

平成 21 年 3 月 31 日現在

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2007～2008

課題番号：19700579

研究課題名（和文）圧力移動凍結法による冷凍卵黄・カスタードクリームの品質改善

研究課題名（英文）Effect of Pressure-shift-freezing on Improving the Quality of Frozen Egg Yolk and Custard Cream

研究代表者

治部 祐里（JIBU YURI）

岡山県立大学・保健福祉学部栄養学科・助手

研究者番号：10433377

研究成果の概要：

水分含量の多い卵黄やカスタードクリームは、凍結後の損傷が大きい。しかし、圧力移動凍結では、急速凍結により氷結晶の増大を抑え、冷凍保存による品質の劣化を軽減できることを明らかにした。卵黄は200～400MPaで圧力移動凍結すると圧力変性を起こしゲル化するため、100MPa以下の圧力での圧力移動凍結（-10℃, 100MPa）が冷凍卵黄・カスタードクリームの品質保持に効果的であった。

交付額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	1,800,000	0	1,800,000
2008年度	1,400,000	420,000	1,820,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,200,000	420,000	3,620,000

研究分野：調理学

科研費の分科・細目：生活科学・食生活学

キーワード：高圧力、冷凍、卵黄、カスタードクリーム、レオロジー

1. 研究開始当初の背景

日本では年間 250～260 万トンの鶏卵が消費されている。その約 6 割は殻付卵のまま食卓にのぼり、残りの約 4 割は外食業務用・加工用として消費される。この場合、あらかじめ割卵し、殺菌された液卵（液全卵、液卵白、液卵黄）として使用される場合が多い。卵液の一部は-20℃以下の冷凍庫で凍結した凍結卵として扱われている。凍結卵のメリットは生液卵とは比較にならないほど長期保存ができ、遠方の流通、需給の調整、さらに卵黄

のコントロールが可能なことである。

しかし、卵のように水分含量の多い食品（卵黄の場合約 50%）は凍結による損傷が大きく、解凍後のテクスチャーが著しく悪くなる。卵黄の変化は卵白よりも著しく、凍結によってゴム状のゲルとなり、解凍しても元の性状にはならない。このため、液卵黄は変性抑制の目的であらかじめ糖類（10～20%）、食塩（5～10%）、グリセリンなどを添加して凍結保存される。

高圧力下では0℃以下でも凍らない不凍

域（液相）や、数種類の結晶構造、性質の異なる高压氷が生成することが知られている。大気圧下でできる氷Ⅰは、凍結時に体積膨張し水より軽いが、氷Ⅱ～Ⅸの高压氷は水より重く水に沈む。これらの高圧力下での水の性質を利用すれば凍結損傷が抑制できることが予想された。

そこで、冷凍耐性の悪い野菜やゲル状食品を、 -20°C で $100\sim 686\text{MPa}$ で高压処理したところ、 $200\sim 400\text{MPa}$ で加圧したものが物性、組織ともに良好という結果を得た。高压処理中の食品の温度変化を測定し、加圧中の氷の生成の有無を調べたところ、 $200\sim 400\text{MPa}$ では -20°C まで過冷却して凍っておらず、圧力解除したときに急速に凍結したため（この凍結法を圧力移動凍結法と呼ぶ）氷結晶が微細で、解凍後の品質が良好であることを明らかにした。

食品への高压利用は林力丸氏が提唱されて以来、主として殺菌効果に関する多くの研究がされた。しかし、冷凍食品分野への利用では神田氏の豆腐が最初で、次いで淵上らが野菜、各種ゲル状食品について研究し、卵やカスタードクリームの高圧冷凍に関する研究はされていない現状であった。

2. 研究の目的

本研究の目的は、圧力移動凍結法により卵黄およびカスタードクリームの冷凍耐性が向上するか否かを検討することである。

予備実験において、 $0\sim 20\%$ 蔗糖を添加した卵黄を高圧力下（ $100\sim 686\text{MPa}$ ）で冷凍したときのレオロジー挙動の変化（定常流粘性、チクソトロピー性、動的粘弾性）について調べたところ、圧力が高くなるに従い、粘度が増し流動性が失われた。つまり、 -20°C 、 200MPa 以上での冷凍はタンパク質の変性が起こるため、不適であることが明らかとなった。しかし、蔗糖添加により卵黄の流動性が増し、冷凍および高圧力によるレオロジー変化が抑えられた。また、 200MPa 以下での、液相と氷Ⅰの境界線上（氷の融解曲線）の点（ -10°C 、 100MPa 、 -15°C 、 150MPa ）で圧力移動凍結したところ、比較的物性、外観ともに良好で、低濃度の蔗糖添加で変性が改善された。

また、凍結全卵をかき卵汁にすると散って利用できないが、 40°C 以上で加温すると改善されるとの報告があった。

そこで、比較的良好であった 200MPa 以下で圧力移動凍結した卵黄を、 $40\sim 50^{\circ}\text{C}$ に加温したとき乳化特性やレオロジーが改善されるかなどについて、更に詳細に検討することとした。

また、カスタードクリームを冷凍すると物

性変化が大きい。製菓業者からの冷凍カスタードクリームの要望が大きいにもかかわらず、まだ、実現されていない。圧力移動凍結法により、品質悪化が予防できるか否かについて検討することとした。

3. 研究の方法

(1) 圧力移動凍結した卵黄の物性の検討

生産者より直接購入した新鮮卵を卵白と卵黄に分け、卵黄をストレーナーでこし、 0% 、 5% 、 10% 、 20% （ W/W ）特級スクロースを混ぜ、試料とした。これをPPチューブ（直径 11mm 、高さ 100mm 、マルエム製）に 7g 注入しシリコンWキャップで密閉した。

食品高压処理装置（Dr. Chef、神戸製鋼所製）を用い、循環式冷却器により予め指定温度に冷却した圧力容器内の不凍液を除き、試料チューブを3本入れ、試料の中心部に温度センサー（熱電対）を差し込み、指定温度に冷却した不凍液を入れた。直ちにピストンを下降させ、 -10°C 、 100MPa 、 -15°C 、 150MPa で60分間冷凍した。高压処理後約1分で減圧し、約10分間不凍液中に放置し、凍結を完了させた後、 -30°C の冷凍庫内で一晩冷凍し、 45°C で解凍した。

また、大気圧下の -15°C 、 -10°C で圧力容器内凍結、 -20°C 、 -30°C 、 -80°C の冷凍庫中で冷凍したものと比較した。

冷凍・解凍した卵黄のレオロジー特性（定常流粘性、チクソトロピー性、動的粘弾性）を、動的粘弾性測定装置（Reosol-G3000、UBM製）を用いて測定した。また、調整卵黄 2.5g 、水 2g 、油 15g の試料配合で卵黄を乳化させ、卵黄エマルジョン分離までの時間を測定することで、乳化安定性を測定した。

(2) 圧力移動凍結したカスタードクリームの物性の検討

粉試料（小麦粉、コーンスターチ、タピオカ） 12g 、牛乳 180g 、砂糖 30g 、卵黄 18g で、電子レンジ加熱により、3種類のカスタードクリームを作成した。

食品高压処理装置を用いて -10°C 、 100MPa 、 -15°C 、 150MPa 、 -20°C 、 200MPa で圧力移動凍結し、 -30°C の冷凍庫内で一晩冷凍した後、 20°C のローテンプレインキュベーター内で自然解凍した。

これらを大気圧下の -10°C 、 -15°C 、 -20°C の圧力容器内凍結、 -20°C 、 -30°C 、 -80°C の冷凍庫中で冷凍したものと比較した。

レオロジー特性を動的粘弾性測定装置で測定し、クライオ走査型電子顕微鏡（日立S-4500）で氷結晶の様相を観察した。離水率を測定し、また、5点評価法を用い、外観・

香り・味・粘り等を比較検討した。

4. 研究成果

(1) 圧力移動凍結した卵黄の物性の検討

未処理（凍結前）の卵黄は、チクソトロピー性がみられ、損失弾性率 G'' （粘性要素）が強く、流動性が見られた。ショ糖添加により、粘度は低くなるが、チクソトロピー性に変化はなく、粘性要素の方が強いのも同様であった。

-10°C 、 100MPa 、 -15°C 、 150MPa で圧力移動凍結、 -10°C 、 -15°C で圧力容器内凍結した卵黄は、ショ糖無添加では粘度が高くなり、チクソトロピー性がなくなり、貯蔵弾性率 G' が増大し、弾性要素が強くなった。これは特に -15°C 、 150MPa において顕著に見られた。しかし、ショ糖濃度を高くするに従い、粘度は低下し、チクソトロピー性は増加し、貯蔵弾性率 G' も低下し、これらの値はコントロールに近くなった。

大気圧下 -20°C 、 -30°C でフリーザー凍結した卵黄は、ショ糖無添加では粘度が高くなり、チクソトロピー性がなくなり、貯蔵弾性率が増大し、弾性要素が強くなったが、ショ糖濃度を高くするに従い、粘度は低下し、チクソトロピー性は増加し、貯蔵弾性率も低下し、これらの値はコントロールに近くなった。 -80°C でフリーザー凍結した卵黄は、ショ糖濃度 0% では粘度が高くなったものの、チクソトロピー性、貯蔵弾性率はほぼコントロールと同じ値を示した。

-10°C 、 100MPa 、 -15°C 、 150MPa で圧力移動凍結、 -10°C 、 -15°C で圧力容器内凍結した卵黄、大気圧下でフリーザー凍結した卵黄のいずれにおいても、わずかに 5% のショ糖添加により、粘度の増加、チクソトロピー性の減少、貯蔵弾性率の増大は抑えられ、20% 添加ではほぼコントロールと大差ない値を示す結果となった。

凍結した卵黄の乳化安定性は、ショ糖無添加では、 -10°C 、 -15°C の圧力容器内凍結、 -15°C 、 150MPa 圧力移動凍結したものにおいて、卵黄エマルジョンの分離時間が早まり、安定性の低下が見られたが、ショ糖 5% 添加によってコントロールと大差ない結果が得られた。ショ糖濃度を 5% 以上増加しても、安定性には変化なかった。

(2) 圧力移動凍結したカスタードクリームの物性の検討

3 種類のカスタードクリームとも、圧力移動凍結では、圧力処理中には凍結せず、圧力解除時に急速凍結し、離水率も少ないことから、氷結晶の成長が抑えられたと考えられる。

大気圧下で圧力容器内凍結すると、 -20°C フリーザー凍結よりも凍結時間が短縮し、離水率が減少した。

フリーザー凍結すると、凍結温度が高いほど、氷結晶が成長し離水率が増加した。

小麦粉を使用したカスタードクリームでは、 -20°C フリーザー凍結で、離水率が高く、口触りや味が低下したが、 -30°C 、 -80°C フリーザーでは良好であった。圧力移動凍結、圧力容器内凍結では、ともに若干の粘度上昇が見られるが冷凍前の品質を保っており、味も未処理に近いと評価された。

今回、圧力移動凍結と大気圧下圧力容器内凍結の間に大差は見られず、急速凍結により凍結解凍後の品質が保たれることが明らかとなった。

また、 -30°C 、 -80°C フリーザー凍結でも凍結温度が低いいため圧力容器内凍結と同程度の急速冷凍が可能となり、凍結解凍後の品質が保たれることが分かった。

コーンスターチを使用したカスタードクリームでは、圧力移動凍結、圧力容器内凍結で離水率が少なくなったが、3 種類のカスタードクリームの中で最も離水率が高く、そのためボツつきが多く味が低下した。

また、 -15°C 150MPa 、 -20°C 200MPa では圧力変性による構造破壊が見られた。

フリーザー凍結では、離水率が高く、口触りや味の低下が大きかった。

コーンスターチを使用したカスタードクリームは、凍結による品質、味の低下が大きく、 -80°C というかなりの低温度での凍結、圧力移動凍結でも改善はあまり見られず、冷凍には適していないことが明らかとなった。

タピオカを使用したカスタードクリームでは、圧力移動凍結に限らず、フリーザー凍結、圧力容器内凍結においても離水率が抑えられ、3 種類のカスタードクリームの中で最も離水率が少なかった。

また、小麦粉を使用したカスタードクリームと同様に圧力移動凍結、圧力容器内凍結の間に大差は見られず、どちらも物性、官能評価ともに未処理と近かった。

これらのことより、急速凍結により凍結解凍後の品質が保たれることが明らかとなった。また、 -30°C 、 -80°C フリーザー凍結でも凍結温度が低いいため、圧力容器内凍結と同程度の急速冷凍が可能となり、凍結解凍後の品質が保たれることが分かった。

5. 主な発表論文等

（研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線）

〔学会発表〕（計 2 件）

- ① 治部祐里、栗田寛子、横畑直子、寺本あい、安川景子、淵上倫子、圧力移動凍結したカスタードクリーム の物性、日本調理科学会平成20年度大会、2008年8月29日-30日、椋山女学園大学星が丘キャンパス (名古屋市)
- ② Jibu, Y., Teramoto A., Kuwada, H., Yasukawa, K., and Fuchigami, M., Rheology of pressure-shift-frozen egg yolk, Third Woosong University-Okayama Prefectural University Joint Conference on Nutrition, August 11, 2007, Okayama Prefectural University

6. 研究組織

(1) 研究代表者

治部 祐里 (JIBU YURI)

岡山県立大学・保健福祉学部栄養学科・助手

研究者番号：10433377

(2) 研究分担者

(3) 連携研究者