

## 葉菜類のペクチン質に関する研究

### Studies on the pectic substances of leaf vegetables

加 藤 陽 治\*

Yoji KATO\*

#### 要 旨

葉菜類5品種、キャベツ、ハクサイ、ホウレンソウ、チンゲンサイ、レタスのペクチン質（水可溶性ペクチンとシュウ酸アンモニウム抽出ペクチン）、ヘミセルロース（4%水酸化カリウム抽出ヘミセルロースと24%水酸化カリウム抽出ヘミセルロース）、セルロースそれぞれの全多糖類で占める割合はそれぞれ、46:11:43、44:10:49、31:17:53、45:14:42、47:9:44で、ホウレンソウのペクチン含有比が他の4品種に比して少ない<sup>1)</sup>。質的差違の有無を調べるために、二つのペクチン画分（水可溶性ペクチン画分とシュウ酸アンモニウム可溶性ペクチン画分）と二つのヘミセルロース画分（4%水酸化カリウム抽出ヘミセルロース画分と24%ヘミセルロース抽出画分）をDEAE-Sephadex A-25クロマトグラフィーに供し、それぞれに含まれる多糖類を分画し構成糖分析を行った。ホウレンソウのペクチンはフェルラ酸が結合しているアラビノガラクトサンもしくはアラビナンやガラクトサンを側鎖に有するラムノガラクトツロナンであり、他の葉菜類のペクチンはアラビノガラクトサンもしくはアラビナンやガラクトサンの側鎖が比較的少ないラムノガラクトツロナンであることがわかった。

キーワード：葉菜類、ホウレンソウ、多糖類、ペクチン、水可溶性食物繊維

#### 1. 緒 言

われわれの健康を維持する上で非常に重要な役割を担っている食物繊維は水可溶性と水不溶性の二つに大別されるが、それらの大部分は植物性食品のいわゆる植物細胞壁成分に由来するといっても過言ではない<sup>2)</sup>。食物繊維のもつ生理効果の一つとして耐糖性改善効果があり、これは水可溶性食物繊維のグルコース拡散阻害作用が大きく関与している<sup>2)</sup>。われわれはこれまでに水不溶性食物繊維の栄養効果解明の基礎知見を得る目的で水不溶性食物繊維の物理化学的性質の研究を進めてきた。その結果各種野菜類の水不溶性食物繊維（細胞壁）が分子篩能をもち、それにより低分子糖を一時的に抱え込む性質を有し、in vitroにおいてグルコースの拡散速度を遅らせる（グルコース拡散阻害能をもつ）ことを明らかにした<sup>3-5)</sup>。これと並行して、植物性食品に含まれている各種炭水化物（単糖・オリゴ糖、デンプンおよび細胞壁多糖）の系統的分画定量と壁多糖の構造解析の研究を進めてきた。これまで葉菜類5種（キャベツ、ハクサイ、ホウレンソウ、チンゲンサイ、レタス）<sup>1)</sup>、根菜類5種（カブ、ダイコ

ン、ゴボウ、ニンジン、レンコン）<sup>6)</sup> および果菜類5種（ナス、ピーマン、キュウリ、カボチャ、モヤシ）<sup>7)</sup>の炭水化物組成を報告した。その中で、調べた5種の葉菜類のなかで細胞壁成分のペクチン、ヘミセルロース、セルロースの比率を見た場合、唯一フェノール酸を含むホウレンソウが他に比してペクチンの割合が少ないことがわかった。この違いが単に量的なものか、質的違いも見られるかを調べることを今回の研究目的とした。

#### 2. 実験方法

##### 2-1. 実験材料

先に弘前市内のスーパーマーケットから購入したキャベツ、ハクサイ、ホウレンソウ、チンゲンサイおよびレタスから調製した水可溶性細胞壁多糖（WS）画分および水不溶性細胞壁画分を分画して得たシュウ酸アンモニウム抽出（AO）画分、4%水酸化カリウム抽出ヘミセルロース（HC-I）画分、24%水酸化カリウム抽出ヘミセルロース（HC-II）画分、を用いた<sup>1)</sup>。本報告では、WS画分を温水抽出ペクチン（WS-PS）、

\* 弘前大学教育学部家政学科教室食物学研究室  
Laboratory of Food Science, Department of Home Economics, Faculty of Education, Hirosaki University

PS画分をシュウ酸アンモニウム抽出ペクチン画分(AO-PS)とあらたに定義した。

## 2-2. WS-PS画分、AO-PS画分、HC-I画分およびHC-II画分のDEAE-Sephadex A-25カラムクロマトグラフィー

各試料(5~30mg グルコース相当量)を5mlの20mM酢酸緩衝液(pH5.0)に溶解、遠心操作(3,000rpm、30分)にて不溶物を除去し、上清を同緩衝液で平衡化したDEAE-Sephadex A-25カラム(1.8cm×8cm)にのせた。まず、60mlの20mM酢酸緩衝液(pH5.0)、60mlの1.0M塩化ナトリウムを含む同緩衝液、60mlの0.5M水酸化ナトリウムで順次溶出を行った。溶出液は3mlずつフラクションコレクターで試験管に集め、その中から適量とり全糖量(グルコース相当量)をフェノール・硫酸法<sup>8)</sup>にて測定した。糖が検出された画分を集め、酢酸緩衝液溶出画分と塩化ナトリウムを含む同緩衝液溶出画分はそのまま、水酸化ナトリウム溶出画分は酢酸で中和後それぞれ脱塩水に対して透析し、透析内液を凍結乾燥した。WS-PSからWS-PS-1~WS-PS-3、AO-PSからAO-PS-1~AO-PS-3、HC-IからHC-I-1~HC-I-3、HC-IIからHC-II-1~HC-II-3をそれぞれ得た。

## 2-3. 構成糖分析

中性糖量：試料(1mg)を1mlの2Mトリフルオロ酢酸で5時間、100°Cで加水分解し、分解物を減圧乾固し、200 $\mu$ gの2-デオキシグルコース(ガスクロマトグラフィー分析の内部標準物質)を加えた。得られた加水分解物中の構成中性単糖はアルジトールトリフルオロアセテートとした後、ガスクロマトグラフィーにて定量した。ガスクロマトグラフは日立製のG-500を用い、カラムは1.5% QF-1/Chromosorb W(AW-DMCS)(0.4×200cm、ガラスカラム)を用い140°Cの定温で分析した<sup>9)</sup>。

酸性糖量：試料溶液から適量とりカルバゾール・硫酸法<sup>10)</sup>にてガラクト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、予めその影響量を調べておき上記中性糖量からその影響量を算出、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)]、酸性糖量とした。

## 3. 結果および考察

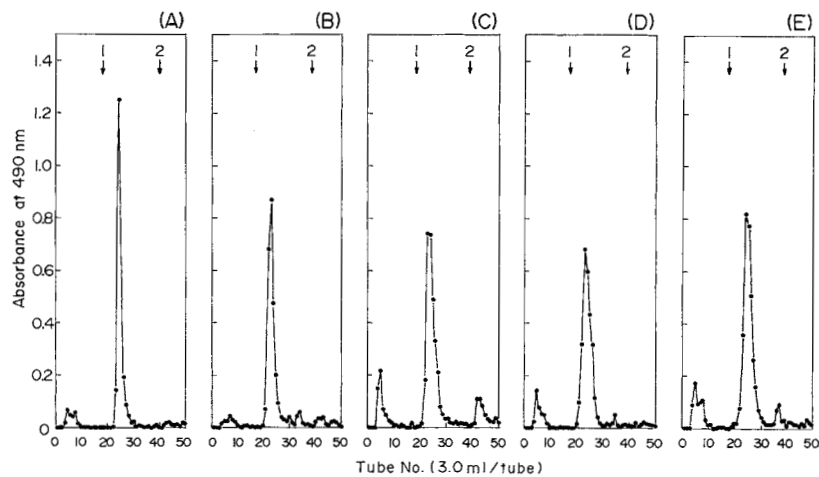
われわれは、先に日常摂取する機会の多い葉菜類としてキャベツ、ハクサイ、ホウレンソウ、チンゲンサイおよびレタスを選びそれらの細胞壁を構成する多糖の概要を調べた。そのなかで唯一壁多糖結合型フェラ酸を有するホウレンソウが他の葉菜類に比べペクチンの割合が少ないことを明らかにしている<sup>1)</sup>(Table 1)。ホウレンソウのペクチンは他と比べ量的に少ないだけなのか、質的にも違いがあるのかを明らかにするために先の実験で得られたペクチン画分やヘミセルロース画分の更なる分画とそれによって得られた各画分の構成糖組成の分析を詳細に進めることとした。

まず、ペクチンの中でも温水で抽出(40°C、24時間)される水可溶性ペクチン(WS-PS)をDEAE-Sephadex A-25のクロマトグラフィーに供した(Fig. 1)。非吸着画分、1.0M塩化ナトリウムを含む20mM酢酸緩衝液で溶出する画分、0.5M水酸化ナトリウムで溶出する画分の3画分(WS-PS-1、WS-PS-2、WS-PS-3)に分画した。得られた各画分の構成糖組成をまとめたのがTable 2である。ホウレンソウの主要水可溶性ペクチンに当たるWS-PS-2はチンゲンサイのそれと同様に、比較的多くのラムノース(Rha)を含むラムノガラクトツロナンで、かつ、アラビノース(Ara)とガラクトース(Gal)を多く含むことからアラビノガラクトナンもしくはアラビナンとガラクトナンを側鎖に有するペクチンであることが示唆された。さらに、シュウ酸アンモニウムで抽出されるペクチン画分(AO-PS)を同様にDEAE-Sephadex A-25カラムクロマトグラフィーに供し(Fig. 2)、構成糖分析を分析した結果(Table 3)、AO-PSの主要成分であるAO-PS-2はウロン酸(UA)とラムノース(Rha)の比率は約5:2でガラクトース含量が他に比較して17%と多く、ガラクトナンがラムノースに側鎖として結合しているラムノガラクトツロナンである可能性が示唆された。

このことはシュウ酸アンモニウム抽出後に4%水酸化カリウムで抽出されることにより得られるヘミセルロースI(HC-I)画分を同様にDEAE-Sephadex A-25のカラムクロマトグラフィーに供して(Fig. 3)得られるHC-I-1、HC-I-2、HC-I-3の糖組成分析(Table 4)からも示唆された。一般にHC-I画分はペクチン様多糖とヘミセルロースが混在して得られることが多い。この画分に得られる多糖として代表的なのがグルクロノアラビノキシランである。ホウレンソウを除く4葉菜類の各画分にはキシロースが多く含まれるが、ホウレンソウの場合はこれらの1/3~1/4ときわめて少なく、

**Table 1.** Ratio of total carbohydrate of WS-PS (pectic substance extracted with water), AO-PS (pectic substance extracted with ammonium oxalate), HC-I (hemicelluloses extracted with 4% KOH), HC-II (hemicelluloses extracted with 24% KOH) and CL (cellulose) obtained from cabbage, chinese cabbage, spinach, chingentsuai and lettuce.

Polysaccharide fraction	Cabbage	Chinese Cabbage	Spinach	Chingen-tsuai	Lettuce
	Ratio of Total Sugar				
WS-PS	21	22	23	12	21
AO-PS	25	20	8	33	26
HC-I	4	3	8	7	2
HC-II	7	7	9	7	7
CL	43	49	53	42	44
<b>Total</b>	<b>100%</b>	<b>101%</b>	<b>101%</b>	<b>101%</b>	<b>100%</b>



**Fig. 1.** Fractionation by chromatography on DEAE-Sehadex A-25 of WS-PS of cabbage (A), chinese cabbage (B), spinach (C), chingentsuai (D) and lettuce (E).

Each WS-PS (in 5 ml 20 mM Na-acetate buffer, pH 5.0) was applied to a column (0.8 cm × 8 cm) of DEAE-Sephadex A-25 equilibrated with the same buffer. After washing the column with 20 mM Na-acetate buffer, the adsorbed materials were successively eluted with 1.0 M NaCl (arrow 1) and 0.5 M NaOH (arrow 2), and assayed for total carbohydrate.

アラビノキシラン系多糖が少ないことがわかる。そして、ホウレンソウの主要画分 HC-I-2は他の品種に比較してラムノースを多く含み、かつアラビノースとガラクトースが多く、アラビノガラクトンもしくはアラビナンとガラクトンを多く側鎖に有するラムノガラクトロンであることを示している。

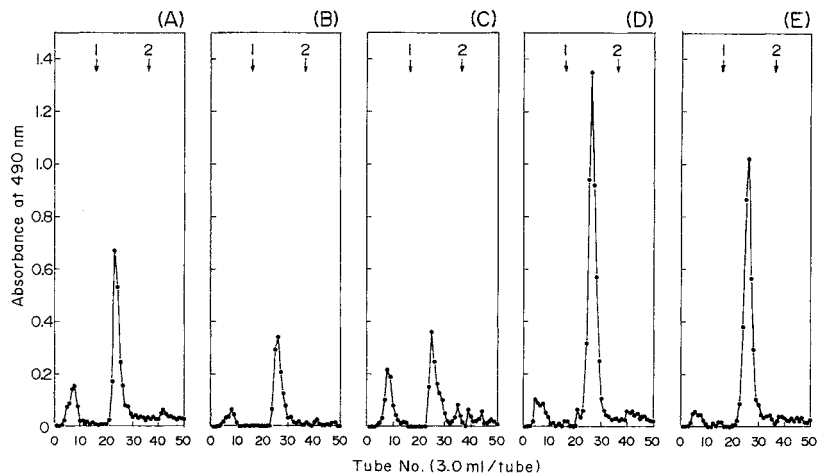
4%水酸化カリウム抽出後に24%水酸化カリウム抽出によって得られる HC-II を DEAE-Sephadex A-25

のカラムクロマトグラフィーに供する (Fig. 4) と、素通り画分すなわち中性多糖に相当する HC-II-1が主要画分として得られる。この画分の構成糖 (Table 5) を見てみると双子葉植物細胞壁多糖の代表的なヘミセルロースであるキシログルカン (グルコース、キシロース、ガラクトース、フコースから構成される) であることがわかる。酸性多糖画分に相当する HC-II-2は構成糖組成からいずれも HC-I-2に見られるガラ

**Table 2.** Yields and sugar composition of subfractions obtained from WS-PS of cabbage, chinese cabbage, spinach, chingentsuai and lettuce after chromatography on DEAE-Sephadex A-25 (Fig. 1).

Subfraction (Tube No. in Fig.1)	Yield		Sugar composition (wt%)							
	$\mu\text{g}$	(%)	U.A.	Rha	Fuc	Ara	Xyl	Man	Glc	Gal
<Cabbage>										
WS-PS-1 (4-9)	441	(1.7)	0.9	0.9	5.0	24.9	5.4	11.6	18.4	32.9
WS-PS-2 (23-29)	24825	(93.5)	91.0	1.9	0.2	2.8	trace	0.1	0.2	3.9
WS-PS-3 (41-50)	1276	(4.8)				N.D. <sup>a)</sup>				
<Chinese Cabbage>										
WS-PS-1 (4-9)	151	(1.0)	17.8	trace	5.3	37.4	trace	5.8	6.1	27.6
WS-PS-2 (21-28)	13710	(91.9)	92.3	1.7	0.4	2.2	trace	trace	0.2	3.1
WS-PS-3 (41-59)	1058	(7.1)				N.D. <sup>a)</sup>				
<Spinach>										
WS-PS-1 (4-9)	714	(4.9)	0.3	trace	19.9	32.5	trace	10.4	16.5	20.4
WS-PS-2 (21-29)	11760	(80.4)	73.5	3.7	0.9	11.6	trace	0.1	0.9	9.3
WS-PS-3 (41-50)	2146	(14.7)				N.D. <sup>a)</sup>				
<Chingentsuai>										
WS-PS-1 (4-9)	496	(3.0)	5.6	2.0	10.9	26.6	trace	6.5	13.7	34.7
WS-PS-2 (21-29)	15510	(93.1)	79.4	4.8	2.7	5.0	trace	trace	0.5	7.5
WS-PS-3 (41-50)	655	(3.9)				N.D. <sup>a)</sup>				
<Lettuce>										
WS-PS-1 (4-9)	576	(2.3)	10.8	trace	5.6	20.1	trace	14.2	21.9	27.4
WS-PS-2 (21-29)	22785	(91.5)	89.9	2.0	0.6	2.5	trace	0.1	0.2	4.8
WS-PS-3 (41-50)	1541	(6.2)				N.D. <sup>a)</sup>				

a) Not determined

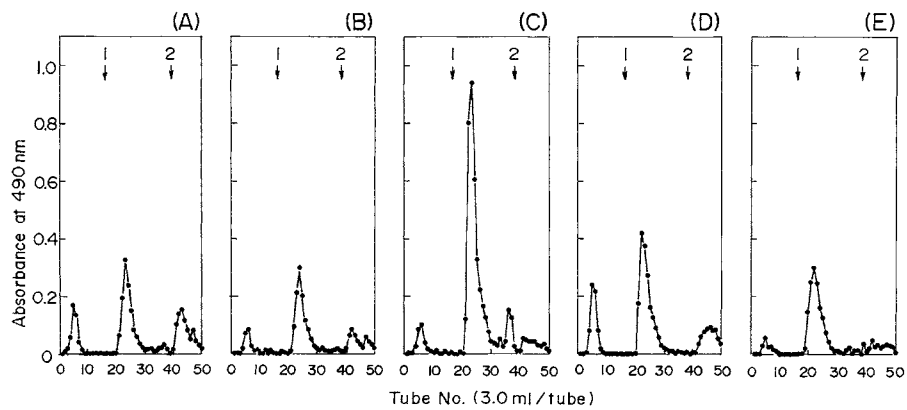
**Fig. 2.** Fractionation by chromatography on DEAE-Sephadex A-25 of AO-PS of cabbage (A), chinese cabbage (B), spinach (C), chingentsuai (D) and lettuce (E).

Each AO-PS (in 5 ml 20 mM Na-acetate buffer, pH 5.0) was applied to a column (0.8 cm  $\times$  8 cm) of DEAE-Sephadex A-25 equilibrated with the same buffer. After washing the column with 20 mM Na-acetate buffer, the adsorbed materials were successively eluted with 1.0 M NaCl (arrow 1) and 0.5 M NaOH (arrow 2), and assayed for total carbohydrate.

**Table 3.** Yields and sugar composition of subfractions obtained from AO-PS of cabbage, chinese cabbage, spinach, chingentsuai and lettuce after chromatography on DEAE-Sephadex A-25 (Fig. 2).

Subfraction (Tube No. in Fig.2)	Yield		Sugar composition (wt%)							
	$\mu\text{g}$	(%)	U.A.	Rha	Fuc	Ara	Xyl	Man	Glc	Gal
<Cabbage>										
AO-PS-1 (4-10)	621	(6.2)	trace	6.1	8.9	18.0	8.4	16.4	14.3	27.9
AO-PS-2 (21-27)	7733	(76.6)	46.7	19.1	4.2	6.1	5.1	3.8	3.3	11.7
AO-PS-3 (41-50)	1740	(17.2)				N.D. <sup>a)</sup>				
<Chinese Cabbage>										
AO-PS-1 (4-10)	250	(4.9)	trace	3.2	4.8	30.0	8.4	15.2	11.6	26.8
AO-PS-2 (24-30)	4398	(86.8)	58.8	22.5	1.9	3.7	1.8	1.4	0.8	9.1
AO-PS-3 (40-50)	418	(8.3)				N.D. <sup>a)</sup>				
<Spinach>										
AO-PS-1 (4-9)	198	(4.6)	trace	3.0	4.0	20.2	4.5	15.7	21.2	31.3
AO-PS-2 (21-29)	3204	(74.5)	49.3	22.1	1.3	4.7	1.1	0.6	3.9	17.0
AO-PS-3 (41-50)	899	(20.9)				N.D. <sup>a)</sup>				
<Chingentsuai>										
AO-PS-1 (4-9)	455	(3.0)	trace	5.9	7.7	36.9	3.7	11.0	13.6	21.1
AO-PS-2 (21-29)	13560	(88.2)	85.1	5.9	0.8	2.0	0.4	0.2	0.6	5.1
AO-PS-3 (41-50)	1351	(8.8)				N.D. <sup>a)</sup>				
<Lettuce>										
AO-PS-1 (4-9)	400	(3.6)	trace	1.0	2.3	44.3	3.8	11.5	12.8	24.5
AO-PS-2 (21-29)	9821	(88.6)	76.3	9.2	0.8	3.8	0.6	0.4	0.2	8.7
AO-PS-3 (41-50)	860	(7.8)				N.D. <sup>a)</sup>				

a) Not determined

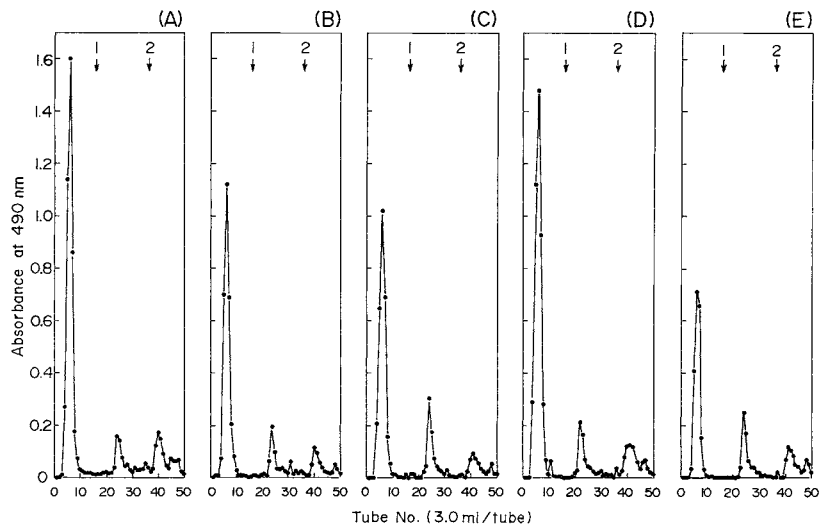


**Fig. 3.** Fractionation by chromatography on DEAE-Sephadex A-25 of HC-I of cabbage (A), chinese cabbage (B), spinach (C), chingentsuai (D) and lettuce (E).

Each HC-I (in 5 ml 20 mM Na-acetate buffer, pH 5.0) was applied to a column (0.8 cm × 8 cm) of DEAE-Sephadex A-25 equilibrated with the same buffer. After washing the column with 20 mM Na-acetate buffer, the adsorbed materials were successively eluted with 1.0 M NaCl (arrow 1) and 0.5 M NaOH (arrow 2), and assayed for total carbohydrate.

**Table 4.** Yields and sugar composition of subfractions obtained from HC-I of cabbage, chinese cabbage, spinach, chingentsuai and lettuce after chromatography on DEAE-Sephadex A-25 (Fig. 3).

Subfraction (Tube No. in Fig.3)	Yield		Sugar composition (wt%)							
	$\mu\text{g}$	(%)	U.A.	Rha	Fuc	Ara	Xyl	Man	Glc	Gal
<Cabbage>										
HC-I-1 (3-8)	518	(13.1)	20.1	0.8	7.7	8.5	14.3	1.9	29.0	17.8
HC-I-2 (21-29)	2010	(50.8)	52.8	3.3	5.4	9.9	13.1	0.6	2.4	12.5
HC-I-3 (41-50)	1432	(36.2)	45.0	2.8	11.1	5.6	20.1	0.3	3.9	11.2
<Chinese Cabbage>										
HC-I-1 (4-8)	262	(8.6)	19.5	trace	15.6	15.3	6.5	0.8	21.0	21.4
HC-I-2 (22-29)	2196	(72.4)	54.6	3.0	7.1	6.8	16.7	0.3	2.2	9.3
HC-I-3 (41-49)	574	(18.9)	49.5	3.1	13.2	6.3	15.3	0.3	4.9	7.3
<Spinach>										
HC-I-1 (4-8)	308	(3.0)	12.6	trace	22.1	33.8	6.5	0.9	9.1	15.2
HC-I-2 (21-29)	9480	(92.0)	40.3	6.6	3.6	21.4	8.9	0.3	1.7	17.1
HC-I-3 (41-49)	519	(5.0)	32.9	2.6	7.2	19.8	21.1	0.8	7.5	8.2
<Chingentsuai>										
HC-I-1 (4-8)	617	(11.7)	17.6	trace	9.3	15.3	6.5	trace	28.7	22.7
HC-I-2 (21-29)	3493	(66.1)	40.0	5.0	2.7	7.7	26.1	0.9	4.2	13.4
HC-I-3 (42-50)	1172	(22.2)	49.1	2.4	8.2	4.4	21.8	0.7	7.2	6.1
<Lettuce>										
HC-I-1 (4-9)	135	(3.2)	43.1	trace	17.3	9.4	10.4	1.0	3.5	15.3
HC-I-2 (20-28)	3600	(85.7)	44.6	6.3	3.1	5.6	23.8	0.6	1.0	15.0
HC-I-3 (40-49)	465	(11.1)	33.0	3.7	4.3	30.9	5.2	1.4	10.9	10.6



**Fig. 4.** Fractionation by chromatography on DEAE-Sephadex A-25 of HC-II of cabbage (A), chinese cabbage (B), spinach (C), chingentsuai (D) and lettuce (E).

Each HC-II (in 5 ml 20 mM Na-acetate buffer, pH 5.0) was applied to a column (0.8 cm  $\times$  8 cm) of DEAE-Sephadex A-25 equilibrated with the same buffer. After washing the column with 20 mM Na-acetate buffer, the adsorbed materials were successively eluted with 1.0 M NaCl (arrow 1) and 0.5 M NaOH (arrow 2), and assayed for total carbohydrate.

**Table 5.** Yields and sugar composition of subfractions obtained from HC-II of cabbage, chinese cabbage, spinach, chingentsuai and lettuce after chromatography on DEAE-Sephadex A-25 (Fig. 4).

Subfraction (Tube No. in Fig.4)	Yield		Sugar composition (wt%)							
	$\mu\text{g}$	(%)	U.A.	Rha	Fuc	Ara	Xyl	Man	Glc	Gal
<Cabbage>										
HC-II-1 (4-10)	12465	(74.9)	0.0	0.0	6.0	2.0	21.0	5.7	43.8	21.6
HC-II-2 (23-26)	1260	(7.6)	32.2	13.2	2.0	11.2	13.7	1.0	8.1	18.6
HC-II-3 (38-43)	2922	(17.6)					N.D. <sup>a)</sup>			
<Chinese Cabbage>										
HC-II-1 (4-10)	8697	(75.0)	0.0	0.0	5.5	1.7	19.5	3.4	44.9	25.0
HC-II-2 (23-26)	1188	(10.2)	36.0	11.0	2.4	8.3	18.1	1.0	10.3	12.9
HC-II-3 (38-43)	1710	(14.7)					N.D. <sup>a)</sup>			
<Spinach>										
HC-II-1 (4-10)	8373	(70.7)	0.0	0.0	4.4	3.1	21.9	4.8	40.8	25.0
HC-II-2 (22-26)	1890	(16.0)	30.8	10.6	1.9	15.8	13.4	0.5	9.2	17.8
HC-II-3 (38-45)	1578	(13.3)					N.D. <sup>a)</sup>			
<Chingentsuai>										
HC-II-1 (4-10)	1256	(74.3)	3.5	0.0	4.4	1.9	21.1	3.8	45.4	19.9
HC-II-2 (21-25)	1563	(9.2)	33.9	9.4	2.5	8.1	19.6	0.6	11.8	14.1
HC-II-3 (38-45)	2787	(16.5)					N.D. <sup>a)</sup>			
<Lettuce>										
HC-II-1 (4-10)	6039	(61.1)	1.3	0.0	5.1	1.9	18.5	1.9	40.8	30.6
HC-II-2 (22-27)	1734	(17.5)	41.1	12.2	2.2	4.5	18.0	0.3	7.4	14.3
HC-II-3 (39-45)	2115	(21.4)					N.D. <sup>a)</sup>			

a) Not determined

クタン側鎖を有するラムノガラクトロナンやグルクロアラビノキシランが含まれていると考えられる。

ホウレンソウと同じアカザ科に属する植物であるビート(甜菜)もペクチン様多糖にフェルラ酸などのフェノール酸を含むことが知られている<sup>11)</sup>。そのフェノール酸がペクチンのアラビノース残基やガラクトース残基とエステル結合している。ホウレンソウの場合380mg/細胞壁多糖100mgと報告されている<sup>11)</sup>。ペクチン様多糖が少ない禾本科植物を代表するイネ培養細胞の細胞間接着物質としてフェルラ酸が重要な役割を担っている<sup>12)</sup>。ホウレンソウの場合、このフェルラ酸が結合しているアラビノガラクトンもしくはアラビナンやガラクトンを側鎖に有するラムノガラクトロナンを有する点が、他の葉菜類のペクチン質と大きく異なる点であると考えられる。量的には少なくとも、フェルラ酸を介しての架橋構造が細胞強度維持に関わっていると考えられる。

フェルラ酸などは抗酸化能、脂質低下作用、血圧低下作用、腎障害予防作用、認知障害予防作用、美白作用などを有することで知られている<sup>13,14)</sup>。また、フェ

ルラ酸などフェノール酸を有するオリゴ糖はガン細胞増殖抑制作用を有することも報告されている<sup>15)</sup>。ホウレンソウがもつ食物繊維、ペクチン、およびフェルラ酸などの機能性成分が調理加工によってどのような影響を受けるかについても今後研究を進めていきたい。

本論文をまとめるにあたり、図表の作成にご協力下さいました高谷麻紀子さんに感謝いたします。

#### 引用文献

- 1) 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).
- 2) 印南 敏, 桐山修八(編): 『改訂新版食物繊維』, 第一出版, 東京 (1995).
- 3) 加藤陽治, 秋山美香: 水不溶性食物繊維カラムによるデキストランおよびマルトデキストランのゲル濾過クロマトグラフィー, 栄食誌, 46, 161-166 (1993).
- 4) 加藤陽治: 水不溶性食物繊維のグルコースの *in vitro* における拡散速度に与える影響, 栄食誌, 46, 351-355 (1993).
- 5) 加藤陽治, 田中順子: 市販セルロース粉末およびペク

- チンがグルコースの *in vitro* における拡散速度に与える影響, 弘前大学教育学部紀要, **81**, 93-99 (1999).
- 6) 加藤陽治: 主要根菜類の炭水化物組成, 弘前大学教育学部紀要, **74**, 37-47 (1995).
- 7) 加藤陽治: 主要果菜類の炭水化物組成, 弘前大学教育学部紀要, **78**, 99-107 (1997).
- 8) 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).
- 9) 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 (1982).
- 10) Bitter, T. and Muir, H.M.: A modified uronic acid carbazole reaction. *Anal. Biochem.*, **4**, 330 (1962).
- 11) Kobayashi, M., Funane, K., Ueyama, H., Ohya, S., Tanaka, M. and Kato, Y.: Sugar composition of beet pulp polysaccharides and their enzymatic hydrolysis. *Biosci. Biotech. Biochem.*, **57**, 998-1000 (1993).
- 12) Kato, Y., Yamanouchi, H., Hinata, K., Ohsumi, C. and Hayashi, T.: Involvement of phenolic esters in cell aggregation of suspension-cultured rice cells. *Plant Physiol.*, **104**, 147-152 (1994).
- 13) 大澤俊彦 監修: がん予防食品開発の新展開 - 予防医学におけるバイオマーカーの評価システム -, シーエムシー出版, 東京, 122-134 (2005).
- 14) 太田明一 監修: 食品機能素材Ⅲ, シーエムシー出版, 東京, 244-249, (2005).
- 15) 加藤陽治, 高橋 匡: ヘミセルロース由来の機能性食品素材の開発と応用, 応用糖質科学, **2**, 180-184 (2012).

(2013. 8. 5 受理)