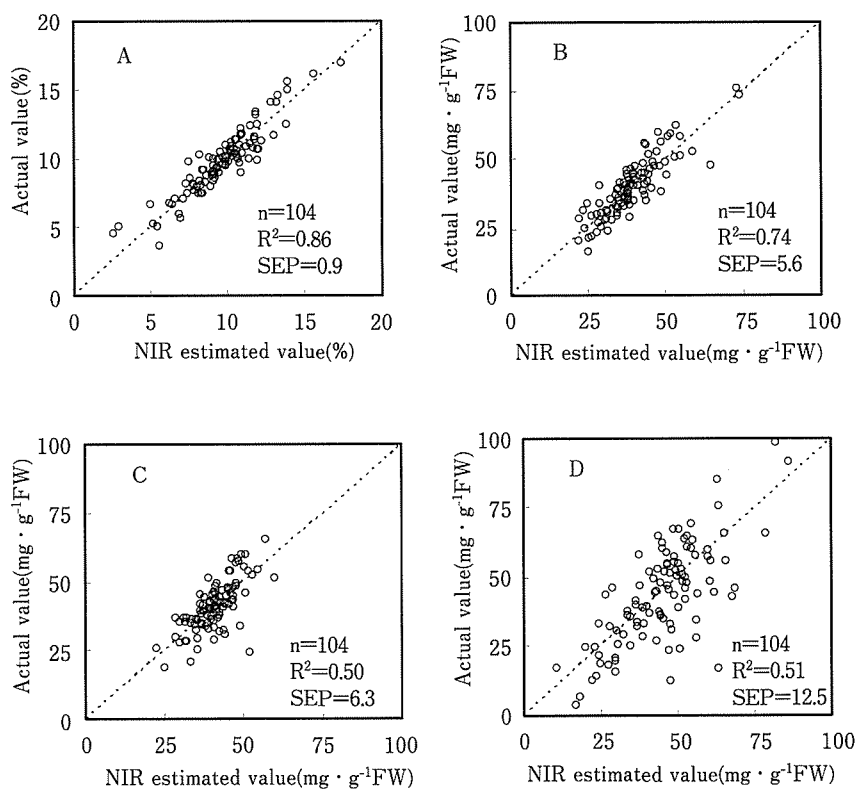


Fig. 3 Relationships between estimated and actual concentrations of SSC (A), glucose (B), fructose (C), and sucrose (D) in strawberry fruits  
Data were calibrated using the mixture of three cultivars ( $\lambda=700-925$  nm).

に寄与しなかった。

## 考 察

屋外で使用可能な NIR 分光光度計を用いたイチゴ果実の品質評価装置を開発するには、予め、品種、栽培条件、成熟度、収穫時期などに一定の変異を持たせた材料を供試し、キャリブレーションを行う必要がある<sup>13)</sup>。本実験では、イチゴ果実を 3 日間に分けて収穫し、収穫果には未熟果から過熟果まで選んだ。また、‘紅ほっぺ’ と ‘さちのか’ はスクロース濃度が比較的高く、逆に ‘章姫’ はこれらより

スクロース濃度が低い傾向を持つ品種である<sup>14)</sup>。

原吸光スペクトルによる SSC のキャリブレーションの回帰係数スペクトルは、全て 910 nm 付近に正のピークが観測された (Fig. 5)。913 nm には C-H の第 3 倍音があることが知られている<sup>15)</sup>。リンゴの品質指標について調べた結果によれば、果実硬度、デンプン濃度および果皮色は、クロフィル吸光ピークを含む 500~750 nm の領域で最適な測定を行えたが、可溶性固形物含量は、C-H の吸光ピークを含む 800~1000 nm の領域で最適な測定結果を得られた<sup>16)</sup>。また、モモ果実に含まれる糖の MLR 分析を行っ

た結果では、906 nm がスクロースによる吸収波長であった<sup>17)</sup>。さらに温州ミカンでは、914 nm が SSC 測定用検量線の第一波長として最適であった<sup>18)</sup>。本実験においても 700~925 nm の回帰係数スペクトルでは、全ての品種・成分において 906 nm 付近に正のピークが認められた (Fig. 5) ことから、800~1000 nm のスペクトルに存在する糖に

関する情報を用いてキャリブレーションが作成されたと考えられる。

Cho ら<sup>19)</sup> は、1100~2250 nm の長波長領域を用いてリンゴ果実における構成糖別の濃度測定を行い、SSC が  $R^2 = 0.81$ ,  $SEP = 0.60\%$ 、グルコースが  $R^2 = 0.71$ ,  $SEP = 0.26\%$ 、フルクトースが  $R^2 = 0.56$ ,  $SEP = 0.86\%$ 、スクロースが  $R^2 = 0.74$ ,  $SEP = 0.33\%$  であったと報告している。本研究で、組成別可溶性糖濃度のキャリブレーション結果から得られた SEP (Fig. 3) は、 $mg \cdot g^{-1} FW$  に基づく値であり、%表示に直せば、それぞれの SEP は SSC が 0.9%、グルコースが 0.56%、フルクトースが 0.63%、スクロースが 1.25% となり、フルクトース以外では精度が劣った。この原因には、測定に使用した分光光度計の使用波長帯や供試材料の違いなどが原因として考えられる。

また、化学分析の精度を示す SDD (Standard Deviation of the Difference: 繰り返し測定の標準偏差) はグルコースが  $4.76 mg \cdot g^{-1} FW$ 、フルクトースが  $3.85 mg \cdot g^{-1} FW$  であるのに対し、スクロースは  $11.0 mg \cdot g^{-1} FW$  と大きかった (データ未掲載)。本実験で用いた酵素法は、スクロースをインVERTターゼによってグルコースとフルクトースに分解した後、グルコース当量としてスクロース含量を求めるため、グルコースに比べ分析ステップが多くなる。こうした分析の煩雑さが SDD を大きくし、それにより SEP (Fig. 3) の値を大きくした原因の一つと考えられることから、今後はより精度の高い化学分析を行う必要がある。

本研究の範囲内では二次微分 (Fig. 4) と MSC によるスペクトルの前処理 (Table 3) は精度の向上に寄与しなかったので、原スペクトルによるキャリブレーションを採用した。3 品種統合キャリブレーション (Fig. 3) は、ほぼ品種ごとのキャリブレーション (Table 2) に等しい精度が得られたことから、700~925 nm の波長域を用いた NIR 分光法によりイチゴ果実の SSC および組成別糖濃度を測定可能であると判断した。

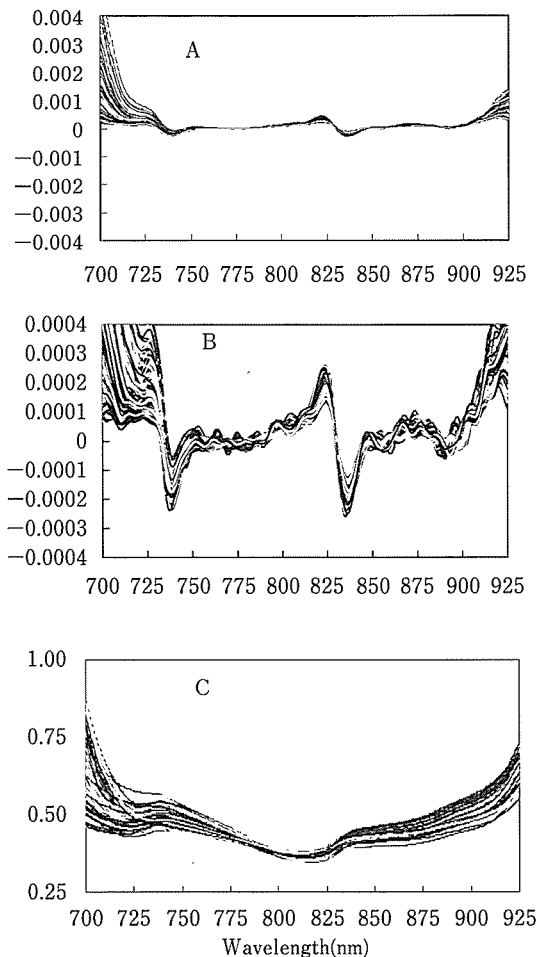


Fig. 4 Second derivative ( $\pm 10$ ) (A), second derivative ( $\pm 5$ ) (B), and MSC treated (C) spectra using 700-925 nm

Table 3 Effect of pretreatment of spectra on the prediction performance of PLS models using 700-925 nm for determining SSC and soluble sugar concentrations of strawberry fruits

Sugar	Preprocessing method								
	2nd derivative ( $\pm 5$ )			2nd derivative ( $\pm 10$ )			MSC*		
	nF	$R^2$	SECV**	nF	$R^2$	SECV	nF	$R^2$	SECV
SSC (%)	10	0.80	1.0	6	0.80	1.1	9	0.86	0.9
Soluble sugar ( $mg \cdot g^{-1} FW$ )									
Glucose	10	0.66	6.3	8	0.65	6.5	8	0.76	5.2
Fructose	9	0.48	6.4	7	0.40	7.1	10	0.62	5.4
Sucrose	10	0.42	13.5	6	0.37	14.2	7	0.47	12.7

\* Multiplicative scatter correction.

\*\* Standard error of cross-validation.

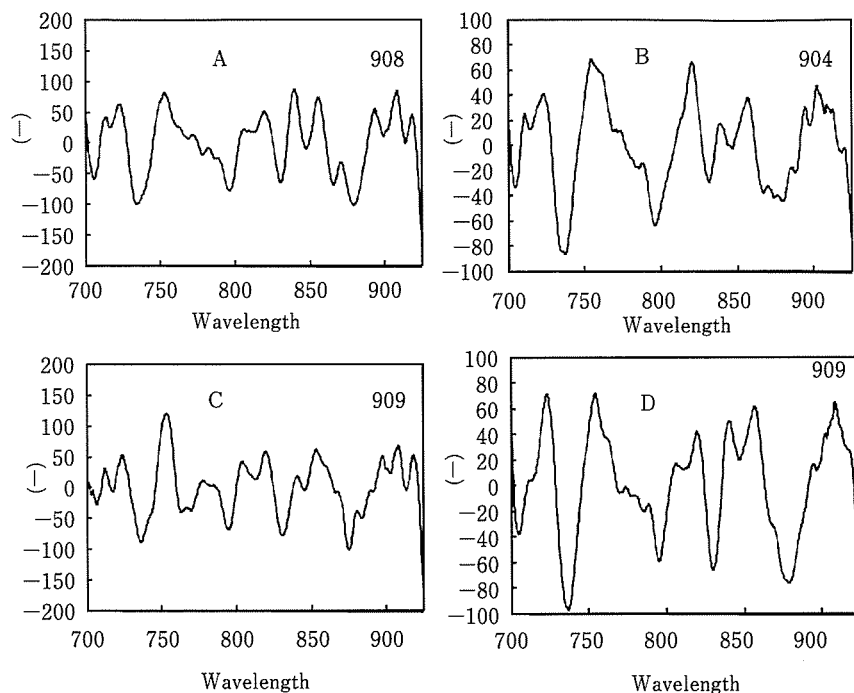


Fig. 5 Regression coefficient spectra of 'Akihime' (A), 'Benihoppe' (B), 'Sachinoka' (C) and all cultivars (D)

## 要 約

イチゴ品種 '章姫', 'さちのか', '紅ほっぺ' の果実に含まれる可溶性固形物含量 (SSC) およびグルコース, フルクトースおよびスクロース濃度を, 近赤外 (NIR) 分光法により非破壊的に推定した. 熟度の異なる果実の糖濃度を酵素法により分析し, NIR 分光法で求めたスペクトル分析結果と比較した. その結果, 全ての測定項目とも 700~925 nm の範囲で最適波長が得られた. また, 原吸光スペクトルによって得られたキャリブレーション結果の精度は, 二次微分処理や MSC 処理を行っても変わらなかった. そこで, 3 品種を合わせた原スペクトルと化学分析値に基づく新たなキャリブレーションを求めたところ, SSC が  $R^2=0.86$ ,  $SEP=0.9\%$ , グルコースが  $R^2=0.74$ ,  $SEP=5.6 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1} \text{ FW}$ , フルクトースが  $R^2=0.50$ ,  $SEP=6.3 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1} \text{ FW}$ , スクロースが  $R^2=0.51$ ,  $SEP=12.5 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1} \text{ FW}$  となり, 品種ごとに作成したキャリブレーション結果とほぼ等しい精度が得られた. したがって, 品種や熟度を問わず, 700~925 nm の原スペクトルを用いることにより, イチゴ果実に含まれる組成別糖濃度および SSC を推定できると考えられた.

## 文 献

- 1) Ohtsuka, Y., Kibe, H., Hakoda, N., Shimura, I. and Ogiwara, I., Heritability of sugar contents in strawberry fruit in the  $F_1$  populations using a common pollen parent. *J. Japan. Soc. Hort. Sci.*, **73**, 31-35 (2004).
- 2) Moing, A., Renaud, C., Gaudillere, M., Raymond, P.,

Roudeillac, P. and Denoyes-Rothan, B., Biochemical changes during fruit development of four strawberry cultivars. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*, **126**, 394-403 (2001).

- 3) 荻原 勲, 宮本 亮, 羽布津真典, 鈴木雅人, 箱田直紀, 志村 勲, イチゴ果実内の糖含量・糖組成の品種, 収穫年次, 成熟期および作型による相違, 園学雑, **67**, 400-405 (1998).
- 4) Sturm, K., Korn, D. and Stampar, F., The composition of fruit of different strawberry varieties depending on maturity stage. *Food Chem.*, **83**, 417-422 (2003).
- 5) 松田照男, イチゴ, 「一歩先を行く栽培と経営」, (全国農業改良普及協会, 東京), pp. 3-6 (2000).
- 6) Dull, G.G., Leffler, R.G., Birth, G.S. and Smitte, D.A., Instrument for nondestructive measurement of soluble solids in honeydew melons. *Trans. ASAE*, **35**, 735-737 (1992).
- 7) Lammertyn, J., Nicolai, B., Ooms, K., De-Smedt, V. and De-Baerdemaker, J., Non-destructive measurement of acidity, soluble solids, and firmness of Jonagold apples using NIR-spectroscopy. *Trans. ASAE*, **41**, 1089-1094 (1998).
- 8) Slaughter, D.C., Non-destructive determination of internal quality in peaches and nectarines. *Trans. ASAE*, **38**, 617-623 (1995).
- 9) Schmilovitch, Z., Mizrach, A., Hoffman, A., Egozi, H. and Fuchs, Y., Determination of mango physiological indices by near-infrared spectrometry. *Postharvest Biol. Technol.*, **19**, 245-252 (2000).
- 10) Ogiwara, I., Ohtsuka, Y., Yoneda, Y., Sakurai, K., Hakoda, N. and Shimura, I., Extraction method by water followed by microwave heating for analyzing sugars in strawberry fruits. *J. Japan. Soc. Hort. Sci.*, **68**, 949-953 (1999).
- 11) Nishizawa, T. and Shishido, Y., Changes in sugar and starch concentrations of forced June-bearing strawberry plants as influenced by fruiting. *J. Amer. Soc. Hort.*

- Sci.*, **123**, 52-55 (1998).
- 12) Savitzky, A. and Golay, P., Smoothing and differentiation of data by simplified least squares procedures. *Anal. Chem.*, **36**, 1627-1639 (1964).
- 13) 川満茂信, 木永泰山, 上野正美, 小宮泰明, 平良栄三, 松田昇, 近赤外線分析装置 (NIR) による作物の有効成分非破壊計測に関する基礎研究, 琉球大学農学部学術報告, **50**, 1-6 (2003).
- 14) 森 佑子, 西沢 隆, 丸山康広, 山崎 篤, 松永 啓, Retamales, J.B., Lavín, A., Hancock, J.F., 栽培種および野生種イチゴにおける糖蓄積, 園学雑, 73 別 1, '04, 293 (2004).
- 15) 尾崎幸洋, 近赤外分光の基礎, 「近赤外分光法」, 第 1 版, 尾崎幸洋, 河田 聡編, (学会出版センター, 東京), pp. 40-45 (1996).
- 16) McGlone, V.A., Jordan, R.B. and Martinsen, P.J., VIS/NIR estimation at harvest of pre- and post-stage quality indices for 'Royal Gala' apple. *Postharvest Biol. Technol.*, **25**, 135-144 (2002).
- 17) Kawano, S., Watanabe, H. and Iwamoto, M., Determination of sugar content in intact peaches by infrared spectroscopy with fiber optics in interattance mode. *J. Japan. Soc. Hort. Sci.*, **61**, 445-441 (1992).
- 18) Kawano, S., Fujiwara, T. and Iwamoto, M., Nondestructive determination of sugar content in satuma mandarin using near infrared (NIR) transmittance. *J. Japan. Soc. Hort. Sci.*, **62**, 465-470 (1993).
- 19) Cho, R.K., Sohn, M.R. and Kwon, Y.K., New observation of nondestructive evaluation for sweetness in apple fruit using near infrared spectroscopy. *J. Near Infrared Spectroscopy*, **6**, 75-78 (1998).

(平成 19 年 12 月 3 日受付, 平成 20 年 11 月 24 日受理)