

氏 名(本籍) 西 谷 紹 明

学位の種類 博 士 (農 学)

学位記番号 農 第 4 1 4 号

学位授与年月日 平 成 3 年 2 月 14 日

学位授与の要件 学位規則第5条第2項該当

学位論文題目 イミテーションチーズの食品特性に関する研究

論文審査委員(主 査) 教 授 山 内 文 男
教 授 大久保 一 良
教 授 藤 本 健四郎

論文内容要旨

イミテーションチーズ (Imitation Cheese, 以下 IC と略記) は米国において 1971 年頃から市場に登場し始めた。IC は別名 Cheese Substitute, Cheese Analog, Engineered Cheese などとも呼ばれ、わが国では一般に植物性チーズと呼ばれている。米国での年間生産量は 1980 年で 9 万 5 千 t にものぼり、ナチュラルチーズの生産量 181 万 4 千 t に対して 5.2% の比率を占めるに至り、その比率は年々高まりつつあるが、その食品特性に関する報告は極めて少ない。

本研究では、カゼインに大豆タンパク質を中心とするタンパク質素材を配合した、ナチュラルチーズと同等の食品特性を具備した非熟成タイプのイミテーションモzzarellaチーズ (Imitation Mozzarella Cheese, 以下 IMC と略記) の実用的製造方法の確立を目指して一連の研究を実施した。IC 用素材として大豆タンパク質以外の植物タンパク質素材の利用に関する報告は極めて少ないため、入手可能な代表的植物タンパク質について IC 用素材としての適合性、すなわちカゼインとの物性の違い、品質についてあらかじめ把握しておく必要がある。優れた食品特性を有する IMC を得る上でのカゼインの果たすべき役割は重要である。カゼインの持つ機能を最大限に引き出すためには、カゼインの種類、処理条件に関して詳細に検討し、おのおのの食品特性発現の機構を明らかにしながら、その最適処理条件を確立することが最重要課題になる。その際、ナチュラルチーズの食品特性との関連についても明確にしなければならない。また、熱溶解性や糸引き性のみならず、加熱乳化工程においてプロセスチーズのように、乳化物が適度な粘性と流動性を保持し、自由な形に充填、成形可能なものにするということも合わせて考慮しなければならない。また、製造工程の複雑化を極力避け、コスト的に満足できるものでなければならない。一方、これに配合する大豆タンパク質素材は、カゼインの本来持つ性質を出来る限り阻害しないものであることが必要である。さらに、大豆タンパク質を配合した IMC を実際の商品とする場合、食品として好ましい風味を備えたものでなければならない。本論文は、カゼインに大豆タンパク質を配合した IMC の製造技術についてを中心に、上記の諸問題を、実用面を指向して研究した結果をまとめたものである。

第一章 カゼインの構造形態と Imitation Mozzarella Cheese (IMC) の食品特性の発現

第一節 Imitation Mozzarella Cheese (IMC) 3 種の食品特性の違い

IMC の主タンパク質素材であるカゼインについて、どの種のカゼインをどのように処理することがナチュラルチーズと同等の食品特性を引き出すのに必要なのかについて検討した。まず酸カゼイン、ナトリウムカゼイネート、レンネットカゼインなどのカゼイン素材を用い、おのおの異なる調製方法にて 3 つのタイプの IMC を調製し、熱溶解性、糸引き性などの食品特性について比較した結果、良好な熱溶解性と糸引き性とを同時に具備させるためには、レンネットカゼインを浸漬法にて処理することが有効であることがわかった (Fig. 1, Table 1)。その際、特に糸引き性については、限定された量の溶融塩の作用により、カゼイン相互間の架橋構造形成に関与しているカルシウムパラカゼイネートの一部がナトリウムパラカゼイネートに変化し、両者がある一定の割合を維持し平衡状態に達

することにより発現するものであると考えた。こうした意味から、ナチュラルチーズと同等の糸ひき性を引き出すためのカゼイン素材としてはレンネットカゼインが最適であることがわかった(Fig. 2)。

第二節 レンネットカゼインを用いた Imitation Mozzarella Cheese (IMC)の食品特性

レンネットカゼイン浸漬法に基づくIMCの製造方法に焦点を絞り、その製造諸条件と熱溶融性および糸ひき性などの食品特性との関係について詳細に検討した。その結果、これら2つの食品特性を同時に満足させるためには、一時的に溶融塩量、浸漬カードpH、浸漬温度・時間、カゼインメッシュサイズが、また二次的に乳化時の攪拌シェアが重要となることを明らかにした。これらの要因を考慮し、それぞれ適宜な水準に調節することにより、カゼインベースIMCの食品特性を幅広く制御できることが明らかとなった。このベースに対する濃縮ホエータンパク質(WPC)の添加効果を調べた結果、熱溶融性は阻害するが糸ひき性は阻害しないことがわかった。

第三節 レンネットカゼイン浸漬カードの応用

浸漬法により調製したカードは、単にIMCとしてばかりでなく、広くチーズフードの分野においても食品特性を付与するための基幹素材として利用価値の高いものであることを示唆した。IMCの食品特性を制御するためには、カゼイン素材に由来するカゼインの構造形態の違いに着目することが最重要であることを明らかにし、この考え方に基づき、良好な食品特性を発揮させるための詳細な調製条件を確立した。

第二章 脱脂チーズの構造形態と食品特性の変化

第一節 脱脂チーズの製造諸条件と食品特性の変化

第一章のレンネットカゼイン浸漬カードの食品特性に関する知見をもとに、ナチュラルチーズの系における食品特性の発現に関する検討を行った。すなわち、ゴーダチーズの製法に準じて脱脂チーズカードを調製し、チーズ熟成中のイオン状カルシウム含量、熟度などの変化が、熱溶融性、糸ひき性におよぼす影響について検討した。第一章の浸漬カードでは、良好な熱溶融性、糸ひき性を得るためには溶融塩の使用が不可欠であるのに対し、脱脂チーズの系では、カゼインの形態がレンネットカゼインの場合とほぼ同じでありながらも、すでに十分水和した状態にあるため、溶融塩を用いずとも熟成の経過に応じて熱溶融性の向上と糸ひき性の発現することがわかった(Fig. 3)。これは熟成中のチーズpHの低下にともなうイオン状カルシウム含量の増加、および熟度の進行によりカゼイン架橋構造が一部崩れることなどが関与していると考察した。とくに架橋構造を形成しながら存在するカゼインからカルシウムがある程度脱離することが必要であるという点では、第一章で論述したIMCの糸ひき性発現とほぼ同一の機構で説明することができた。このことか

ら、カゼインの構造形態の変化に着目しながら熱溶解性や糸ひき性などの食品特性を制御するという考え方は、IMCのみならずナチュラルチーズの系にも基本的に適用できるものであると考えた。

第二節 脱脂チーズの繊維化

カルシウムが適度に脱離した状態の脱脂チーズにWPCを添加し加熱乳化後延伸することにより、繊維状チーズが得られることを見だし、その調製条件を確立した。このチーズは、通常のプロセスチーズと同様の条件で加熱処理され調製するため、従来の繊維状チーズに比べて、保存性の面で有利であるという特徴を有している。またこの場合、WPCは脱脂チーズの繊維を形成する性質を阻害せずに、乳化剤としての役目を果たしていると考えた。WPCは第一章、第二章の結果より、カゼインの糸ひき性の発現および繊維を形成する性質を阻害しないことが明らかとなった。

第三章 各種植物タンパク質素材の Imitation Mozzarella Cheese (IMC) 用素材としての適合性評価

第一節 テクスチャーの評価

乳以外のタンパク質素材をIMCに利用することの可能性を広く探索することを目的とした。すなわち大豆、ピーナッツ、綿実、サンフラワーなど油糧種子から精製した4種の植物性タンパク質素材を選定し、これらをナトリウムカゼイネートと置換率0から50%までの範囲で混合してIMCを調製し、IMC用素材としての適合性を、まずテクスチャーの面から評価した。この結果、4種とも、置換率が増すに応じて、硬さ、弾力性、凝集性、噛みごたえ、ガム性などが低下し、付着性は逆に増加する傾向を示した (Fig. 4)。4種の中で、こうした傾向を最も顕著に示したのはサンフラワーであった。

第二節 各種食品特性の評価

色沢については、大豆を除く3種の場合、一般のチーズとは著しく異なるものとなり、とくにサンフラワー、ピーナッツは、色沢の観点からカゼインの代替としての適合性は現時点では低いと考えた。大豆は、置換率が増すに応じて徐々に黄褐色を呈する傾向はあるが軽微であり、明度については4種の中では最も高い値を示した。風味および熱溶解性については4種とも、置換率が増すに応じて低下した。また糸ひき性は、用いたカゼインが糸ひき性を示さないナトリウムカゼイネートのベースであることから発現しなかった。また、これら4種の素材を混合することにより、あらたに発現するものではなかった。以上のことから、カゼインの代替となりうる植物性タンパク質素材として、4種の中ではとくに色沢の観点から、大豆が最も有力であることが示唆された。しかし同時に、大豆タンパク質素材をIMCに利用する場合、硬さなどの物性の改良、熱溶解性の向上、不快臭の脱臭などが、さらに解決すべき課題となることも示唆された。

第四章 大豆タンパク質とカゼインを混合した Imitation Mozzarella Cheese (IMC)

第一節 大豆タンパク質の酵素的分解とIMCの食品特性の変化

植物性タンパク質素材をISPに絞り、不快臭がなくしかもIMCとして必要な食品特性を全て具備したISP配合IMCの製造方法を確立することを目的とした。最初に、第一章で論述したカゼインの構造形態と食品特性との関連に関する知見を基本とし、さらにISPを酵素剤により限定的に加水分解して改質する方法を組み合わせることにより、食品特性の向上を図るための検討を行った。カゼインの系に対し、熱凝固性を有するISPをそのままの形で添加すると熱溶解性は阻害された。しかし、このISPをタンパク質分解酵素を含む酵素剤を用いて一定の水準まで分解することにより、熱溶解性は向上することがわかった(Fig. 5)。しかし、ISPを酵素処理することにより糸ひき性があらたに発現することはないことから、糸ひき性はカゼインから付与すべきものであることが示唆された。そこで、第一章で確立した糸ひき性を確実に発現するレンネットカゼイン浸漬カードに対し、タンパク質分解の程度の異なるISPを混合し、食品特性の変化を調べた。その結果、ISP置換率の増加に応じて糸ひき性は阻害されたが、ISPのTCA-N可溶化率が増すと、その阻害の程度は少なくなることがわかった。糸ひき性阻害の原因を明確にするためには、カゼインとISPの相互作用についての詳細な検討を待たなければならない。しかし少なくとも、こうした酵素処理にともなうISPの保水性、加熱ゲル形成能などの低下が、熱溶解性や糸ひき性の阻害の程度を少なくすることに寄与しているものと推察した。これらの結果、レンネットカゼイン浸漬カードとTCA-N可溶化率17.0%程度まで分解したISPを組み合わせることで、20%まで置換しても良好な熱溶解性、糸ひき性、硬さを具備したIMCを製造することが可能となり、その基本的製造条件を確立した(Table 2)。

第二節 発酵による大豆タンパク質不快臭の低減

ISPをIMCに利用する際の風味上の問題点を解決するため、発酵によるISPの不快臭の低減方法について検討を行った。その結果、ワイン酵母、ケフィール酵母、焼酎用麴をそれぞれ接種して培養することにより、ISPの大豆臭は低減して不快臭は減り、あらたに好ましい発酵臭が付与されることがわかった。これらをガスクロマトグラフィーにて分析した結果、大豆臭を特徴づけていると考えられるヘキサナール、ヘキサノール、1-オクテン-3-オールなどが効果的に減少し(Fig. 6)、ジアセチル、アセトイン、エチルエステル類などナチュラルチーズ等の乳製品にも一般に検出される香気成分が含まれることが明らかになった。ISPをこれら微生物により処理することにより、第三章での課題であったISPの不快臭の問題は解消され、風味上、違和感のないISP混合IMCを製造できることがわかった。また、この方法は単にIMCだけに限定されることなく、乳製品全般の系にも広く応用できる可能性があることを示唆した。以上、カゼインに対しISPを20%置換し、不快臭がなくしかもナチュラルチーズと同等の食品特性を具備したIMCを製造するための基本条件を確立した。

第五章 総括

本研究は、カゼイン、ISPを中心としたタンパク質素材を用い、不快臭がなくしかもナチュラルチーズと同等の食品特性を具備したIMCを製造するための基本条件について実用面を重視しながら総合的に把握することを目的とした。

IMCの主タンパク質素材であるカゼインについて、ナチュラルチーズと同等の食品特性を引き出すための、カゼイン素材の選択、および処理条件についてまず検討した。その結果、良好な熱溶解性と糸ひき性を同時に具備させるためにはレンネットカゼインを浸漬法にて処理することが有効であることがわかった。その際、IMCの熱溶解性、糸ひき性などの食品特性を制御するためには、カゼインの構造形態の違いに着目することが重要であり、この考え方はナチュラルチーズの系にも適用できることが示唆された。つぎに、レンネットカゼイン浸漬カードとTCA-N可溶化率17.0%程度まで分解したISPを組み合わせて用いることにより、20%まで置換しても良好な熱溶解性、糸ひき性、硬さを具備したIMCを製造することが可能となり、その基本的製造条件を確立した。さらに、ISPをIMCに利用する際の風味上の問題点を解決するため、発酵によるISPの不快臭の低減方法について検討した結果、ワイン酵母、ケフィール酵母、焼酎用麹などを用いて発酵させることにより、大豆臭を特徴づけていると考えられるヘキサノール、ヘキサノール、1-オクテン-3-オールなどを効果的に減少できることが明らかになった。以上のことから、カゼインに対しISPを20%置換してもナチュラルチーズと同等の食品特性を維持することが可能なIMC製造の基本条件、およびこれに用いるISPの不快臭の低減方法を確立した。

本論文は、IMCの主に食品特性に関してタンパク質素材を中心に論議を進め、その形態の違いが食品特性に大きく影響を及ぼすことを明らかにしてきた。各々の現象に対する理論的追及は必ずしも十分ではないが、食品特性を制御する上での重要な因子、およびそれらの相互関係について明らかにし、IMCのみならずナチュラルチーズ、プロセスチーズの食品特性にも波及する、食品工業上、利用価値の高い実用的技術情報を提供するものである。

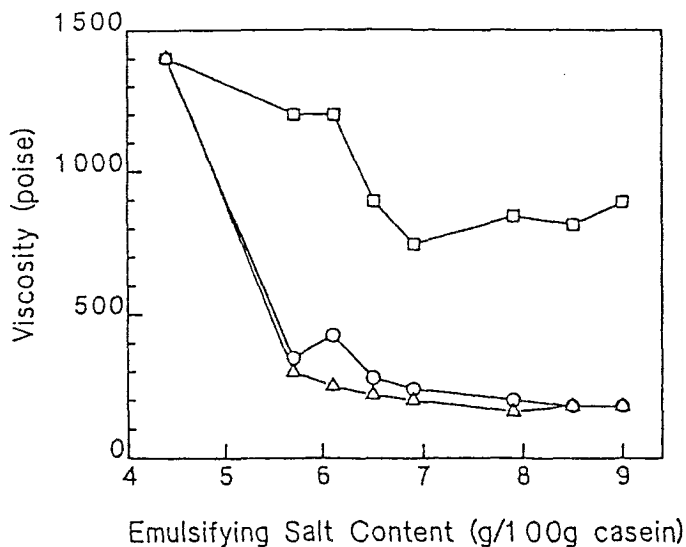


Fig. 1 Effects of Emulsifying Salt and Storage Time on the Viscosity of IHCIII Type. The IHC was cooked at 80°C for 6 minutes. (100 r.p.m.) The viscosity was measured at 80°C just after cooking. Storage time at 5°C for the rennet casein curd : □, 24 hours ; ○, 48 hours ; △, 72 hours.

Table 1 Effects of Emulsifying Salt on Meltability and Stringiness of IHCIII Type

Emulsifying salt content (g/100g casein)	Meltability (mm) and stringiness (score)					
	Storage time* at 5°C (hours)					
	24		48		72	
	Mel ^b	Str ^c	Mel ^b	Str ^c	Mel ^b	Str ^c
4.4	35	A	38	A	40	A
5.7	38	A	42	A	42	A
6.1	40	A	42	A	42	A
6.5	41	A	41	A	42	A
6.9	39	A	41	A	43	A
7.9	40	A	41	A	42	A
8.5	41	B	41	B	42	B
9.0	41	C	40	C	43	C

* Storage time of the rennet casein curd for IHCIII type.

^b Meltability.

^c Stringiness : A. good ; B. fairly good ; C. slightly stringing.

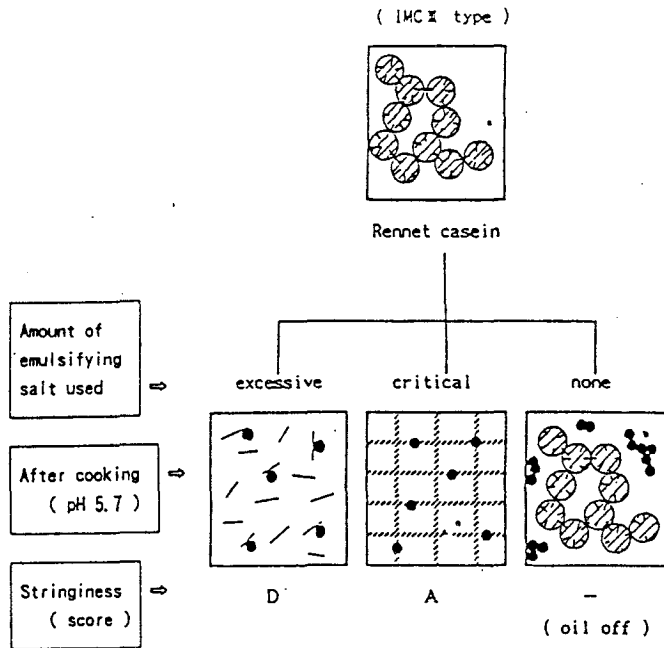


Fig. 2 An Explanation for Developing Stringiness in IMCIII Type.

- Network-structured calcium paracaseinate.
- Fat particle.
- The remainder of network-structured calcium paracaseinate.

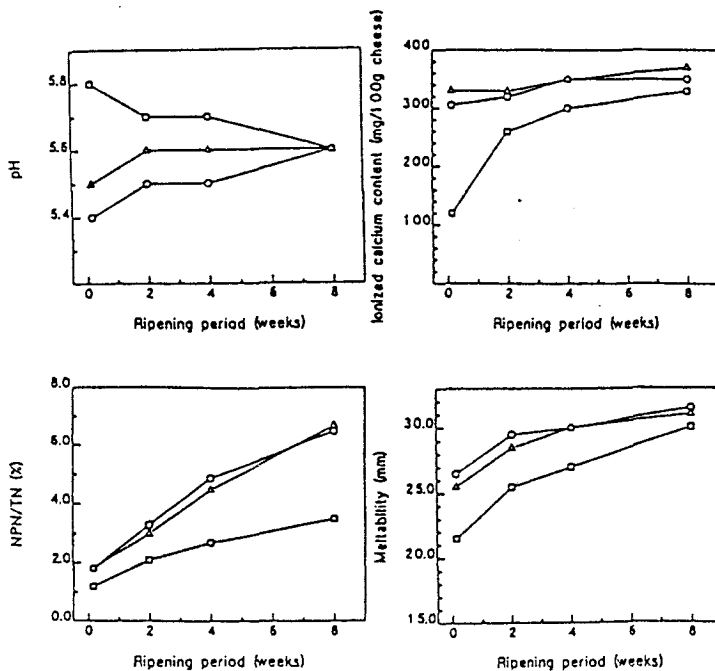


Fig. 3 Changes in pH, Ionized Calcium Content, NPN/TN, Meltability of Skim Milk Cheese during Ripening
Scalding temperature : ○, 38°C ; △, 43°C ; □, 50°C.

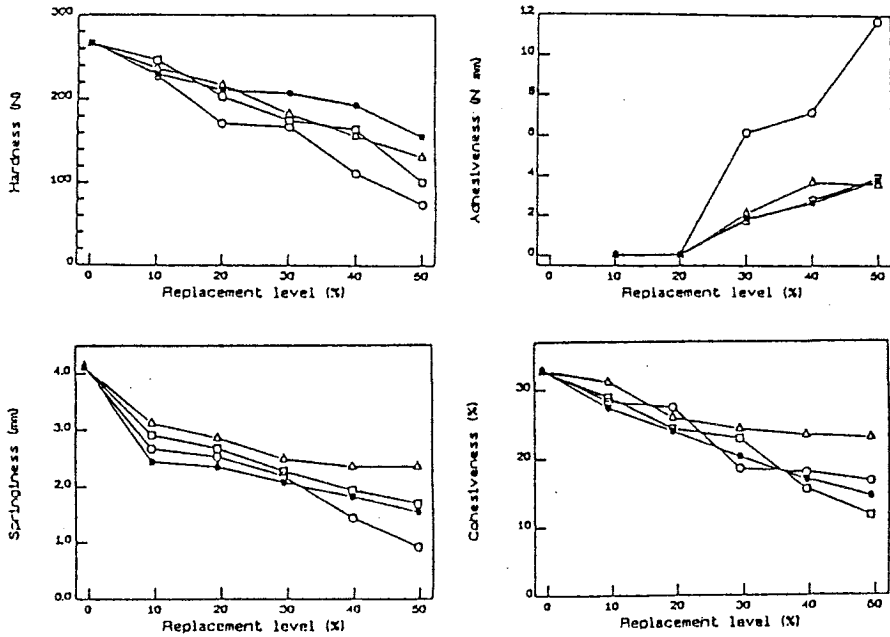


Fig. 4 Texture of Imitation Cheeses Formulated with Increasing Amounts of Isolated Vegetable Proteins. Isolated Vegetable Protein : ●, soy ; △, peanut ; □, cottonseed ; ○, sunflower.

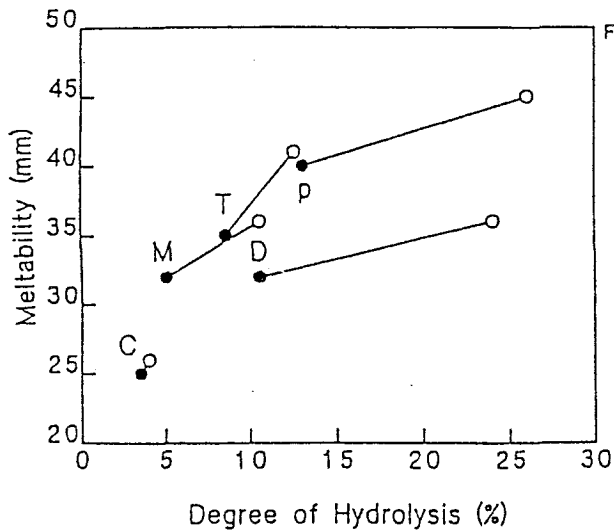


Fig. 5 Relationship between Degree of Hydrolysis* and Meltability of the Imitation Mozzarella Cheese at a 40% Replacement Level of Isolated Soy Protein (ISP).

* Degree of Hydrolysis means 3.3% TCA soluble fraction. Enzymatic hydrolysis of ISP was carried out under following conditions : substrate concentration, approx. 18% ; reaction pH, 5.5. The enzyme-substrate ratio (E/S) used for individual enzyme preparation were as following : 0.5% for Amylase ; 5% for Tenase, Diazyme and Rennet. Enzyme preparation : P, Amylase ; T, Tenase ; D, Diazyme ; M, Rennet ; C, control without enzyme. Reaction temperature and time : ●, at 40°C for 30 minutes ; ○, at 5°C for 24 hours.

Table 2 Effects of the Addition of Each Commercial Isolated Soy Protein on the Functionalities of IMC.

Type of commercial ISP ^a	Replacement level (%)	Meltability (mm)	Stringiness ^b (score)
	0	38	A
A (D.H. 4.0 %)	5	38	A
	10	33	A
	15	32	A
	20	32	C
	25	32	D
	30	29	D
B (D.H. 12.1 %)	5	38	A
	10	37	A
	15	37	A
	20	37	B
	25	37	D
	30	38	D
C (D.H. 17.0 %)	5	39	A
	10	38	A
	15	38	A
	20	40	A
	25	40	B
	30	42	C

^a A is unhydrolyzed control, and B-C are hydrolyzed at different degrees. Type of ISP : A. Fujipro R ; B. Fujipro AL, C. Fujipro CL.

^b Stringiness : A. good ; B. fairly good ; C. slightly stringing ; D. poor.

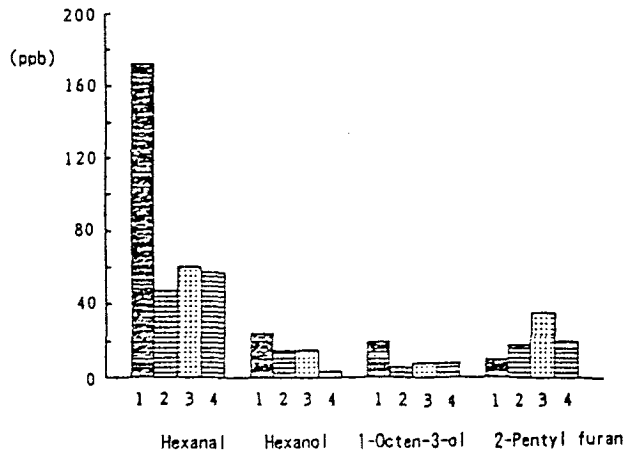


Fig. 6 Concentrations of Some Typical Soybean Volatile Components in ISP and Fermented ISPs.
1. control ; ISPs fermented with 2. *S. cerevisiae* ;
3. *T. holmii* ; 4. *A. niger*.

審査結果の要旨

本研究は、カゼイン、大豆分離タンパクを中心としたタンパク質素材を用い、不快臭がなく、しかもナチュラルチーズと同等の食品特性を具備したイミテーションモザレラチーズを製造するための基本条件について実用面を重視しながら総合的に把握することを目的とした。

イミテーションモザレラチーズの主タンパク質素材であるカゼインについて、どの種のカゼインをどのように処理することがナチュラルチーズと同等の食品特性を引き出すのに必要なのかについてまず検討した。その結果、良好な熱溶解性と糸ひき性とを同時に具備させるためにはレンネットカゼインを浸漬法で処理することが有効であることがわかった。その際イミテーションモザレラチーズの熱溶解性、糸ひき性などの食品特性を制御するためには、カゼインの構造形態の違いに着目することが重要であり、この考え方は、ナチュラルチーズの系にも適用できることが示唆された。つぎに、レンネットカゼイン浸漬カードを酵素で部分分解した大豆分離タンパクを組み合わせて用いることにより、20%まで置換しても良好な熱溶解性、糸ひき性、硬さを具備したイミテーションモザレラチーズを製造することが可能となり、その基本的製造条件を確立した。さらに風味上の問題点を解決するため、発酵による大豆分離タンパクの不快臭の低減方法について検討した結果、ワイン酵母、ケフィール酵母、焼酎酵母をそれぞれ接種して培養することにより、大豆臭を特徴づけていると考えられるフレーバーを効果的に減少できることが明らかになった。

本論文は、イミテーションモザレラチーズの主に食品特性に関してタンパク質素材を中心に論議を進め、その形態の違いが食品特性に大きく影響を及ぼすことを明らかにし食品特性を制御する上での重要な因子、およびそれらの相互関係について明らかにした。このことは、ナチュラルチーズ、プロセスチーズの食品特性にも波及する、食品工業上利用価値の高い実用的技術情報を提供するものであり、農学博士の学位を授与する資格を有するものと判定した。