

〔短報〕

近赤外分光法による小麦「きたほなみ」の フォーリングナンバー迅速評価技術

小宮山誠一*¹ 国中 泉*² 相馬ちひろ*¹ 柳原 哲司*¹

小麦「きたほなみ」を対象に近赤外分光装置を活用したフォーリングナンバー（FN）の簡易・迅速評価技術を検討した。小麦全粒粉の近赤外領域の2次微分吸光スペクトルとFN実測値から検量線を作成し、その精度評価を行った。全粒粉からのFN推定では、相関係数 $r=0.868$ 、予測標準誤差 $SEP=65s$ の精度の良い検量線が得られた。FN推定値200s未満を示した試料は全て低アミロ小麦となるFN実測値300s未満であり、FN推定値350s以上を示した試料は全てFN実測値でも300sを上回った。FN推定値200s未満および350s以上のものは、本評価法の適用によりFN分析が省略可能と判断された。当該装置を活用して、水分、タンパクおよび灰分の分析と同時にFNの算出も可能となり、分析の大幅な効率化が可能となる。

緒 言

小麦は収穫前の降雨により、子実中のアミラーゼ活性が高まり、でん粉の糊化粘度（アミロ値）が低下することにより、製麺時の茹で溶け量の増加やコシの低下など加工適性が悪化する¹⁾。アミロ値は、アミログラム最高粘度（BU）で示され、良好な栽培条件下で収穫された小麦のアミロ値は通常600BU以上となる¹⁾。一方、アミロ値が300BU未満のものは「低アミロ小麦」に区別される。また、アミロ値の簡便測定法であるフォーリングナンバー（FN）によるランク区分の指標として、300s以上が基準値、200s以上が許容値に設定されている。

現在、各地の集荷調製施設で品質分析に供試される点数は年間数千点に達する。とりわけ、FNの分析は、粉碎、秤量、測定、器具洗浄等の作業が必要で、これに要する人手と時間は膨大である。道内における秋まき小麦品種は、2011年産から穂発芽耐性に優れる「きたほなみ」¹⁸⁾にほぼ全面置き換えとなり、これに伴って低アミロ小麦の発生は低減されていると思われる。しかしながら、全試料についてFN分析が実施されており、より簡便、迅速なFN評価手法の開発が望まれてきた。そのためには、各種農産物の非破壊品質分析に活用されている光学的手法が有効と考えられる^{1-9, 14-17)}。これまで、小麦では水分、タンパク、アミロ最高粘度について、近赤外分光法

による非破壊評価技術が開発され、受け入れ段階での仕分け方策も示された^{10, 12)}。FNの評価については、検討事例があるが300s以下の誤差が大きいことが指摘され¹³⁾、また新品种への適用性検討も必要である。そこで、本研究では、秋まき小麦の主要品種である「きたほなみ」を対象に、タンパク質や灰分の簡易評価のため現地に導入が進んでいる近赤外分光装置を活用して、新たにFNの簡易・迅速評価技術を検討した。これが適用できれば、煩雑な分析操作なしに、FNが他の品質項目と同時に評価可能となる。

試験方法

試料は、中央農試、北見農試および道内各地の現地圃場で生産された「きたほなみ」を供試した。検量線作成・評価用にアミロ値の分布範囲の広い試料群を作出するため、以下の処理を実施した。開花期から収穫まで降雨のあった日を除き、毎日2mm相当量を散水する「散水処理」。収穫した穂をネットに入れ、1分から16時間、水に浸漬した後、引き上げ、ポリ袋で包装し、10℃および15℃・98%RHの恒温恒湿器内で放置する「穂の水浸漬、低温処理」。脱穀した小麦粒をキッチンペーパーを敷いたトレーに薄く広げ、小麦粒の下部が水に浸る程度に水を加え、ラップで被覆し、10℃・98%RHの恒温恒湿器内で放置する「粒の水浸漬、低温処理」。いずれの処理においても処理終了後、35℃通風乾燥機で風乾した。

小麦粒は2.2mmの篩で篩別し、その後の近赤外分光分析および粉碎試料（全粒粉、ブラベンダー粉）調製に供試した。全粒粉は、小麦粒をRetsch社製高速遠心粉碎器ZM200（篩い目0.5mm）で粉碎し、調製した。また、ブラベンダー粉は、小麦粒をBrabender社製小型テストミ

2013年10月31日受理

*¹（地独）北海道立総合研究機構中央農業試験場，069-1395 夕張郡長沼町

E-mail: komiyama-seiichi@hro.or.jp

*² 日本ビュッヒ株式会社，110-0008 東京都台東区

ルにより粉碎，ふすま除去を行い，小麦粒重量に対して60%歩留まりとなるよう小麦粉を回収して調製した。

FNの測定は，Pertent社製Falling Number 1800を用いて常法により測定し，2反復の平均値を分析値とした。また，アミロ値は，Brabender社製Viskographを用い，常法によりアミログラム最高粘度を測定し，2反復の平均値を分析値とした。

近赤外分光法による分光スペクトル測定は，日本ビュッヒ社製NIRLab N-200を用いた。測定セルに全粒粉を充填し，波長範囲1,000nm～2,500nmの反射光スペクトル（測定波長約1～2 nm毎の吸光度）を測定した。

分光スペクトルと実測値からの検量線作成および評価は，解析ソフトNircal ver4.2を用いて以下の手順で行った。すなわち，スペクトルデータは原スペクトルを2次微分により前処理した。次に，検量線作成用試料のスペクトルデータと実測値からPartial Least Squares (PLS) 回帰分析法により検量線を作成した。その後，作成した検量線を用いて，検量線評価用試料のスペクトルデータにより推定値を算出し，相関係数および予測標準誤差

(SEP，推定値と実測値の残差の標準偏差) から測定精度を評価した。なお，供試試料のうち，検量線作成用試料群と検量線評価用試料群の比率が，おおよそ2：1の比率になるように配分した。

結果および考察

1. 低アミロ化処理による分析用試料作出

近赤外分光分析において適切な検量線を作成するためには，実測値が広範囲に分布する試料を作出する必要がある。このため，圃場における小麦への散水処理，穂および小麦粒の水浸等の処理を実施し，試料を作出した。また，試料のFNおよびアミロ値の関係を検討した。

2010～2012年の中央農試（低アミロ化処理試料含む），北見農試および現地から得られた供試試料のFNおよびアミロ値の実測値分布を示した（図1）。2010，2011年は低アミロ区分の試料割合が少なく，2012年は低アミロから高アミロ区分まで広範囲な試料が得られた。中央農試から採取した試料以外は，いずれの年も低アミロ区分の試料数がわずかであった。

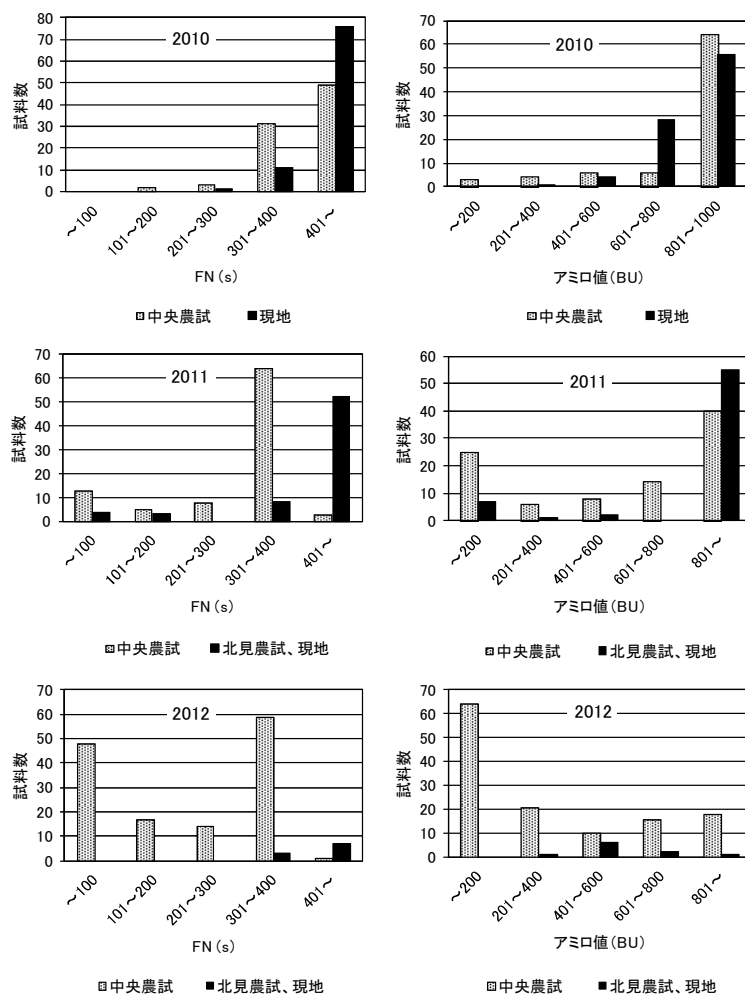


図1 供試試料のFNおよびアミロ値の分布

中央農試、北見農試および道内各地の現地圃場で生産された試料の各実測値 (FN, アミロ値) 間の関係を示した (図2)。FNとアミロ値の間をみると両者には正の相関があり、FNが400s近辺で頭打ちになることから、

指数近似の関係で示された。いずれの年次でも、低アミロ小麦の判断基準であるアミロ値300BUはFNの300sとほぼ一致し、これは既往の知見と同様の傾向を示していた¹¹⁾。

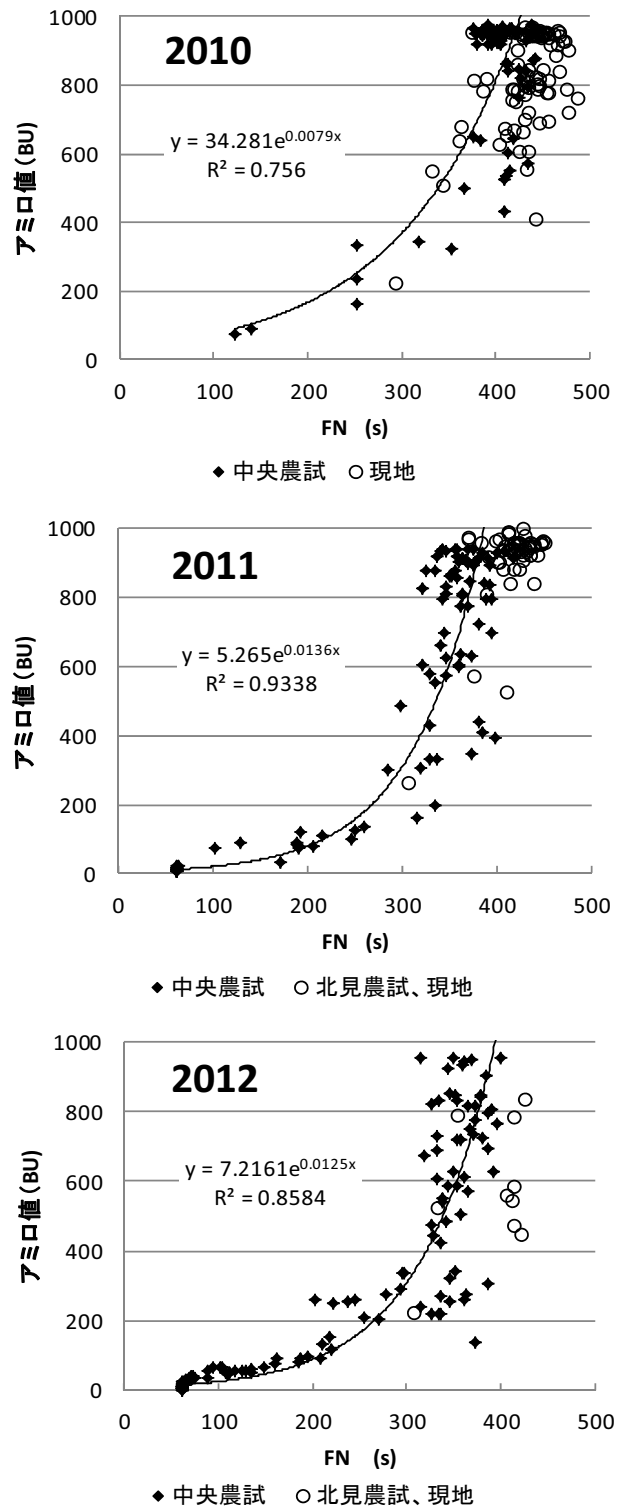


図2 供試試料におけるFN, アミロ値, アミラーゼ活性の関係

2. 近赤外スペクトルと実測値による検量線作成と評価
供試した全粒粉の近赤外分光スペクトルを示した（図3）。原スペクトルを2次微分処理したスペクトルを用いて検量線作成を行った。

各年次のスペクトル解析による検量線作成と評価を実施した（図4）。その結果、2010年では、低アミロ試料が少ない試料のみしか供試できなかったことから、分析精度はやや劣るものとなった。FN推定値が300s未満のものは、実測値もすべて低アミロ小麦の区分である300s未満となった。多くの試料は、推定値および実測値ともに300s以上の領域に分布した。アミロ値推定値についても、300BUを下回る試料がほとんど見られなかった。

2011年の試料については、2010年に比べると低アミロ試料の割合が多い試料を供試できたが、アミロ値の高い試料の割合が大きかった。FN実測値と推定値の関係について、FN推定値が300s未満のものは、ほとんど低アミロ小麦の区分であるFN実測値300sも未満となった（図4）。アミロ値の実測値と推定値の関係について、アミロ推定値400BU未満のものは、すべて低アミロ区分の実測値であった。

2012年は、水浸漬処理による低アミロ試料が多く確保でき、分布範囲の広い試料を供試できた。FN実測値と推定値の関係について、全粒粉からのFN推定では、精度の高い検量線が得られた（図4）。FN推定値300s以上を示した試料はFN実測値でも300sを上回り、FN推定値200s未満を示した試料は全て低アミロ小麦となる300s未満の実測値であった。一方、FN推定値200-300sの試料におけるFN実測値は分布範囲が広がった。

2010～2012年の単年度毎の試験結果をみると、低アミロから高アミロまで広範囲の試料を供試できた2012年では、検量線の精度が高くFNについて近赤外分光法による簡易評価が可能と考えられた。一方、2010年および2011年では低アミロ試料の供試割合が低かったため、十分な推定精度が得られなかった。そこで、現地での活用が望まれる「全粒粉からFNの推定」について、2010～2012年の3か年分のデータを統合して、新たに検量線の作成、評価を実施した。その結果、全粒粉のFN推定（2010～2012年）では、相関係数 $r=0.868$ ($r^2=0.753$)、予測標準誤差SEP=65sと精度の高い検量線が得られた（図5）。上記の検量線の推定精度は、既往の知見¹³⁾における精度 ($r^2=0.49$) と比べ、向上させることができた。試料の分布状況から、FN推定値200s未満を示した試料は、全て低アミロ小麦となる300s未満のFN実測値であった。一方、FN推定値350s以上を示した試料は、全てFN実測値でも300sを上回った。また、FN推定値が200s以上350s未満の範囲では、FN実測値が広く分布した。したがって、FN推定値200s未満および350s以上のものは、

それぞれ低アミロ小麦と正常な小麦に判別できることから、本評価法の適用によりFN分析が原則省略できると判断された。一方、FN推定値が200s以上350s未満のものについては、実測値の変動が大きいことから従来どおりFNの実測が必須であると考えられた。

「きたほなみ」が難穂発芽性であり、低アミロ試料の供試点数が少なくなると考えられたため、圃場での散水や水浸漬等の処理を行った試料も多く供試している。これらの処理について、現地産試料との整合性の問題が想定されるが、特殊な試薬等は使用していないこと、吸水処理後は速やかに通風乾燥を実施して近赤外分析に供試していること、現地産試料も検量線作成用試料群に組み込んでいること、現地産試料のFN推定値と実測値に大きな外れ値がないことなどから、大きな問題は生じないと判断した。

次に、全粒粉からFNの推定にあたって、2次微分スペクトルのどの波長の吸光度が推定値と相関が高いか検討した。その結果、検量線に対する寄与率の最も大きかった波長は1,900nm付近であった（図6）。この波長帯は、デンプンの-OHおよびC-O（2倍音）の吸収波長とされる。検量線に対して、この波長帯の寄与が高い理由については詳細なメカニズムは不明だが、デンプンがFNの違いに一定程度寄与していることが推察された。

前述のとおり、FN推定値200s未満および350s以上のものは、それぞれ低アミロ小麦と正常な小麦に判別できることから、本評価法の適用によりFN分析が省略でき、一方、FN推定値が200s以上350s未満のものについては、実測値の変動が大きいことから従来どおりFN実測が必須であると考えられた。

2010年および2011年の道内A農協集荷施設での「きたほなみ」のFN300s未満の試料割合は、各々3.5%（100点/2862点）、0.1%（9点/6907点中）と低く、ほとんどがFN基準値の300sに達している。それにもかかわらず、全試料について従来法によるFN分析を実施しており、多くの時間と労力が必要となっていることから、より簡便・迅速にFNを評価できる手法の開発が望まれてきた。タンパク・灰分含量に加えて、FNについても近赤外分光法による簡易評価が導入されると、FN実測の要・不要が明確になり、FN実測値の分析が必須なもののみを分析することで大幅な効率化が図られると考えられる（図7）。

以上を総括し、本研究で検討した近赤外分光法による簡易評価法を活用した場合の分析点数の効率化について示した（表1）。従来のFN分析法では、全粒粉を試料を試験管にはかり取り、FN分析を行った後、試験管等の分析器具の洗浄作業が必要となる。この場合の試料1点（人員1名）あたりの分析速度は、秤量で約1分間、FN

分析で平均約5分間、洗浄作業で約1分間の計7分間を要する。これに対して、本試験に使用した装置を既に導入済みで水分、タンパクおよび灰分等の分析に活用している場合、これらの測定と同時にFNの算出も可能となるため、新たな作業および時間は全く生じず、大幅な効率化が可能となる。本法が現地で有効に活用され、煩雑な分析の簡易迅速化が図られることを期待したい。

謝 辞 本研究を実施するにあたり試料のご提供をいただいたニッポンエンジニアリング株式会社北海道営業所、中央農試作物開発部作物グループおよび栽培環境グループ、北見農試研究部麦類グループの諸氏に深謝いたします。

表1 全粒粉の近赤外分光分析におけるFN分析効率化の例

効率化項目	従来のFN分析	近赤外分光法の活用		
		FN推定値	FN実測の必要性	備考
分析点数の効率化	全点分析	200s未満	原則不要	必要に応じて確定分析を実施
		200-350s未満	FN実測が必須	
		350s以上	原則不要	必要に応じて確定分析を実施

従来のFN実測の所要時間は、試料秤量、分析、器具洗浄で1点あたり約7分間である。近赤外分光法では、タンパク、灰分と同時測定ができ、その際の所要時間は試料の入れ替えおよび分析で約1.5分間である。

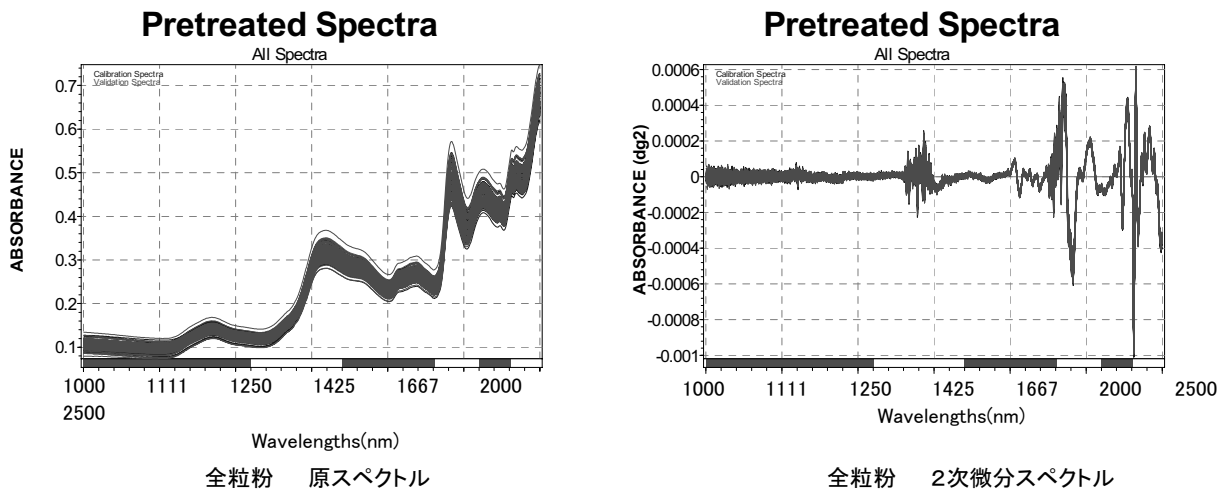


図3 近赤外分光分析装置による小麦全粒粉のスペクトルデータ

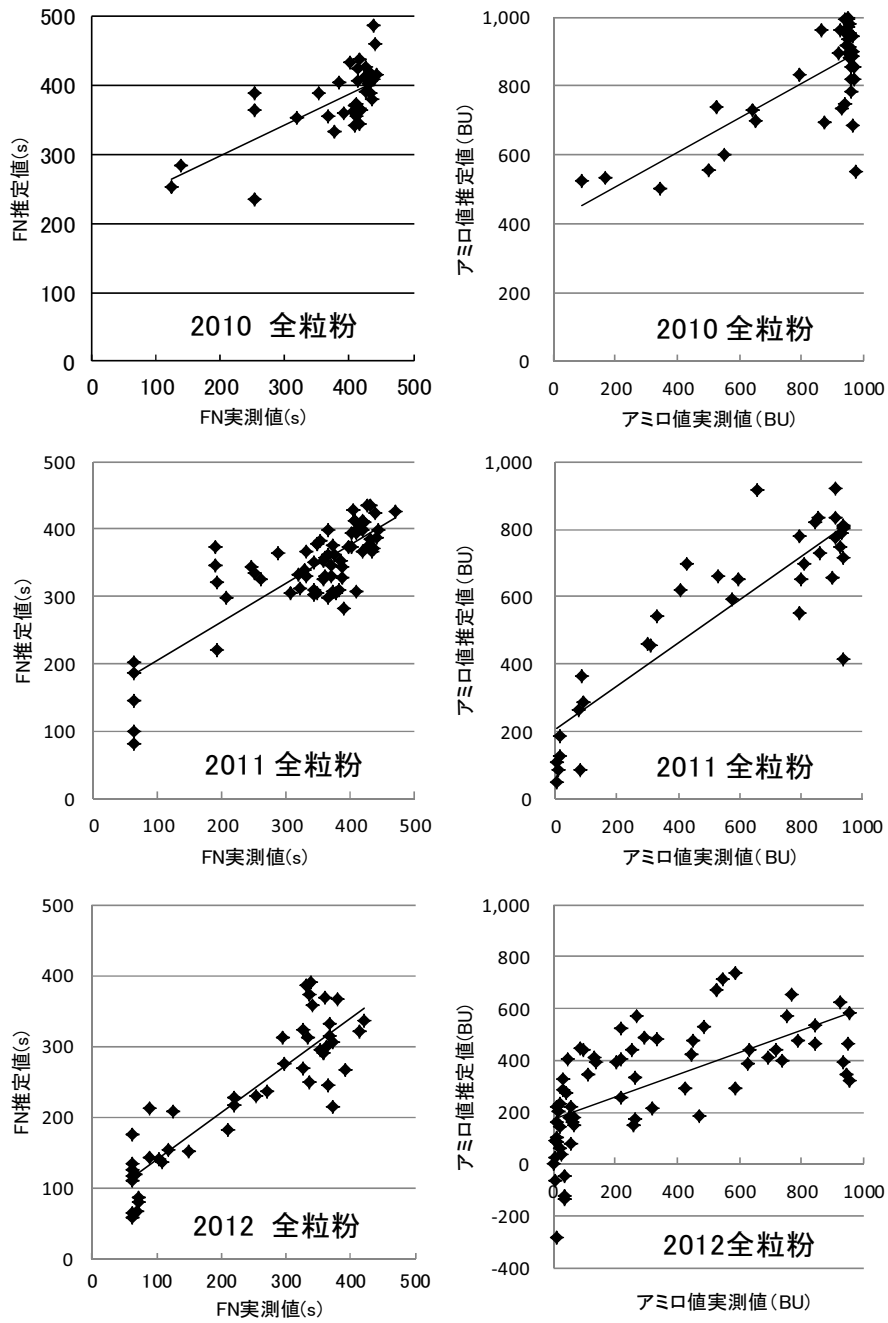


図4 検量線評価用試料の実測値と推定値の関係 (2010-2012年)

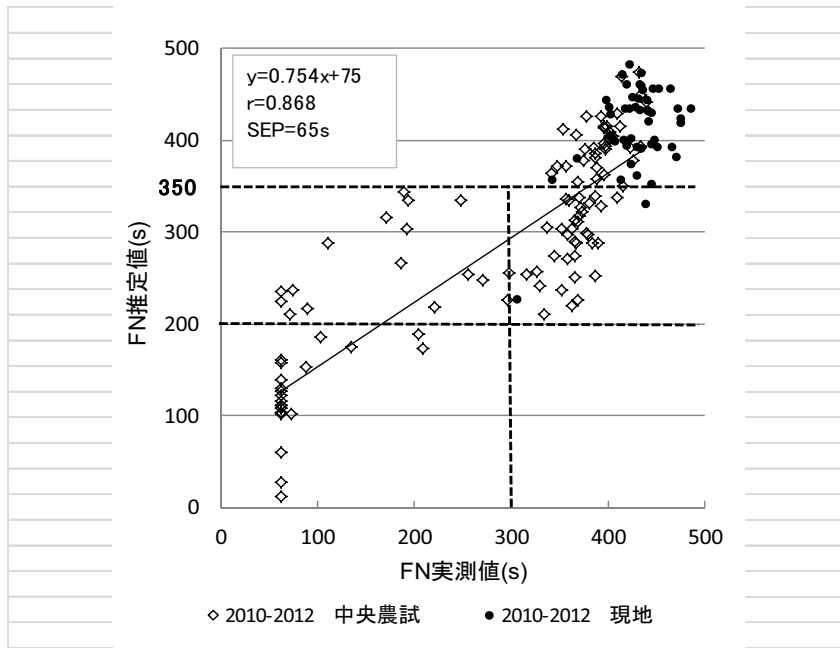


図5 検量線評価用試料の実測値と推定値の関係 (2010-2012年)

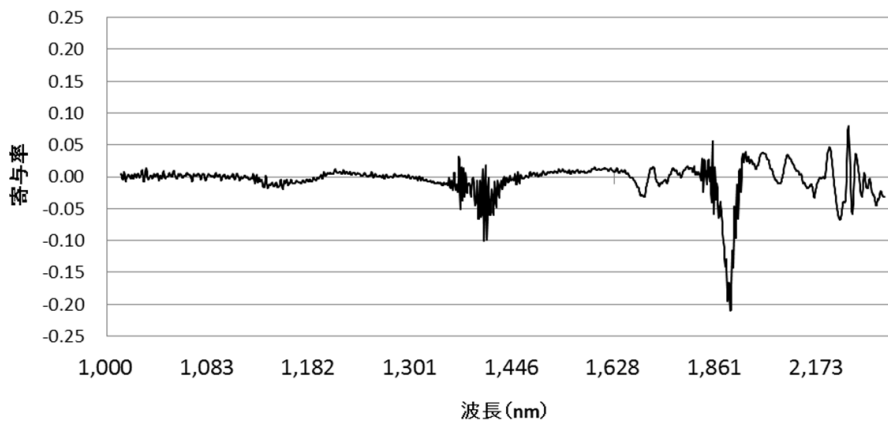


図6 全粒粉からのFN推定と各波長毎の吸光度の関係

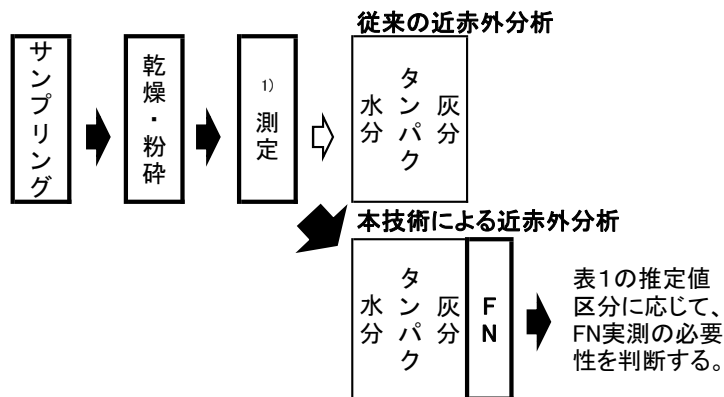


図7 近赤外分光法によるFN迅速評価の流れ

1) 測定用の全粒粉サンプル必要量は約30g以上。

引用文献

- 1) Clark, C. J., V. A. McGlone and R. B. Jordan. Detection of brownheart in 'Braeburn' apple by transmission NIR spectroscopy. *Postharvest Biol. Technol.* 28, 87-96 (2003)
- 2) 猪俣雄司. ニホンナシ「豊水」のみつ症の非破壊測定. *今月の農業.* 33, 94-97 (1989)
- 3) 伊藤秀和. 近赤外分光法によるメロン品質の非破壊計測法の開発. *野菜茶研研報.* 6, 83-115 (2007)
- 4) 伊豫知枝・河野澄夫. 貯蔵がリンゴ果実の近赤外スペクトルに及ぼす影響. *園学雑.* 70, 510-515 (2001)
- 5) Kawano, S., H. Watanabe and M. Iwamoto. Determination of sugar content in intact peaches by near infrared spectroscopy with fiber optics in interreflectance mode. *J. Japan. Soc. Hort. Sci.* 61, 445-451 (1992)
- 6) Kawano, S., H. Watanabe and M. Iwamoto. Determination of sugar content in intact peaches by near infrared spectroscopy with fiber optics in interreflectance mode. *J. Japan. Soc. Hort. Sci.* 61, 445-451 (1992)
- 7) Kawano, S., T. Fujiwara and M. Iwamoto. Nondestructive Determination of sugar content in satsuma mandarin using near infrared(NIR) transmittance. *J. Japan. Soc. Hort. Sci.* 62, 465-470 (1993)
- 8) 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. *日本食品科学工学会誌.* 54(6), 304-309 (2007)
- 9) 小宮山誠一, 相馬ちひろ, 鳥越昌隆, 五十嵐正和. 可視・近赤外分光法によるダイコンパーティシリウム黒点病症状の非破壊計測. *園芸学研究.* 9 (2), 229-233 (2010)
- 10) 中津智志, 大村邦男, 清水昭佳, 鈴木良治. 小麦の簡易迅速品質判定機. *平成6年度研究成果情報北海道農業.* 164-165 (1995)
- 11) 中津智史. 北海道における低アミロ小麦の発生とその要因に関する研究. *道立農試報告.* 93, 1-60 (2000)
- 12) 夏賀元康. 近赤外分光法による穀物の品質測定 (第2報) 近赤外分析法による穀物の成分測定. *北海道大学農学部邦文紀要.* 19(3), 295-332 (1995)
- 13) 夏賀元康, 仲村彰敏, 川村周三, 伊藤和彦. 近赤外分光法による高水分小麦の品質測定—高水分小麦の容積重, デンプン粘度 (フォーリングナンバー) の測定. *農業機械学会誌.* 65(5), 100-107 (2003)
- 14) 大場聖司・荒川 博・松浦英之・中根 健・水野俊博. 近赤外分光法による温室メロン糖度非破壊測定機の開発. *静岡農試研報.* 46, 11-22 (2001)
- 15) 澤山一博・本間稔規・青山達仁. 光学的手法を用いた根菜類品質検査技術の開発. *北海道立工業試験場報告.* 300, 155-158 (2001)
- 16) 鈴木晴夫・石田 隆. 透過光の利用による夏橙の「ス上がり果」の選別. *静岡柑試研報.* 15, 23-28 (1979)
- 17) Tsuchikawa, S., S. Kumada and K. Inoue. Application of time-of-flight near-infrared spectroscopy for detecting water core in apples. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 127, 303-308 (2002)
- 18) 柳沢 朗, 吉村康弘, 天野洋一, 小林 聡, 西村 努, 中道浩司, 荒木和哉, 谷藤 健, 田引 正, 三上 浩輝, 池永充伸, 佐藤奈奈. 秋まきコムギ「きたほなみ」の育成. *北海道立農試集報.* 91, 1-13 (2007)

Rapid Determination of the Falling Number of Wheat “ Kitahonami ” Using Near-infrared Spectroscopy

Seiichi KOMIYAMA^{*1}, Izumi KUNINAKA^{*2},
Chihiro SOUMA^{*1} and Tetsuji YANAGIHARA^{*1}

^{*1} Hokkaido Central Agricultural Experiment Station,
Naganuma, Hokkaido, 069-1395 Japan
E-mail: komiyama-seiichi@hro.or.jp