

ヤマイモ粘質物の性状と構造の解析

誌名	日本食品保蔵科学会誌
ISSN	13441213
著者	津久井, 学
巻/号	29巻4号
掲載ページ	p. 229-236
発行年月	2003年7月

農林水産省 農林水産技術会議事務局筑波産学連携支援センター
Tsukuba Business-Academia Cooperation Support Center, Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council
Secretariat



ヤマイモ粘質物の性状と構造の解析

平成14年度日本食品保蔵科学会賞奨励賞

津久井 学*¹

Analysis of Properties and Chemical Structure of Mucilage from Yam (*Dioscorea opposita* THUNB.)

TSUKUI Manabu*¹

* 1 Department of Health and Nutrition, College of Human and Environmental Studies, Kanto Gakuin University
1-50-1, Mutsuurahigashi, Kanazawa-ku, Yokohama 236-8503

ヤマイモは磨砕すると特有の粘性を示すことから、他のイモ類と異なり、その粘性を活かして生鮮品をすりおろし、磨砕物として消費される他、和菓子、麺類および水産練り製品などに特有の風味と物性を付与することを目的とした品質改良材として、これらの原料に配合して使用される。特に近年では、このような加工品への用途以外に、外食産業での需要が増大しており、年間を通じての安定供給や使用時の簡便性などが要求され、このため、「冷凍品」や「乾燥粉末」などが少量ではあるが、市販されている。しかし、生鮮品から調製した磨砕物に比べ、粘度が変化するなど十分満足できる製品はできていない。さらに、品質の良い磨砕物加工品ができれば、生鮮品として商品価値のなかった規格外品も有効に利用でき、生産者に対する経済的効果も極めて大きいと考えられる。

日本で栽培されているヤマイモには塊形種のツクネイモ、扁平種のイチヨウイモ、長形種のナガイモがあり、それぞれ粘性挙動には差違がみられ、このうちナガイモは最も生産量が多いが、他の種類に比べ粘度が低く、凍結や乾燥による粘度変化が大きく、この点も問題になっている。

ヤマイモを磨砕した際の特有の粘性は、ヤマイモ中の粘質物が磨砕によって細胞外へ溶出し、水和することによって発現されると言われているが、その粘質物の構造や性状は十分に解明されていない。ヤマイモの粘質物については、佐藤ら^{1)~3)}が多糖とタンパク質からなると提唱し、イチヨウイモよりドデシル硫酸ナトリウム(SDS)溶液による抽出とエタノールによる沈殿処理などの操作によって粘質物を分離・精製し、さらに粘質物中の多糖を単離し、多糖がマンナンであること、また三崎ら⁴⁾はツクネイモから同様の方法にて多糖を単離し、その多糖は重合度約110の β 1→4直鎖からなるマンナ

ンであると報告している。しかし、このような方法で単離された粘質物は不溶性であり、このため構造解析が進まず、粘質物の粘性と化学構造の関係については明らかにされていない。

そこで、本研究ではヤマイモ粘質物の構造と粘性との相関を解明するため、粘性挙動の異なるツクネイモ、イチヨウイモおよびナガイモを試料とし、粘質物の性状を解析し、ヤマイモの種類によって粘質量と粘性挙動が異なること、粘質物中のタンパク質が糖タンパク質であることをはじめ明らかにした⁵⁾。さらに、多糖および糖タンパク質の化学構造を詳細に検討し、それらの粘性発現にかかわる要因を解析するとともに、化学構造の種類間差違を解明することができた^{6)~8)}。また、得られた粘質物に関する知見を基に、磨砕物の凍結および凍結乾燥による粘度変化の機序について検討を行い、その凍結および乾燥品を製造する上で、重要な知見を得ることができた⁹⁾。

本研究の概要を以下に述べるとともに、他の植物性粘質物の研究についても若干記した。

1. ヤマイモおよび粘質物の 成分組成および粘性

各種ヤマイモの成分組成を比較したところ、水分量はナガイモが約87%と最も多く、次いでイチヨウイモ約72%、ツクネイモ約68%であった。無水物ベースではタンパク質は13%前後とほぼ同様であり、ナガイモはデンプンが約73%とツクネイモ、イチヨウイモに比べ5~7%低かったが、可溶性糖量は5.3%で他に比べ約3倍の値を示すなどの相違がみられた。

各ヤマイモより磨砕物を調製し、レオロジーメーター(A&D社製:CJR-120, 20℃)にて粘性および流動挙動を比較し、その結果を図1に示した。図1(a)に示

* 1 関東学院大学人間環境学部健康栄養学科 (〒236-8503 神奈川県横浜市金沢区六浦東1-50-1)
E-mail: tsukui@kanto-gakuin.ac.jp

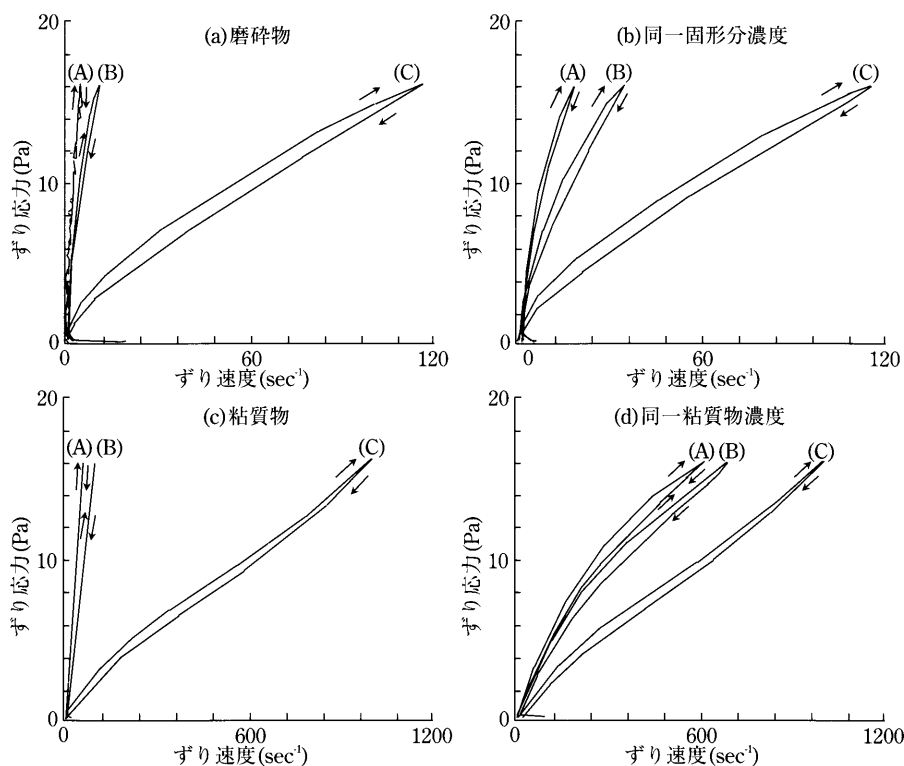


図1 ヤマイモ磨砕物および粘質物の流動挙動

(A)：ツクネイモ (B)：イチョウイモ (C)：ナガイモ

したように粘度はツクネイモ、イチョウイモ、ナガイモの順で大きく、ナガイモはツクネイモ、イチョウイモと流動挙動が大きく異なった。すなわち、ナガイモは擬塑性流動およびチキソトロピックな挙動を示したが、粘度が大きいツクネイモおよびイチョウイモは本実験における測定条件下において、ずり速度とずり応力の関係はほぼ比例的であった。次に、図1 (a) に示したように固形分量をナガイモと同様にしたところ、ツクネイモおよびイチョウイモはナガイモと同じ擬塑性流動ならびにチキソトロピー性を示し、流動挙動は変化した。同一固形分濃度においても3種類の粘度は大きく相違した。

粘質物量は試料100 g 中ツクネイモ約2.5 g、イチョウイモ約2.0 g、ナガイモ約0.6 gで、磨砕物の粘度と粘質物量には相関がみられたが、糖質およびタンパク質の組成比はいずれも約20：80であった。また、それら粘質物の流動挙動は、図1 (c) に示したように各々磨砕物と同様であり、粘質物濃度をナガイモと同様にして流動性を比較したところ (図1 (d))、いずれもチキソトロピー性を有する擬塑性流動を示したが、ナガイモとツクネイモおよびイチョウイモでは挙動に大きな違いがみられた。

以上、得られたヤマイモ粘質物は、磨砕物と各々同様の粘性を示したが、種類によって粘質物の量ならびにその流動挙動は大きく異なるなど、ヤマイモ磨砕物の粘性は、粘質物の濃度とその性状に大きく依存することが明らかになった。

2. 粘質物中の粘性多糖ならびに粘性糖タンパク質の分画とその性状

各ヤマイモ粘質物をゲル濾過(東ソー社製, Toyopearl HW-75)にて分画し、得られたパターンを図2に、各画分の組成値および粘度を表1に示した。いずれも分子量200万以上の多糖画分と分子量50~15万の糖タンパク質画分に分画され、多糖画分は15~5%、糖タンパク質画分は約95~85%を示し、粘度の高い種類ほど糖タンパク質含有率が多く、多糖の構成割合は少なかった。また、糖タンパク質中の糖量はイチョウイモとナガイモが約7%、ツクネイモが約10%を示した。多糖および糖タンパク質を各々150 $\mu\text{g}/\text{ml}$ および2,000 $\mu\text{g}/\text{ml}$ としE型回転粘度計にて粘度を測定したところ、いずれも粘性を示した。これまで、ヤマイモの粘性については佐藤らが、イチョウイモよりドデシル硫酸ナトリウム (SDS) 溶液による可溶化およびエタノール添加処理によって不溶化回収した粘質物について、タンパク質が弱く結合したマンナンであること、磨砕物より水抽出した粘質物溶液は、プロテアーゼ処理後も粘度低下がみられないことから、これが粘性の本体であることを報告^{1)~3)}した。しかし、ネイティブな粘性糖タンパク質は酵素分解を受け難いことが一般に知られており、本結果から、多糖および糖タンパク質がヤマイモ粘質物の粘性本体であることを明らかにした。なお、各々同一濃度においてもナガイモではツクネイモおよびイチョウイモに比べやや低い粘度を示

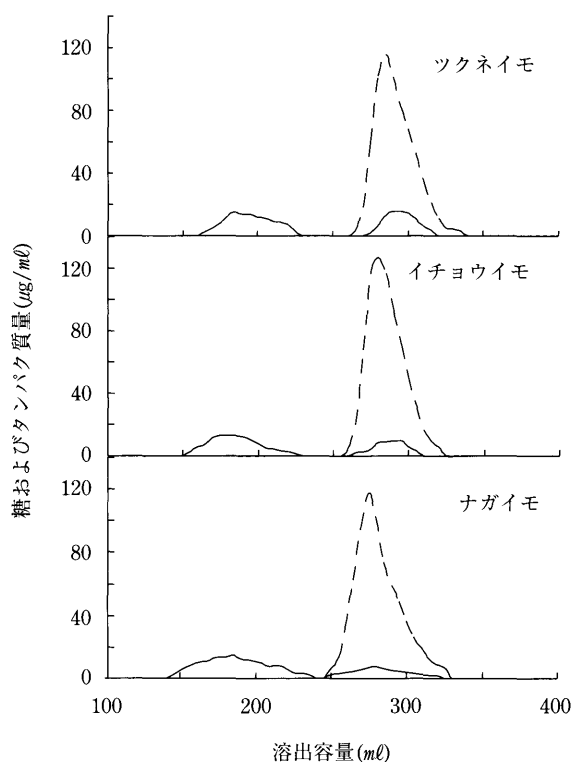


図2 Toyopearl HW-75によるヤマイモ粘質物のゲル濾過パターン

—糖質, ---タンパク質

表1 ゲル濾過で分画されたヤマイモ粘質物を構成する多糖および糖タンパク質画分の組成と粘度

	ツクネイモ	イチョウイモ	ナガイモ
【組成】			
粘質物*	2.47(100.0)	2.06(100.0)	0.58(100.0)
多糖画分*	0.11(4.5)	0.15(7.3)	0.09(15.5)
糖タンパク質画分*	2.36(95.5)	1.91(92.7)	0.49(84.5)
糖質(%)	10.4	7.4	7.5
タンパク質(%)	89.6	92.6	92.5
【粘度】			
多糖画分(mPa·s)*	3.0	3.0	2.4
糖タンパク質画分(mPa·s)**	4.9	4.9	4.7

* : g/Yam 100 g, ※ : 150 μg/ml, ※※ : 2,000 μg/ml

し、ナガイモは他の2種類と多糖および糖タンパク質の性状が異なることが推察された。

3. 粘性多糖の構造解析

いずれの粘性多糖も構成糖はマンノースのみであり、平均重合度は約110(分子量約18,000)と、三崎らのツクネイモについての報告⁴⁾と一致した。また、非還元末端当たりの平均単位鎖長はツクネイモ19, イチョウイモ16, ナガイモ11を示し、構造中に側鎖の存在が示唆された。そこで、多糖をメチル化分析に供したところ、非還元末端の2, 3, 4, 6, -tetra-*O*-methyl-mannitol, 分枝(1→3)を示す2, 6-di-*O*-methyl-mannitol, 直鎖(1→4)を示す2, 3, 6-tri-*O*-methyl-mannitolが検出され、

非還元末端数を1とした各比率はツクネイモ, イチョウイモおよびナガイモで1:1:17, 1:1:14および1:1:9であった。また、赤外線吸収スペクトルはいずれもβ配位であった。上記構造解析の結果、得られた推定構造を図3に示した。ヤマイモの粘性多糖は、いずれも平均分子量約18,000, β1→4直鎖にマンノース1分子のβ1→3側鎖が結合したマンナンであったが、ツクネイモ, イチョウイモおよびナガイモでは1分子中に各々6, 7および10個の側鎖があるなど、種類により構造に相違がみられ、ナガイモの側鎖数は10と他の2種類に比べ多く、親水性が高いなど性状が異なることが推察された。そこで、表面疎水性度を測定したところ、構造解析の結果と一致した。

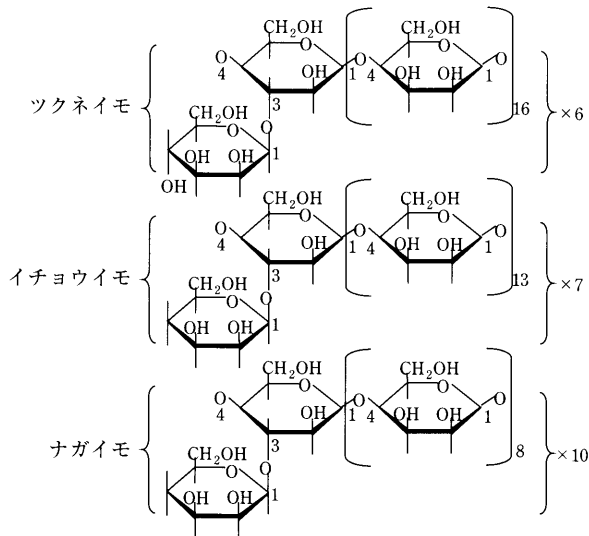


図3 ヤマイモ粘質物を構成するマンナンの推定構造

上記のように、マンナンの分子量は約18,000であったが、ゲル濾過法ではヤマイモの粘性多糖は分子量200万以上の画分に溶出されたことから、これが100分子以上会合して分子量200万以上に高分子量化し、粘性を発現すると考えられた。そこで、粘性多糖にジメチルスルフォキシド (DMSO) を添加し、水素結合などの分子間相互作用を切断した際の分子量変化を図4に、粘度変化を図5に示した。分子量200万以上のピークは消え、分

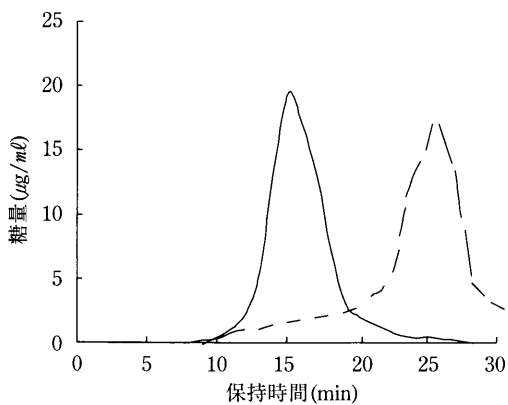


図4 ナガイモマンナンの分子量に及ぼすDMSOの影響

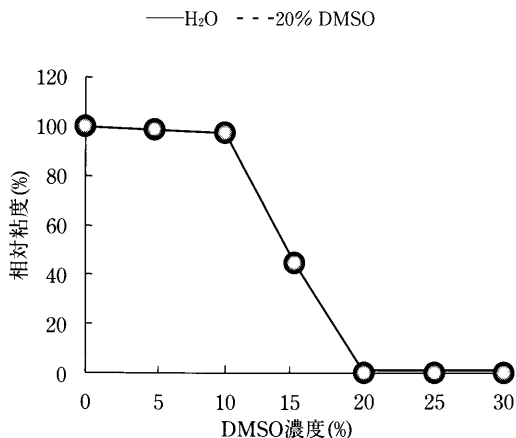


図5 ナガイモマンナンの粘度に及ぼすDMSOの影響

子量18,000に移行し、この際、粘度は完全に消失した。このことから、ヤマイモのマンナンが100分子以上会合し、分子量200万以上に高分子量化して粘性を発現することが明らかになった。

4. 粘性糖タンパク質の構造解析

ゲル濾過にて得られた各粘性糖タンパク質画分の性状について検討した。等電点電気泳動 (IEF) およびNative-PAGEにて、主に pI 5.0の490kDa、280kDaおよび160kDaの糖タンパク質が検出された。また、2-Mercapethanol (2-ME) 非存在下でのSDS-PAGEにて56kDa、32kDaおよび28kDa糖タンパク質が検出されたが、2-ME存在下でのSDS-PAGEでは32kDa単一のバンドを示した。そこで、各バンドについてN末端アミノ酸配列分析を行い、その結果を表2に、SDS-PAGEおよびN末端アミノ酸配列分析より推定されたポリペプチド鎖の推定構造を図6に示した。ヤマイモ粘性糖タンパク質には、主要な32kDa (A) およびマイナーな32kDa (B) の2種類が存在し、非還元下で得られた56kDa糖タンパク質は、2つの32kDa (B) がジスルフィド結合によって連結されたもの、32kDa糖タンパク質は32kDa (A) の単量体、28kDa糖タンパク質は見かけ上の分子量がジスルフィド結合のために小さくなった32kDa (A) の単量体であった。主要な32kDa (A) のペプチドマッピング解析およびアミノ酸組成分析の結果、ヤマイモの種類によって一次構造に若干の違いが認められた。現在、ヤマイモ粘性糖タンパク質のペプチド鎖をコードするcDNAの塩基配列について検討している。

次に、ヒドラジン法にて糖タンパク質より糖鎖を切り出し、HPLCにて分析した結果を図7に示した。いずれも複合型糖鎖、高マンノース型糖鎖およびムチン型糖鎖が検出された。ツクネイモとイチョウイモは糖鎖組成が類似していたが、ナガイモではムチン型糖鎖の比率が高いなどの特徴が認められた。各種レクチンに対する親和性スペクトルを調べたところ、いずれの糖タンパク質もシアル酸を認識するMAMおよびSSAに対しては親和性を示し、シアル酸により親和性が低下するPNAでは親和性を示さなかったことから、糖鎖の末端あるいは側鎖にシアル酸の結合が示唆されたので、糖タンパク質画分1g当たりのシアル酸量を測定した結果、ツクネイモ2.9mg、イチョウイモ2.3mgとほぼ同様の値を示したが、これらに比べ粘度が低いナガイモでは1.4mgとシアル酸量が顕著に少なかった。さらに、糖タンパク質にシアリダーゼを作用させ糖鎖からシアル酸を除去したところ、いずれも粘度が無処理時に比べ約36%と大きく低下し、ヤマイモ糖タンパク質の粘性発現および粘度に対し糖鎖中のシアル酸の存在およびその量が大きく影響することが明らかになった。

この結果から、主に pI 5.0、32kDa (A,B) の糖タンパク質分子がシアル酸によって数～十数分子会合して粘

表2 SDS-PAGE上のヤマイモ粘性糖タンパク質のN末端アミノ酸配列

糖タンパク質			N末端アミノ酸配列																																																	
Dioscorin (<i>D. cayenensis</i> LAM.)*			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
2 ME**(-)	56 kDa	ツクネイモ	M	S	S	T	L	L	H	L	L	L	L	S	S	L	L	F	S	C	L	P	N	A	K	P	Q	Q	A	E	D	F	S	Y	I	E	G	S	P	N	G	P	E	N	W	G	N	L	K	K		
	(L)	イチョウイモ	D	G	D	F	S	Y	I	E	G	S	P	N	G	P	E	N	W	G	N	L																														
	ナガイモ	D	E	D	D	F	S	Y	I	E	G	S	P	N	G	P	E	N	W	G	N																															
32 kDa	ツクネイモ	V	E	D	F	S	Y	I	E	G	N	P	N	G	P	E	N	W	G	N																																
	(S)	イチョウイモ	V	E	D	F	S	Y	I	E	G	N	P	N	G	P	E	N	W	G	N																															
	ナガイモ	V	E	D	F	S	Y	I	E	G	N	P	N	G	P	E	N	W	G	N																																
28 kDa	ツクネイモ	V	E	D	F	S	Y	I	E	G	N	P	N	G	P	E	N	W	G	N																																
	(S)	イチョウイモ	V	E	D	F	S	Y	I	E	G	N	P	N	G	P	E	N	W	G	N																															
	ナガイモ	V	E	D	F	S	Y	I	E	G	N	P	N	G	P	E	N	W	G	N																																
2 ME(+)	32 kDa(A)	ツクネイモ	V	E	D	F	S	Y	I	E	G	N	P	N	G	P	E	N	W	G	N																															
	イチョウイモ	V	E	D	F	S	Y	I	E	G	N	P	N	G	P	E	N	W	G	N																																
	ナガイモ	V	E	D	F	S	Y	I	E	G	N	P	N	G	P	E	N	W	G	N																																
32 kDa(B-1)	ツクネイモ	D	G	D	F	S	Y	I	E	G	-	P																																								
32 kDa(B-1)	イチョウイモ	D	G	D	F	S	Y	I	E	G	S	P																																								
32 kDa(B-2)	ナガイモ	D	E	D	D																																															

※ : CONLAN, R.S.ら¹⁰⁾

※※ : 2-メルカプトエタノール

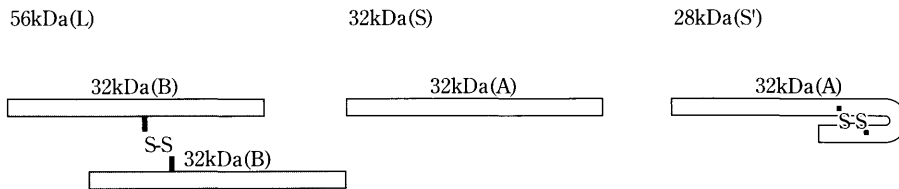


図6 2-ME非存在下におけるSDS-PAGE上の56, 32, 28kDa糖タンパク質ポリペプチド鎖の推定構造

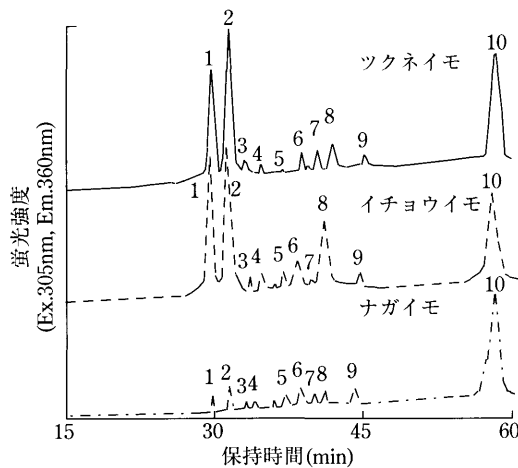


図7 ヤマイモ粘性糖タンパク質糖鎖のクロマトグラム

アスパラギン結合型 { 複合型 : ピーク1~5
 高マンノース型 : ピーク6~9
 セリン・トレオニン結合型 : ピーク10

性を発現していることが示唆された。

シアル酸含有糖タンパク質については、動物および微生物由来など自然界に広く分布しているものの、植物界では見出されていなかった^{11),12)}が、ヤマイモ粘質物中には含まれることを初めて明らかにした。近年ではウナギやヒラメの体表面粘質物がシアル酸含有糖タンパク質であり、同粘質物を用いて、懸濁物除去等の環境保護を目的とした産業にも利用されている¹³⁾。今後、植物由来のシアル酸含有糖タンパク質の研究が進展することによって、食品や医薬品のみならず、工業や環境など各種産業に大きく貢献できるものと期待される。

5. 凍結および凍結乾燥による磨砕物の 粘度変化の要因について

磨砕物は凍結や乾燥によって粘度が変化するため、その防止法の開発が望まれているが、粘質物の性状が未解明であったことから十分な検討は行われていない。

そこで、ツクネイモ、イチョウイモに比べ粘度が低く、凍結および乾燥処理によって粘度変化が大きいナガイモ

を用いて検討を行い、その結果を図8に示した。粘質物を凍結および凍結乾燥したところ、粘度や多糖および糖タンパク質の溶解性は変化しなかった。一方、磨砕物では凍結によって粘度は約10%増加し、凍結乾燥では約10%低下した。各磨砕物を遠心分離(18,000×G, 30分)にて粘質物溶液とデンプンおよび細胞壁などの不溶性成分に分画し、得られた粘質物溶液の粘度を測定した結果、それらの粘度は磨砕物と同様の挙動を示した。そこで、不溶性成分の水分量の変化を測定し、その結果を図9に示した。不溶性成分の水分は未処理62.1%であったが、凍結で68.5%、凍結乾燥で59.3%を示し、凍結および凍結乾燥によって粘質物と不溶性成分への水分の分配が変化することが明らかになった。

以上、ヤマイモ中の粘質物は凍結および凍結乾燥によって粘度や性状は変化し難く、磨砕物の凍結および凍結乾燥による粘度変化はそれらの処理により不溶性成分の保水性が変化し、粘質物に分配される水分量が影響を受けることによって惹起されることを明らかにした。

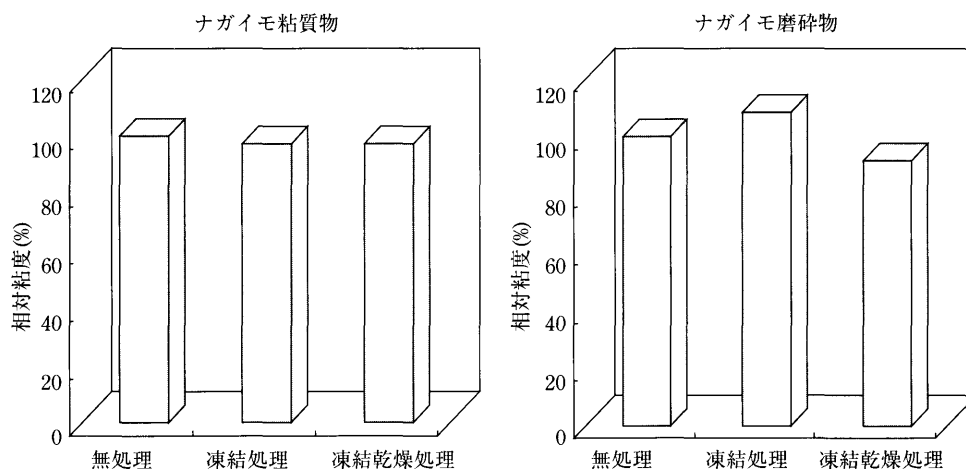


図8 ナガイモ磨砕物と粘質物の粘性に及ぼす凍結および凍結乾燥処理の影響

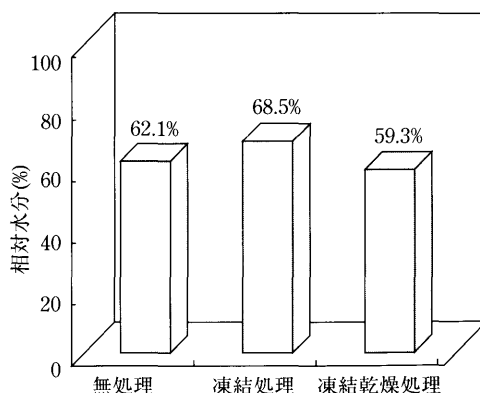


図9 ナガイモ不溶性成分の保水性に及ぼす凍結および凍結乾燥処理の影響

終わりに

植物性粘質物 (Plant mucilages) は、各種組織に細胞間物質や細胞壁構成成分として存在する他、水分の保持ならびに外的異常に対する生体防御機構としての役割を持つと考えられている。ヤマイモをはじめ、オクラ、モロヘイヤ、納豆、ナメコ、ジュンサイ、海藻類などの植物性粘性食品は、今日、日本人の嗜好性に合い広く食されている。近年では、食品や化粧品等に品質改良材として利用されている他、工業廃水の浄化など工業的にも利用されており、さらに、生体調節機能を有することが経験的に知られることから、医薬品など多方面に利用されている。

植物粘質物の構造研究は多数あり、上述のヤマイモをはじめ、TOMODA¹⁴⁾は、オクラより水抽出、CTAB処理を経て得られた粘質物について、ラムノース、ガラクトースおよびガラクトロン酸から成る分子量約170万の多糖が主体であること、モロヘイヤではOHTANI¹⁵⁾がCTAB処理後、トリクロロメタン、メタノール混液によって不溶化回収した粘質物について、ラムノース、ガラクトース、グルコースおよびガラクトロン酸から成る分子量約50万の多糖が主体であること、ジュンサイではKAKUTA¹⁶⁾が、ガラクトース、マンノース、フコース、ラムノース、アラビノース、キシロースおよびグルクロン酸から成る多糖であること、また、友田らは各種高等植物の粘質物の構造について報告¹⁷⁾している。これらは、いずれもSDSやCTABなどの界面活性剤添加による可溶化処理ならびにアルコールの添加によって不溶化回収した粘質物について構造解析を行い、粘質物の主体はいずれも多糖としている。しかし、最近著者らはヤマイモと同様の方法にて、オクラおよびモロヘイヤより粘質物を分離し、その性状について検討した結果、分子量の異なる多糖の他、構成成分にこれまで報告のない糖タンパク質が存在することを確認し、同成分が加工処理の際粘度低下の要因となることを明らかにした。粘質物の機能性研究については、粘質物の構造など性状に不明な点が多いことから、生理活性についても未解明な点が多い。今後、さらに、詳細に粘性と構造との関係を明らかにしていくとともに、現在、これら植物性粘質物の生体調節機能やアレルギー等の生理活性についても検討している。

謝 辞 本研究は、東京農業大学大学院生物産業学研究科在籍中に行ったものであり、研究指導を賜りました東京水産大学名誉教授 小嶋秩夫先生に深く感謝申し上げます。また、本研究の遂行にあたり、終始温かくご指導賜りました東京農業大学教授高野克己先生をはじめ、多くの御助言や御協力を頂きました東京農業大学生物産業学部食品科学科ならびに応用生物科学部生物応用化学科の先生方に深謝致します。

文 献

- 1) 佐藤利夫・水口 純・鈴木周一・戸倉正利：イチョウイモ粘質物の精製および性質，日化誌，**88**(2)，106 (1967)
- 2) 佐藤利夫：イチョウイモ粘質物の組成と構造（とくにマンナンの性状），日化誌，**88**(9)，84 (1967)
- 3) 佐藤利夫：イチョウイモ粘質物に対する各種酵素の作用，日化誌，**88**(9)，91 (1967)
- 4) MISAKI, A., ITO, T. and HARADA, T.: Constitutional studies on the mucilage of "Yamanoimo", *Dioscorea batatas* Decene, *forma Tsukune*, *Agri. Biol. Chem.*, **36**(5)，761 (1972)
- 5) 津久井学・永島俊夫・佐藤広顕・小嶋秩夫：ヤマイモ (*Dioscorea opposita* Thumb.) 粘質物中の糖タンパク質の電気泳動的解析，日食保蔵誌，**25**(6)，283 (1999)
- 6) 津久井学・永島俊夫・佐藤広顕・小嶋秩夫・谷村和八郎：ヤマイモ粘質物および多糖画分の性状，日食科工誌，**46**(9)，575 (1999)
- 7) NAGASHIMA, T., TSUKUI, M., SATO, H., TAKANO, K. and KOZIMA, T. T.: The Mechanism of Development of Viscosity in Yam (*Dioscorea opposita* Thumb.), *Food Preser. Sci.*, **27**(3)，141 (2001)
- 8) 津久井学・佐藤広顕・永島俊夫・渡部俊弘・高野克己・小嶋秩夫：ヤマイモ粘性糖タンパク質の性状ならびにポリペプチド鎖の構造，日食科工誌，**48**(8)，578 (2001)
- 9) 永島俊夫・津久井学・佐藤広顕・小嶋秩夫：ヤマイモ (*Dioscorea opposita* Thumb.) の「とろろ」と粘質物の粘性特性ならびに各種処理が粘性に及ぼす影響，日食保蔵誌，**26**(1)，3 (2000)
- 10) CONLAN, R. S., GRIFFITHS, L. A., NAPIER, J. A., SHEWRY, P. R., MANTELL, S. and AINSWORTH, C.: Isolation and characterization of cDNA clones representing the genes encoding the major tuber storage protein (dioscorin) of yam (*Dioscorea cayenensis* Lam.), *Plant Mol. Biol.*, **28**, 369 (1995)
- 11) 今堀和友・山川民夫：生化学事典第2班 (東京化学同人，東京)，p.568 (1990)
- 12) COOK, G. M. and STODDART, R. W.: Structure Calbohydrates of the Eukaryotic Cell (学会出版センター，東京)，p.194 (1989)
- 13) 鈴木祥広・丸山俊朗：魚類の体表面粘質物を利用した泡沫分離法による懸濁物除去に関する基礎的研究，水環境学会誌，**23**(3)，181 (2000)
- 14) TOMODA, M., SHIMADA, K., SAITO, Y. and SUGI, M.: Plant mucilages. X X V I. Isolation and structural features of a mucilage, "Okara-mucilage F," from the immature fruits of *Abelmoschus*

- esculentus.*, *Chem. Pharm. Bull.*, **28** (10), 2933 (1980)
- 15) OHTANI, K., OKAI, K., YAMASHITA, U., YUASA, I. and MISAKI, A.: Characterization of an Acidic Polysaccharide Isolated from the Leaves of *Corchorus olitorius* (Moroheiya), *Biosci. Biotech. Biochem.*, **59**, 378 (1995)
- 16) KAKUTA, M. and MISAKI, A.: The polysaccharide of "Junsai (*Brasenia schreberi* J. F. Gmel" Mucilage; Fragmentation analysis by successive Smith degradations and Partial acid hydrolysis, *Agric. Biol. Chem.*, **43** (6), 1269 (1979)
- 17) 友田正司: 多糖の構造と生理活性 (朝倉書店, 東京), p.97 (1997)
-