

| Title | 近赤外分光法による搾乳時のリアルタイム乳質診断 |
|------------------|--------------------------------|
| Author(s) | 川村,周三 |
| Citation | 獣医畜産新報, 58(7), 577-581 |
| Issue Date | 2005 |
| Doc URL | http://hdl.handle.net/2115/719 |
| Туре | article (author version) |
| File Information | JVM58-7kawamura.pdf |



近赤外分光法による搾乳時のリアルタイム乳質診断

川村周三

所属

Shuso KAWAMURA:北海道大学大学院農学研究科農産物加工工学研究室, shuso@bpe.agr.hokudai.ac.jp(〒060-8589 札幌市北区北9条西9丁目)

要約

大規模酪農では,乳牛の群管理技術と同時に個別管理技術が必要とされている。 そこで近赤外分光法を用いた搾乳時のリアルタイム乳質診断技術の研究開発を行っ ている。試作した近赤外センサにより搾乳中の乳成分や体細胞数をリアルタイムに 測定することができた。同時に搾乳1回分の平均の乳成分や体細胞数を搾乳終了時 に求めることが可能となった。この技術により搾乳時に潜在性乳房炎の乳牛を診断 することが可能となる。近赤外分光法によるリアルタイム乳質診断技術は,搾乳ロ ボットと組み合わせることにより乳牛の個別管理に利用可能であり,酪農における 精密農業の発展に貢献する技術である。

1. はじめに

近年, 酪農経営は大規模化が進んでおり, とくに北海道ではその傾向が顕著であ る。大規模酪農では乳牛を群管理する技術が普及しつつあるが, 一方で乳質の向上 や乳量の増加のためには, 群管理技術と同時に乳牛の個別管理技術が必要とされて いる。乳牛の個別管理を行うためには, 乳成分や体細胞数などの乳質および乳量を 乳牛毎に搾乳時にリアルタイムで検知する技術が不可欠である。

そこで,近赤外分光分析法を用いた搾乳時のリアルタイム乳質診断技術の開発を 目指し研究を行っている。この特集では,近赤外センサを試作し搾乳時の乳質を測 定するための検量線(キャリブレーション)を作成し,その測定精度を検証した結 果を報告する。さらに,試作した近赤外センサを利用して,搾乳中の乳質の連続的 な変化および搾乳1回分の平均乳質を測定した結果について報告する。

- 2. 方法
- (1) 乳牛

供試乳牛は北海道大学北方生物圏フィールド科学センター研究農場で飼養するホルスタイン種2頭(牛番号1059と1066)である。供試乳牛について表1に示した。 この牛舎では、夕方の搾乳は午後4時から、朝の搾乳は午前8時30分から行う。

(2) 近赤外センサと基準分析試料

図1に試作した近赤外センサの測定部の平面図を,図2に測定部の写真を示した。

搾乳後の生乳は連続的に測定室に供給され,測定室をオーバーフローした生乳はバ ケットへ流れ出る。測定部の生乳体積は約700 mLである。測定室は白色テフロン 製である。生乳に照射されたハロゲンランプの拡散透過光が光ファイバーにより分 光器へ導かれる。ハロゲンランプと光ファイバーの光軸は同一水平面上にあり,か つ直交している。

近赤外センサの測定波長範囲は600~1050 nm であり,1 nm ごとにスペクトルの 測定を行った。スペクトルの測定では,測定室に生乳がない時(空気がある時)の拡 散透過光をレファレンス(基準)とした。そして測定室に生乳がある時の拡散透過光 の強さを,レファレンスとの比(透過率(%))で表した。図3に一例として,99点の 生乳の近赤外拡散透過スペクトルを示した。

図4に搾乳時における測定のフローチャートを、図5に搾乳時の測定の様子を示 した。ミルカで搾乳された生乳は近赤外センサの測定部へ送られる。測定部を通過 した生乳は乳量計、サンプラを通過しバケットへ送られる。スペクトルの測定は15 秒毎に行い、乳量は1分毎に測定した。

基準分析試料は,搾乳開始から1分間毎に集積した生乳をそれぞれ採取した。搾 乳終了後にバケットの生乳を攪拌し,搾乳1回分全体の平均試料を採取した。測定 は1999年9月28日から2000年7月28日までの期間に,約2週間に一度,夕方と 朝の搾乳時に行った。測定回数(搾乳回数)は乳牛2頭,夕方と朝の搾乳を合計し て55回であった。搾乳中に採取した基準分析試料数は乳牛2頭,夕方と朝の搾乳を 合計して359点であった。

(3) 乳質の基準分析

乳質として,乳脂肪,乳タンパク質,乳糖の乳成分,および体細胞数(SCC)を測定 した。乳成分の測定にはFoss Electric 社製 Milkoscan S54-Aを用いた。体細胞 数の測定にはFoss Electric 社製 Fossomatic 5000を用いた。

(4) キャリブレーションの作成と検証

15 秒毎に測定した近赤外拡散透過スペクトル4つを平均し,1分間のスペクトル とした。キャリブレーションは1分毎のスペクトルと基準分析値から Partial Least Squares (PLS)回帰分析法で作成した。試料数359点のうち239点でキャリブレーシ ョンを作成し,残りの120点で測定精度の検証を行った。なお、体細胞数は基準分 析値を常用対数値(log SCC)に変換し、キャリブレーションを作成した。

(5) 搾乳1回分の平均乳質の計算

近赤外センサで測定した1分毎の乳質と、同時に測定した1分毎の乳量とを加重 平均して、搾乳1回分の生乳全体の平均乳質を算出した。

結果と考察

(1) 近赤外分析計の乳質測定精度の検証

表2に,試作した近赤外センサの搾乳時における乳質測定精度の検証結果を示した。図6に搾乳時における乳脂肪測定精度の検証結果を,図7に体細胞数測定精度の検証結果を示した。測定精度の検証結果から以下のことが分かった。

測定した乳脂肪の範囲は1.01%~8.81%であった。乳脂肪の測定精度は決定係数

(r²)が 0.93, 測定値の標準誤差(SEP)が 0.49%であり, 良い精度であった。乳タン パク質と乳糖の測定精度は,乳脂肪と比較するとr²がやや低いが, SEPが小さいので 実用上問題のない精度であった。

測定した体細胞数の範囲は 1.5 万/mL (log SCC=4.18)~268.5 万/mL (log SCC=6.43)であった。体細胞数の測定精度はr²が 0.74, SEPが 0.24 log SCCであった。 この測定精度は、例えば、この近赤外センサ(r²=0.74)を用いて、体細胞数が少なく 乳質の良い牛乳と、体細胞数が多く乳質の良くない牛乳とに 2 分類した場合、正し く分類できる確率は 83%であることを意味している。したがって、試作した近赤外 センサは搾乳時に体細胞数をもとに乳質をリアルタイムに検知するには、実用上充 分な精度があると考えられる。

(2) 近赤外センサによる搾乳中の乳質検知

この近赤外センサを用いて搾乳中の乳質を15秒毎に測定した一例を図8~図11 に示す。また,同時に測定した乳量を図12に示す。これらは1999年12月8日夕方 と1999年12月9日朝に1059番の乳牛を搾乳した時の例である。

乳脂肪は,搾乳開始時には低く,搾乳時間の経過とともに上昇した。搾乳開始時 と終了時の乳脂肪の差は5%~6%であった。また,乳脂肪は朝よりも夕方の搾乳時 に高かった。乳タンパク質と乳糖は,乳脂肪に比べると,搾乳中の変動が少なく, 夕方と朝の搾乳の差も小さかった。

体細胞数は搾乳開始後にやや低下し,その後増加し,搾乳終了時に最大となった。 朝の搾乳を例に取ると、体細胞数は最低で1.4万/mL (log SCC=4.15)、最大で11.1 万/mL (log SCC=5.15)であった。

乳量は搾乳開始から2分前後で最大となり、その後、減少した。また搾乳1回の 総乳量は、夕方搾乳よりも朝搾乳のほうが多かった。

以上のように,近赤外センサにより搾乳中の乳質の変化を連続的に検知すること が可能となった。

(3) 搾乳1回分の平均乳質の検知

表3に搾乳1回分の乳質の基準分析値と,近赤外センサによる測定値と乳量から 求めた計算値との関係を示した。図13と図14に,搾乳1回分の乳脂肪と体細胞数 の基準分析値と計算値との関係をそれぞれ示した。いずれの乳成分においても基準 分析値とのr²が高く,標準誤差(SE)が小さかった。

体細胞数の結果(r²=0.86)をもとに,例えば,健康な乳牛と潜在性乳房炎の可能性 のある乳牛,およびその中間の乳牛に3分類した場合,正しく分類できる確率は78% となる。すなわち,試作した近赤外センサで搾乳中に測定した乳成分と乳量の測定 値から,乳牛1頭の搾乳1回分の平均乳質を良い精度で検知することができた。さ らに,体細胞数の検知により潜在性乳房炎の可能性のある乳牛を診断することが可 能であった。

4. おわりに

この特集で報告した近赤外センサは試作1号機である。1号機に続いて、測定部 をさらに小型化し洗浄性を向上させた改良型(2号機)を用いて、北海道大学(パ イプラインミルカ),北海道農業研究センター(ミルキングパーラー), 酪農学園大 学(搾乳ロボット),北海道立根釧農業試験場(搾乳ロボット)での実験を重ねてき た。その結果,乳成分と体細胞数に加えて乳中尿素態窒素の測定も可能であること が分かった。一方,測定対象の牛群が異なるなどの要因により測定精度が低下する 場合があることが分かってきた。現在は,近赤外分光法による搾乳時のリアルタイ ム乳質診断技術の実用化を目指し,より安定した測定精度を得るためにさらに改良 を加えたセンサ(3号機)を試作することを計画している。搾乳時のリアルタイム 乳質診断は搾乳ロボットと組み合わせることにより,酪農における精密農業の発展 に大きく貢献する技術となることが期待される。

謝辞

本研究は生物系特定産業技術研究推進機構による「近赤外分光法を基軸とする乳 牛生体情報のオンラインモニタリング手法の開発」の一部として研究開発を行った。 本研究を行うにあたり,北海道大学北方生物圏フィールド科学センター研究農場お よび北海道酪農検定検査協会の協力を得た。ここに記して謝意を表す。

| 牛番号 | 誕生日 | 分娩日 | 産次 |
|------|-----------|-----------|----|
| 1059 | 1993/1/1 | 1999/8/30 | 4 |
| 1066 | 1993/11/9 | 1999/6/7 | 3 |
| | | | |

表1 供試乳牛



図1 近赤外センサの測定部の平面図



図2 近赤外センサの測定部



図3 生乳の近赤外拡散透過スペクトル



図4 搾乳時におけるオンライン乳質診断のフローチャート



図5 搾乳時の測定の様子

| | 範囲 | | SEP | Bias |
|-----|---------------------------------|--|--|---|
| 試料数 | (%) | r^2 | (%) | (%) |
| | (log SCC) | | (log SCC) | (log SCC) |
| 120 | 1.01-8.81 | 0.93 | 0.49 | 0.02 |
| 120 | 2.65-4.14 | 0.73 | 0.16 | -0.02 |
| 120 | 4.63-5.45 | 0.85 | 0.08 | 0.00 |
| 119 | 4.18-6.43 | 0.74 | 0.24 | 0.01 |
| | 試料数 120 120 120 119 | 範囲 (%) (log SCC)1201.01-8.811202.65-4.141204.63-5.451194.18-6.43 | 範囲 (%)r²試料数(%) (log SCC)r²1201.01-8.810.931202.65-4.140.731204.63-5.450.851194.18-6.430.74 | 範囲SEP試料数(%)r²(%)(%)(log SCC)(log SCC)1201.01-8.810.930.491202.65-4.140.730.161204.63-5.450.850.081194.18-6.430.740.24 |

表2 搾乳時における乳質測定精度の検証

r²:決定係数

SEP: Standard error of prediction, 乳質測定値の標準誤差 Bias: 基準分析値と近赤外センサによる測定値との平均値の差



図6 搾乳時における乳脂肪測定精度の検証













| 乳質 | 試料数 | 範囲 (%) | r^2 | SE (%) | Bias (%) | 回帰式 |
|------------|-----|-----------|-------|-----------|-------------|------------------|
| | | (log SCC) | | (log SCC) | (log SCC) | |
| 乳脂肪 | 55 | 2.39-7.58 | 0.90 | 0.43 | 0.34 | y = 1.00x + 0.34 |
| 乳タンパク質 | 55 | 2.75-4.13 | 0.83 | 0.13 | 0.00 | y = 1.05x - 0.17 |
| 乳糖 | 55 | 4.69-5.27 | 0.83 | 0.06 | -0.05 | y = 0.94x + 0.24 |
| 体細胞数 (SCC) | 54 | 4.41-6.44 | 0.86 | 0.18 | 0.13 | y = 1.11x - 0.44 |

表3 搾乳1回分の乳質の基準分析値と近赤外センサによる計算値との関係

SE:Standard error, 乳質計算値の標準誤差



図13 近赤外センサによる乳脂肪測定値から 搾乳1回分の乳脂肪を計算した時の精度



ら搾乳1回分の体細胞数を計算した時の精度