

学 位 論 文 題 名

The Development and Application of
High Amylose Maize Starches for Food,
Nutritional Benefit and Public Health

（高アミロースメイズスターチの食品，栄養及び健康を
目指した開発と応用）

学位論文内容の要旨

従来、摂取したスターチは、ほぼ100%が小腸で消化吸収されると考えられていたが、最近の研究結果から、摂取したスターチの一部は消化抵抗性を示し、未消化のまま大腸に流入することが明らかになった。このような消化抵抗性を示すスターチ（レジスタントスターチ）は食物繊維と同様の栄養生理作用を発現すると考えられる。

高アミロースメイズスターチ（HAMS）は天然のスターチのなかで唯一、高いゲル化温度（ $>150^{\circ}\text{C}$ ）を示し、通常の調理後も高い消化抵抗性を示すことが知られているが、このようなHAMSの性質は、食品中のレジスタントスターチ含量、すなわち食物繊維含量を増加させることにつながると考えられる。本研究では、HAMSの物理的、化学的特徴について明らかにするとともに、ヒトの健康におけるHAMS摂取の栄養生理的意義およびHAMSの食品への応用について検討した。

1. メイズ（トウモロコシ）の育種とスターチの構造解析

高アミロースメイズ種は通常のメイズに比べ高いアミロース含量を示すが、高アミロースメイズ種から抽出されたスターチ粒は、微細構造、分子構造また物理的及び化学的構造において通常のメイズスターチ粒とは異なる幅広い特徴を有していることが明らかになった。高アミロースメイズ種のスターチ粒の特徴には、不均一な粒形、アミラーゼに対する強い抵抗性（高食物繊維含量を示す）、調理後の高ゲル強度、さらにスターチ分子の平均分子量が低いこと等が認められた。また、プロスキー法によって定量したスターチ中の総食物繊維含量は、アミロース含量に比例して増大することが明らかになった。アミロース含量80%のHAMSは重量比で25%の食物繊維含量を示した。

2. 高アミロースメイズスターチの栄養生理的重要性

ヒト、動物を問わず、HAMS は通常のスターチに比べ食後の急激な血糖上昇およびインスリン分泌を抑制した。また、ヒトおよびブタを用いた実験から、摂取した HAMS の大半は小腸での消化・吸収を逃れ、大腸に達することが明らかになった。すなわち、回腸造瘻術を施した被験者に通常のメイズスターチまたは HAMS をスターチ源とする食事（スターチとして 50 g）を摂取させ、糞便（ileal effluent）を回収しスターチ排泄量を測定したところ、通常のスターチでは 2.4 g であったが、HAMS では 19.9 g に達した。この結果は、回腸造瘻術を施したブタを用いた試験においても同様に認められた。

さらに、ヒトおよびブタの実験結果から、大腸に達した HAMS は腸内細菌によって活発に利用され、発酵産物として主に酢酸、プロピオン酸および酪酸からなる短鎖脂肪酸の産生を促進することが明らかになった。すなわち、39 g/日の HAMS を 3 週間連続してヒトに摂取させた時、糞中の酢酸および酪酸排泄量は、通常のスターチを摂取した時に比べ、それぞれ 39 % および 100 % の増加を示した。In vitro の試験結果から、酪酸には大腸腫瘍細胞の増殖を抑制する作用があることが報告されている。また HAMS 摂取時の糞便 pH および細胞傷害性の強い二次胆汁酸濃度は有意に低下した。これらの結果は、スターチ摂取量が、大腸および直腸癌の発症率に対し、強い負の相関を示すことを報告した最近の疫学調査結果を裏付けるものと考えられる。

3. 高アミロースメイズスターチのプレバイオティクスとしての利用

天然の HAMS または種々の化学修飾した HAMS は、いずれも試験管内において *bifidobacteria* の増殖を刺激することが明らかになった。また *Bifidobacterium longum* の生菌製剤をスターチとともにブタに摂取させた実験では、HAMS を摂取した群の糞中 *Bifidobacteria* の菌数は、通常のスターチを摂取した群に比べ有意に高い値を示した ($\log_{10} 11.73$ vs. $\log_{10} 10.76$)。

4. 高アミロースメイズスターチの食品への応用

食パン、朝食用シリアルやパスタ等の主食への HAMS の添加を試みた結果、食品中の食物繊維含量は、食パンでは 90 %、朝食用シリアルでは 300 %、パスタでは 200 % まで増加させることが可能であった。HAMS の添加は特に食感を損なうことなく達成された。

本研究では HAMS の化学的および物理的特徴を明らかにするとともに、生体内において HAMS が食物繊維様の栄養生理作用を発現することを明らかにした。さらに、HAMS の食品への応用に取り組み、各種の高食物繊維含有食品を完成させた。これ

らの食品は消費者に十分受け入れられており、現在、豪州における公衆栄養の改善に広く貢献している。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 青 山 頼 孝
副 査 教 授 本 間 守
副 査 教 授 富 田 房 男
副 査 教 授 葛 西 隆 則

学 位 論 文 題 名

The Development and Application of High Amylose Maize Starches for Food, Nutritional Benefit and Public Health

(高アミロースメイズスターチの食品、栄養及び健康を
目指した開発と応用)

本論文は、英文74頁、図15、表31、引用文献105、6章からなり、他に参考論文13編が付されている。

従来、摂取したスターチは、ほぼ100%が小腸で消化吸収されと考えられていたが、最近の研究結果から、摂取したスターチの一部は消化抵抗性を示し、未消化のまま大腸に流入することが明らかになった。このような消化抵抗性を示すスターチ（レジスタントスターチ）は食物繊維と同様の栄養生理作用を発現すると考えられる。

高アミロースメイズスターチ（HAMS）は天然のスターチのなかで唯一、高いゲル化温度（ $>150^{\circ}\text{C}$ ）を示し、通常の調理後も高い消化抵抗性を示すことが知られているが、このようなHAMSの性質は、食品中のレジスタントスターチ含量、すなわち食物繊維含量を増加させることにつながると考えられる。本研究では、ヒトの健康におけるHAMS摂取の栄養生理的意義およびHAMSの食品への応用について検討した。

1.メイズ（トウモロコシ）の育種とスターチの構造解析

高アミロースメイズ種は通常のメイズに比べ高いアミロース含量を示すが、高アミロースメイズ種から抽出されたスターチ粒は、微細構造、分子構造また物理的及

び化学的構造において通常のメイズスターチ粒とは異なる幅広い特徴を有していることが明らかになった。高アミロースメイズ種のスターチ粒の特徴には、不均一な粒形、アミラーゼに対する強い抵抗性（高食物繊維含量を示す）、調理後の高ゲル強度、さらにスターチ分子の平均分子量が低いこと等が認められた。またスターチ中の食物繊維含量は、アミロース含量に比例していることが明らかになった。アミロース含量 80 % の HAMS は重量比で 25 % の食物繊維に相当した。

2. 高アミロースメイズスターチの栄養生理的重要性

ヒト、動物を問わず、HAMS は通常のスターチに比べ食後の急激な血糖上昇およびインスリン分泌を抑制した。また、ヒトおよびブタを用いた実験から、摂取した HAMS の大半は小腸での消化・吸収を逃れ、大腸に達することが明らかになった。すなわち、回腸造瘻術を施した被験者に通常のメイズスターチまたは HAMS をスターチ源とする食事（スターチとして 50 g）を摂取させ、糞便（ileal effluent）を回収しスターチ排泄量を測定したところ、通常のスターチでは 2.4 g であったが、HAMS では 19.9 g に達した。

さらに、ヒトおよびブタの実験結果から、大腸に達した HAMS は腸内細菌によって利用され、発酵産物として主に酢酸、プロピオン酸および酪酸などの短鎖脂肪酸の産生を促進することが明らかになった。すなわち、39 g/日の HAMS を3週間連続してヒトに摂取させた時、糞中の酢酸および酪酸排泄量は、通常のスターチを摂取した時に比べ、それぞれ 39 % および 100 % の増加を示した。また HAMS 摂取時の糞便 pH および二次胆汁酸濃度は有意に低下した。

3. 高アミロースメイズスターチのプレバイオティクスとしての利用

天然の HAMS または種々の化学修飾した HAMS は、いずれも試験管内において *bifidobacteria* の増殖を刺激することが明らかになった。また *Bifidobacterium longum* の生菌製剤をスターチとともにブタに摂取させた実験では、HAMS を摂取した群の糞中 *Bifidobacteria* の菌数は、通常のスターチを摂取した群に比べ有意に高い値を示した ($\log_{10} 11.73$ vs. $\log_{10} 10.76$)。

4. 高アミロースメイズスターチの食品への応用

食パン、朝食用シリアルやパスタ等の主食への HAMS の添加を試みた結果、食品中の食物繊維含量は、食パンでは 90 %、朝食用シリアルでは 300 %、パスタでは 200 % まで増加させることが可能であった。HAMS の添加は特に食感を損なうことなく達成された。

本研究では HAMS の化学的および物理的特徴を明らかにするとともに、生体内において HAMS が食物繊維様の栄養生理作用を発現することを明らかにした。さらに、HAMS の食品への応用に取り組み、各種の高食物繊維含有食品を完成させた。これ

らの食品は消費者に十分受け入れられており、現在、豪州における公衆栄養の改善に広く貢献している。

よって審査員一同は、イアン・ルイス・ブラウンが博士（農学）の学位を受けるに十分な資格を有するものと認めた。