

| | |
|---------|---|
| 氏名 | 井原 啓一 |
| 学位の種類 | 博士（農学） |
| 学位記番号 | 博 甲 第 9 4 8 6 号 |
| 学位授与年月日 | 令和2年3月25日 |
| 学位授与の要件 | 学位規則第4条第1項該当 |
| 審査研究科 | 生命環境科学研究科 |
| 学位論文題目 | クリーム及びそのホイップ製品の物性に及ぼす分散構造及び連続相物性の影響に関する研究 |

| | | | |
|----|---------|----------|-------|
| 主査 | 筑波大学教授 | 博士（農学） | 北村 豊 |
| 副査 | 筑波大学教授 | 博士（生物工学） | 楊 英男 |
| 副査 | 筑波大学教授 | 農学博士 | 宮崎 均 |
| 副査 | 筑波大学准教授 | 博士（農学） | 吉田 滋樹 |

論 文 の 要 旨

クリーム類の生産量は毎年増加し続けており、クリーム製品へのニーズは大きい。特に消費者の本物志向により、乳化剤などを使用する合成クリームよりも、生乳から製造される風味豊かなフレッシュクリームへのニーズが高まっている。しかしフレッシュクリームは、原料として生乳以外を用いることができず、ホイップ時の物性制御の難易度が高いクリームである。またクリームの生産・加工現場では、熟練者が経営する個店が減少する一方、非熟練者が多い大規模事業所が規模を維持している実態がある。これらの状況下で、クリームのホイップ特性およびホイップ品の物性に影響を及ぼす因子の理解及び容易に制御できるホイップ方法の開発が強く求められている。

これに対して著者はまず、ホイップ時の気泡導入と脂肪球凝集の生じるタイミングがホイップドクリーム構造および5℃保存時の硬さ変化に及ぼす影響を解析した。ホイップドクリームは、気泡と脂肪球の凝集体から構成されている。それらは、ホイップ前の液状のクリームには存在しないものであり、それらの導入過程は、ホイップドクリーム物性に重要な影響を及ぼすと考え、気泡導入と脂肪球凝集のタイミングを変えた条件での物性評価を試みた。その結果、低撹拌速度でのホイップでは気泡が先に導入され、その後に脂肪球凝集が成長する一方、高撹拌速度でのホイップでは、気泡導入がなされると共に、脂肪球がほぼ同じタイミングで凝集することが明らかにされた。また気泡が先に導入されるパターンでは、冷蔵1日後の硬さの低下が小さいことが示された。このパターンでの硬さ低下に影響を及ぼす因子としては、オーバーランの経時的な低下が考えられた。一方、気泡導入とともに、脂肪球凝集体が成長するパターンでは、冷蔵1日後の硬さ低下が大きく、ここでの影響因子としては、気泡径の増加及び脂肪球凝集率の経時的な低下が考えられた。特に後者のパターンでの硬さ変化が大きかったため、気泡径及び脂肪球凝集率の変化はホイップドクリーム硬さに大きな影響を及ぼしていると結論付けられた。

続いて、著者により固体脂含量（SFC, Solid Fat Content）がホイップ物性に及ぼす影響が解析された。

ホイップ操作では、クリームおよび室温の管理は重要であり、好適温度より低いとホイップが進まないが、高いとホイップの進行速度が速くなるため、適切な硬さでホイップを止めることが非常に困難となる。また更に温度を高くすると、逆にホイップしなくなる。そのため、クリーム製造工場の製造室では室温の管理がなされている。温度変化は SFC の変化を引き起こすことから、SFC がクリーム中の脂肪球の安定性に影響を及ぼす因子であると考えた。そこで SPC を変えながらホイップ操作を行った結果、SFC が高いとホイップ時間が遅延し、気泡が多く導入されることが明らかにされた。一方、ホイップ過程での硬さ発現は、SFC には依存せず、脂肪球凝集及び気泡導入の進行により進んでいくことが示された。更に、大変形に対する硬さはホイップ中の脂肪球凝集の進行と共に増加したが、これは脂肪球凝集ネットワークの硬さへの影響があること、また、貯蔵弾性率はホイップ中の気泡表面積の増加とともに上昇することも明らかにされた。これらの結果は、ホイップの物性変化に関する既往の研究成果とも合致することが示された。

最後に、生産性及び物性を両立させたホイップドクリーム製造法の開発及びその機構が著者によって推定された。本研究では 5℃保存時の硬さ変化の小さなホイップドクリームを得る技術が得られたが、生産性と物性を共に改善できていなかった。そこで、攪拌速度をホイップの途中で変えることで、生産性・物性を両立できる条件を得ることが目的とされた。実験では、使用ミキサーの最高速攪拌でのホイップを基本とし、ホイップ過程で低速にシフトさせたときの効果を確認した結果、ホイップ時間をさらに短縮しながら、5℃保存時の硬さ変化を抑制できることが明らかにされた。またオーバーランおよびホイップ直後の気泡径が、保存時の硬さ変化に大きな影響を及ぼしていることも示唆された。ホイップ中に攪拌速度を 2 回変える条件では、更にホイップ時間が短縮し、5℃保存時の軟化度が抑制された。続いて大規模店舗での使用を考え、よりスケールの大きい試験で攪拌速度変化の効果を検証したところ、ホイップ時間が短縮し、5℃保存時の軟化度が抑制されたホイップドクリームを得ることができた。これにより本生産技術は、個人の洋菓子店から食品工業にまで幅広く適用可能であると結論された。

以上の知見により、ホイップドクリーム中の分散相である気泡の安定性が、全体としてホイップドクリームの安定性に大きな影響を及ぼしていること、更には、気泡の安定性は、脂肪球凝集の機構に依存する可能性が示された。また気泡安定性に対する脂肪球凝集の影響を今後詳細に解析していくことによって、安定したホイップドクリームを製造する方法の開発につながり、非熟練者でも作業可能なホイップシステムの構築を可能とする技術開発につながることを示唆された。

審 査 の 要 旨

クリームのユーザーにおいては、熟練者が経営する個店数が減少する一方、マニュアル化作業が求められる大規模事業所がその数を維持している。よってクリーム類の生産量は、少しずつながらも毎年増加し続けており、調理用途も含めたクリーム製品のニーズも年々増加しているとされる。乳製品の供給に関しては、チーズ、バターが関税率の軽減により海外産の輸入増が予想される一方、クリーム、牛乳は新鮮な味が求められており、また凍結保存ができないことから日本人の好みに合った製品の輸入が困難であり、国産製品へのニーズが依然として高い状況にある。

これらを背景として本論文では、クリームのホイップ特性およびホイップ品の物性に影響を及ぼす因子の理解及び制御について、理論的かつ実験的な解析によって得られた知見がまとめられている。具体的に著者は、ホイップドクリーム中の分散相の気泡形成や連続相中の脂肪球凝集が、ホイップ性、物性に大きな影響を及ぼすことを明らかにするとともに、生産性と物性を両立させるクリームの製造技術を確立した。様々な特性を持った新規クリーム製品創出の為の開発基盤となるこれらの研究成果は、生命産業科学のみならず、乳業や洋菓子製造技術の発展などにも寄与する価値あるものと考えられた。

令和 2 年 1 月 16 日、学位論文審査委員会において、審査委員全員出席のもとに論文の審査及び最終試験を行い、本論文について著者に説明を求め、関連事項について質疑応答を行った。その結果、審査委員全員によって合格と判定された。

よって、著者は博士（農学）の学位を受けるのに十分な資格を有するものとして認める。