

## 学 位 論 文 の 要 旨

## 論文題目

エステル化タピオカ澱粉混合麺の物性、咀嚼性および嗜好性に関する研究

未公表（印刷製本しH27年3月に公表の予定）

HD12E002 江口智美

## 序論

食品には、栄養機能、おいしさや嗜好性などの感覚機能、健康維持などの生体調節機能の三大機能がある。おいしいものを食べることにより、食欲を増進し心豊かな食生活を送ることができるため、おいしさは欠かせないものである。おいしさの決定要因には、色、味、香り、食感（テクスチャー）などがあるが、特に固形状食品では物理的性質に左右される食感がおいしさの大きな決定要因となる。

食感改良や調理性改善に、食品ハイドロコロイドが広く使用されている。食品ハイドロコロイドは、ゲル化性、保水性、分散性、増粘性、安定性などの優れた機能特性を持ち、植物起源の澱粉、海藻抽出物の寒天、微生物が発酵法によって作り出すキサンタンガム、動物性蛋白質のゼラチンなどがある。用途に合わせて異なる特性を持つものが使用されている。

超高齢社会を迎え、高齢者人口の増加とともに咀嚼・嚥下機能が低下した高齢者が増加傾向にある。口から食事を摂ることは健康やQOL（生活の質）の維持・向上の観点から重要である。誤嚥を防ぐ安全なテクスチャーであり、しかも食品の三大機能を満たす咀嚼・嚥下困難者用の食品や咀嚼機能維持に役立つ食品の開発が喫緊の課題となっている。また、地球温暖化やエネルギー問題などの一つの解決策として、エコクッキングの普及が進められており、食品自体の調理性改善を図ることが求められている。これらを背景に、新しい食品ハイドロコロイドの探索や、個々の特性を持つ食品ハイドロコロイドの混合による新しい食品ハイドロコロイドの開発が進められているが、物性制御の機構や、物性と咀嚼特性および嗜好性の関係については未解明な部分も多い。

食品ハイドロコロイドの中で、澱粉は、安価で、加工性や貯蔵性に優れ、摂取することによりそれ自体がエネルギー源となる欠かせない素材として広く用いられている。原料起源の異なる澱粉は、澱粉粒の粒子径や粒形態、構成成分などが異なり、それぞれに特有の性質を示す。澱粉質食品は、主に、水とともに加熱糊化して毎日大量に食されているが、物性に左右される食感がおいしさの大きな決定要因となる。澱粉の粒子径や粒形態、構成成分、澱粉質食品の構造などから、論理的に澱粉の水和を制御し、少しでも系統的に物性制御の機構を解明することができれば、食感制御が容易になることが期待できる。また、澱粉質食品の物性と、摂食者の咀嚼特性や嗜好性の関係が解明されれば、摂食者の年代や咀嚼・嚥下機能の程度、嗜好性に応じた多様な食感制御が容易になり、人々の健康やQOLの維持・増進の一助となることが期待できる。

一般においしいうどんの条件は、「つるつる」「こし」といった食感用語で表現され、その食感には、澱粉の性質が大きく関わる。また、調理時間の短い細いものが好まれる傾向がみられる。これらの観点から、小麦以外の各種澱粉を混合し、食感改良や早ゆで化が図られており、酢酸エステル化タピオカ澱粉を混合した乾麺のうどんが広く製造されている。タピオカ澱粉は、糊化温度が低く、吸水性が高く、低アミロースである。また、エステル化澱粉は、最も一般的な加工澱粉であるが、エステル化澱粉の中でも酢酸澱粉が最も広く用いられている。酢酸澱粉は、アセチル基の付加により、澱粉粒子の結晶構造が弱くなり、澱粉分子の再配列においてアセチル基が立体障害になるため、天然澱粉よりも糊化温度が低い。したがって、酢酸エステル化タピオカ澱粉は、糊化温度が低く、吸水性が高く、低アミロースであるため、この澱粉を混合したうどんは、なめらかでやわらかなこしや弾力のあるもちもちとした食感を示し、早ゆで化が期待できるが、ゆでのびしやすいたことがこれまでに分かっている。

本研究では、酢酸エステル化タピオカ澱粉（以下、エステル化タピオカ澱粉）を混合したうどんを用いて、物性制御の機構や、物性と咀嚼特性および嗜好性の関係について評価を行った。

## 第1章

### 余熱利用調理した麺の物性と熱的特性に及ぼすエステル化タピオカ澱粉混合の影響

#### 1.1. 緒言

資源の有効活用および地球温暖化防止の観点から、省エネルギー対策が重要課題とされている。うどんをはじめ、麺のゆで操作中における余熱利用が注目されているが、効果を検討した研究はこれまでに見当たらない。本章では、これまでゆでのびの原因とされてきたタピオカ澱粉の吸水膨潤力の大きさと、エステル化澱粉の糊化温度の低さ、やわらかな弾力が、省エネルギー対策としての余熱利用調理に有効ではないかと考えた。また、余熱利用調理には、細い形状の麺が伝熱において適すると考えた。そこで、細い形状の小麦粉乾麺およびエステル化タピオカ澱粉混合乾麺の調製時に、ゆで時間を短縮して、消火後の余熱を利用したむらし調理を導入し、麺の物性、糊化特性、嗜好性に与える効果を検討した。

#### 1.2. 実験方法

東亜食品工業(株)製の市販の小麦粉乾麺（以下WFd）とエステル化タピオカ澱粉混合乾麺（エステル化は酢酸澱粉，以下ETSd）を用いた。WFdは、中力小麦粉100%，ETSdは、中力小麦粉94%とエステル化タピオカ澱粉6%の混合であった。WFdおよびETSdをそれぞれ10分間ゆでたWF10+0（Control），ETS10+0（Control 2），WFdおよびETSdをそれぞれ3分間ゆでてから消火し、消火後は蓋をして3，6，8，10分間放置してむらしたWF3+3，ETS3+3，WF3+6，ETS3+6，WF3+8，ETS3+8，WF3+10，ETS3+10の10種類の加熱試料を調製した。

測定は、形状および一般成分，加熱試料調製中の水温変化および消費電力量，糊化特性（DSC），貫入特性，原材料のアミロース/アミロペクチン含量，原材料の粒子径分布，原材料および乾麺の構造観察（SEM），官能評価を行った。

#### 1.3. 実験結果および考察

むらし操作を導入すると、調理に伴う消費電力量を32%削減できた。小麦粉麺，エステル化タピオカ澱粉6%混合麺のいずれにおいても、こしの分布はゆで操作のみの場合と異なったが、ゆで3分間後にむらし操作を6分間導入した麺（WF3+6およびETS3+6）において、ゆでのみ10分間の麺（WF10+0およびETS10+0）と同程度の硬さが得られた。

むらし操作の導入による水温の低下は糊化の進行を妨げなかったが、小麦粉麺とエステル化タピオカ澱粉6%混合麺の糊化の進行は異なった。エステル化タピオカ澱粉6%混合麺では、起源植物種に特有な吸水性・糊化特性に加え、小麦粉麺よりも原材料のアミロース含量が少なく、澱粉粒子間の隙間が広い疎な乾麺構造を示したため、次第に糊化が進行してやわらかくなり、加熱時間によるやわらかさの調節ができた。

むらし操作を導入した場合でも、ゆで操作のみと同等の嗜好性が得られた。ゆで3分間後にむらし操作を6分間導入したエステル化タピオカ澱粉6%混合麺（ETS3+6）が、ゆでのみ10分間の麺（WF10+0，ETS10+0）と硬さは変わらないが、強いこしが得られ、嗜好的に最も好まれる傾向にあった。

うどんにエステル化タピオカ澱粉を6%混合することは、余熱利用調理の調理性改善に有効であることが示唆された。

## 第2章 エステル化タピオカ澱粉混合麺の物性、咀嚼性、嗜好性に及ぼすゆで時間の影響

#### 2.1. 緒言

超高齢社会を迎え咀嚼・嚥下能力が低下した高齢者向け食品への要求が高まっている。食べやすさとともに、さらなる咀嚼・嚥下能力の低下を招かない工夫が要求されている。第1章では、エステル化タピオカ澱粉混合麺は、加熱調理時間によりやわらかさの調節がしやすいことを確認した。うどんの嗜好性は高齢者において高いとされており、エステル化タピオカ澱粉混合麺のなめらかでやわらかな弾力に富んだテクスチャーと、やわらかさの調節がしやすい特性は、高齢者向け食品に要求される特性に適していると予想された。これまでに、材料混合が異なるうどんの咀嚼性について比較検討された例はほとんど見当たらない。そこで、本研究では、エステル化タピオカ澱粉を混合したうどんの、高齢者向け食品としての適性の検討を目的とし

て、力学特性、若年者と高齢者の咀嚼性及び嗜好性の比較による評価を行った。

## 2.2. 実験方法

試料は、小麦粉麺（中力小麦粉100%，東亜食品工業㈱製）を10分間ゆでたWF10，エステル化タピオカ澱粉6%混合麺（中力小麦粉94%と酢酸エステル化タピオカ澱粉6%，東亜食品工業㈱製）を10分間ゆでたETS10，13分間ゆでたETS13を用いた。

測定は、形状および一般成分、貫入特性、高齢者10名（75.8±7.3歳）と若年者12名（23.3±2.7歳）を対象とした左右咬筋（閉口筋）の咀嚼筋筋電位測定及び官能評価（五段階評点法、「こし」、「なめらかさ」、「食べやすさ」、「飲み込みやすさ」、「総合的な好ましさ」）を行った。実験計画は、兵庫県立大学研究倫理委員会の承認を得た。

## 2.3. 実験結果および考察

麺にエステル化タピオカ澱粉を混合することで、滑らかでやわらかな弾力が広く分布するもちもちとしたテクスチャーが付与された。若年者と高齢者の両世代において、食べやすさと嗜好性が高まる傾向にあった。

エステル化タピオカ澱粉混合麺のゆで時間を長くすることで、水分含量が増加した。麺線全体的にやわらかく、こしも弱くなり、早い段階で噛み切りやすい食べやすさのさらに向上した麺となった。

高齢者と若年者では、咀嚼特性と嗜好性に違いが見られ、高齢者は全試料とも長時間の咀嚼を行っていた。また、高齢者では、ETS13が最も食べやすく好ましいと評価された。若年者では、高齢者と同様に、ETS13が最も食べやすいと評価されたが、最も好まれたのは、硬さやこしによる噛みごたえのあるETS10であった。うどんのおいしさの評価において重要な要素は、高齢者においては、水分含量の高さによる食べやすさであり、若年者においては、硬さやこしによる噛みごたえであることが示唆された。

高齢者に最も食べやすいと評価されたETS13についても、筋電位振幅および貫入力変化率からある程度の噛みごたえが維持されたことが示唆された。したがって、うどんにおいては、ETS13は、食べやすかつ無理なく高齢者の咀嚼機能維持にも役立てられる、高齢者向け食品としての適性があることが示唆された。

# 第3章 うどんの物性、咀嚼性、嗜好性に及ぼすエステル化タピオカ澱粉濃度の影響

## 3.1. 緒言

第2章では、小麦粉100%のうどんとエステル化タピオカ澱粉が6%混合されたうどんのゆで時間を変えて、力学特性、嗜好性、咀嚼特性の面から、高齢者向け食品としての適性を検討した。この結果では、エステル化タピオカ澱粉6%混合乾麺を13分間ゆでたうどんは、小麦粉100%乾麺およびエステル化タピオカ澱粉6%混合乾麺を10分間ゆでたうどんと比較して、水分が多くてやわらかく、高齢者において食べやすさと嗜好性が高まったと同時に、咀嚼筋筋電位振幅は維持されたことから、咀嚼機能維持にも役立てられる可能性が示唆された。

本章では、第2章の結果に基づいて、ゆで時間を13分間に設定し、エステル化タピオカ澱粉の混合濃度が、うどんの力学特性と、若年者および高齢者における嗜好性、咀嚼特性に及ぼす影響を検討した。特に、本研究では、これまでに十分明らかでない、うどんのなめらかさと咀嚼特性の関係を、世代間で比較しながら明らかにしたいと考えた。なめらかなうどんは、口腔内に付着しにくいと予想され、付着性には、開口筋群の筋電位計測で得られる咀嚼特性値が関与することが報告されている。第2章では、閉口筋から咀嚼特性を評価したため、なめらかさと咀嚼特性の関係の評価が十分でなかった。そこで、本章では、咀嚼特性の評価を、閉口筋と開口筋群から行った。

## 3.2. 実験方法

試料は、中力小麦粉にエステル化タピオカ澱粉（酢酸エステル化タピオカ澱粉）を0%，6%，10%，15%混合した乾麺（東亜食品工業製，2×3×210mm）を13分間ゆでたうどんとした。

形状および一般成分、貫入測定、原材料の粒子径分布測定、乾麺の構造観察（SEM）、高齢

者14名（男性2名，女性12名，77.1±7.5歳）および若年者12名（男性2名，女性10名，22.5±3.0歳）を対象とした，平井らの方法による25品目の摂食可能食品アンケート，窪田らの方法による水飲みテスト，官能評価（五段階評点法，「硬さ」，「こし」，「なめらかさ」，「食べやすさ」，「総合的な好ましさ」），左右咬筋（閉口筋）および舌骨上筋群（開口筋）の咀嚼筋筋電位測定を行った。実験計画は，兵庫県立大学研究倫理委員会の承認を得た。

### 3.3. 実験結果および考察

エステル化タピオカ澱粉を混合すると，0%よりも有意に水分が多く，やわらかいうどんになった。この中で，10%が，最も澱粉粒子間の隙間が広く，澱粉粒の膨潤・糊化が進行しやすい乾麺構造をもち，高齢者・若年者の両世代において，0%よりも有意にやわらかく食べやすいと識別され，なめらかさが好まれた。しかし，咬筋および舌骨上筋群の咀嚼特性値に試料の有意な影響は認められなかった。

高齢者と若年者の嗜好性・咀嚼特性を比較すると，高齢者は，若年者と同じ混合濃度のうどんを食べた場合，咀嚼力が低下するため，同じ硬さであっても，その硬さを有意に好まなかった。また，高齢者では，嚥下能力の低下に伴う舌骨上筋群の筋力の低下を，咬筋を強く動かすことで補い，最終嚥下を行っていることが示唆された。

## 第4章 総括

本研究では，澱粉質食品の，余熱利用調理における調理性改善および高齢者向け食品としての食感制御を目的として，中力小麦粉にエステル化タピオカ澱粉を混合したうどんを用いて，物性制御の機構や，物性と咀嚼特性および嗜好性の関係についての評価を行った。

物性について，第1章および第3章より，うどんにエステル化タピオカ澱粉を混合すると，中力小麦粉とエステル化タピオカ澱粉の粒子径分布や粒形態が異なったため，混合濃度により，乾麺構造における澱粉粒子間の隙間の広さに違いが見られ，澱粉粒の膨潤・糊化に影響し，麺の物性に影響することが分かった。第3章より，10%の混合が，最も澱粉粒子間の隙間が広く，ゆでた場合に澱粉粒の膨潤・糊化が進行しやすく，やわらかいうどんになることが分かった。物性制御においては，原料起源に特有な澱粉の特性や，アミロース/アミロペクチンなどの構成成分の影響だけでなく，澱粉の粒子径や麺の構造といった幾何学的特性を考慮することが重要であることが示唆された。また，第1章の余熱利用調理を導入した場合の若年者による「総合的な好ましさ」の官能評価では，10%が最も好まれない結果を得たが，第3章のゆで調理で示されたように，余熱利用調理を導入した場合においても，10%では，澱粉粒の膨潤・糊化が最も進行しやすく，やわらかくなり，そのやわらかさが若年者には好まれなかったためと推察される。

第1章における余熱利用調理の検討には，エステル化タピオカ澱粉6%混合麺を用いた。エステル化タピオカ澱粉を6%混合すると，余熱利用調理を導入した場合においても，糊化が進行し続け，加熱時間の延長によるやわらかさの調節ができた。また，ゆで3分間後にむらし操作を6分間導入したエステル化タピオカ澱粉6%混合麺（ETS3+6）は，ゆでのみ10分間の麺（WF10+0，ETS10+0）と硬さは変わらないが，強いこしが得られ，若年者において嗜好的に最も好まれる傾向にあった。したがって，エステル化タピオカ澱粉6%の混合は，麺の余熱利用調理の調理性改善に有効であることが示唆された。余熱利用調理の調理性が改善され，余熱利用調理が普及することは，省エネルギー対策に有効であるだけでなく，給食などの大量調理において，調理員の作業中の暑さの負担を減らすという点でも有効であると考えられる。また，家庭での調理においては，余熱利用調理中は熱源のスペースが空くため，空いた熱源を利用して，副菜の調理が追加でき，食事全体の栄養バランスを整えることにも役立てられると考えられる。研究成果を普及させるためには継続的な情報発信が重要であり，今後の課題としたい。

物性と咀嚼特性および嗜好性の関係について，第2章および第3章で検討した。エステル化タピオカ澱粉混合麺は，なめらかで粘着性が少ない食感を示し，第1章の結果より，加熱時間によるやわらかさの調節がしやすいことが分かった。したがって，第2章では，エステル化タピオカ澱粉を6%混合したうどんを通常の10分間より長く13分間ゆで，高齢者向け食品としての適性を検討した。第1章では，余熱利用調理を導入したが，第2章では，省エネルギー対策の検討は目的としなかったため，通常家庭で普及しているゆで調理によりうどんの調製を行い，物性を調節した。今後は，省エネルギー対策をしながら，高齢者向け食品について検討するこ

とも必要であろう。高齢者向け食品には、摂食者の咀嚼機能の程度に応じた食べやすさや、咀嚼機能の維持ができる物性が要求される。エステル化タピオカ澱粉6%混合麺を13分間ゆでたうどん(ETS13)は、水分量が増加し、高齢者において食べやすかつ無理なく咀嚼機能維持に役立てられる物性を示し、嗜好的に好まれることが分かった。食べやすいことと、咀嚼機能維持に役立つことは、相反する特性とも考えられるが、両方の特性を満たす物性の範囲が存在する可能性が示唆された。今後、様々な物性の食品を用いてデータを蓄積し、このような物性の範囲について十分な知見を得ることが必要である。第3章では、エステル化タピオカ澱粉の混合濃度を0%~15%に変えて、高齢者向け食品としての適性を検討した。10%が、若年者・高齢者の両世代において、0%よりも有意にやわらかくて食べやすいと識別されたが、咬筋および舌骨上筋群の咀嚼特性値に試料の有意な影響は認められなかった。感知される感覚の違いは、必ずしも咀嚼筋の筋活動に影響しないことが示唆された。また、これまで、水分の多い食品ほど噛みやすい(67)とされてきた。第2章でもそのような結果が示されたが、第3章では、うどんの食べやすさには、うどん全体の水分量だけでなく、水分勾配による硬さの不均一性や表面の水分量およびなめらかさが影響した可能性が推察された。澱粉質食品はエネルギー源となるため、食が細り低栄養に陥りやすい高齢者にとって、その摂取は健康維持に重要なものである(7)。食べやすくするために水分量を増やして物性を調節することは、多少なりとも相対的に澱粉の摂取量を減らすことになるため、場合によっては低栄養を招く原因となりうる。水分量を変化させなくても、水分勾配により食べやすさが調節できれば、栄養摂取において好都合である。今後は、水分分布と咀嚼特性の関係について明らかにしていきたい。

また、高齢者と若年者では、咀嚼特性と嗜好性に違いが見られた。第2章では、高齢者は全試料とも長時間の咀嚼を行っており、食べやすい麺をおいしいと評価したのに対し、若年者は硬さやこしによる噛みごたえのある麺をおいしいと評価した。第3章では、高齢者は、若年者と同じ混合濃度のうどんを食べた場合、咀嚼力が低下するため、同じ硬さであっても、その硬さを有意に好まなかった。また、高齢者では、嚥下能力の低下に伴う舌骨上筋群の筋力の低下を、咬筋を強く動かすことで補い、最終嚥下を行っていることが示唆された。高齢者と若年者の咀嚼特性および嗜好性は異なることを理解して、高齢者向け食品の物性を制御していくことが重要である。

以上より、エステル化タピオカ澱粉混合麺は、余熱利用調理の調理性改善に有効であり、高齢者向け食品としての適性があった。エステル化タピオカ澱粉混合麺の物性制御には、原料起源に特有な澱粉の特性や、アミロース/アミロペクチンなどの構成成分だけでなく、澱粉の粒子径分布や麺の構造といった幾何学的特性の考慮が重要であった。また、高齢者と若年者では、咀嚼特性と嗜好性が異なった。

#### 引用文献 (3編以内)

1. 吉村美紀, 食品混合ゲル, 日本調理科学会誌, 34, 424-431 (2001).

#### 参考論文 (5編以内)

1. 江口智美, 山崎理加, 吉村美紀, キャッサバデンプン配合麺の調製時におけるむらし操作時間導入の効果に関する研究, 日本調理科学会誌, 44, 417-426 (2011).
2. 江口智美, 吉村美紀, 神山かおる, タピオカ澱粉配合麺の力学特性と若年者および高齢者による咀嚼特性, 日本食品科学工学会誌, 59, 268-278 (2012).
3. Satomi Eguchi, Noritoshi Kitamito, Katsuyoshi Nishinari & Miki Yoshimura, Effects of esterified tapioca starch on the physical and thermal properties of Japanese white salted noodles prepared partly by residual heat, Food Hydrocolloids, 35, 198-208 (2014).
4. 江口智美, 吉村美紀, うどんの力学特性と咀嚼特性に及ぼすタピオカ澱粉混合濃度の影響, 日本食品科学工学会誌, 61, 353-361 (2014).

