近赤外分光法によるジャガイモの主要成分 および糊化粘度特性の非破壊測定

陳 介余[§], 張 函, 八木雄介

公立大学法人秋田県立大学 生物資源科学部

Nondestructive Determination of Major Components and Pasting Viscosity of Potato Tuber by Near Infrared Spectroscopy

Jie Yu Chen[§], Han Zhang and Yusuke Yagi

Faculty of Bioresource Sciences, Akita Prefectural University, 241-438 Kaidobata
Nishi, Shimoshinjo Nakano, Akita City, Akita 010-0195

The performance of near infrared method was examined for nondestructive determination of major components of potato (*Solanum tuberosum*) and pasting viscosity properties. Good calibration models with reasonable accuracy for moisture, carbohydrate, protein and amylase contents and Rapid Visco Analyzer (RVA) parameters were determined using partial least square (PLS) regression. The standard error of prediction (SEP) was 0.87% for moisture, 0.95% for carbohydrate, 0.6% for amylose, 0.15% for protein, as well as 30 RVU (the default Rapid Viscosity Unit) for peak viscosity, 34 RVU for final viscosity, 24 RVU for breakdown, and 22 RVU for setback. The calibration model for ash content was not significant; further research is needed to improve calibration for ash content. Thus, near infrared spectroscopy is a useful method to nondestructively measure the major components and pasting viscosity of intact potato.

(Received Sep. 8, 2008; Accepted Jan. 23, 2009)

Keywords: potato (*Solanum tuberosum*), major component, pasting viscosity, nondestructive determination, near infrared spectroscopy

キーワード: ジャガイモ, 主要成分, RVA 糊化粘度特性, 非破壊測定, 近赤外分光法

ジャガイモは重要な食品素材で、それには様々な調理品がある。例えば、煮物、炒め物、粉吹きいもとフライドポテト等の調理食品およびポテトチップス等の加工食品がそれである。ジャガイモのデンプン等の主要成分は、煮崩れや粉吹き等の調理特性に多大の影響を及ぼす¹⁾²⁾が、品種および産地での気象や栽培条件により大きく変動している^{3)~8)}。特にデンプン含量の場合、低デンプン含量による「粉をふかない」および「煮え難くかたい」、また高デンプン含量による「煮くずれ」等のクレームが消費者等から寄せられることが多い。このため、食品加工メーカーからは製品品質の安定化のために安定した品質のジャガイモ素材が求められている⁹⁾。

従来、ジャガイモの品質評価法として、デンプン価と比重の関係¹⁰⁾¹¹⁾を利用した比重測定法が採用されている。その技術として、水中重を測定し比重から算出する方法¹²⁾¹³⁾、塩水に投入しての比重選別による方法¹⁴⁾がある。しかしな

がら、これらの方法は、前者では相当な手間を要するため多量の塊茎を測定する実用場面には導入できないこと、後者では塩水に浸したジャガイモの品質保持が困難であることなどの問題を有する。

これに対して、最近、光学的手法によるジャガイモの非破壊品質評価法が検討されてきた。Chen ら¹⁵⁾は近赤外分光法を用いてジャガイモの比重の迅速測定方法を提案し、さらに小宮山ら¹⁶⁾は実用機器を開発し、ジャガイモのでん粉価のオンライン計測を行った。

ジャガイモの調理特性および加工適性などの品質特性は、デンプン以外の成分（タンパク質や無機成分等）にも影響を受ける¹⁷⁾¹⁸⁾。またジャガイモのようなデンプン系食品素材の最も一般的利用方法は糊化させての利用¹⁹⁾である。例えば、練り製品類やお菓子類などの利用。この場合は、糊化粘度特性が素材にとってもっとも重要な物理特性および加工適性¹⁹⁾²⁰⁾の一つである。このため、ジャガイモの品質を適切に評価するには糊化粘度特性を含む総合的な評価が必要である。もし、近赤外分光法による主要成分同

〒010-0195 秋田市下新城中野字街道端西 241-438

[§] 連絡先 (Corresponding author), jiey_chen@akita-pu.ac.jp

時測定ができれば、ジャガイモ品質の総合評価の導入が可能となり、将来は低品質ジャガイモの除去だけではなく、調理特性を考慮した高品質なジャガイモの市場提供が可能となる。

そこで、本研究では、ジャガイモの水分、炭水化物、タンパク質および灰分含量、さらに調理・加工適性に関わるアミロース含量と糊化粘度特性の非破壊迅速測定に対する近赤外分光法の利用の可能性について検討した。

実験方法

1. 試料

試料としては 2003 年に収穫された北海道産と長崎産のジャガイモ「男爵薯」, 「メークイン」および北海道産のジャガイモ「キタアカリ」の 3 品種を用いた。「男爵薯」の場合, M (70 g 以上 100 g 未満), LM (100 g 以上 120 g 未満), L (120 g 以上 190 g 未満), 2L (190 g 以上 260 g 未満) の 4 規格のジャガイモ 100 個 (各産地 50 個), 「メークイン」の場合, LM (100 g 以上 120 g 未満), L (120 g 以上 190 g 未満), 2L (190 g 以上 260 g 未満) の 3 規格のジャガイモ 100 個 (各産地 50 個), 「キタアカリ」の場合, LM (100 g 以上 120 g 未満), L (120 g 以上 190 g 未満), 2L (190 g 以上 260 g 未満) の 3 規格のジャガイモ 50 個 (北海道産) の塊茎を供試した。これらの試料は 2 群に分け、一方を検量線作成用に、他方を検量線評価用とした。供試試料はいずれも表面がブラシがけ処理された状態、秋田市中心卸売市場から購入したものである。

2. 近赤外スペクトルの測定

近赤外スペクトルの測定方式には、Fig. 1 に示すようにインタラクタンス法²¹⁾を採用した。近赤外スペクトル測定装置には分散型近赤外装置 (Foss NIRSystems 社製, NIRS6500) を用いた。測定した近赤外スペクトルの波長範囲は 400~1100 nm で、波長間隔は 2 nm である。レファレンスにはセラミック板 (直径 40 mm, 厚さ 5 mm) を用いた。ジャガイモの近赤外スペクトル測定は、Fig. 1 に示すように試料塊茎の赤道 (真ん中) の一箇所を光ファイバにあて載せて行った。

3. 主要成分分析

近赤外スペクトルを測定した後、個々のジャガイモ試料を水洗いし乾いた布で水を十分取り除いたあと、重量測定を行い、適当な大きさに刻んで凍結乾燥を行った。乾燥した試料を高速ミルで粉にし、4℃以下の冷蔵庫で保管した。それから、5訂日本食品標準成分表分析マニュアルに基づいて個々の芋粉の主要成分を分析した。タンパク質の分析にはケルダール法を、灰分は燃焼法 (試料 1 g, 550℃, 10 時間)²²⁾を、水分は直接乾燥法 (試料 3 g, 135℃, 1 時間)²³⁾を用いた。ただし、脂質は、その含量が非常に少ないため分析せず、0.1%とした。炭水化物含量は差し引き法で求めた。またアミロース含量の測定にはヨード比色定量法²⁴⁾を

Fig. 1 Configurations of the interactance probe used

用いた。

4. 糊化粘度特性

芋粉の糊化粘度測定にはラビッドビスコアライザー (以下 RVA という, フォス・ジャパン製, RVA-4 型) を用いた。芋粉試料をアルミ容器 (HLL/KFT2) に採り、芋粉と蒸留水の全体量 28 g, 試料濃度 9.1% (無水物換算 W/V) の条件で個々の糊化粘度を測定した。加熱は初期温度 25℃で 1 分間保持し、12℃/分で 97℃まで昇温、97℃で 5 分間保持した後 12℃/分で 25℃まで降温し 25℃で 3 分間保持した。測定に要する時間は 21 分であった。Fig. 2 に示すように、得られた粘度曲線から最高粘度 (Peak viscosity), 最終粘度 (Final viscosity), ブレークダウン (Breakdown : 最高粘度—最低粘度 (Holding viscosity)) およびセットバック (setback : 最終粘度—最低粘度) の 4 項目を読み取った。

5. スペクトルの解析およびケモメトリックス

近赤外スペクトルと試料成分の関係を調べるため、用意したジャガイモ試料の 5 分の 3 を検量線作成用のキャリブレーションセット、残りの 5 分の 2 を未知試料であるバリデーションセットとした。具体的には、各種の試料セットを成分ごとに含量が小さい方から順番に並べ替え、A, B, C, D, E の記号を繰り返し付け 5 グループに分け、A, C および E グループをキャリブレーションセット、B と D グループをバリデーションセットに指定した。キャリブレーションセット試料およびバリデーションセット試料の成分特性を Table 1 に示す。

検量線の作成には、PLSR 法²⁵⁾²⁶⁾を採用し、市販のソフトウェア (Camo 社製, Unscramble Ver7.6) で行った。その際、検量線の精度は標準誤差 SEC (the standard error of calibration) で検定した。その SEC は下式で計算した。

$$SEC = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\text{actual} - \text{predicted})^2}{n - f - 1}}$$

ここで、n はキャリブレーションのサンプル数であり、f はファクター数である。

検量線測定精度の検証には、検量線と無関係のバリデーションセットを用い、成分の実測値と予測値の残差の標準

Fig. 2 Rapid Visco Analyser (RVA) viscometer of a potato flour

Table 1 Mean, range and standard deviation (SD) of major components contents and RVA characteristics of potatoes for calibration and validation sample sets

	Calibration set (n=150)			Validation set (n=100)		
	Mean	Range	SD	Mean	Range	SD
Moisture (%)	80.90	74.60–85.74	2.73	80.91	75.74–85.57	2.69
Protein (%)	1.90	1.19– 2.69	0.26	1.90	1.24– 2.65	0.26
Carbohydrate (%)	16.21	11.12–22.61	2.74	16.20	11.58–21.88	2.72
Ash (%)	0.90	0.63– 1.14	0.09	0.90	0.67– 1.14	0.09
Amylose (%)	7.6	4.8 –11.9	1.6	7.6	5.05–11.21	1.6
Peakviscosity (RVU)	280	117–401	66	280	138–394	65
Finalviscosity (RVU)	327	176–487	56	327	239–453	55
Breakdown (RVU)	141	5–259	62	141	20–258	62
Setback (RVU)	189	64–291	35	189	109–259	33

誤差である SEP (Standard Error of Prediction) を下式で求め、その値を SEC 値と比較しながら検討した。

$$SEP = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\text{actual} - \text{predicted})^2}{n}}$$

実験結果および考察

1. ジャガイモの主要成分の測定

測定したジャガイモの近赤外スペクトル (400–1100 nm) および 2 次微分スペクトル (セグメントサイズ: 20 nm, ギャップサイズ: 0 nm) の 1 例を Fig. 3 に示す。りんごやなしなどの水分が多く含まれた果実に類似したスペクトルと見られ、760、972 nm 付近に O-H の第 3 倍音および第 2 倍音による吸収バンドがそれぞれ観察された²⁷⁾。これは主に水の吸収によるものだと考えられる。デンプンやタンパク質などの水以外の主要成分の吸収バンドは、水の強い吸収の影響で観察されなかった。

Fig. 3 Raw spectrum and second derivative spectrum of potato tuber

キャリブレーションセットおよびバリデーションセットを用い、得られたスペクトル (400–1100 nm) およびジャ

Table 2 Calibration and validation results to predict major component contents of potato tubers

		Wavelength range	Factors	Calibration		Validation		
				R	SEC	SEP	Bias	RPD
Moisture (%)	Raw spectra	400-1100 nm	10	0.93	0.99	1.12	0.12	2.40
		700-1100 nm	9	0.95	0.85	0.93	-0.06	2.89
		800-1100 nm	9	0.95	0.85	0.94	-0.13	2.86
	2nd derivative spectra	400-1100 nm	7	0.94	0.96	1.12	0.06	2.40
		700-1100 nm	6	0.96	0.80	0.91	-0.12	2.96
		800-1100 nm	5	0.95	0.84	0.87	-0.11	3.09
Protein (%)	Raw spectra	400-1100 nm	10	0.66	0.20	0.23	-0.01	1.14
		700-1100 nm	16	0.87	0.13	0.16	0.01	1.66
		800-1100 nm	15	0.89	0.12	0.16	0.02	1.65
	2nd derivative spectra	400-1100 nm	7	0.63	0.20	0.23	0.00	1.14
		700-1100 nm	12	0.83	0.14	0.16	0.02	1.66
		800-1100 nm	12	0.83	0.14	0.15	0.02	1.75
Carbohydrate (%)	Raw spectra	400-1100 nm	10	0.94	0.97	1.24	-0.04	2.20
		700-1100 nm	8	0.95	0.89	0.98	0.01	2.78
		800-1100 nm	7	0.94	0.91	1.11	0.02	2.46
	2nd derivative spectra	400-1100 nm	7	0.94	0.92	1.45	0.05	1.88
		700-1100 nm	7	0.95	0.84	0.98	-0.05	2.78
		800-1100 nm	6	0.95	0.85	0.95	0.01	2.87
Ash (%)	Raw spectra	400-1100 nm	3	0.61	0.07	0.07	0.00	1.26
		700-1100 nm	8	0.64	0.07	0.08	0.00	1.10
		800-1100 nm	11	0.69	0.07	0.08	0.00	1.10
	2nd derivative spectra	400-1100 nm	3	0.63	0.07	0.07	0.00	1.26
		700-1100 nm	8	0.66	0.07	0.07	-0.01	1.26
		800-1100 nm	6	0.63	0.07	0.07	0.00	1.26
Amylose (%)	Raw spectra	400-1100 nm	11	0.93	0.6	0.9	-0.1	1.85
		700-1100 nm	9	0.91	0.7	0.6	-0.1	2.66
		800-1100 nm	8	0.91	0.7	0.6	-0.2	2.55
	2nd derivative spectra	400-1100 nm	6	0.90	0.7	0.8	-0.1	2.02
		700-1100 nm	6	0.91	0.7	0.6	-0.1	2.82
		800-1100 nm	6	0.92	0.6	0.6	-0.1	2.85

Factors : number of factors, included in the model ; R : correlation coefficient ; SEC : standard error of calibration ; SEP : standard error of validation ; Bias : systematic error ; RPD : ratio of standard deviation and standard error of prediction.

ガイモの主要成分（水分，タンパク質，炭水化物，灰分，アミロース）を基に PLS 回帰分析およびその評価を行った。各成分に対して，原スペクトル，2 次微分スペクトルおよび 3 つの波長領域の組み合わせ，計 6 の分析結果を Table 2 に示す。

いずれの成分でも，最も予測精度の高いのは 800-1100 nm 波長領域の 2 次微分スペクトルを用いた場合である。水分では，スペクトルによる予測値と実測値との相関係数は 0.95 となり，強い関係を示した。またキャリブレーションの精度を表す標準誤差 SEC およびバリデーションの精度を表す標準誤差 SEP は，それぞれ 0.84% と 0.87% となり，高い精度の検量線が得られた。特に SEP 値が SEC 値とほぼ同レベルの値を示したことにより，検量線の有効性が示

された。

また炭水化物とアミロース含量では，近赤外スペクトルによる予測値と対照値との相関係数は 0.94 となり，水分の場合と同様にスペクトルと炭水化物およびアミロース含量の間に強い相関関係を示した。SEC および SEP は，炭水化物含量で，それぞれ 0.85% と 0.95% となり，アミロース含量で，それぞれ 0.64% と 0.56% となり，いずれの場合でも水分と同様に高精度の検量線が得られた。

タンパク質では，予測値と実測値との相関係数は 0.83 となり，水分と炭水化物の場合に比べて低い値を示したが，SEC および SEP は，それぞれ 0.14% と 0.15% となり，非破壊的方法として 0.15% の SEP の測定精度は十分であると考えられる。一方，灰分では，予測値と実測値との相関

Fig. 4 Regression coefficients in the PLS calibration models for major component contents calculated using second derivative spectra

係数は 0.63 となり、両者の間に低い相関を示した。

検量線の構造を調べるため、検量線の回帰係数を検討する方法⁽²⁸⁾⁽²⁹⁾がある。各成分に対して最も予測精度の高い検量線、すなわち、800–1100 nm の波長領域の 2 次微分スペクトルを用いた回帰モデルの回帰係数を Fig. 4 に示す。水分では、974 nm の付近にマイナスピークが観察された。これは 970 nm における O-H 官能基の伸縮振動の第 2 倍音によるもので、水の吸収バンドに帰属される⁽²⁷⁾。タンパク質では、1016 nm と 1058 nm の付近に N-H の伸縮振動の第 3 倍音および N-H の伸縮振動と第 1 アミドの結合音と N-H の伸縮振動の第 2 倍音によるタンパク質の吸収バンドが示され、炭水化物とアミロースでは、994 nm の付近に O-H 官能基の伸縮振動の第 2 倍音によるでん粉の吸収バンドが示された⁽²⁷⁾。灰分の場合は、その予測精度が低い

で、検量線の回帰係数と灰分との関係を直接検討しなかった。以上のことから、灰分以外の主要成分の検量線モデルはそれぞれの成分の吸収バンドに基づいたものと考えられる。

2. ジャガイモの糊化粘度特性の測定

得られたスペクトル (400–1100 nm) とジャガイモの糊化粘度特性 (最大粘度値、最終粘度値、ブレイクダウンおよびセットバック) を基に PLS 回帰分析およびその評価分析を行い、その関係を調べた。成分と同様に、各糊化粘度特性に対して、原スペクトル、2 次微分スペクトルおよび 3 つの波長領域の組み合わせ、計 6 の分析結果を Table 3 に示す。

最大粘度値および最終粘度値では、主要成分と同様に最も予測精度の高いのは 800–1100 nm 波長領域の 2 次微分スペクトルを用いた場合である。最大粘度値では、予測値と実測値との相関係数は 0.92 となり、強い関係を示した。その SEC と SEP は、それぞれ 25 RVU と 30 RVU となり、高い精度の検量線が得られた。最終粘度値では、その予測値と対照値との相関係数は 0.81 となり、最大粘度値の場合に比較してやや弱い関係を示したが、その SEC と SEP は、それぞれ 33 RVU と 34 RVU となり、最大粘度値の SEP とほぼ同程度であった。

ブレイクダウンとセットバックでは、最も予測精度の高いのは 700–1100 nm 波長領域の 2 次微分スペクトルを用いた場合である。ブレイクダウンでは、予測値と実測値との相関係数は 0.92 となり、最大粘度値と同様に強い関係を示した。その SEC と SEP は、それぞれ 24 RVU と 24 RVU となり、高い精度の検量線が得られた。セットバックでは、予測値と対照値との相関係数は 0.71 となり、他の粘度値に比べて弱い関係を示したが、その SEC と SEP は、それぞれ 24 RVU と 22 RVU となり、いずれもブレイクダウンの場合と同程度であった。

また主要成分と同様に、最も予測精度の高い検量線の回帰係数を調べて、Fig. 5 に示す。いずれの糊化粘度値でも、990 nm 付近にマイナスピークが観察された。このバンドは O-H 官能基の伸縮振動の第 2 倍音によるでん粉の吸収に帰属される⁽²⁷⁾ので、ジャガイモの主要成分のでん粉含量が糊化粘度特性値に密接に関わることが示された。また 970 nm 付近に O-H 官能基の伸縮振動の第 2 倍音による水の吸収、1020 nm 付近に N-H の伸縮振動と第 1 アミドの結合音および 1060 nm N-H の伸縮振動の第 2 倍音によるタンパク質の吸収に関わるピークも観察され⁽²⁷⁾、タンパク質含量が糊化粘度に直接与えていると考えられる⁽³⁰⁾。さらに 815 nm 付近に N-H の伸縮振動の第 3 倍音によるタンパク質の吸収バンドに帰属されるピークでは、最終粘度値或いはセットバックは、最高粘度値或いはブレイクダウンと違いマイナスピークを示した。最終粘度値とセットバックは老化特性に関わり、一般に老化特性値として用いる場合がある。このことから、タンパク質は糊化粘度

Table 3 Calibration and validation results to predict RVA characteristics of potato tubers

		Wavelength range	Factors	Calibration		Validation		
				R	SEC	SEP	Bias	RPD
Peakviscosity (RVU)	Raw spectra	400-1100 nm	8	0.90	29	34	-2	1.92
		700-1100 nm	10	0.90	29	31	1	2.09
		800-1100 nm	10	0.93	24	30	1	2.13
	2nd derivative spectra	400-1100 nm	6	0.89	29	31	-3	2.10
		700-1100 nm	6	0.90	28	31	0	2.13
		800-1100 nm	7	0.92	25	30	0	2.19
Finalviscosity (RVU)	Raw spectra	400-1100 nm	8	0.79	34	36	-3	1.54
		700-1100 nm	12	0.82	32	35	-1	1.56
		800-1100 nm	15	0.88	27	34	3	1.59
	2nd derivative spectra	400-1100 nm	5	0.77	36	38	1	1.45
		700-1100 nm	8	0.82	32	35	-1	1.58
		800-1100 nm	8	0.81	33	34	-4	1.63
Breakdown (RVU)	Raw spectra	400-1100 nm	8	0.91	26	32	-1	1.91
		700-1100 nm	11	0.91	25	28	-4	2.24
		800-1100 nm	11	0.92	24	26	-3	2.41
	2nd derivative spectra	400-1100 nm	8	0.92	25	28	0	2.20
		700-1100 nm	8	0.92	24	24	-2	2.53
		800-1100 nm	8	0.91	25	25	0	2.42
Setback (RVU)	Raw spectra	400-1100 nm	7	0.69	25	24	2	1.38
		700-1100 nm	8	0.70	25	24	0	1.37
		800-1100 nm	10	0.71	24	24	1	1.36
	2nd derivative spectra	400-1100 nm	4	0.65	26	25	2	1.31
		700-1100 nm	6	0.71	24	22	2	1.48
		800-1100 nm	6	0.70	25	23	0	1.41

Factors : number of factors, included in the model ; R : correlation coefficient ; SEC : standard error of calibration ; SEP : standard error of validation ; Bias : systematic error ; RPD : ratio of standard deviation and standard error of prediction.

にだけでなく老化にも影響を与えることが推測される。

3. 予測モデルの実用性について

得られた検量線の測定精度の有用性を判断する指標として、目的成分の標準偏差を SEP で除した RPD (ratio of standard deviation of reference data in prediction sample set to SEP)³¹⁾がある。使用目的によって、RPD 値に対する要求がまちまちであるが、農産物に対しては、一般的に RPD が 1.41~1.70 の場合大雑把なスクリーニングに、RPD が 1.71~2.42 では適正なスクリーニングに、そして RPD が 2.43 以上では高精度のスクリーニングに適するとされている³²⁾。本文では、主要成分および糊化粘度特性に対し、その RPD 値を求め、Table 2 および Table 3 に併記した。主要成分の水分、炭水化物およびアミロースについては、RPD 値が 2.85 以上となり、高精度のスクリーニングに適している。タンパク質の RPD 値が 1.75 であるので、適正なスクリーニングに適した。一方、灰分については、その RPD 値が低く、本文での予測精度はスクリーニングに適していない。また糊化粘度特性では、最大粘度値とブレイクダウンの RPD 値は 2.19 以上となり、適正なス

クリーニングに適している。最終粘度値およびセットバックの RPD 値は、それぞれ 1.63 と 1.48 であるので、大雑把なスクリーニングに適し、大雑把なグループ分けに使ってもよいと考えられ、特にジャガイモの品質を総合的に評価する際に補助的に利用できると考えられる。

要 約

ジャガイモの品質を迅速かつ総合的に評価方法の開発を最終目的とし、ジャガイモの水分、炭水化物、アミロース、タンパク質および灰分含量、さらに調理・加工適性に関わる糊化粘度特性の非破壊同時測定に対する近赤外分光法の利用の可能性について検討した。

インタラクタンス法で測定した近赤外スペクトルから PLS 回帰分析によってジャガイモの主要成分および糊化粘度特性を予測する検量線を作成し、その予測精度の検証を行った。その結果、水分、炭水化物、アミロースおよびタンパク質の主要成分および糊化粘度特性は、予測値と実測値との相関係数はいずれも高く、スペクトルとの間に密接な関係が示された。その予測精度を表す予測標準誤差

Fig. 5 Regression coefficients in the PLS calibration models for RVA characteristics calculated using second derivative spectra

SEP は、水分で 0.87%, 炭水化物で 0.95%, アミロースで 0.6%, タンパク質で 0.15%, 最高粘度値で 30 RVU, 最終粘度値で 34 RVU, ブレークダウンで 24 RVU, セットバックで 22 RVU となり, いずれも相対的に高精度の予測結果が得られた。しかしながら, 灰分に関しては十分な精度で検量線を作成することができなかった。

以上のことから, 近赤外分光法を利用すれば, ジャガイモの主要成分および糊化粘度特性を非破壊的に測定でき, ジャガイモの品質を迅速的かつ総合的に評価できることが示唆された。

文 献

1) 小原明子, 小林 晃, 遠藤千絵, 山内宏昭, 森 元幸, バレ

イショの澱粉価と煮崩れの関係, 育種学会・作物学会北海道談話会会報, **38**, 34-35 (1997).

- 2) 小宮山誠一, 目黒孝司, 加藤 淳, 山本愛子, 山口敦子, 吉田真弓, ジャガイモのデンプン含量が調理特性に及ぼす影響, 日謂科誌, **35**, 336-342 (2002).
- 3) 岡 啓, 十勝地方におけるばれいしょの生産性向上に関する研究(第2報) 磷酸多施条件下における N 用量とばれいしょの生育反応, 北海道農業試験場彙報, **95**, 53-64 (1969).
- 4) 岡 啓, 十勝地方におけるばれいしょの生産性向上に関する研究(第3報) ばれいしょの生育, 収量に及ぼす窒素分施および緩効性窒素の影響, 北海道農業試験場研究報告, **117**, 51L74 (1977).
- 5) 谷口健雄, 加工用ばれいしょの肥培管理改善による品質向上, 農業技術, **45**, 150-155 (1990).
- 6) Morrison, I.M., Cochrane, M.P., Cooper, A.M., Dale, M.F. B., Duffus, C.M., Ellis, R.P., Lynn, A.L., Mackay, G.R., Paterson, L.J., Prentice, R.D.M., Swanston, J.S. and Tiller, S.A., Potato starches: variation in composition and properties between three genotypes grown at two different sites and in two different years. *J. Sci. Food Agric.*, **81**, 319-328 (2000).
- 7) Singh, J. and Singh, N., Studies on the morphological, thermal and rheological properties of starch separated from some Indian cultiars. *Food Chemistry*, **75**, 67-77 (2001).
- 8) Endo, C.M., Takada, A.O., Yamauchi, H., Mori, M. and Fujikawa, S., Disintegration differences in cooked potatoes from three Japanese cultivars: comparison of starch distribution within one tuber and tissue structure. *Food Sci. Technol. Res.*, **8**, 252-256 (2002).
- 9) 梅村芳樹, 消費ニーズに応える農産物の生産・流通・加工, 農業機械学会北海道支部第 50 回研究発表会講演要旨, p. 73-76, 札幌 (1999).
- 10) 佐藤広顕, 高野克己, 光浦暢洋, 谷村和八郎, 鴨居郁三, 比重の異なるバレイションの物性について, 日食工誌, **38**, 1134-1136 (1991).
- 11) Clark, C.F., Lombard, P.M. and Whiteman, E.F., Cooking quality of the potato as measured by specific gravity. *The American Potato Journal*, **17**, 38-45 (1940).
- 12) Kunkel, R. (1950). Gravity grading of potatoes. *American Potato Journal*, **27**, 59-64.
- 13) 浅間和夫, 全自動でん粉価測定装置, 育種, **22**, p. 350 (1972).
- 14) Zaltzman, A., Verma, B.P. and Schmilovitch, Z., Potential of quality sorting of fruits and vegetables using fluidized bed medium. *Transactions of ASAE*, **30**, 823-831 (1987).
- 15) Chen, J.Y., Zhang, H., Miao, Y. and Matsunaga, R., NIR measurement of specific gravity of potato. *Food Sci. Technol. Res.*, **11**, 26-31 (2005).
- 16) 小宮山誠一, 加藤 淳, 本田博之, 松島克幸, 可視および近赤外分光法によるジャガイモデンプン価の非破壊計測と選別技術への応用, 食科工, **54**, 304-309 (2007).
- 17) Bewell, E.R., The determination of the cooking quality of potatoes. *American Potato Journal*, **8**, 235-242 (1937).
- 18) Wiesenborn, D.P., Orr, P.H., Casper, H.H. and Tacke, B.K., Potato starch paste behavior as related to some physical chemical properties. *J. Food Sci.*, **59**, 644-648 (1994).
- 19) Gaman, P.M. and Sherrington, K.B., The Science of Food. 4th Edition Published by Butterworth-Heinemann, pp. 59-72 (1996).
- 20) McCormick, K.M., Panozzo, J.F. and Hong, S.H., A swell-

- ing power test for selecting potential noodle quality wheats. *Aust. J. Agric. Res.*, **42**, 317-323 (1991).
- 21) Ozaki, Y., McClure, W.F. and Christy, A.A., Near-infrared spectroscopy in food science and technology. Published by John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, pp. 138-139, pp. 225-231 (2007).
- 22) 中村カホル, 滝田聖親, 渡部俊弘, 基礎食品学実験書, (三共出版, 東京), pp. 122-129 (1997).
- 23) 前田安彦, 金子憲太郎, わかりやすい基礎食品分析法, (アイ・ケイコーポレーション, 東京), pp. 38-49 (2004).
- 24) Juliano, B.O., A simplified assay for milled-rice amylase. *Cereal Sci. Today*, **12**, 334-340 (1971).
- 25) 岩元睦夫, 河野澄夫, 魚住 純, PLS 回帰分析, 「近赤外分光法入門」(幸書店, 東京), pp. 82-83 (1994).
- 26) 宮下芳勝, 佐々木慎一, PLS 法, 「ケモメトリックス」(共立出版, 東京), pp. 55-72 (1995).
- 27) Osborne, B.G., Fearn, T. and Hindle, P.H., Practical NIR spectroscopy : with applications in food and beverage analysis. John Wiley & Sons, Inc., New York. pp. 26-33 (1993).
- 28) Chen, J.Y., Zhang, H. and Matsunaga, R., Visible and Near Infrared Spectroscopy for Rapid Analysis of the Sugar Composition of Raw Ume Juice, *Food Sci. Technol. Res.*, **13**, 291-295 (2007).
- 29) Chen, J.Y., Miao, Y., Sato, S. and Zhang, H., Near-Infrared Spectroscopy for Determination of the Protein Composition of Rice Flour, *Food Sci. Technol. Res.*, **14**, 132-138 (2008).
- 30) Martin, M. and Fitzgerald, M.A., Protein in rice grains influence cooking properties. *J. Cereal Sci.*, **36**, 285-294 (2002).
- 31) Williams, P.C., Near-infrared technology in the agricultural and food industries, In : Implementation of Near-Infrared Technology, edited by P. Williams and K. Norris, American Association of Cereal Chemists Inc., Minnesota, USA. pp. 145-169 (2001).
- 32) Kovalenko, I.V., Rippke, G.R. and Hurburgh, C.R., Determination of amino acid composition of soybeans (*Glycine max*) by near infrared spectroscopy, *J. Agric. Food Chem.*, **54**, 3485-3491 (2006).
- (平成 20 年 5 月 9 日 8 受付, 平成 21 年 1 月 23 日受理)
-