2 軸エクストルーダーによる繊維状プロセスチーズの調製

井門和夫*・西谷紹明*・巽 清*・山本晴敬*

Preparation of the Processed Cheese Possessing Fibrous Structure by Extrusion Cooking

Kazuo IDO*, Tsuguaki NISHIYA*, Kiyoshi TATSUMI*
and Haruyoshi YAMAMOTO*

* Technical Research Institute, Snow Brand Milk Products Co.,
1-1-2 Minamidai, Kawagoe, Saitama 350

Manufacturing conditions for the processed cheeses possessing fibrous structure using a twin screw extruder and a conventional kettle-type cooker were investigated. Two types of cheeses, Gouda cheese ripened for 2 weeks and Emmental cheese ripened for 8 months, were used, and whey protein concentrate (WPC, protein conc. 75%) was added to each cheese at optimum concentration to obtain fibrous structure. In extrusion cooking, each ground cheese blended with WPC was fed into a barrel and cooked at 70~90°C. The extruded thermoplastic mass was cooled to approx. 45°C in a low-shear kneader and stretched to obtain fibrous structure. In both cheese types, fibrousness of the resultant products cooked at 70 and 80°C was satisfactory and superior to that at 90°C. Observation of the products under an optical microscope indicated that cooking temperature was correlated with fibrousness. A decrease of fibrousness, occurred when cheese was cooked at 90°C, was due to mutual adhesion of protein strand by heat. When kettle-type cooker was employed, fibrousness of the product cooked at 80°C for 0 min was inferior to that cooked at the same temperature by the extruder, and an increase of holding time at 80°C during cooking was also found to affect fibrousness adversely. A twin screw extruder which can complete cooking in short residence time was indicated to be suitable for manufacturing processed cheese possessing fibrous structure.

(Received Aug. 17, 1992)

さきに、レンネットカゼインを用いてカゼイン繊維状組織化物を得る方法¹⁾、および熟成したナチュラルチーズから繊維状プロセスチーズを得る方法²⁾³⁾について報告した。その際、加熱乳化時にホエータンパク質濃縮物(WPC)を添加することが、良好な繊維性を発現・維持させるために必須であることを報告した。さらにホエータンパク質の作用について詳細に知るために、分離ホエータンパク質(WPI)を用い、レンネットカゼインのモデル系での検討結果を報告した⁴⁾⁵⁾。WPIの添加により組織化物の表面疎水性度が低下し、その影響によりカ

ゼイン繊維間の融合が阻止されるため、良好な繊維性の発現・維持が可能になること⁴⁾、さらに、この疎水性度の低下にはWPI中の β -ラクトグロブリンが主として関与していること⁵⁾を明らかにした。本報では、これらの知見をもとに、繊維状プロセスチーズを工業的に調製する方法について検討した。すなわち、既報³⁾と同様、熟成2週間のゴーダ、および熟成8ヶ月のやや過熟のエメンタールを原料チーズとして用い、これにWPCを添加し、2軸エクストルーダーにより連続的に加熱乳化して繊維状プロセスチーズを得る方法について検討した。

* 雪印乳業(株)技術研究所 (〒350 川越市南台 1-1-2)

その際の加熱乳化条件が繊維性におよぼす影響を中心に、プロセスチーズの乳化に一般に用いられるケトル型乳化機を用いた場合と比較しながら検討した。さらに、加熱乳化条件の違いによる繊維状チーズの構造変化について、光学顕微鏡により観察したので報告する。

実験方法

1. 繊維状プロセスチーズの調製方法

(1) 原料チーズ

既報³⁾で用いたものと同一の、国産ゴーダ（水分 41.2%，pH 5.5，熟成 2 週間）、オーストラリア産エメンタール（水分 37.3%，pH 5.8，熟成 8 ケ月）の 2 種類のナチュラルチーズを原料として使用した。粉碎した各々のナチュラルチーズに対して、WPC（米国 EXPRESS FOODS 社製、タンパク質含量 75%）をそのまま添加混合し、繊維状プロセスチーズを得るための原料として供試した。WPC の添加量は、既報³⁾の結果にもとずき、最大の繊維性を示すための適量を用いた。すなわち、最終混合物 10 kg に含まれる WPC の量は、ゴーダの場合は 600 g，エメンタールの場合は 200 g とした。

(2) チーズ乳化方法および乳化機

WPC とチーズを混合した原料の乳化は、ケトル型乳化機およびエクストルダの 2 種類の装置を用いて実施した。まず、ケトル型乳化機（日本酪農機械社製）による方法では、一般のプロセスチーズの乳化方法に準じ、まず原料 4 kg を乳化機に投入し、加熱乳化を行った。内容物の昇温は蒸気を直接ケトル内部に注入せずに、ジャケットによる間接加熱で行った。この理由は、ここでの乳化は熔融塩を使用しないために、蒸気を直接注入すると、チーズ中のタンパク質が保持できる水分の限界値を越え⁶⁾、乳化破壊や離水を生じるためである。攪拌羽根の回転数は 60 r.p.m. とし、攪拌開始から 15 分で 80℃ に到達するように加熱した。熔融状態の乳化チーズを 10 r.p.m. の低速ニーダー内に移しかえ 45℃～50℃ まで冷却し、延伸操作が可能な硬さになった時点で、既報²⁾と同様の方法で、一定量取り出し延伸して繊維状プロセスチーズを調製した。つぎに、エクストルダによる方法では、既報¹⁾と同様に末広鉄工社製の 2 軸同方向回転型のものを使用した。スクリーウの形状は、全てボール型のものを使用した。Fig. 1 に示したように、モノポンプを用いて定量的に原料をエクストルダーに供給し、連続的に加熱乳化を行った。バレル内部の原料の加熱温度は 70℃～90℃ であり、その温度の上昇曲線を Fig. 2 に示した。各ヒーターの部分で確実に熱交換

されていることがわかる。スクリーウ回転数は 30～50 r.p.m. の範囲で実施した。原料の混練、熱交換の効率を良くするため、スクリーウ回転数の変動に応じて、チ

Fig. 1 Schematic diagram of twin screw extruder showing heating zones
H₁, H₂: Barrel heater.

Screw configuration: Low-shear ball screws were used for kneading. The distance between feeding point and outlet was 810 mm. The emulsified cheese mass flowed out from die plate was cooled to approx. 45℃ in the low-shear kneader, then stretched manually for obtaining fibrous texture.

Fig. 2 Temperature profile of cheese mass in the barrel during cooking

Temperature of cheese mass at die plate:
○, 70℃; ●, 80℃; □, 90℃.

ーズ供給量を調節した。すなわち、バレル内の圧力が 0.01 MPa 程度のわずかに陽圧を保つ状態で、粉碎したチーズをエクストルーダー内部に供給し、バレル内部で常に内容物がほぼ充滿した状態で混練されるようにした。Fig. 3 には、その際のスクリー回転数とエクストルーダー内部でのチーズの滞留時間の関係を示した。30~50 r.p.m. での滞留時間は 120~75 秒であった。融融状態で吐出した乳化チーズを、低速ニーダー内に供給し、ケトル型の場合と同様の操作で繊維状プロセスチーズを調製した。

2. 繊維性の評価

繊維性の評価は、既報²⁾の方法にしたがいレオメーター（不動工業社製）を用いて引っ張り試験を行い、試料が破断するまでにクロスヘッドが移動した距離を測定し、これを繊維性として表した。測定は各試料について 5 回繰り返し、平均値±標準偏差で表した。この場合、良好な繊維性を示す目安は 15 mm 以上である。その他、タンパク質含量はケルダール法（N；6.38）、熟度の測定は、既報⁶⁾にしたがい実施した。

3. 光学顕微鏡観察

(1) 試料の調製

繊維状プロセスチーズの顕微鏡観察は木村らの方法⁷⁾に準じて行った。供試試料の繊維方向を確認し、縦断面が得られるように 7×7×15 mm の大きさに切りだし、10% ホルマリン溶液に 20 時間以上浸漬し固定した。つぎに、固定化した試料を水洗し、繊維の縦断面が得られるよう、凍結マイクロームで厚さ 10 μm の切片を調製した。水洗した切片をプロピレングリコールに 5 分間浸漬した。これをズダン IV 0.7% プロピレングリコール水溶液に 3 分間浸漬し、続いて水洗した。水洗後、メチレ

Fig. 3 Effect of screw rotation speed on mean residence time of cheese in the extruder barrel

ンブルー染色液に 20 秒間浸漬し、水洗した後スライドガラスにのせた。以上の操作により、脂肪は赤橙色に、タンパク質は青色に染色される。

(2) 光学顕微鏡

顕微鏡は万能顕微鏡アポフォト（日本光学）を用い、透過光で直接倍率 400 倍で写真撮影した。

結果および考察

1. ケトル型乳化機による繊維状プロセスチーズの調製

まずプロセスチーズの製造に一般によく用いられているケトル型乳化機を用いて加熱乳化し、繊維状プロセスチーズを調製した。粉碎したゴダ、およびエメンタルの各原料チーズに対して、各々至適量の WPC を添加混合した後、乳化機に投入し、ジャケットで加熱しながら乳化を行い、15 分後に 80°C まで到達させた。この温度を維持しながら、さらに 20 分間攪拌を続け、この間、5 分毎に内容物を採取し、そのつど延伸して繊維状チーズの試料を調製した。その際の、乳化温度 80°C での保持時間と繊維性の関係を Fig. 4 に示した。2 種類の原料チーズいずれの系においても、80°C 達温では良好な繊維性を示すが、保持時間を増すと繊維性は顕著に

Fig. 4 Effect of holding time at 80°C after cooking^a on fibrousness^b

Type of cheese and WPC conc.: □, 2-week ripened Gouda cheese, 6%; ■, 8-month ripened Emmental cheese, 2%.

^a Cheese cooker of kettle type with the rotation speed of 60 r.p.m. was used. Final cooking temperature was 80°C, and it took 15 min to reach the temperature.

^b Average of 5 measurements with standard deviation error bar.

^c Fibrousness over 15 mm was satisfactory.

低下する傾向を示した。とくにエメンタールの系では保持時間 5 分程度で外観上繊維性は完全に消失したことから、その影響が著しいことがわかった。

そこでつぎに、同じ間接加熱方式でも熱交換能の高いエクストルダを乳化機として用いる方法について検討した。

2. エクストルダによる繊維状プロセスチーズの調製

ゴーダ、エメンタールに各々至適量の WPC を添加し、エクストルダを乳化機として用い、繊維状プロセスチーズを調製した。吐出温度を 80℃ にした場合の、チーズ繊維性におよぼすスクリュウ回転数の影響を調べ、結果を Fig. 5 に示した。各回転数において、温度が 80℃ で安定したのを確認後、乳化した内容物を採取して、繊維状プロセスチーズとし、その繊維性を評価した。いずれのチーズの系においても、30~50 r.p.m. の範囲では、脂肪の分離のないモザレラカード様の均質な乳化物が得られ、20 mm 以上の良好な繊維性を示すチーズが安定して得られることがわかった。ケトル型乳化機の場合より良好な繊維性が得られる理由は、Fig. 3 に示したとおり、30~50 r.p.m. でのチーズ滞留時間は 120~75 秒であり、ごく短時間で加熱乳化解が完了するため、ケトル型乳化機の場合とは異なり、積算熱の影響を受け

Fig. 5 Effect of screw rotation speed on the fibrousness^a of the resultant processed cheese

Type of cheese and WPC conc.: ○, 2-week ripened Gouda cheese, 6%; ●, 8-month ripened Emmental cheese, 2%.

^a Average of 5 measurements with standard deviation error bar.

^b Fibrousness over 15 mm was satisfactory. Final cooking temperature of each cheese mass was 80℃ at die plate.

なかったためと考えた。つぎに、エクストルダの運転条件を回転数 30 r.p.m., 供給量 40 kg に固定し、繊維性におよぼす加熱温度の影響を調べた。Fig. 6 にその結果を示した。ゴーダ、エメンタールの系いずれにおいても、吐出温度 80℃ までは良好な繊維性を維持したが、90℃ になると急激に低下する結果となった。すなわち 90℃ の高温では、たとえ滞留時間が短くても繊維性は阻害されることがわかった。繊維性におよぼす乳化時の熱の影響については、顕微鏡を用い、その構造面からさらに検討することにした。

3. 繊維状プロセスチーズの構造

Fig. 6 の加熱乳化解温度 70℃ と 90℃ で処理した各繊維状プロセスチーズについて、光学顕微鏡を用いて構造を観察した。Fig. 7 に示したとおり、各チーズとも、タンパク質は繊維状に配向し、脂肪は各繊維の間に脂肪球の形で分散している様子が観察された。タンパク質の各繊維の太さは 10 μm 前後、脂肪球の大きさは不均一であるが 10~20 μm のものが多くみられ、モザレラカードを延伸して得た繊維状チーズ⁷⁾の構造に近い形態になっていることがわかった。とくに繊維の形態に着目してみると、70℃ では、繊維が波状に配向している状態

Fig. 6 Effect of cooking temperature^a on the fibrousness^b of the resultant processed cheese

Type of cheese and WPC conc.: ○, 2-week ripened Gouda cheese, 6%; ●, 8-month ripened Emmental cheese, 2%.

^a Final cooking temperature at die plate.

^b Average of 5 measurements with standard deviation error bar.

^c Fibrousness over 15 mm was satisfactory. Screw rotation speed was 30 r.p.m..

が観察された。一方 90℃ では、基本的には 70℃ の場合と同様の構造を呈しているが、一部異なる点として、配向した繊維間の結着融合が観察された。これらはいずれも熱の影響によるものと考えられ、繊維性低下の原因に

なっているものと推察した。

以上の観察結果をもとに WPC の作用について、つぎのように考察した。新鮮なモザレカードから調製した繊維状チーズの微細構造に関して、木村ら⁷⁾は、チー

Fig. 7 Micrographs of fibrous processed cheese manufactured by extrusion cooking

Conditions (cooking temperature, type of cheese, and WPC conc.): (1), 70°C, 2-week ripened Gouda cheese, 6%; (2), 90°C, 2-week ripened Gouda cheese, 6%; (3), 70°C, 8-month ripened Emmental cheese, 2%; (4), 90°C, 8-month ripened Emmental cheese, 2%.

Screw rotation speed was 30 r.p.m..

ズ中のタンパク質繊維が直線的に配向することを報告している。これに対し、Fig. 7 のWPC 添加の繊維状プロセスチーズでは、完全な直線ではなく波状の配向性を示していた。ここで用いた2種類の原料チーズは、各々単独では繊維性そのものが発現せず³⁾、繊維化するにはWPC の添加が必須の条件となっている。すなわち、これらのチーズはいずれもある一定の熟成期間を経たものであり、チーズ中の疎水結合やカルシウムを介した架橋構造を有するカゼインの分解が、新鮮なモザレカードに比べてかなり進んでいるものと考えられる。したがって単独では繊維化しない。しかし、これにWPC を添加すると、分解により一部構造破壊を受けたカゼインは、ホエータンパク質と何らかの形で相互作用を起こし、波状の繊維が形成されたものと推定した。さらに、WPC のもう一つの作用として、繊維を構成しているタンパク質表面の疎水性度をより低下⁴⁾⁵⁾ させることがレンネットカゼインを用いたモデル系で確認されている。このことは生成した繊維の結着融合を防止する効果をもたらし⁴⁾、波状の繊維の形成および維持に対して有効な役割を果たしたものと考えた。

以上をまとめると、繊維状プロセスチーズを得るための条件として、既報³⁾ で述べた、原料チーズの種類・熟度、WPC の添加などの要因のほかに、2 次的要因としてさらに加工段階の加熱乳温度・保持時間を考慮する必要のあることが明らかになった。したがって、間接加熱方式では昇温に時間のかかるケトル型乳機は、繊維状プロセスチーズの製造には不適であることが示唆された。一方、同じ間接加熱方式でも熱交換能が高く、滞留時間の短くて済むエクストルダは繊維状プロセスチーズの製造に適した乳機であり、温度 80℃ 以下、滞留時間 120 秒以内の条件で加熱乳化を行うことにより、繊維状プロセスチーズが連続的に、しかも安定して得られることが明らかとなった。

要 約

ゴーダ、エメンタールの2種類の原料チーズを用い、

これにWPC を添加し、工業的に繊維状プロセスチーズを得る方法について検討した。加熱乳機としてはケトル型乳機と2軸エクストルダを使用した。繊維状プロセスチーズを得るための条件としては、原料チーズの種類・熟度、WPC の添加など、今まで明らかとなっていた要因の他に、2 次的要因としてさらに、加工段階の加熱乳温度・保持時間を考慮する必要のあることを明らかにした。すなわち、加熱乳時の熱の影響により繊維性は低下する傾向を示すことから、間接加熱方式では昇温に時間を要するケトル型乳機は不適であり、昇温が短時間で完了するエクストルダが、繊維状プロセスチーズの製造に適していることがわかった。

さらに、加熱乳温度の違いによる繊維状チーズの構造変化について、光学顕微鏡により観察した結果、新鮮なモザレカードから調製した繊維状チーズの繊維が直線的に配向する⁷⁾ のに対して、WPC 添加の繊維状プロセスチーズでは、完全な直線ではなく波状の配向性を示すことが明らかとなった。90℃ の高温では、配向した繊維間の結着融合が観察され、これらはいずれも熱の影響によるものと推察した。

文 献

- 1) 井門和夫・西谷紹明・巽 清・山本晴敬・伊藤健介・塙 尚之・玉置公恵：雪印乳業研究所報告，92，89 (1990)。
- 2) 西谷紹明・巽 清・井門和夫・塙 尚之・玉置公恵：農化，64，1143 (1990)。
- 3) 井門和夫・西谷紹明・巽 清：日食工誌，40，113 (1993)。
- 4) 井上茂孝・井門和夫・高野克己・西谷紹明・巽清・鴨居郁三：日食工誌 (印刷中)。
- 5) 井門和夫・井上茂孝・高野克己・西谷紹明・巽清・鴨居郁三：日食工誌 (印刷中)。
- 6) 巽 清・西谷紹明・山本晴敬・井門和夫・塙尚之・伊藤健介・玉置公恵：日食工誌，36，981 (1989)。
- 7) 木村利昭・相良康重・加正敏・種谷新一：農化，64，177 (1989)。

(平成4年8月17日受理)