

精密磁気研磨によるステンレスパイプにおける 乳タンパク質の洗浄性向上

神戸大学大学院農学研究科・准教授 井原 一高

■ 目的

酪農施設での搾乳行程や食品工場の乳製品加工プロセスでは、移送のためにステンレス製のサニタリーパイプは汎用されている。しかし、乳タンパク質を含む牛乳成分はパイプ内面に付着しやすい。乳製品の安全性確保のために洗浄作業は必須とされるが、作業負担や廃水発生による環境負荷増大等の原因となっている。コスト削減のためにも、ステンレスパイプにおける牛乳汚れの洗浄性向上は望まれている。本研究では、磁気研磨法を用いてステンレスパイプの内面を平滑化し、牛乳汚れの洗浄性の向上を試みた。

■ 方法

シームレスステンレスパイプおよびサニタリーステンレスパイプ(SUS304, $\phi 12.7 \times \phi 10.7$ mm)を入手した。さらに、Nd-Fe-B 永久磁石を備えた磁気研磨装置を用いて内部表面を精密研磨し、表面粗さが異なる3種類のステンレスパイプ(65mm)を供試材料とした。磁気研磨ステンレスパイプの表面粗さ R_a は、供試したサニタリーパイプの約10分の1である。上述のステンレスパイプを組み込んだ実験ループを試作し、牛乳を循環させることによって汚れを付着させた後、洗浄のために脱イオン水を流し、実際の洗浄状態を再現した。実験終了後に下記の手順に従ってパイプ内部の残留成分を脱イオン水に溶出させ、牛乳濃度やタンパク質濃度から洗浄性の評価を行った。

残留牛乳濃度の測定：ディスパーザル溶液に入れた脱イオン水(13mL)にパイプを浸漬させ、20分間超音波処理を行い、パイプ内面の残留付着物を脱イオン水へ溶出させた。同一の作業を7回繰り返し行い、最終的に全ての付着物を脱イオン水へ溶出させた。溶出液の吸光度からパイプ内部に残留していた牛乳濃度を算出し、洗浄性を評価した。

残留タンパク質濃度の測定：脱イオン水(13mL)にパイプを浸漬させ、50分間超音波処理を行い、パイプ内面の残留付着物を脱イオン水へ溶出させた。この溶出液をブラッドフォード試薬と混和した。同一の作業を3回繰り返し行なった。反応溶液の吸光度からパイプ内部に残留していたタンパク質の濃度を算出した。

■ 結果および考察

一連の実験は反復実施した。各実験における牛乳付着量の差異を考慮し、最も表面が粗いパイプに残留していた牛乳汚れの平均値を1とし、相対濃度で評価した。5回の反復実験(n=15)から、表面粗さが小さいステンレスパイプは、クリーニング後の牛乳汚れの残留量は減少する傾向が見られた。Tukey法による多重比較検定を実施したところ、実験に用いた3種類のパイプにおいて、残留量減少には有意な差があった。特に、磁気研磨パイプはサニタリーパイプと比較すると、牛乳汚れは約28%減少した。一方、ブラッドフォード法で定量したタンパク質の残留量は、表面粗さの影響を大きく受けていなかった。これらの結果から、ステンレスパイプの表面平滑化は、牛乳汚れ成分における無機質や脂肪等の非タンパク質の残留量が減少した可能性がある。

■ 結語

表面粗さが小さいステンレスパイプは、牛乳汚れの残留量が減少し、洗浄性の向上が認められた。表面平滑化は非タンパク質成分の洗浄性向上に寄与することが示唆された。磁気研磨によって表面を平滑化させたパイプを用いることで、従来必要とされていた洗浄に関する負担を軽減することが期待できる。