

近赤外分光法による乾麺の水分測定に関する基礎研究

陳介余¹, 張函¹¹ 秋田県立大学生物資源科学部応用生物科学科

近赤外分光法による乾麺水分の迅速的測定の可能性を探るため、乾麺試料の水分含量と近赤外スペクトルとの関連性を多変量解析法で調べた。市販された各種類の乾麺に対し、粉末試料をセル（破壊方法）にセットして、および乾麺そのまま状態の試料を並べてセル（非破壊方法）にセットして近赤外スペクトルを測定した。両測定方法で得られたスペクトルを用いて、水分含量と近赤外スペクトルとの関連性を PLS 回帰分析方法で検討した。その結果、いずれの方法で、乾麺試料の水分含量と近赤外スペクトルとの間に密接な関係を示し、近赤外分光法による乾麺水分の迅速的測定の可能性を得た。

キーワード：乾麺、水分測定、近赤外分光法

乾麺は、保存性や食味の向上を目的として受け継がれてきた伝統食品であるが、健康意識への高まりとともに伝統食品の機能性や独特の食味が今あらためて評価され、海外でも注目される食品となりつつある。これに伴い、新規乾麺業者の積極的な参入が見られ、消費者の選択空間がより広がった。同時に新規参入業者の急増により製造設備や技術等の差から生じる「品質格差」の問題が生じる。例えば、乾燥プロセスに由来する品質差がある。一般には高品質乾麺を製造するためには乾燥中の乾麺の水分含量に応じて乾燥プロセスの温湿度を調整する必要がある。乾麺製造現場、さらに乾麺の保存性や食味の品質管理現場から、乾麺乾燥中にも使える迅速乾麺水分測定機器の開発が望ましい。

一般に固体食品の水分分析は加熱乾燥法（日本食品科学工学会,1996）を用いるが、時間と手間を要するため、現場には使えないことから、より簡易な測定技術が求められている。近赤外分光分析法は迅速であるため、幅広い食品の各種成分、乾物量、糖酸度測定等の分析に活用されている（Haiyan Cen and Yong He, 2007; 陳 介余, 2007）。

本研究では、簡便かつ迅速な乾麺の水分測定機器

の開発を最終目的として、乾麺の水分含量と近赤外スペクトルとの関連性を調べて、近赤外分光法による乾麺水分の迅速的測定の可能性を検討した。

試料および方法

乾麺試料

試料として、讃岐うどん、稲庭うどん、そば、および中国乾麺などの 36 種類の乾麺を用いた。中国乾麺試料は中国上海でのスーパーマーケットから購入し、他の乾麺試料は、秋田でのスーパーマーケットから購入した。

乾麺試料の水分含量測定

乾麺の水分測定は、乾麺試料を低温ミルで粉碎してから、赤外水分計（株式会社ケツト FD-240）を用いた。各試料に対し 2 回測定作業を行い、その平均値を分析値とした。

乾麺試料の近赤外スペクトル測定

乾麺試料の近赤外スペクトル測定は、近赤外スペクトル測定装置（汎用タイプニレコ、NIRS6500）を

用いて行った。試料セルとして標準粉末カップを用いた。低温ミルで粉碎された粉末試料を粉末セルにセットして近赤外スペクトルを測定する方法（ここで、破壊方法という）、および乾麺そのまま状態の試料を並べて粉末セルにセットして近赤外スペクトルを測定する方法（ここで、非破壊方法という）の二つ方法を用いた。いずれの方法では、スペクトルの測定波長範囲は 400~2500nm で、波長間隔は 2nm である。また測定したスペクトルは、1 次微分或いは 2 次微分処理を施した。微分のセグメントとゲッブはそれぞれ 20nm と 0nm である。

データ分析

スペクトル解析および目的成分との関連性の解析は Unscrambler ソフトを用いた。乾麺試料の近赤外スペクトルと目的成分のデータを用いて PLS 回帰分析を行った。その際、キャリブレーション（回帰モデル）の評価はクロスバリデーション法（Full cross validation）を用いた。すなわち、試料数 n とする場合、 $n-1$ 試料でキャリブレーションを作成し、残り 1 試料で検証し、これを n 回繰り返す方法である。その SECV の計算方法は次の式（1）に示す。その actual は従来法で得た分析値であり、predicted は近赤外分光法による分析値であり、mean は平均値である。最小のクロスバリデーションの標準誤差（standard Error of cross validation, SECV）で PLS 回帰モデルの適性を評価する。

$$SECV = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n [(actual - predicted) - \{mean(actual) - mean(predicted)\}]^2}{n-1}} \quad \dots (1)$$

その際、成分の実測値（従来法によるもの）と予測値の残差の標準誤差（Standard Error of calibration, SEC）を式（2）で求められる。

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

結果および考察

乾麺の近赤外スペクトル

図 1 は低温ミルで粉碎された乾麺粉末（讃岐うどん、稲庭うどん、そば、日清ナンバンワンおよび中

国乾麺の 5 種類中の 1 例）の近赤外スペクトルを示す。澱粉が多く含まれた小麦粉や穀物類などに類似したスペクトルと見られた。994nm, 1576nm 付近に O-H の伸縮倍音による吸収バンドがあり、主に澱粉の吸収によるものだと考えられる。また、1440nm および 2100nm 付近に広い幅の吸収バンドが観察され、澱粉の O-H の伸縮倍音とたんぱく質の N-H の伸縮倍音による吸収バンドであると考えられる。さらに 2284nm と 2324nm 付近に C-H の伸縮倍音による吸収バンドは脂質による吸収によるものだと見られる。

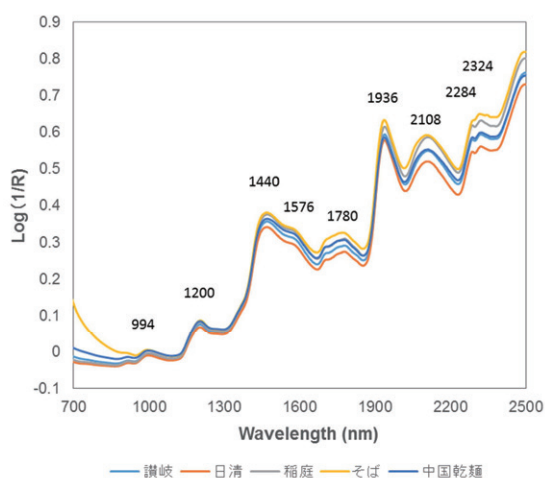


図 1 粉碎された乾麺粉末の近赤外スペクトル

同じ種類の乾麺をそのままの非破壊状態で測定した近赤外スペクトルは図 2 に示す。粉末のスペクトルに比べるとスペクトル全体が上下にシフトしていることが見られる。これは多分各乾麺の曲がり状態や表面および内部硬さなどの乾麺状態によるものだと考えられる。いずれにしても、粉末試料と同様に内部成分による吸収現象が容易に観察されることから、乾麺のままの非破壊方法で採集された近赤外スペクトルは乾麺の内部情報を有することが考えられる。

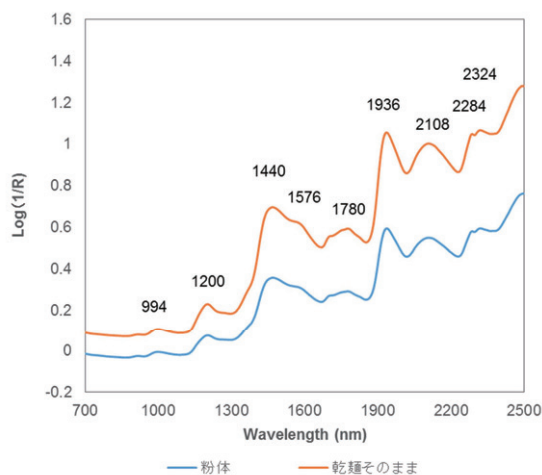


図2 乾麺そのままとその粉碎された乾麺粉の近赤外スペクトル

近赤外スペクトルによる乾麺水分の測定

乾麺試料の水分含量に対して、乾麺粉末から得られた短波長領域（700-1100nm）、中間波長領域（1100-1800nm）、および長波長領域（1800-2500nm）のスペクトルを用いて、PLS 回帰分析を行った。その結果は表 1 に示す。

表 1 粉末試料を用いた乾麺水分の PLS 回帰分析結果（破壊方法）

	F	R	SEC	SECV	Bias
700-1100nm	4	0.93	0.25	0.30	-0.01
1100-1800nm	5	0.91	0.26	0.36	0.01
1800-2500nm	5	0.93	0.24	0.30	0.00

F, number of factors;
R, correlation coefficient;
SEC, standard error of calibration;
SECV, standard error of cross validation;
Bias, average of differences between reference value and NIR value

いずれの波長領域でも、精度の高い予測モデルが得られた。標準誤差 (SEC) および予測誤差 (SECV) は 0.36% 以下であり、精度よいスクリーニングに適したと考えられる。とくに短波長領域を用いた場合でも、長波長領域を用いた場合とほぼ同程度

の精度が得られた。このことから、乾麺を低温ミルで粉碎すれば、近赤外スペクトルを用いて乾麺の水分含量を高精度で分析することができることを示した。

表 2 乾麺試料のままを用いた乾麺水分の PLS 回帰分析結果（非破壊方法）

	F	R	SEC	SECV	Bias
700-1100nm	5	0.84	0.36	0.46	0.02
1100-1800nm	5	0.88	0.32	0.40	-0.01
1800-2500nm	6	0.80	0.35	0.50	0.00

F, number of factors;
R, correlation coefficient;
SEC, standard error of calibration;
SECV, standard error of cross validation;
Bias, average of differences between reference value and NIR value

一方、乾麺のまま（非破壊法）で得られた乾麺水分の分析結果は表 2 に示す。いずれの波長領域において、乾麺の水分予測精度が破壊法（粉末法）より低くなっているが、その差は小さいでした。このことから、乾麺のまま測定した近赤外スペクトルは水分情報を十分有したことを示し、近赤外スペクトルによる非破壊方法で乾麺水分の迅速測定が可能であることが分かった。また、短波長領域、中間波長領域および長波長領域を用いた結果を比べてみると、予測誤差の差はわずか 0.1% 以内であるので、短波長領域を用いても、十分の予測精度を有することが示された。

近赤外スペクトルによる乾麺の塩分測定

乾麺試料の塩分含量に対して、乾麺粉末から得られた短波長領域（700-1100nm）、中間波長領域（1100-1800nm）、および長波長領域（1800-2500nm）のスペクトルを用いて、PLS 回帰分析を行った。その結果は表 3（粉末試料）と表 4（乾麺試料そのまま）に示す。

表3 粉末試料を用いた乾麺塩分のPLS回帰分析結果 (破壊方法)

	F	R	SEC	SECV	Bias
700-1100nm	10	0.90	0.40	0.80	0.03
1100-1800nm	7	0.96	0.29	0.51	-0.03
1800-2500nm	5	0.98	0.31	0.38	0.00

F, number of factors;
 R, correlation coefficient;
 SEC, standard error of calibration;
 SECV, standard error of cross validation;
 Bias, average of differences between reference value and NIR value

表4 乾麺試料のままを用いた乾麺塩分のPLS回帰分析結果 (非破壊方法)

	F	R	SEC	SECV	Bias
700-1100nm	10	0.80	0.40	1.23	-0.13
1100-1800nm	9	0.99	0.20	0.29	-0.01
1800-2500nm	7	0.99	0.21	0.30	-0.01

F, number of factors;
 R, correlation coefficient;
 SEC, standard error of calibration;
 SECV, standard error of cross validation;
 Bias, average of differences between reference value and NIR value

中間波長領域および長波長領域を用いた場合、いずれ方法において精度の高い塩分予測モデルが得られた。とくに非破壊方法では、実測値と予測値の相関係数が0.99であり、モデルの標準誤差SECとクロスバリデーションの標準誤差SECVは0.30%以下である。同時に塩分測定の可能性が示された。

謝辞

本研究は、秋田県立大学平成26年度産業連携・共同研究推進事業の支援を受けて行った。ここに記して謝意を表します。

文献

- 日本食品科学工学会 (1996). 新・食品分析法編集委員会編：新・食品分析法，光琳。
- Haiyan Cen and Yong He (2007). Theory and application of near infrared reflectance spectroscopy in determination of food quality, Trends in Food Science & Technology 18 (2007) 72-83.
- 陳介余 (2007). 近赤外分光法による食品素材の理化学特性分析, 日本食品光学会誌, 8 (4), 209-220.

〔平成29年6月30日受付〕
 〔平成29年7月11日受理〕

Fundamental study of the moisture measurement of dried noodles by near-infrared spectroscopy

Jie Yu Chen¹, Han Zhang¹

¹ *Department of Biotechnology, Faculty of Bioresource Sciences, Akita Prefectural University*

To explore the possibility of the rapid moisture measurement of dried noodles by near-infrared spectroscopy, the relationships between the moisture of dried noodles and near-infrared spectra were checked by multivariate analysis. The near infrared spectra of dried noodle samples were measured using two methods (destruction method and non-destruction method). The destruction method was to set a powdery sample of dried noodles into the powdery cell for the measurement of spectra. The non-destruction methods was to set a raw dried noodle sample into the powdery cell. Using the spectra of dried noodle samples provided by both measurement methods, the relationship between the moisture of dried noodles and near infrared spectra were examined by the PLS regression analysis method. As a result, a close relationship between the moisture of dried noodles and near-infrared spectra was shown in both experiments, and the possibility of the rapid moisture measurement of dried noodles by near-infrared spectroscopy was shown.

Keywords: dried noodle, moisture measurement, near infrared spectroscopy