

## 大麦若葉の食物繊維に含まれる多糖類

### Polysaccharides in dietary fiber of young barley leaves

加藤陽治\*・吉田 孝\*\*・佐々木 一\*\*・斎藤安弘\*\*\*・斎藤正実\*\*\*・山本邦男\*\*\*\*

Yoji KATO\*, Takashi YOSHIDA\*\*, Hajime SASAKI\*\*, Yasuhiro SAITO\*\*\*, Masami SAITOU\*\*\*  
and Kunio YAMAMOTO\*\*\*\*

#### 要 旨

大麦若葉粉末の食物繊維に含まれる多糖を明らかにするために、大麦若葉粉末から水可溶性食物繊維画分と水不溶性食物繊維画分を調製した。水可溶性食物繊維画分と水不溶性食物繊維画分に含まれる全糖量比は、1:13.7であった。主要食物繊維画分の水不溶性食物繊維画分をシュウ酸アンモニウム、4%水酸化カリウム、24%水酸化カリウムで順次抽出分画し、ペクチン様物質(PS)画分、ヘミセルロースIA(HC-IA)画分、ヘミセルロースIB(HC-IB)画分、ヘミセルロースII(HC-II)画分、セルロース(CL)画分を調製した。PS画分、HC-IA画分、HC-IB画分、HC-II画分およびCL画分の全糖量比は、約6:3:20:11:60であった。それぞれの画分の構成糖分析とメチル化分析の結果から、大麦若葉粉末の水不溶性食物繊維画分を構成する多糖は、約55%がセルロース、約30%がアラビノグルクロノキシラン、約3%がキシログルカン、約5%が側鎖構造を有するラムノガラクトナン、約7%がその他の多糖であると推定された。

キーワード: 大麦若葉、食物繊維、多糖類、アラビノグルクロノキシラン

#### 1. 結 言

種々の天然食品素材が疾病予防効果や生体機能調節作用を有することが知られている。その一つに食物繊維<sup>1)</sup>がある。食物繊維はヒトの消化酵素で消化されない食品中の難消化成分の総体と定義されるが、その大部分が植物性食品のいわゆる植物細胞壁に由来するといっても過言ではない<sup>2)</sup>。いろいろな幼植物を原材料にした機能性食品があり、種々の機能を有することが示唆されている。大麦若葉もその一つであり、大麦若葉青汁粉末(草丈20-30 cmの大麦若葉の搾汁液を噴霧乾燥したもの)が抗酸化活性、抗高コレステロール血症作用、成長ホルモンとプロラクチン分泌促進作用、抗炎症作用、抗潰瘍作用などを有することが知られている<sup>3, 4)</sup>。また、難消化性デキストリン含有大麦若葉青汁粉末飲料の摂取が女性の便秘傾向者の排便回数および排便量を有意に増加させることを明らかにした<sup>5, 6)</sup>。しかし、大麦若葉そのものの乾燥粉末がどのような機能を有するか十分に調べられていない。

そこで、本研究では、まず、大麦若葉粉末の食物繊維画分に含まれる多糖類の種類とその量を明確にすることとした。

#### 2. 実験材料および方法

##### 1) 大麦若葉

大麦播種後約40日目の若葉(茎長:30-40cm)を刈り取り、水洗選別後、約3 cmに刻み、100℃の蒸気で2秒間処理し、これを多段乾燥機にて70℃の熱風で70-80分間乾燥した後、約1 cmに、次いで約5 mmに刻み、120-140℃の高圧加熱乾燥装置で殺菌し、次いで粉碎・篩別した粒径25-63 μmの大麦若葉粉末(山本漢方製薬株式会社の市販品)を実験に供した。

##### 2) 酵 素

α-アミラーゼ標品(Termamyl 120 L, Type L, 以下ターマミル)、耐熱性タンパク質分解酵素製剤(サモアーゼPC10F、*Bacillus thermoproteolyticus*)

\* 弘前大学教育学部家政学科教室

Department of Home Economics, Faculty of Education, Hirosaki University

\*\* 弘前大学農学生命科学部

Faculty of Agriculture and life science, Hirosaki University

\*\*\* (株)総合健康開発研究所

\*\*\*\* 山本漢方製薬(株)

Rokko、以下サモアーゼ）およびグルコアミラーゼ標品（グルクザイムNL4.2、*Aspergillus* sp.、以下グルクザイム）をそれぞれNovo Nordisk、大和化成、天野エンザイムから購入して使用した。

### 3) 大麦若葉の分画

大麦若葉（250g）を80mMの酢酸：酢酸ナトリウム緩衝液（pH 6.0）2500mlに懸濁し、90℃でターマミル2.5ml加え、30分間反応させた。放冷後pHを7.5に調整し、サモアーゼ（12.5g/250ml 80mMの酢酸：酢酸ナトリウム緩衝液、pH6.0）を加え、60℃で30分間反応させた。次に、このpHを4.3に調整し、グルクザイムを125ml加え、60℃で30分間反応させた。反応後、遠心操作（8000rpm、20分）により上清画分と沈殿画分に分けた。

遠心沈殿画分は水で洗浄後、凍結乾燥（収量：171.636g）した。これを、さらにアセトンで懸濁・洗浄し、遠心操作（8000rpm、20分）にて沈殿画分として集め、乾燥させ「水不溶性食物繊維画分」（収量：159.762g）とした。

遠心上清画分（2600ml）に4倍量のメタノールを加えて生じた沈殿を遠心操作（8000rpm、20分）にて沈殿画分として集め、アセトン洗浄後乾燥した。これを「水可溶性食物繊維画分」（収量：26.388g）とした。

### 4) 水可溶性食物繊維画分および水不溶性食物繊維画分の構成糖量

水可溶性食物繊維画分（40.1mg）および水不溶性食物繊維画分（54.6mg）をそれぞれ10ml容栓付き試験管にとり72%硫酸（0.5ml）に懸濁、ソニックスバス中で1時間処理し溶解した。その後、硫酸濃度が1.0Mになるように蒸留水6.25mlで希釈し、100℃で2時間加水分解した。遠心操作（3000 rpm、30分）により不溶物を除去した。遠心上清の一部をとり、フェノール・硫酸法<sup>7)</sup>にて全糖量（グルコース相当量として）、カルバゾール・硫酸法<sup>8)</sup>にて酸性糖量を求めた。

中性糖量：遠心上清の一部をとり炭酸バリウムで中和後、2-デオキシグルコース（陰イオンクロマトグラフィーの内部標準物質）を加え、よく攪拌し濾過した。濾液をAmberlite IR-120（H<sup>+</sup>型）で処理し減圧乾固した。得られた加水分解物中の構成中性単糖はパルスドアンペロメトリー検出（金電極）付きの日本ダイオネックス社のイオンクロマトDX-300による陰イオンクロマトグラフ

ィーで行った。分離カラムはCarboPac PA1を、ガードカラムはCarboPac PA1 GUARDを用いた。分析には分離液として超純水を用いた。溶出は1.0ml/分の流量で行った。

酸性糖量：遠心上清の一部をとりカルバゾール・硫酸法にてガラクトツロン酸相当量として求めた。但し、本法では中性糖も発色するのであらかじめその影響を調べておき、上記中性糖量からその影響を算出、カルバゾール・硫酸法で求めた値から差し引き〔真の酸性糖量＝カルバゾール・硫酸法にて求めた酸性糖量－（ガスクロマトグラフィー法で求めた中性糖量×0.23）〕、それを酸性糖量とした<sup>9)</sup>。

### 5) 水不溶性食物繊維画分の分画

水不溶性食物繊維（19.669g）は常法に従って、0.25%シュウ酸アンモニウム（100℃、2-3時間、3回）、4%および24%水酸化カリウム（それぞれ、室温、20-24時間、2回）で順次抽出分画を行い、ペクチン様物質（PS）、ヘミセルロース-I（HC-I）、ヘミセルロース-II（HC-II）画分を得た。最終抽出残渣をセルロース画分とした<sup>10)</sup>。

### 6) PS、HC-IA、HC-IB、HC-IIおよびCL画分の構成糖分析

PS画分（5mgグルコース相当量）、HC-IB画分（5mgグルコース相当量）およびHC-II画分（5mgグルコース相当量）はそれぞれ、1.0Mトリフルオロ酢酸（2ml）で100℃、3時間加水分解し、分解物を減圧乾固し、2-デオキシグルコース（陰イオンクロマトグラフィーの内部標準物質）を加えた。HC-IA画分（5mgグルコース相当量）およびCL画分（5mgグルコース相当量）はそれぞれ上述4の食物繊維画分の72%硫酸による加水分解方法と同様に行った。これら5画分の中性糖量および酸性糖量の分析は上述4の方法に準じた。

### 7) 糖結合様式の分析

各画分（約5mgグルコース相当量）を箱守法<sup>11)</sup>にてメチル化した。メチル化多糖は酸で加水分解後、水素化ホウ素ナトリウムで還元してアルジトールにし、ピリジンと無水酢酸でアセチル化し、ガスクロマトグラフィーによる分析<sup>12)</sup>を行った。ガスクロマトグラフは日立製のG-500を用い、カラムはJ&W社のヒューズドシリカキャピラリーカラムDB-225（0.32mm×15m）を用い、140℃か

ら200℃まで1分あたり2℃の昇温で分析した。

### 8) 大麦若葉に含まれる単糖・オリゴ糖の抽出と分析

大麦若葉粉末(25g)を80%メタノール(1000ml)で室温にて、12時間攪拌し、遠心操作(8000rpm、20分)にて上清画分を得た。遠心沈殿をアセトンで洗浄し、アセトン洗液とエタノール抽出液と一緒にし、濃縮乾固した。これを蒸留水に溶解し遠心操作(8000rpm、20分)を行い、可溶性画分を単糖・オリゴ糖画分(収量:1012.5mgグルコース相当量)とした。

単糖・オリゴ糖画分の分析はパルスドアンペロメトリー検出(金電極)付きの日本ダイオネックス社のイオンクロマトDX-300による陰イオンクロマトグラフィーで行った。分離カラムはCarboPac PA1を、ガードカラムはCarboPac PA1 GUARDを用いた。分析には溶離液A(100mM水酸化ナトリウム)と溶離液B(500mM酢酸ナトリウム/100mM水酸化ナトリウム)を用い、酢酸ナトリウムの濃度勾配(0-30分、0-150mM)による溶出を1.0ml/分の流量で行った<sup>13)</sup>。

## 3. 結果および考察

大麦若葉粉末の食物繊維含有量は、同一ロット

について日本食品分析センターで実施した分析試験(プロスキー変法による測定)結果によると、可溶性食物繊維、不溶性食物繊維がそれぞれ2.4g/100g、43.4g/100gと測定されている。また、脂質とタンパク質が、それぞれ7.0g/100gと31.8g/100gの割合で含まれることがわかっている。

大麦若葉粉末から図1に示す手順で、水可溶性食物繊維画分と水不溶性食物繊維画分を調製した。収量は図1および表1から前者が大麦若葉粉末重量の10.6%、後者が63.9%であった。それぞれの画分の乾燥重量当たりの糖含有率(グルコース相当量)を調べてみると、水可溶性食物繊維画分で23.3%、水不溶性食物繊維画分で52.7%であった。すなわち、可溶性食物繊維画分、不溶性食物繊維画分として得られた多糖類は、それぞれ、大麦若葉粉末の2.5%、33.7%であり、大部分が不溶性食物繊維として存在していることを示している。しかし、今回われわれが調製した水可溶性食物繊維画分および水不溶性食物繊維画分の両者とも多糖以外のものが含まれていることは明らかである(表1)。おそらく除タンパク操作が不十分だったためタンパク質が残った可能性が考えられる。

水可溶性食物繊維画分と水不溶性食物繊維画分に含まれる多糖類の構成糖組成(表1)を調べる

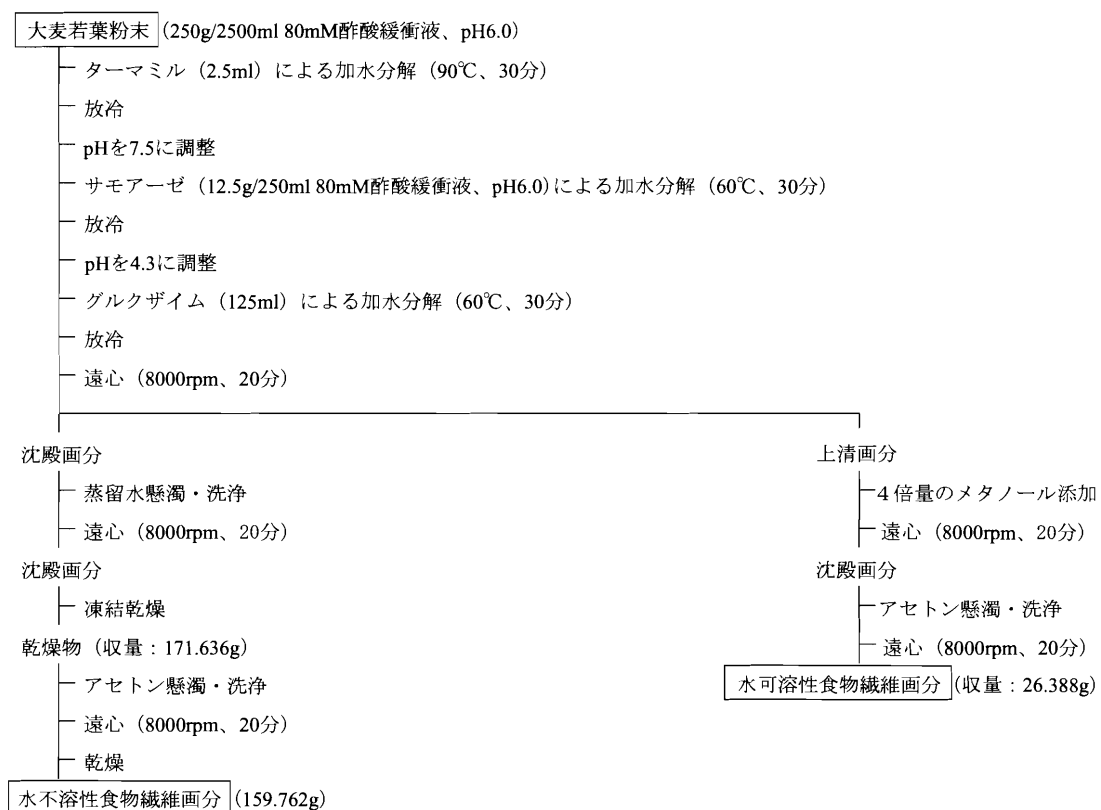


図1 大麦若葉粉末から水可溶性食物繊維画分および水不溶性食物繊維画分の調製

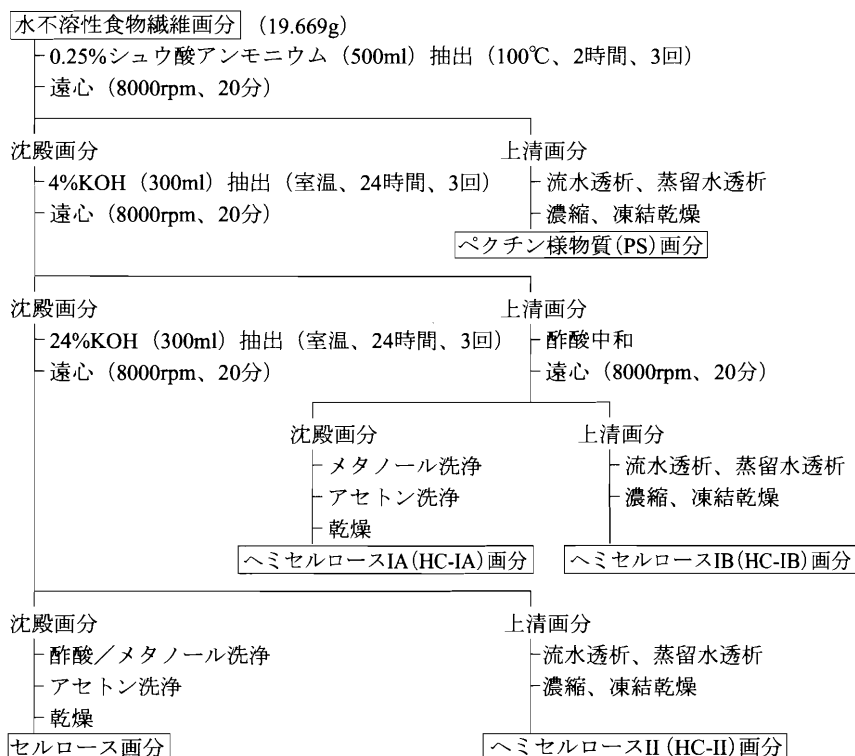


図2 水不溶性食物繊維画分の分画

と、フコース：アラビノース：ラムノース：ガラクトース：グルコース：キシロース：マンノース：ウロン酸は、水可溶性食物繊維画分で0.4：3.4：1.2：4.4：5.1：3.2：38.9：43.4、水不溶性食物繊維画分で痕跡程度：6.2：0.5：5.4：55.6：14.9：0.6：16.7であった。

水不溶性食物繊維画分を構成している多糖の種類は、水不溶性食物繊維画分の構成糖の分析結果（表1）およびメチル化分析の結果（表3）を、これまでの植物細胞壁多糖の構造に関して得られている数多くの知見に照らし合わせながら考えると、ある程度特定することができる。すなわち、①側鎖構造を有するラムノガラクトツロナン[ガラクトツロン酸の存在、および2-結合と2,4-結合ラムノース（2-Rhaと2,4-Rha）の検出]、②側鎖にアラビノース残基を有する $\beta$ -1,4-キシラン[非還元末端アラビノース、4-結合キシロース、3,4-結合キシロース（T-Ara、4-Xylおよび3,4-Xyl）の検出]、③アラバン[非還元末端、5-結合および3,5-結合アラビノース（T-Ara、5-Araおよび3,5-Ara）の検出]、④分岐アラビノガラクトタン[種々の結合様式をもつガラクトースとアラビノースの検出]、⑤キシログルカン[非還元末端キシロース、4-結合グルコース、4,6-結合グルコース（T-Xyl、4-Glc

および4,6-Glc）の検出]、⑥セルロース[顕著な量の4-結合グルコース（4-Glc）の検出]等を有すると考えられる。

次に水不溶性食物繊維画分を常法に従い、シュウ酸アンモニウムによりペクチン様物質を、水酸化カリウムでヘミセルロースを抽出し、その抽出残渣をセルロースとして分画した。水酸化カリウム抽出は4%と24%で行ったが、ヘミセルロースでも、よりセルロースに親和性が強く、強固な水素結合でセルロースに結合しているキシログルカンは24%の水酸化カリウムで抽出されることが知られている。水不溶性食物繊維画分から得られたこれら各画分の構成糖分析の結果（表2）とメチル化分析の結果（表3）から上述の多糖の存在が一層明らかになった。各画分の特徴をまとめるとつぎのようになる。

ペクチン様物質画分（PS：シュウ酸アンモニウム抽出、水可溶性）は約77%がガラクトツロン酸から成り、部分メチル化糖として2-結合ラムノースと2,4-結合ラムノースが検出されたことから、明らかにこの画分はD-ガラクトツロン酸残基が $\alpha$ -(1 $\rightarrow$ 4)結合した直鎖構造のところどころに $\alpha$ -L-ラムノース残基が(1 $\rightarrow$ 2)-結合で挿入された多糖ラムノガラクトツロナンが主要多糖であることを示し

表1 大葉若葉から得られた水可溶性食物繊維画分および水不溶性食物繊維画分の収量と構成糖組成

画 分	収 量	糖含有量(%)	糖 組 成(重量%)									
			乾燥重量* (g)	全糖量** (g)	全糖量／乾燥重量	Fuc	Ara	Rha	Gal	Glc	Xyl	Man
水可溶性 食物纖維	26.388	6.148	23.3	0.4	3.4	1.2	4.4	5.1	3.2	38.9	43.4	
水不溶性 食物纖維	159.762	84.273	52.7	tr.	6.2	0.5	5.4	55.6	14.9	0.6	16.7	
合 計	186.150	90.421										

\*大麦若葉粉末250gから。

\*\*グルコース相当量。

表2 大葉若葉水不溶性食物繊維画分から得られた各画分の収量と構成糖組成

画 分	収 量*		糖 組 成 (重量%)									
	全糖量 (mg)	%	Fuc	Ara	Rha	Gal	Glc	Xyl	Man	U.A.		
P S	773.2	6.2	0.3	4.1	0.5	4.1	4.6	7.7	2.1	76.5		
H C-I A	363.3	2.9	1.4	13.2	0.8	11.1	7.0	23.0	2.0	41.6		
H C-I B	2509.7	20.2	0.2	21.7	1.2	7.1	1.7	57.2	0	10.8		
H C-II	1350.2	10.9	0.1	12.9	1.1	3.7	15.2	59.9	0	7.1		
C L	7434.5	59.8	0	1.2	0	0	88.7	4.6	0	5.4		
合 計	12430.9	100										

\*大麦若葉の水不溶性食物繊維画分19.669gから。

ている。また、非還元末端、5-結合および3, 5-結合アラビノースが検出されたことからアラバンの存在が、種々の結合様式をもつガラクトースとアラビノースが検出されたことから（アラビノ）ガラクトランの存在が示唆され、これらはラムノガラクトツロナンのラムノース残基のO-4位に結合している可能性がある。さらに、非還元末端アラビノース、4-結合キシロース、3, 4-結合キシロースが、約1:2:1で検出されたことから、(1→4)-β-キシランのキシロース残基の約50%がアラビノースで置換されたアラビノキシランの存在が考えられる。構成糖分析の結果でグルコースの存在（約4.6%）が示されたが、メチル化分析で4-結合グルコースとともに3-結合グルコースが認められたことより禾本科植物にその存在が明らかにされているβ-1, 3: β-1, 4-グルカンに由来する可能性がある。しかし、一方で非還元末端、4-結合および4, 6-結合グルコースの存在が認められたことはデンプンの酵素分解不十分によるデキストリン由来の可能性も否定できない。いずれにせよ、その量は極めて少ないと考えられる。

ヘミセルロースIB画分（HC-IB: 4%水酸化カリウム抽出、水可溶性）はアラビノースとキシロースが主要構成糖であり、両者でこの画分の約80%

を占める。また、約10%のウロン酸も含まれる。メチル化分析の結果は、HC-IB画分に非還元末端アラビノース、4-結合キシロースおよび2, 3-結合キシロースの存在を示している。これらのことから、ヘミセルロースIB画分の約90%はアラビノグルクロノキシランの可能性が高い。また、2-結合および2, 4-結合のラムノースの存在が確認されたことから、約10%のウロン酸の一部はガラクトツロン酸であり、ラムノガラクトツロナンの存在が示唆される。すなわち、シュウ酸アンモニウムで十分抽出しきれなかったラムノガラクトツロナンが、4%水酸化カリウムで抽出されたのであると考えられる。その量はHC-IBの多くても約10%程度であると考えられる。

ヘミセルロースIA画分（HC-IA: 4%水酸化カリウム抽出、水不溶性）は構成糖とメチル化分析の結果から、その大部分はPS画分構成多糖類とHC-IB画分構成多糖類の両者を含むと考えられるが、その量はわずかである。

ヘミセルロースII画分（HC-II: 24%水酸化カリウム抽出、水可溶性）はヘミセルロースIBと同様にアラビノース、キシロースおよびウロン酸を主要構成糖（合計で約80%）としている。メチル化分析の結果と併せて考えると、HC-IBと同様にア

表3 大麦若葉の水可溶性および水不溶性食物繊維画分、並びに水不溶性食物繊維画分から得られたペクチン様物質 (PS)、ヘミセルロース-IA (HC-IA)、ヘミセルロース-IB (HC-IB)、ヘミセルロースII (HC-II) およびセルロース (CL) の各画分のメチル化分析

ピーク 番号	部分メチ ル化糖	糖結合 様 式*	量 (% 全ピーク面積)						
			WS-DF***	WIS-DF***	PS	HC-IA	HC-IB	HC-II	CL
1	2,3,5-Me <sub>3</sub> -Ara**	T-Ara	0.0	3.1	13.8	0.0	11.3	6.5	0.2
2	2,3,4-Me <sub>3</sub> -Xyl	T-Xyl	0.0	0.4	0.8	0.0	0.0	1.6	0.0
3	2,3,4-Me <sub>3</sub> -Fuc	T-Fuc	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
4	3,5-Me <sub>2</sub> -Ara	2-Ara	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
5	未同定		0.0	0.1	0.3	0.0	0.4	0.3	0.0
6	未同定		0.0	0.0	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0
7	3,4-Me <sub>2</sub> -Rha	2-Rha	0.0	0.1	3.4	0.0	4.1	1.9	0.1
8	2,5-Me <sub>2</sub> -Ara	3-Ara	0.0	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
9	未同定		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
10	2,3,4,6-Me <sub>4</sub> -Glc and/or 2,3,4,6-Me <sub>4</sub> -Man	T-Glc and/or T-Man	23.9	0.9	8.5	8.0	0.0	0.0	0.5
11	2,4-Me <sub>2</sub> -Xyl	3-Xyl	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
12	2,3-Me <sub>2</sub> -Ara	5-Ara	0.0	1.0	5.1	0.0	2.2	1.3	0.0
13	未同定		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
14	2,3-Me <sub>2</sub> -Xyl, 3,4-Me <sub>2</sub> -Xy and/or 2,3,4,6-Me <sub>4</sub> -Gal	4-Xyl, 2-Xyl and/or T-Gal	4.4	8.2	24.5	9.9	42.3	37.6	2.2
15	未同定		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
16	未同定		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
17	2-Me <sub>1</sub> -Rha	3,4-Rha	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
18	3-Me <sub>1</sub> -Rha	2,4-Rha	44.0	0.9	2.6	15.2	2.3	1.0	0.2
19	2-Me <sub>1</sub> -Ara and/or 2,4,6-Me <sub>3</sub> -Glc	3,5-Ara and/or 3-Glc	0.0	1.2	3.1	7.6	1.3	1.3	0.2
20	3-Me <sub>1</sub> -Ara	2,5-Ara	1.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
21	2,4,6-Me <sub>3</sub> -Gal and/or 2,3,6-Me <sub>3</sub> -Man	3-Gal and/or 4-Man	0.0	0.8	3.1	6.4	1.1	0.5	0.9
22	2-Me <sub>1</sub> -Xyl and/or 4-Me <sub>1</sub> -Xyl	3,4-Xyl and/or 2,3-Xyl	4.2	1.4	15.6	7.3	21.4	9.5	0.5
23	2,3,6-Me <sub>3</sub> -Gal, 3,4,6-Me <sub>3</sub> -Gal and/or 2,3,4,6-Me <sub>4</sub> -Glc	4-Gal, 2-Gal and/or 6-Glc	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
24	2,3,6-Me <sub>3</sub> -Glc	4-Glc	5.3	66.0	5.7	35.4	8.1	24.5	85.6
25	Ara	2,3,5-Ara	0.0	0.6	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0
26	2,3,4-Me <sub>3</sub> -Gal	6-Gal	0.0	0.0	2.8	1.7	1.4	0.6	0.1
27	2,6-Me <sub>2</sub> -Gal	3,4-Gal	3.8	0.6	1.1	0.0	0.5	0.2	0.0
28	未同定		0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.3	0.0
29	未同定		0.0	2.8	0.0	0.0	0.0	0.0	2.2
30	3,6-Me <sub>2</sub> -Gal	2,4-Gal	0.0	2.3	1.7	0.0	0.9	0.9	1.6
31	未同定		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
32	未同定		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
33	2,3-Me <sub>2</sub> -Glc	4,6-Glc	12.9	6.1	2.0	2.3	1.5	11.6	3.6
34	未同定		0.0	0.0	1.3	5.0	0.0	0.0	0.0
35	2,4-Me <sub>2</sub> -Gal	3,6-Gal	0.0	2.6	2.0	1.3	1.3	0.3	1.8
36	未同定		0.0	0.0	0.7	0.0	0.0	0.0	0.0
37	未同定		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
38	未同定		0.0	0.5	1.1	0.0	0.0	0.3	0.4
39	未同定		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

\*T-Ara: 非還元末端アラビノース、2-Ara: 2-結合アラビノース、等。

\*\*2,3,5-Me<sub>3</sub>-Ara: 2,3,5-トリ-0-メチル-1,4-ジ-0-アセチル-アラビニトール、等。

\*\*\*WS-DF: 水可溶性食物繊維画分。WIS-DF: 水不溶性食物繊維画分。

ラビノグルクロノキシランが含まれることは明らかである。このHC-II画分はグルコースを約15%含む。このことがヘミセルロースIBと大きく異なる点である。メチル化分析 (表3) で非還元末端キシロースの存在と共に、4-結合および4,6-結合グルコースの存在が示されている。4,6-結合グルコースに比べて、非還元末端キシロースは少ないが明らかにキシログルカンの存在を示している。すなわち、HC-II画分の約20%がキシログルカンで約80%がアラビノグルクロノキシランであると考えられる。

セルロース画分 (CL: 24%水酸化カリウム抽出残渣) の構成糖分析の結果 (表2) は、約90%がグルコースであることを示している。また、メチル化分析の結果 (表3) も中性糖の約86%が4-結合グルコースであることを示している。すなわち、CL画分の約90%がβ-1,4-グルカンいわゆるセルロースであることを示している。そして残りの約10%が水酸化カリウムでの抽出が不十分だったヘミセルロースすなわちアラビノグルクロノキシランとキシログルカンであると考えられる。

大麦若葉粉末水不溶性食物繊維画分から得られ

たPS画分、HC-IA画分、HC-IB画分、HC-II画分およびCL画分の全糖量比は、約6:3:20:11:60である。それぞれの画分に含まれる多糖の割合から、大麦若葉粉末の水不溶性食物繊維画分を構成する多糖を計算すると、約55%がセルロース、約30%がアラビノグルクロノキシラン、約3%がキシログルカン、約5%が側鎖構造を有するラムノガラクトロナン、約7%がその他の多糖であると推定される。

水可溶性食物繊維画分を構成している多糖の種類も水不溶性食物繊維画分と同様に、構成糖組成(表1)およびメチル化分析の結果(表3)から特定することができるが、上述した水不溶性食物繊維画分から得られた各画分の分析結果も参考になる。すなわち、側鎖構造を有するラムノガラクトロナンと(アラビノ)キシランの存在は明らかである。この画分に見いだされたグルコース残基は、メチル化分析で非還元末端グルコース、4-結合グルコース、4,6-結合グルコースが検出されていることより、デンプンの未分解物に由来する可能性がある。さらに、大量(約39%)のマンノース残基が検出され、メチル化分析では非還元末端マンノースとして検出されている。従って、この画分に見られるマンノースは、タンパク質加水分解酵素で消化されなかった糖タンパク質の糖鎖部分に由来する可能性があるが、詳細は今後の研究に委ねたい。

また、これとは別に、大麦若葉粉末を80%メタノールで抽出し、抽出された単糖とオリゴ糖を分析した。大麦若葉粉末100g当たり4.05gの単糖・オリゴ糖が含まれることが判った。その内訳はグルコース:フルクトース:スクロース=63.5:24.1:12.4であった。

これまでに、禾本科植物の細胞壁多糖類の構造に関しても数多くの研究が行われ、その構造も明らかにされている<sup>14)</sup>。しかし、一般に植物細胞壁を構成している多糖類は、同一植物でも組織や加齢の違いにより種類や量、さらには微細構造にも違いが見られる。加藤らは各種禾本科幼植物細胞壁の多糖の構造に関して研究を進めている<sup>15-30)</sup>。その中で大麦の暗発芽幼植物(子葉鞘と第一葉、3-4cm)の細胞壁に含まれる多糖類の構造についても報告している。すなわち、主要ヘミセルロース性多糖として、 $\beta$ -1,3- $\beta$ -1,4-グルカン(3-結合:4-結合=1.0:2.3)<sup>15)</sup>、アラビノースとグルクロン酸を側鎖として有する $\beta$ -1,4-キシラン(主鎖

の約50%が置換されている)<sup>17)</sup>、および主鎖の約40%がキシロースで置換されているキシログルカン<sup>16)</sup>が存在することを明らかにしている。特に植物細胞壁多糖の機能性を論じるためには微細構造の解析が重要である。今後、大麦若葉粉末を分画して得られた各画分に含まれる個々の多糖の詳細な構造解析が必要である。

#### 引用文献

- 1) 斎藤衛郎, 高橋敦彦, 武林亨: 高コレステロール血症の改善、虚血性心疾患および糖尿病予防のための食物繊維の適正摂取量. *日本栄養・食糧学会誌*, 53, 87-94 (2000)
- 2) 印南敏, 桐山修八編: *改訂新版食物繊維*, 第一出版株式会社, 東京 (1995)
- 3) 大竹英俊, 野中涼代, 澤田淑子, 荻原義秀, 荻原秀昭, 久保田和彦: 大麦若葉青汁成分の研究. ラットの食餌による高コレステロール血症に対する影響. *薬学雑誌*, 105, 1052-1057 (1985)
- 4) 荻原義秀, 荻原秀昭, 上山英夫: 大麦若葉青汁粉末の生理機能性物質. *日本食品科学工学会誌*, 48, 712-725 (2001)
- 5) 高垣欣也, 池口主弥, 有浦由紀, 藤永奈都子, 石橋千和, 片山(須川)洋子: 難消化性デキストリンを含有する青汁粉末飲料の摂取による便性への影響. *健康・栄養食品研究*, 4, 29-35 (2001)
- 6) 高垣欣也, 池口主弥, 有浦由紀, 柿沼俊助, 片山(須川)洋子: 女性便秘傾向者の便性に及ぼす難消化性デキストリン含有青汁粉末飲料の影響. *日本新素材研究会誌*, 5, 19-23 (2002)
- 7) Dubois, M., Gilles, K.A., Hamilton, J.K., Rebers, P.A. and Smith, F.: Colorimetric method for determination of sugars and related substances. *Anal. Chem.*, 28, 350 (1956)
- 8) Bitter, T. and Muir, H. M.: A modified uronic acid carbazole reaction. *Anal. Biochem.*, 4, 330-334 (1962)
- 9) 加藤陽治, 松倉純子: 主要葉菜類の炭水化物組成. *弘前大学教育学部紀要*, 71, 61-71 (1994)
- 10) Kato, Y. and Matsuda, K.: Presence of a xyloglucan in the cell wall of *Phaseolus aureus* hypocotyls. *Plant Cell Physiol.*, 17, 1185-1198 (1976)
- 11) Hakomori, S.: A rapid permethylation of glycolipid and polysaccharide catalyzed by methylsulfinyl carbanion in dimethyl sulfoxide. *J. Biochem.*, 55, 205-208 (1964)
- 12) Lindberg, B.: Methylation analysis of polysaccharides. *Meth. in Enzymol.*, 28, 178-195 (1972)
- 13) 加藤陽治, 齋藤幸子, 齋藤博敏: リンゴ果実中のデンプン. *弘前大学教育学部教科教育紀要*,

- 25, 13-21 (1997)
- 14) 桜井直樹, 山本良一, 加藤陽治: 植物細胞壁と多糖類. 培風館, 東京 (1991)
- 15) Kato, Y., Iki, K. and Matsuda K.: Cell-wall polysaccharides of immature barley plants. I. Isolation and characterization of a  $\beta$ -D-glucan. *Agric. Biol. Chem.*, 45, 2737-2744 (1981)
- 16) Kato, Y., Iki, K. and Matsuda K.: Cell-wall polysaccharides of immature barley plants. II. Characterization of a xyloglucan. *Agric. Biol. Chem.*, 45, 2745-2753 (1981)
- 17) Kato, Y., Iki, K. and Matsuda K.: Characterization of an acidic arabinoxylan from cell walls of immature barley plants. *Agric. Biol. Chem.*, 52, 533-538 (1988)
- 18) Kato, Y., Shiozawa, R., Takeda, S., Ito S. and Matsuda, K.: Structural investigation of a  $\beta$ -D-glucan and xyloglucan from bambooshoot cell-walls. *Carbohydr. Res.*, 109, 233-248 (1982)
- 19) Kato, Y., Ito, S., Iki, K. and Matsuda, K.: Xyloglucan and  $\beta$ -D-glucan in cell walls of rice seedlings. *Plant Cell Physiol.* 23, 351-364 (1982)
- 20) Kato, Y. and Nevins, D. J.: Enzymic dissociation of *Zea* shoot cell wall polysaccharides. I. Preliminary characterization of the water-insoluble fraction of *Zea* shoot cell walls. *Plant Physiol.* 75, 740-744 (1984)
- 21) Kato, Y. and Nevins, D. J.: Enzymic dissociation of *Zea* shoot cell wall polysaccharides. II. Dissociation of (1 $\rightarrow$ 3), (1 $\rightarrow$ 4)- $\beta$ -D-glucan by purified (1 $\rightarrow$ 3), (1 $\rightarrow$ 4)- $\beta$ -D-glucan 4-glucanohydrolase from *Bacillus subtilis*. *Plant Physiol.* 75, 745-752 (1984)
- 22) Kato, Y. and Nevins, D. J.: Enzymic dissociation of *Zea* shoot cell wall polysaccharides. III. Purification and partial characterization of an endo-(1 $\rightarrow$ 4)- $\beta$ -xylanase from a *Bacillus subtilis* enzyme preparation. *Plant Physiol.* 75, 753-758 (1984)
- 23) Kato, Y. and Nevins, D. J.: Enzymic dissociation of *Zea* shoot cell wall polysaccharides. IV. Dissociation of glucuronoarabinoxylan by purified endo-(1 $\rightarrow$ 4)- $\beta$ -xylanase from *Bacillus subtilis*. *Plant Physiol.* 75, 759-765 (1984)
- 24) Kato, Y. and Nevins, D. J.: Structure of the arabinogalactan from *Zea* shoots. *Plant Physiol.* 74, 562-568 (1984)
- 25) Kato, Y. and Nevins, D. J.: A (1 $\rightarrow$ 3)- $\beta$ -D-glucan isolated from *Zea* shoot cell-wall preparations. *Plant Physiol.* 78, 20-24 (1985)
- 26) Kato, Y. and Nevins, D. J.: Isolation and identification of O-(5-O-feruloyl- $\alpha$ -L-arabinofuranosyl)-(1 $\rightarrow$ 3)-O- $\beta$ -D-xylopyranosyl-(1 $\rightarrow$ 4)-D-xylopyranose as a component of *Zea* shoot cell-walls. *Carbohydr. Res.*, 137, 139-150 (1985)
- 27) Kato, Y. and Nevins, D. J.: Fine structure of (1 $\rightarrow$ 3), (1 $\rightarrow$ 4)- $\beta$ -D-glucan from *Zea* shoot cell-walls. *Carbohydr. Res.*, 147, 69-85 (1986)
- 28) Kato, Y. and Nevins, D. J.: Structure of a pectic polysaccharide fraction from *Zea* shoots. *Plant Physiol.*, 89, 792-797 (1989)
- 29) Kato, Y. and Nevins, D. J.: Enzymic dissociation of *Zea* shoot cell wall polysaccharides V. Dissociation of xyloglucan by urea. *Plant Cell Physiol.*, 32, 713-720 (1991)
- 30) Kato, Y. and Nevins, D. J.: Structural characterization of an arabinoxylan-rhamnogalacturonan complex from cell walls of *Zea* shoots. *Carbohydr. Res.* 227, 315-329 (1992)

(2004. 1. 15受理)