

高齢者が咀嚼・嚥下しやすい米粉食パンの開発

新井映子

1. はじめに

世界に類を見ない高齢化社会に突入した我が国では、加齢による口腔機能の低下や脳血管障害の後遺症などにより、咀嚼や嚥下に問題を持つ人が増えている¹⁾。現在までに、“ソフト食”のように重度の摂食・嚥下障害者用の介護食は多数市販されるようになったが、比較的健常な高齢者が安全に摂取できる高齢者食品の開発はさほど進んでいない。

そこで本研究では、高齢者にとって食べにくい食品のひとつである食パン²⁾に着目し、唾液分泌量が低下した高齢者が咀嚼しやすく、かつ食塊形成が容易で飲み込みやすい性状を持つパンの開発を目的とした。

製パン材料には、高齢者の嗜好を重視して米粉を使用することとした。ただし、米粉を原料としたパンはもちもちとした食感が特色であるが、小麦粉原料のパンよりも歯切れが悪く、歯に付きやすいといわれる。そのため、高齢者が安全に咀嚼・嚥下するためには、米粉パンのテクスチャーを改変する必要がある。そこで、テクスチャーモディファイヤーとして、イヌリンを使用することとした。イヌリンは食物繊維としての機能^{3,4)}を有するため、高齢者の腸内環境改善に寄与する新たな高齢者用機能性食品として、市場での訴求効果も期待できる。以下に本研究で得られた結果を紹介する。

2. 酵素合成イヌリンの性質と特長

前述のように、本研究ではテクスチャーモディファイヤーとしてイヌリンに着目した。イヌリン

静岡県立大学食品栄養科学部教授

は、チコリ根をはじめとして約36,000種類以上の植物中に存在する天然の多糖類で、水溶性食物繊維の一種である。フルクトースが β (2-1)結合によって2~60個直鎖状に結合したフラクタンで、末端にグルコース1残基が存在する。現在、天然物から抽出・精製されたイヌリンが多く、天然物由来のイヌリンは鎖長分布が広範であるため、製品の性質や添加効果が一定しにくいことが課題である。

一方、近年土壌菌より分離されたイヌリン合成酵素を用いる酵素法により、ショ糖を原料としてイヌリンを合成する技術が確立され、酵素合成イヌリン(フジ日本精糖(株)、フジFF)が市販されるようになった^{5)~7)}。酵素合成イヌリンの特長として、以下のことがあげられる。

溶解度が高く、25℃では20%、70℃では40%の水溶液に調製が可能である。25℃における20%イヌリン水溶液の粘度はグラニュー糖とほとんど変わらず、増粘多糖類のような粘性を示さない。pHの異なる10%イヌリン水溶液を120℃で15分間加熱後に残存率を測定した結果、pH4以下の酸性領域では残存率が低下して不安定であったが、pH5以上では安定であった。20%イヌリンを含むモデル溶液(2%グリシン2mL、20%イヌリン5mL、pH3~8の各緩衝液3mL)を100℃で90分間加熱処理後に着色度を測定したところ、非還元糖であるためアミノ・カルボニル反応による着色を起こさなかった。

さらに、イヌリンは水溶性食物繊維としての整腸作用⁸⁾に加えて、血中脂質の低減⁹⁾、血糖値の上昇抑制¹⁰⁾、ミネラルの吸収促進¹¹⁾、免疫機能の改善¹²⁾などに対する効果も報告されている。そのため、イヌリンを添加した食パンを焼成できれば、これらの生理機能も合わせて付与することができる。そこで本研究では、米粉を原料として製パンする上で、溶解性が高く、加熱による着色がなく、焼成後も分解することなくパンに残存する酵素合成イヌリン(平均重合度16、以後「イヌリン」と略す)の添加を試みることにした。

3. イヌリンの添加方法が米粉パンの製パン性に与える影響

はじめに、イヌリンの添加方法について検討を行った。実験に先立ち、米粉パンの材料配合を、製パンに用いる米粉対応のホームベーカリー(三洋電機(株)、SPM-MP31)の性能と予備試験の結果より、グルテン添加米粉300g(グリコ栄養食品(株)、福盛シトギミックス20A、ベーカーズパーセント:100%)、水210g(70%)、食塩6g(2%)、上白糖18g(6%)、シヨー

トニング15g(5%)、脱脂粉乳15g(5%) およびドライイースト4.5g(1.5%)に決定した。イヌリンの添加量は、ベーカースパーセントで10%(30g)とした。平成22年国民健康・栄養調査報告によると、70歳以上の日本人の食物繊維の平均摂取量は、男性16.6g、女性15.4gであり、目標量の男性19g、女性17gよりも少ない。そこで、6枚切りの食パン1枚を摂取すれば、食物繊維の不足分を補うことができると分量とした。

実験に供した酵素合成イヌリンは、非結晶のスプレードライ品である。一方、イヌリンの高濃度水溶液を冷却すると微細な結晶構造を形成し、クリーム化することが知られている(イヌリンクリーム)。そこで、米粉へのイヌリン添加方法は、非結晶イヌリンを粉体で添加する(以後「粉体」と称す)、非結晶イヌリンを加水に使用する水に溶解して添加する(以後「水溶液」と称す)および非結晶イヌリンを加水に使用する水で溶解後に結晶化させたイヌリンクリームの状態で添加する(以後「クリーム」と称す)の3通りとした。

その結果、図1に示したように、イヌリン添加パンではいずれの添加方法でも比容積は無添加パンよりも減少し、特に粉体と水溶液でその傾向が大であった。このことから、イヌリン添加は米粉パンの膨化性を低下させることが判明した。また、いずれのイヌリン添加パンも焼減率が無添加パンよりも小さいことから、イヌリンを添加すると水分蒸発が抑えられることが判明した。イヌリンが持つ保水性によって焼成時に水分が生地中に保持され、その結果膨化性が低下したものと思われた。





	無添加	イヌリンの添加方法		
		粉体	水溶液	クリーム
内相				
比容積(cm ³ /g)	3.92	3.48	3.22	3.66
焼減率(%)	10.2	9.9	9.4	8.9

図1 イヌリンの添加方法が異なる米粉食パンの内相、比容積および焼減率

イヌリン添加がパンのテクスチャーに与える影響を明らかにするため、クラムの硬さ、凝集性および付着性を測定した。図2に示したように、いずれのイヌリン添加パンも、無添加パンよりも有意に硬さが増加したが、凝集性は有意に低下した。イヌリン添加によるパンの硬化については改善が必要であるが、クラムの付着性の減少によって歯や口腔粘膜への粘着が減り、凝集性の低下で米粉特有の強いもちもち感が抑制されることにより、イヌリン添加パンは無添加パンよりも、咀嚼や食塊形成が容易になると推察された。これらのことから、イヌリンを添加することで、米粉パンを高齢者が安全に摂取できるテクスチャーに改変できる可能性が示唆された。なお、パンの膨化性やクラムの硬化に最も影響を与えにくいのは、クリームでの添加であった。

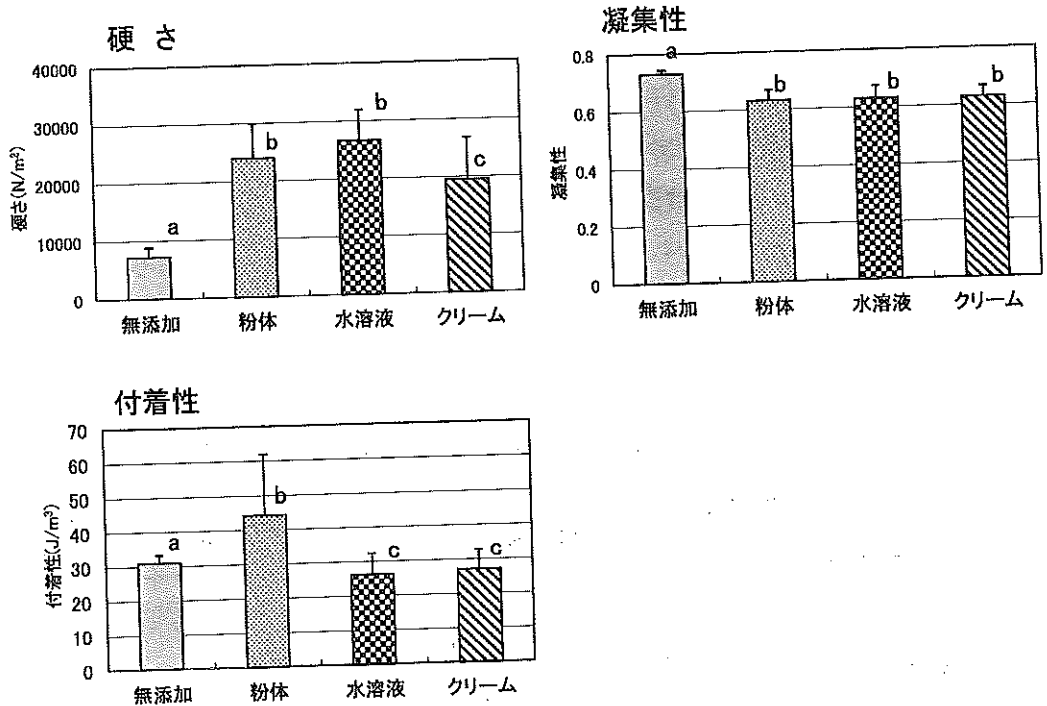


図2 イヌリンの添加方法が異なる米粉食パンクラムのテクスチャー特性値異なるアルファベット間は統計学的有意差 ($p < 0.05$) を示す

イヌリン添加により、米粉パンの製パン性は変化した。そこで、変化の要因を明らかにするため、イヌリンの添加方法が異なる米粉を示差走査熱量計 (DSC) に供し、デンプンの糊化挙

動を分析した。図3に示すように、イヌリン添加によって米粉の糊化ピーク温度は無添加よりも有意に上昇し、粉体と水溶液では糊化エンタルピーが有意に減少した。これらのことから、イヌリン添加はデンプンの糊化を抑制することが判明した。イヌリンは吸湿性が大であるため、加水した水がイヌリンに吸収されてグルテンの吸水が阻害され、焼成時にグルテンからデンプンへと移行する水分量が減少し、その結果糊化が抑制されたものと推察された。また、吸水不足でグルテンネットワークの発達が損なわれ、膨化にも影響を与えたものと思われた。ただし、米デンプンは小麦デンプンよりもアミロース含有量が低いために糊化度が高く、これが独特のもちもち感を形成しているが、イヌリン添加によって糊化が適度に抑制されることにより、クラムの付着性や凝集性が低下したものと思われた。

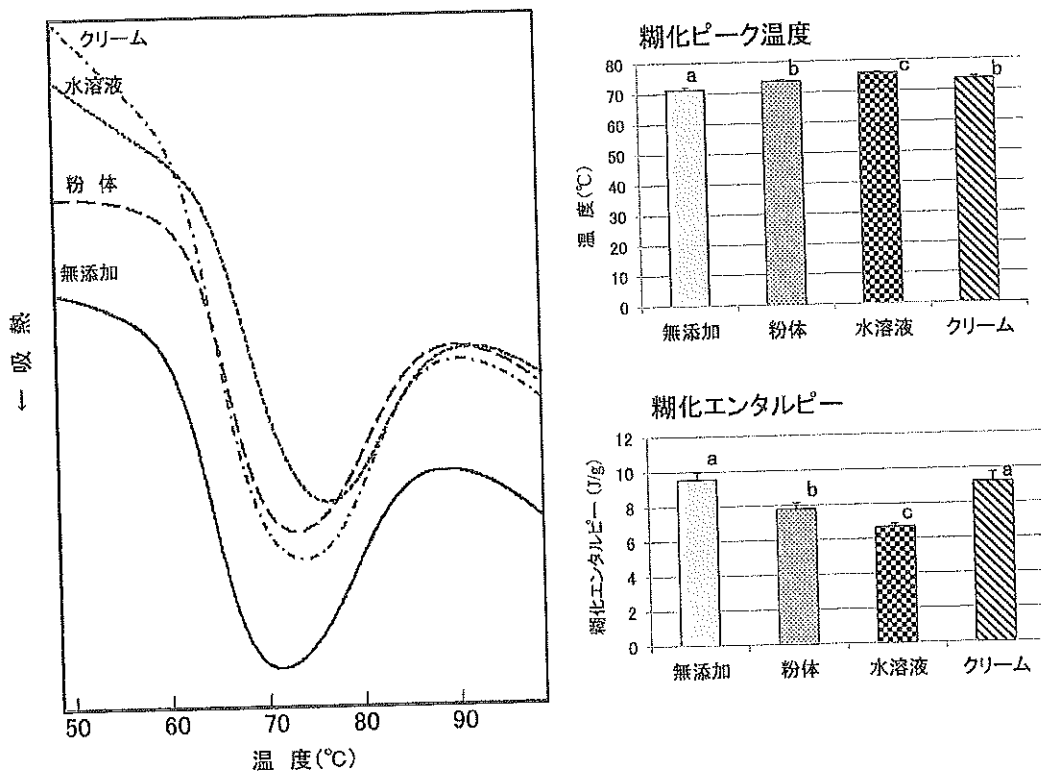


図3 イヌリンの添加方法が異なる米粉の吸熱曲線と糊化特性値
異なるアルファベット間は統計学的有意差($p < 0.05$)を示す

4. 製パン法の改良と製品の特性評価

イヌリン添加により、米粉パンは高齢者が咀嚼・嚥下しやすいテクスチャーに改変できることが明らかとなった。しかし、パンの膨化性やテクスチャーには改善の余地があるため、製パン法の改良を試みた。

先の実験結果より、非結晶(粉体・水溶液)よりも結晶(クリーム)状態での添加が、製パン性に与える影響は少なかった。ただし、製パンのたびにクリームを調製して添加することは、操作が煩雑である。そこで、イヌリンクリームを凍結乾燥して水分を除去し、結晶化イヌリンの粉体として使用することとした。図4に、非結晶および結晶化イヌリンの走査型電子顕微鏡写真を示す。スプレードライ品の非結晶イヌリンは空洞を持つ球状であるが、クリーム化後に凍結乾燥した結晶化イヌリンは多孔質構造を有していた。

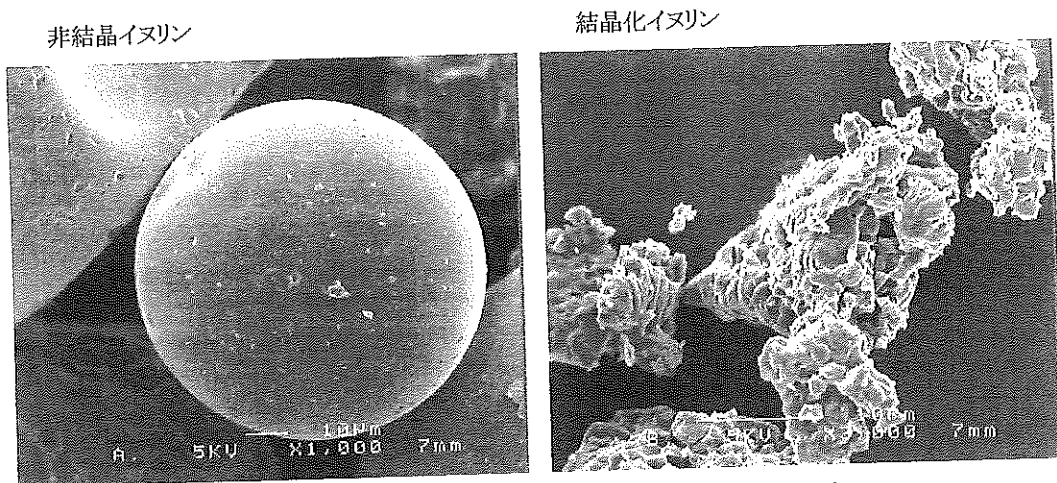
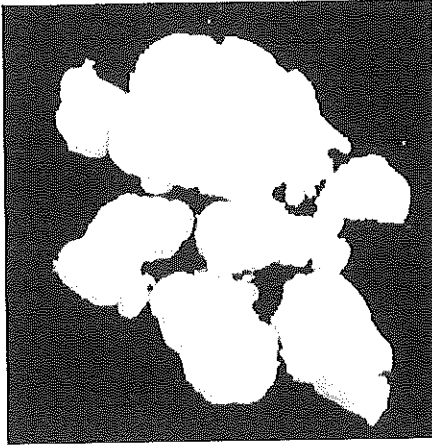


図4 非結晶および結晶化イヌリンの走査型電子顕微鏡写真

さらに、加水時にグルテンの吸水を妨げないようにするため、イヌリンと油脂を予め混合し、イヌリンに防水性を持たせることとした。すなわち、結晶化イヌリンに製パン材料のショートニングを混合したところ、図5に示すように、結晶化イヌリンは油脂含有粉末に変化した。そこで、製パンには油脂含有粉末の状態でのイヌリンを添加することとした。なお、非結晶イヌリンをショートニングと混合しても、油脂の粉末化は起こらなかった(図5)。このことから、結晶化イヌ

リンでは多孔質構造の内部が疎水領域となり、油脂を取り込んで粉末化したものと推察された。そのため、結晶化イヌリンは、脂溶性物質を粉末化する際の賦形剤としての利用も可能であることが示唆された。

非結晶イヌリン



結晶化イヌリン

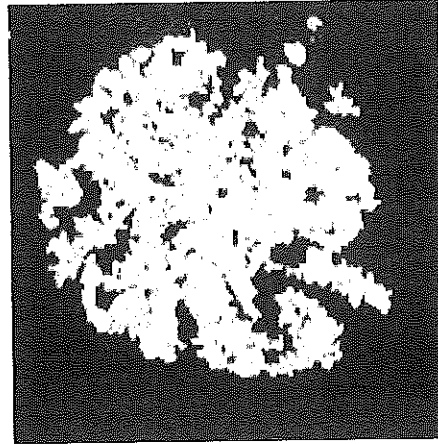


図5 非結晶および結晶化イヌリンとショートニング混合物の写真

米粉はグルテンを持たないため、小麦から抽出・精製した活性グルテンを添加して製パンする。グルテンはグリアジンとグルテニンの会合体で、グリアジン:グルテニンの比率は概ね1:1とされている。しかし、著者らは、クッキーにおいてグルテンのグリアジン比率を高めることにより、食塊形成が容易になることを明らかにした¹³⁾。そこで、米粉パンにもこの手法を応用し、米粉に含まれる活性グルテン60 gのうち3 gを高グリアジン画分タンパク質(アサマ化成(株)、グリアA)に置換することとした(これを「改良米粉」と称する)。また、米粉パンではクラストの着色が小麦粉よりも少ないため、着色を促進する目的でマルトースを微量添加することとした。改良法によるイヌリン添加米粉パンの材料配合を表1に示し、この配合で製パンしたものを以後「改良パン」と称する。

改良パンの写真を図6に示す。比容積は4.00となり、無添加パンの3.92(図1)と同等まで膨化させることができた。クラムのテクスチャーを測定した結果、図7の上段に示すように、凝集性と付着性が無添加パンよりも有意に低下し、付着性の低下はクリーム添加パンよりもさら

表1 改良法の方法材料配合割合

材 料		重量(g)	ベーカークズ%
改良米粉	グルテン添加米粉	285	100
	グルテン無添加米粉	12	
	高グリアジン画分タンパク質	3	
食塩		6	2
上白糖		18	6
マルトース		0.3	0.1
脱脂粉乳		15	5
ドライイースト		4.5	1.5
水		210	70
油脂含有 イヌリン粉末	ショートニング	15	5
	結晶化イヌリン(イヌリン クリーム凍結乾燥物)	30	10


内 相	
比容積 (cm ³ /g)	4.00

図6 改良法によるイヌリン添加米粉食パンの内相と比容積

に大であった。しかし、硬さの値は無添加パンよりも有意に高く、膨化性の向上にもかかわらず、クラムを軟化させることはできなかった。

一方、パンや米飯などのデンプン性食品は、口腔内で唾液を多量に吸収し、咀嚼中に物

性が大きく変化する¹⁴⁾。そこで、咀嚼前の乾燥状態における測定だけでは不十分と考え、破碎したクラムを人工唾液と混合することでモデル食塊を調製し、テクスチャーを測定した。その結果、図7の下段に示すように、モデル食塊の硬さは、無添加パンよりも改良パンで有意に低下した。前述のように、イヌリン添加によってデンプンの糊化は抑制されるため、咀嚼によって碎かれたクラムは唾液と混ざり合っても粘りが出にくい。そのため、改良パンの食塊は流動性を持ち、無添加パンよりもやわらかくなったと推察された。さらに、凝集性と付着性も無添加パンより有意に低く、改良パンの方が食塊形成は容易であると推察された。これらの結果より、改良パンは目的通り高齢者向けにテクスチャーの改変がなされていると判断した。

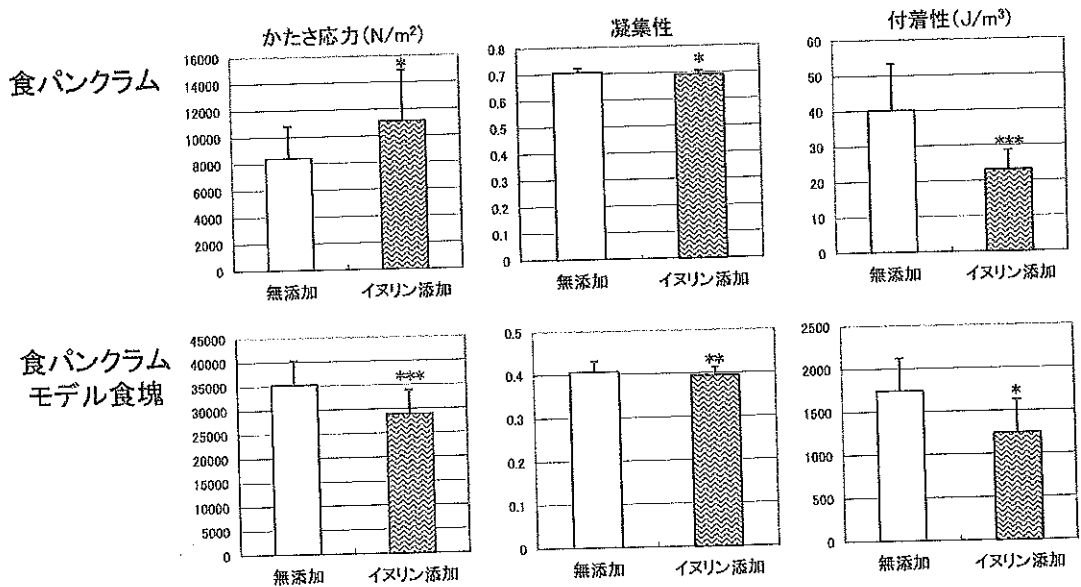


図7 改良法によるイヌリン添加米粉食パンクラムおよびモデル食塊のテクスチャー特性値

5. イヌリン添加米粉パンの生理機能の評価

次に、イヌリン添加による食物繊維の増加が腸内環境に与える影響について、動物実験によって検討した。無添加パンと改良したイヌリン添加パンを凍結乾燥後に粉末化し、7週齢のウイスター系ラット(♂, n=7)に与えて28日間飼育し、その間以下に述べる測定を行った。糞便の性状等について、有意差が認められた項目を図8に示した。糞便湿重量と水分含

有量は、測定期間中イヌリン群が高い値を示した。糞便の個数には、有意差は認められなかった。4週の糞を用いて測定した糞便保水能は、イヌリン群が無添加群よりも高い値となった。消化管通過時間は、イヌリン群が無添加群よりも有意に短く、食物繊維の糞便消化管内通過時間短縮効果¹⁵⁾を示した。

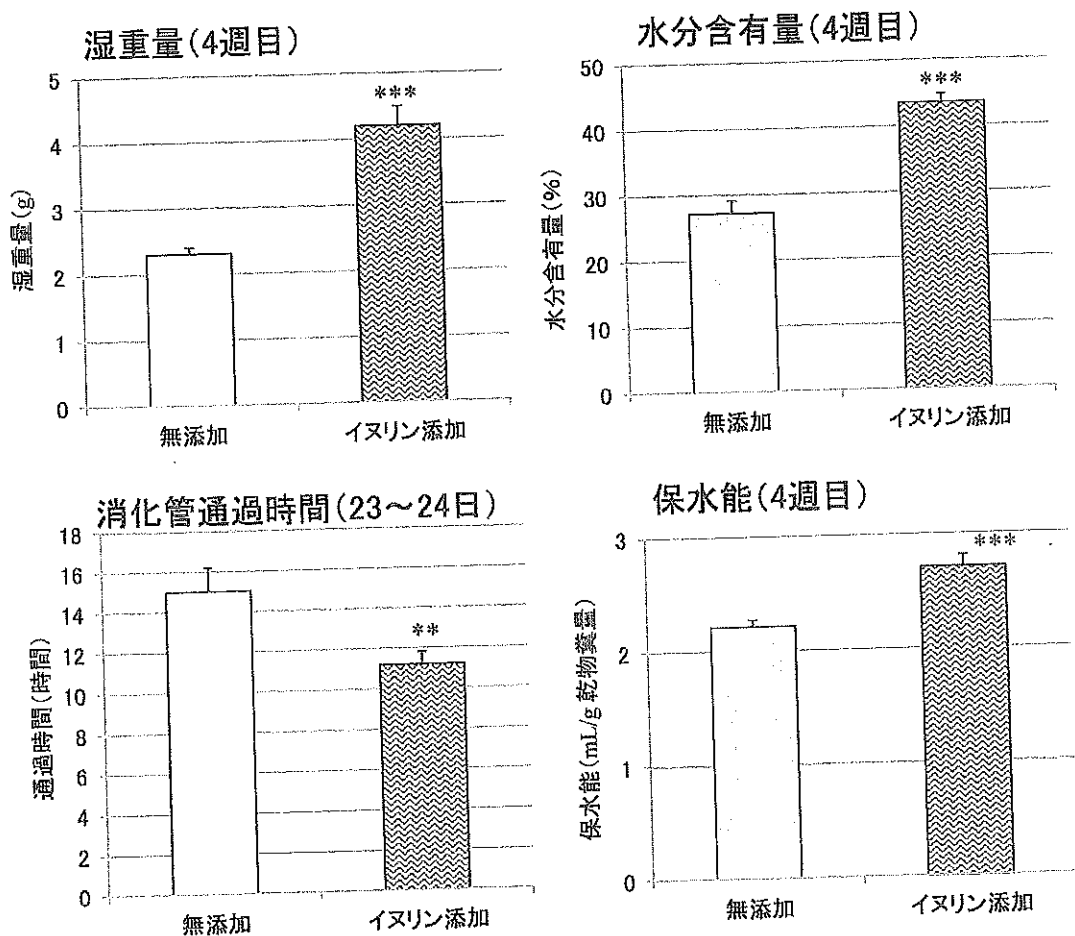


図8 イヌリン添加米粉食パンの摂取がラットの糞便性状に与える影響

表2に示すように、盲腸内容物中の有機酸濃度は、イヌリン群が無添加群よりも高い値を示したが、ばらつきが大きく、有意差は認められなかった。有機酸総量は盲腸内容物量を反映し、各有機酸でイヌリン群が高い値を示し、無添加群との間に有意差が認められた。

以上の結果より、イヌリンを添加した米粉パンを摂取すると、イヌリンの食物繊維としての生理機能が期待でき、腸内環境の改善に役立つ可能性が示唆された。

表2 イヌリン添加米粉食パンの摂取がラット盲腸内容物の有機酸に与える影響(29日目)

		無添加	イヌリン添加
有機酸濃度 ($\mu\text{mol/g}$)	コハク酸	8.8 \pm 5.3	17.0 \pm 4.3
	乳酸	0.1 \pm 0.0	ND
	酢酸	64.5 \pm 12.5	89.5 \pm 11.5
	プロピオン酸	31.4 \pm 8.8	47.1 \pm 9.1
	n-酪酸	12.4 \pm 2.4	17.8 \pm 3.8
	総短鎖脂肪酸	108.3 \pm 23.5	154.4 \pm 23.4
有機酸総量 ($\mu\text{mol}/\text{盲腸内容物}$)	コハク酸	16.2 \pm 9.8	53.4 \pm 13.7*
	乳酸	0.1 \pm 0.1	ND
	酢酸	121.5 \pm 22.6	281.4 \pm 36.7***
	プロピオン酸	58.8 \pm 15.8	146.9 \pm 28.4**
	n-酪酸	23.4 \pm 4.5	56.5 \pm 11.8*
	総短鎖脂肪酸	203.7 \pm 42.5	484.9 \pm 73.5***

6. おわりに

本研究では、パン食を経験してきた高齢者が安全に摂取できるパンの製造を目的として、米粉による製パンを試みた。近年、米粉の粉碎方法が多数開発され、製パンに適した微粉碎米粉が入手できるようになった^{16),17)}。そこで、高齢者の嗜好と、日本の食料自給率の向上をも視野に入れて、グルテンを添加した高齢者用米粉食パンを開発することとした。

米粉パンは、もちもち感が特徴であるが、咀嚼や嚥下のための食塊形成には、もちもち感は必ずしも望ましいテクスチャーではない。そこで、近年上市された酵素合成イヌリンをテクスチャーモディファイヤーに使用して、クラムの物性改変を検討した。その結果、イヌリンを結晶化して油脂と混合し、油脂含有粉末として添加することが、製パン上有効であることが明らかとなった。この製法で調製したパンは、モデル食塊の物性がイヌリン無添加パンよりも良好で、咀嚼・嚥下しやすい状態に改変されていた。さらに、動物実験の結果より、添加したイヌリ

ンは食物繊維としての整腸機能を有することも確認された。

以上のことから、本研究で開発したイヌリン添加米粉食パンは、高齢者用パンとして有用であると結論した。

謝辞

高齢者が咀嚼・嚥下しやすい米粉食パンの開発に関する研究に対して助成を賜りました杉山報公会並びに杉山産業化学研究所に深く感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 長屋政博(2009). 高齢者の摂食・嚥下障害, 臨床看護, **35**, 476-482
- 2) 吉川峰加, 吉田光由, 庄林愛, 長崎信一, 津賀一弘, 赤川安正(2009). 要介護高齢者のための易咀嚼性パンの新開発, 第29回日本咀嚼学会抄録, 91-92
- 3) I.G.Carabin and W.G.Flamm (1999). Evaluation of Safety of Inulin and Oligofructose as Dietary Fiber, *Regulatory Toxicology and Pharmacology*, **30**, 268-282
- 4) 寺部茜, 三嶋智之, 柘植治人, 和田正, 早川享志(2005). 重合度の異なるイヌリンの食物繊維としての効果, 日本食物繊維学会誌, **9**, 93-99
- 5) T. Wada, M. Ohguchi and Y. Iwai (2003). A novel enzyme of bacillus sp. 217C-11 that produces inulin from sucrose, *Biosci. Biotechnol. Biochem.*, **67**, 1327-1334
- 6) T. Wada, J. Sugatani, E. Terada, M. Ohguchi and M. Miwa (2005). Physicochemical characterization and biological effects of inulin enzymatically synthesized from sucrose, *Journal of Agricultural Food Chemistry*. **53**, 1246-1253
- 7) 和田正(2009). スクロースからイヌリンを生産する酵素及びそれを利用したイヌリンの製造と利用, 精糖技術研究会誌, **57**, 33-44
- 8) F.Brighenti, M. C.Casiraghi, E.Canzi and A. Ferrari(1999). Effect of consumption of a ready-to-eat breakfast cereal containing inulin on the intestinal milieu and blood lipids in healthy male volunteers, *European Journal of Clinical Nutrition*, **53**, 726-733.
- 9) 菅谷純子, 定光慧, 黒澤雅俊, 長部誠, 山崎泰広, 五十里彰, 三輪匡男, 和田正(2009).

酵素合成イヌリン添加食飼育動物の脂肪肝抑制作用と薬物の併用効果, 脂質生化学研究, **51**, 323-326

- 10) K.G. Jacksona, G. R. J. Taylora, A. M. Clohessya and C.M. Williamsa (1999). The effect of the daily intake of inulin on fasting lipid, insulin and glucose concentrations in middle-aged men and women, *British Journal of Nutrition*, **82**, 23-30
- 11) 小嶋良種, 吉川豊, 安井裕之, 小倉哲也(2012). ミネラルの吸収を高めるチコリ及びアガベイヌリン含有食品, *Foods & Food Ingredients Journal of Japan*, **217**, 60-66
- 12) 饒波正之(2002). チコリ根由来天然イヌリンとチコリオリゴ糖による免疫機能改善効果, *Food style 21*, **6**, 53-58
- 13) 新井映子, 山村千絵, 江川広子, 城斗志夫, 島田久寛, 山田好秋(2006). クッキーの咀嚼・嚥下特性に与えるグルテン構成たんぱく質組成の影響, 日本摂食・嚥下リハビリテーション学会雑誌, **10**, 142-151,
- 14) 塩澤光一, 神山かおる, 柳沢慧二(2002). 嚥下時の口腔内食塊物性, 日本咀嚼学会雑誌, **11**, 174-175
- 15) 及川桂子(1995). いわゆる食物繊維飲料がラットの糞量と消化管通過時間ならびにヒトの便通に及ぼす影響, 岩手大学教育学部研究年報, **55**, 111-118
- 16) 與座宏一, 岡部繭子, 島純(2008). 米粉利用の現状と課題 : 米粉パンについて, 日本食品科学工学会誌, **55**, 444-454
- 17) 新井映子(2011). 米の消費拡大に向けた米・米粉の新たな加工技術の動向, 日本食生活学会誌, **22**, 207-212

参考WEB

- ・厚生労働省, 平成22年度国民健康・栄養調査結果,
<http://www.mhlw.go.jp/bunya/kenkou/eiyuu/h22-houkoku.html>