

## ブドウ果実の細胞壁多糖の組成

### Cell-wall polysaccharide composition of grape berry

加藤陽治\*・奈良一寛\*・元村佳恵\*\*

Yoji KATO\*, Kazuhiro NARA\* and Yoshie MOTOMURA\*\*

#### 論文要旨

ブドウ果実を果肉（種子を含む）と果皮に分別（果肉：果皮＝353.97g：136.66g、生重量）して、それぞれの炭水化物組成を調べた。果肉と果皮の単糖・オリゴ糖画分の糖量比は、45,549mg：15,197mgであった。この画分をBio-Gel P-2ゲルろ過クロマトグラフィーに供したところ、果肉は単糖（グルコースおよびフルクトース）と二糖（シュクロース）、果皮は単糖のみの構成からなっていることが認められた。また、果肉と果皮の細胞壁多糖量比は2,817mg：2,787mgであった。さらに、細胞壁構成多糖のペクチン様物質（PS）：ヘミセルロース（HC）：セルロース（CL）の割合は果肉では30.3：9.7：60.0で、果皮におけるそれは、48.8：17.7：33.5であった。ペクチン様物質画分はアラビナン、ガラクトナンおよびアラビノガラクトナンを側鎖に持つラムノガラクトツロナンが主要多糖であり、ヘミセルロース画分はキシログルカンが主要多糖であった。セルロース画分は、果皮ではほとんどがグルコースで構成されていたのに対して、果肉のそれはキシロースとグルコースがほぼ1：1であり、セルロースとキシランから構成されていると考えられた。ここで、果肉のCL画分の約半分をキシランと仮定し、ヘミセルロース画分と見なせばその比率はPS：HC：CLは30.3：39.7：30.0ということになることがわかった。

**キーワード：**ブドウ、スチューベン、細胞壁多糖、ラムノガラクトツロナン、キシログルカン、キシラン

#### 1. 緒言

一般に植物細胞壁多糖類は、ペクチン、ヘミセルロースおよびセルロースに分類され、成熟期の果実組織の軟化を引き起こす原因の一つは、果実細胞壁多糖の変化によるものであるということが様々な果実において報告されている<sup>1-3)</sup>。ブドウ果実においても、細胞壁を構成する多糖についていくつかの報告がある<sup>4-6)</sup>。最近では、Yakushijiら<sup>7)</sup>によって、“巨峰”果実の成熟における果肉軟化にはペクチンおよびキシログルカンの低分子化、さらにはヘミセルロースおよびセルロース量の減少が関与するということが報告されており、ブドウ果実の肉質の変化を検討する上でも、果実中の炭水化物分布を明らかにすることは大変重要なことであると思われる。

近年、青森県の津軽地方ではブドウ栽培が盛んに行なわれるようになり、特に“スチューベン”の栽培面積および生産量は津軽地方が日本一となっている。しかしながら、果実の肉質と密接な関

係を有する細胞壁多糖類の組成については、明らかにされておらず、また、ジュース生産における残渣の有効利用という視点からも、果皮等の成分も含めて、十分に検討することが必要であると思われる。

そこで本研究では、果実の肉質と密接な関係を有する細胞壁多糖類の組成を明らかにするための基礎知見を得るために、ブドウ果実中の炭水化物分布を明らかにすることを目的として、津軽地方で最も生産量の多い“スチューベン”を用いて果実における細胞壁多糖の組成の検討を行なった。

#### 2. 実験方法

##### 1) 材料

ブドウ（品種：スチューベン）を1994年9月に収穫、果肉（種子を含む）と果皮に分け、生重量を測定後-20℃で凍結し、炭水化物分画時に解凍して使用した。

##### 2) 果肉の炭水化物の抽出と分画

\* 弘前大学教育学部家政学科教室

Department of Home Economic, Faculty of Education, Hirosaki University

\*\* 弘前大学農学生命科学部

Faculty of Agriculture and life science, Hirosaki University

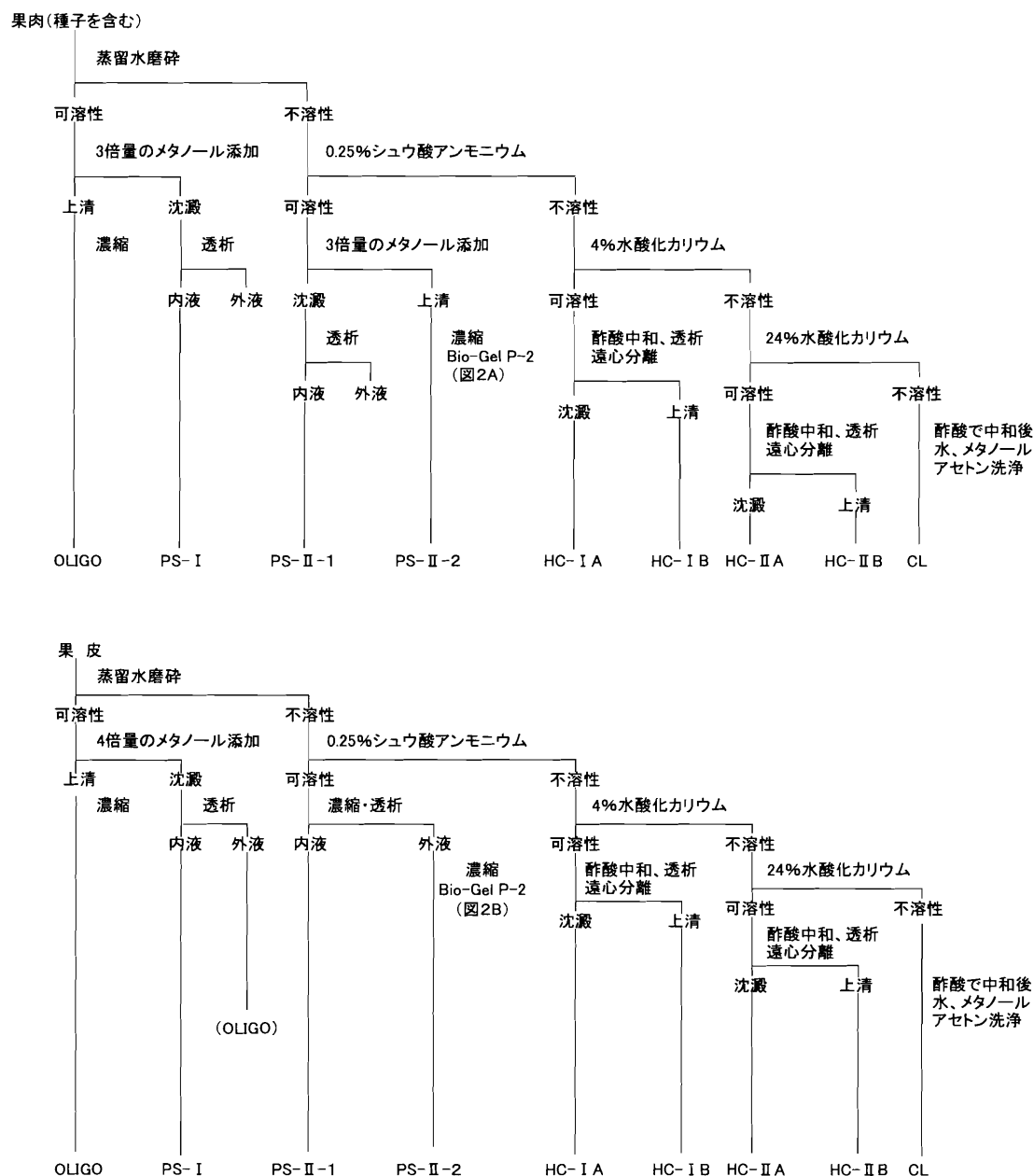


図1 ブドウ果実に含まれる炭水化物の分画操作の概略

一連の分画操作の流れを図1に示した。凍結保存しておいた果肉(種子を含む:生重量353.97g)を解凍後、蒸留水200mlとともにミキサーで磨砕し、遠心操作(3000rpm、30分)により不溶性画分と可溶性画分に分けた。不溶性画分は同じく蒸留水にて磨砕抽出・遠心操作をさらに2回行った。得られた可溶性画分(780ml)に3倍量のメチルアルコールを加え、一晩放置後、遠心操作(3000rpm、30分)により上清と沈澱画分に分けた。75%アルコール可溶性画分は、エバポレーターで濃縮し、「単糖・オリゴ糖:OLIGO」とした。本画分中の糖量はフェノール・硫酸法<sup>8)</sup>にてグルコース量として求めた。75%アルコール不溶性画分は、蒸留

水に溶解後、蒸留水に対して透析した。透析内液(120ml)を「ペクチン様物質-I画分(PS-I)」とした。

水不溶性画分を栓付き試験管に入れ、0.25%シュウ酸アンモニウム水溶液に懸濁し、100℃で1～2時間加熱処理し、室温まで冷却後、遠心操作(3000rpm、30分)で可溶性画分と不溶性画分に分けた。不溶性画分はさらに2回同操作を繰り返した。シュウ酸アンモニウム抽出液(合計700ml)に3倍量のメチルアルコールを加えた。一晩放置後、遠心操作にて、沈澱と上清画分に分けた。75%メチルアルコール沈澱画分は、蒸留水に溶解し、蒸留水に対して透析した。透析内液(220ml)を「ペ

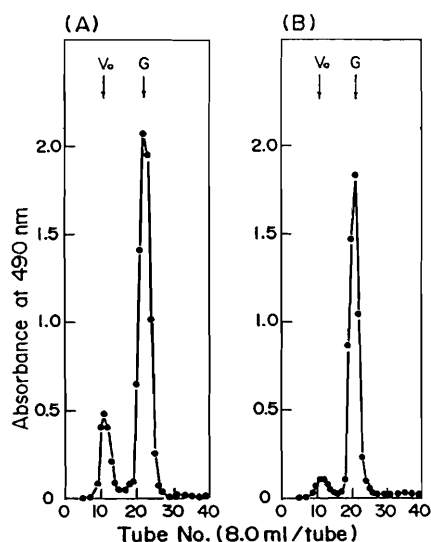


図2 果肉シュウ酸アンモニウム抽出物の75%アルコール可溶性画分および果皮シュウ酸アンモニウム抽出透析外液のBio-Gel P-2カラムクロマトグラフィー  
試験管番号9~14および20~26を、それぞれPS-Ⅱ-2およびOLIGOとした。(A) 果肉、(B) 果皮

クチン様物質-Ⅱ-1画分 (PS-Ⅱ-1)」とした。75%メチルアルコール上清画分は、エバポレーターで濃縮乾固後、蒸留水に溶解し、可溶性画分をBio-Gel P-2のゲルろ過クロマトグラフィーに供し (図2A)、ボイドボリューム溶出画分を「ペクチン様物質-Ⅱ-2画分 (PS-Ⅱ-2)」とした。また、単糖溶出画分は、前述のOLIGO画分と合わせた。

シュウ酸アンモニウム抽出残渣は、引き続き4%水酸化カリウム水溶液に懸濁し、窒素ガス下、室温で24時間攪拌し、遠心操作で可溶性画分と不溶性画分に分けた。不溶性画分はさらに同操作を繰り返した。4%水酸化カリウム抽出残渣を24%水酸化カリウム水溶液で同様に2回抽出操作を行った。4%および24%水酸化カリウム抽出液は酢酸で中和し、蒸留水に対して透析した。各々の透析内液は、遠心操作を行い、沈澱と上清に分けた。沈澱画分は凍結乾燥し、それぞれ「ヘミセルロース-I A画分 (HC-I A)」および「ヘミセルロース-II A画分 (HC-II A)」とした。遠心上清画分は、それぞれ「ヘミセルロース-I B画分 (HC-I B)」および「ヘミセルロース-II B画分 (HC-II B)」とした。

24%水酸化カリウム抽出残渣は、酢酸、メタノールおよびアセトンで順次洗浄後、乾燥し「セルロース画分 (CL)」とした。

### 3) 果皮の炭水化物の抽出と分画

一連の分画操作の流れを果肉同様に図1に示した。凍結保存しておいた果皮 (生重量136.66g) を解凍後、蒸留水400mlとともにミキサーで磨砕した。遠心操作 (3000rpm、30分) により不溶性画分と可溶性画分に分けた。不溶性画分は200mlの蒸留水にて磨砕抽出・遠心操作をさらに2回行った。得られた可溶性画分 (約800ml) をエバポレーターで約100mlに濃縮後、4倍量のメチルアルコールを加えた。一晩放置後、遠心操作 (3000rpm、30分) により上清と沈澱画分に分けた。80%アルコール可溶性画分は、エバポレーターで濃縮し、「単糖・オリゴ糖: OLIGO」とした。本画分中の糖量はフェノール・硫酸法<sup>8)</sup>にてグルコース量として求めた。80%アルコール不溶性画分は、蒸留水に溶解後、蒸留水に対して透析し、透析内液 (120ml) を「ペクチン様物質-I画分 (PS-I)」とした。この透析操作での外液は濃縮後、糖量を求め、前述のOLIGO画分の糖量に加えた。

水不溶性画分を栓付き試験管に入れ、0.25%シュウ酸アンモニウム水溶液に懸濁し、100℃で1~2時間加熱処理し、室温まで冷却後、遠心操作 (3000rpm、30分) で可溶性画分と不溶性画分に分けた。不溶性画分はさらに2回同操作を繰り返した。シュウ酸アンモニウム抽出液 (合計500ml) は濃縮後蒸留水に対して透析した。透析内液 (150ml) を「ペクチン様物質-Ⅱ-1画分 (PS-Ⅱ-1)」とした。透析外液は濃縮 (約35ml) 後、可溶性画分をBio-Gel P-2のゲルろ過クロマトグラフィーに供し (図2B)、ボイドボリューム溶出画分を「ペクチン様物質-Ⅱ-2画分 (PS-Ⅱ-2)」とした。また、単糖溶出画分は、前述のOLIGO画分と合わせた。

シュウ酸アンモニウム抽出残渣は、引き続き4%水酸化カリウム水溶液に懸濁し、窒素ガス下、室温で24時間攪拌し、遠心操作で可溶性画分と不溶性画分に分けた。不溶性画分はさらに同操作を繰り返した。4%水酸化カリウム抽出残渣を24%水酸化カリウム水溶液で同様に2回抽出操作を行った。4%および24%水酸化カリウム抽出液は酢酸で中和し、蒸留水に対して透析した。各々の透析内液は、遠心操作を行い、沈澱と上清に分けた。沈澱画分は凍結乾燥し、それぞれ「ヘミセルロース-I A画分 (HC-I A)」および「ヘミセルロース-II A画分 (HC-II A)」とした。遠心上清画分は、それぞれ「ヘミセルロース-I B画分 (HC-

I B)」および「ヘミセルロース-ⅡB画分 (HC-ⅡB)」とした。

24%水酸化カリウム抽出残渣は、酢酸、メタノールおよびアセトンで順次洗浄後、乾燥し「セルロース画分 (CL)」とした。

#### 4) HC-ⅡBの分画

先に調製したHC-ⅡB画分 (1,060ml) をエバポレーターで濃縮し、遠心操作により不溶物を除いた。可溶性画分を酢酸緩衝液 (pH5.5) で平衡化したDEAE-Sephadex A-25カラム (2.6×14cm) に供し、同緩衝液で溶出後、1.0Mの塩化ナトリウムを含む同緩衝液および1.0M水酸化ナトリウムで順次溶出した。溶出液は8.1mlずつ分取し、その中から適当量を取り、全糖量を測定した。得られた各画分は透析後、凍結乾燥し、溶出順にHC-ⅡB-1、HC-ⅡB-2、HC-ⅡB-3およびHC-ⅡB-4とした。各画分の中性糖および酸性糖は前述と同様に分析した。

#### 5) 果肉および果皮から抽出した各画分の構成糖分析

中性糖量：試料 (PS-I、PS-II-1、PS-II-2、HC-I BおよびHC-ⅡB：約1mgグルコース相当量) を1mlの2Mトリフルオロ酢酸 (TFA) で5時間、100℃で加水分解し、分解物を減圧乾固後、200μg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。またHC-I A、HC-ⅡAおよびCLは、試料 (約5mg) を72%硫酸に懸濁・ソニックバス中で1時間処理し溶解後、硫酸濃度が1.5Mになるように蒸留水で希釈し、100℃で3時間加水分解した。反応物を炭酸バリウムで中和後、2-デオキシグルコースを加え、よく攪拌し、ろ過した。ろ液をAmberlite IR-120 (H<sup>+</sup>型) で処理し、減圧乾固した。それぞれ得られた加水分解物中の構成中性単糖はアルジート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G-5000を用い、カラムは1.5% QF-1/Chromosorb W (AW-DMCS) (0.4×200cm、ガラスカラム) を用いて、140℃の定温で分析した<sup>9)</sup>。

酸性糖量：試料溶液の適当量を取り、カルバゾール・硫酸法<sup>8)</sup>にてガラクトゾン酸相当量として求めた。ただし、本法では、中性糖でも発色するので、あらかじめその影響量を調べておき、上記中性糖からその影響量を算出し、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。

#### 6) ペーパークロマトグラフィー

東洋濾紙No. 50を用いた。酸性糖は、酢酸エチル：水：酢酸：ギ酸 (18:4:3:1) で展開 (下降法) し、風乾後、アルカリ性硝酸銀試薬<sup>10)</sup>で糖を発色した。

### 3. 結果および考察

一般に植物細胞壁を構成する多糖はその化学試薬における抽出方法により、ペクチン様物質画分、ヘミセルロース画分およびセルロース画分の三つに大別される。各画分に含まれる多糖の種類は、植物種や用いる組織の違いのみだけでなく、抽出操作の若干の違いだけでも大きく異なることがある。したがって、種々の植物性食品の細胞壁を構成する多糖類の比較分析は、できるだけ同一の抽出・分画方法にて調製した標品を用いて行った方がよい<sup>11)</sup>。そこで、ブドウ果実に含まれる炭水化物の分画は、果実を果肉 (種子を含む) と果皮に分け、各々についてほぼ同様な操作により分画に供した。

一連の操作の概略を図1に示したが、まず解凍試料を蒸留水とともにミキサーにて磨砕して水可溶性画分を得た。これをアルコール分別沈澱法により、アルコール沈澱画分 (ペクチン様物質画分-I: PS-I) とアルコール上清画分 (単糖・オリゴ糖画分: OLIGO) に分けた。その後、水不溶性画分を加藤らの方法<sup>12)</sup>に従って、シュウ酸アンモニウム、4%水酸化カリウムおよび24%水酸化

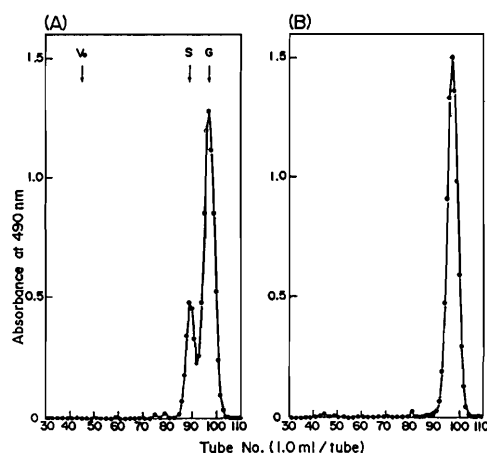


図3 果肉OLIGO (A) および果皮OLIGO (B) のBio-Gel P-2カラムクロマトグラフィー  
V<sub>0</sub>、SおよびGは、それぞれ分子量約2000以上の糖、シュクロースおよびグルコースの溶出位置を示す。

表1 果肉(種子を含む)に含まれる多糖類の収量および構成単糖組成

画 分	収 量 (mg)	構 成 糖 (重量%)							
		U.A.	Rha	Fuc	Ara	Xyl	Man	Glc	Gal
PS- I	208.0	75.0	1.9	1.0	5.4	2.7	2.7	2.3	8.9
PS- II -1	522.6	78.0	3.0	Trace	6.6	3.2	1.7	0.9	6.6
PS- II -2	124.0	67.6	3.6	0.5	13.6	2.3	2.2	2.9	7.2
HC- I A	13.8	31.6	0.9	0.9	20.4	6.7	8.5	21.4	9.6
HC- I B	97.0	46.6	2.1	0.7	5.8	22.6	1.5	6.5	14.3
HC- II A	9.1	Trace	2.5	0.9	38.6	-	11.5	22.1	24.4
HC- II B	152.9	11.5	0.4	3.2	4.0	26.9	9.2	27.9	16.9
CL	1689.4	Trace	1.0	0.1	Trace	51.9	2.2	43.4	1.4
Total	2816.8								

表2 果皮に含まれる多糖類の収量および構成単糖組成

画 分	収 量 (mg)	構 成 糖 (重量%)							
		U.A.	Rha	Fuc	Ara	Xyl	Man	Glc	Gal
PS- I	267.2	74.4	2.6	0.5	6.3	1.7	1.7	2.7	10.2
PS- II -1	1067.5	82.4	2.2	0.1	5.6	1.1	1.2	1.4	5.9
PS- II -2	24.3	Not determined							
HC- I A	106.9	20.4	3.1	0.4	24.2	1.9	2.3	11.2	36.5
HC- I B	117.9	22.8	1.6	0.5	9.7	34.9	1.2	10.0	19.2
HC- II A	7.6	8.4	3.6	2.0	17.7	5.2	5.4	37.9	19.8
HC- II B	261.7	-	-	4.5	2.6	30.5	5.4	35.4	21.6
CL	933.4	2.9	0.3	0.1	2.2	0.6	5.7	83.3	4.9
Total	2786.5								

カリウムで順次抽出分画した。得られたペクチン様物質画分-Ⅱ (PS-Ⅱ)、ヘミセルロース-Ⅰ画分 (HC-Ⅰ) およびヘミセルロース-Ⅱ画分 (HC-Ⅱ) とした。また、HC-ⅠおよびHC-Ⅱについては水可溶性画分をB、水不溶性画分をAとした。アルカリ抽出残渣はセルロース画分 (CL) とした。

果肉および果皮より得られたOLIGO画分のBio-Gel P-2 によるゲルろ過の溶出パターンを図3に示した。果肉および果皮におけるOLIGO画分の溶出パターンは異なり、果肉は単糖と二糖の構成からなり、果皮は単糖のみの構成になっていた。単糖はグルコースとフルクトース、二糖はシュクロースであると考えられる。また、この分画操作では、シュウ酸アンモニウム画分にも単糖の混入が

あり、最終的に果肉のOLIGO画分の糖量は45,549mgで、果皮のそれは15,197mgであった。それらの合計60,746mgは、生重量の12.4%であった。

果肉および果皮のPS-Ⅰ、PS-Ⅱ-1、PS-Ⅱ-2、HC-ⅠA、HC-ⅠB、HC-ⅡA、HC-ⅡBおよびCL画分の収量 (糖量) と構成糖組成を表1および表2に示した。いずれの画分もウロン酸 (U.A.)、ラムノース (Rha)、フコース (Fuc)、アラビノース (Ara)、キシロース (Xyl)、マンノース (Man)、グルコース (Glc) およびガラクトース (Gal) から構成されていた。また、ペーパークロマトグラフィー分析により、構成ウロン酸はガラクトツロン酸であることが示された。

ペクチン画分はその多くがガラクトツロン酸であ

り、中性糖ではアラビノースおよびガラクトースが比較的多く含まれていた。Salunierら<sup>13)</sup>、さらにはVidalら<sup>14)</sup>によるブドウ果実の細胞壁多糖の構造を参考にすると、果肉と果皮両者に含まれるペクチン様物質の大部分はD-ガラクトン酸残基が $\alpha$ -(1 $\rightarrow$ 4)結合し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ン酸であり、そのラムノース残基に結合していると思われる中性糖側鎖は、アラバン、ガラクタンおよびアラビノガラクタンなど複雑な構造をもつと考えられ、それらは品種に関わらず、存在することが示唆された。

ヘミセルロース画分の多糖は抽出する水酸化カリウムの濃度の違いで、抽出される多糖に違いがあることが知られている。まず、ヘミセルロース-I画分(HC-I)では、構成糖分析の結果から、果肉および果皮ともに、主としてIB画分に見られるようにキシラン系やガラクタン系多糖からなっていると考えられる。また、ガラクトン酸も認められたことから、ラムノガラクトン酸の存在を示唆していると思われる。これは、シュウ酸アンモニウムでの抽出が不十分であったため、4%水酸化カリウムで抽出されたのだと考えられる。次に、ヘミセルロース-II画分(HC-II)は、主にII B画分に見られる糖組成から判断してフコース、ガラクトース、キシロースおよびグルコースから成るキシログルカンであると考えられた。そこで、果肉HC-II Bを用いて、DEAE-Sephadex A-25カラムクロマトグラフィーに供し、果肉由来のヘミセルロースにおけるキシログルカンの分離を試みた。果肉HC-II BのDEAE-Sephadex A-25カラムクロマトグラフィーの結果を図4に示した。溶

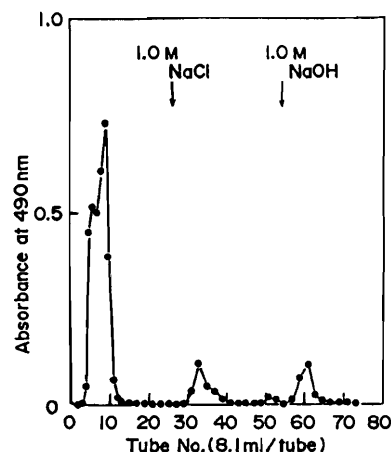


図4 ブドウ果肉細胞壁から得たヘミセルロース-II B画分のDEAE-Sephadex A-25カラムクロマトグラフィー

出順にHC-II B-1、HC-II B-2、HC-II B-3およびHC-II B-4に分別され、分画された画分の収量および構成糖比を検討したところ(表3)、中性糖画分である素通り画分HC-II B-1および若干の吸着が認められたHC-II B-2は、主要構成糖がフコース、ガラクトース、キシロースおよびグルコースであり、市販粗酵素標品サンザイム1000<sup>15)</sup>(*Aspergillus oryzae*、三共製薬)によるHC-II B-1の加水分解処理でキシログルカンの最小ユニットであるイソプリメベロース(6-O- $\alpha$ -D-xylopyranosyl-D-glucose)が得られた。また、HC-II B-1とヨードの複合体の480~700nmでの吸収スペクトルは、キシログルカン特有の640nmに最大吸収をあたえた<sup>16)</sup>ことから、HC-II B-1に含まれる多糖は、双子葉植物に典型的なキシログルカン、すなわちセルロース様 $\beta$ -1, 4-グルカンを主鎖とし、それにフコース、ガラクトースおよびキシロ

表3 DEAE-Sephadex A-25カラムクロマトグラフィーにより得られた各画分の収量および構成糖組成

画 分	収 量 (mg)	構 成 糖 (重量%)							
		U.A.	Rha	Fuc	Ara	Xyl	Man	Glc	Gal
HC-II B-1	35.3	0.0	0.5	5.4	2.2	14.6	11.3	45.0	21.0
HC-II B-2	36.8	3.8	0.6	4.4	3.8	20.8	11.2	37.4	18.1
HC-II B-3	11.4	39.6	2.0	0.7	10.3	30.3	2.0	4.8	10.3
HC-II B-4	8.4	30.4	0.5	1.0	4.2	34.7	7.4	12.1	9.7

ースが側鎖に結合したキシログルカンであると考えられる。今回果皮由来のHC-II Bについて行なわなかったが、果皮HC-II Bは果肉のそれに比べて収量も多いことから、果皮のキシログルカンについても検討することが必要であると思われる。また果皮と果肉におけるキシログルカンの構造的な違いについても、酵素処理などによる屑片分析などによって比較・検討する必要であると思われる。

アルカリ抽出残渣であるCL画分は、その糖組成に著しい違いが認められた。すなわち、果皮のCLはその80%以上がグルコースを構成糖としているのでほとんどがセルロースであることが示唆された。ところが果肉（種子を含む）のそれは、キシロースとグルコースがほぼ1:1であった。これは、セルロースとキシランから構成されていると考えるのが妥当であろう。ここで興味深いのは果皮よりも果肉でキシラン含有量が高く、24%水酸化カリウムでも抽出されないほどセルロースミクロフィブリルと強固に結合している点である。セルロースに比較的強固に水素結合するキシログルカンが植物の「壁のゆるみ」などの成長制御に関与していることから、セルロースとヘミセルロースとの関連性は果実の堅さに非常に深く関わるとされている<sup>17,18)</sup>。したがって、ブドウ果実の果肉の変化には、果肉におけるキシラン含有量が関連するという可能性も考えられる。これは他の果実にはない新しい知見であり、ブドウの他品種との比較も必要であると思われる。ただし、このキシラン系多糖が種子に由来する可能性も考えられるため、この点も含めて今後さらに検討したいと考えている。

ここで、細胞壁多糖の量を算出してみると、果肉では2,817mgであり、果皮では2,787mgであった。それらの合計5,604mgは生重量の1.1%に相当した。また、果肉および果皮における生重量当たりの細胞壁多糖の量を算出して見ると、果肉では7.96mg/g生重量であるのに対して果皮では20.39mg/g生重量と、明らかに果皮における細胞壁多糖が果肉よりも多いことが認められた。これは一般に廃棄されている果皮で細胞壁多糖が多いことを意味しており、細胞壁多糖の利用がジュース生産などにおいて産出される残渣を有効に利用することの一つ解決策となる可能性が示されたと考えている。

今回の結果から、細胞壁構成多糖の割合を算出してみると果肉では、ペクチン様物質 (PS):ヘ

ミセルロース (HC):セルロース (CL) は30.3:9.7:60.0で、果皮におけるそれは、48.8:17.7:33.5であった。ただし、果肉の場合CL画分の約半分をキシランと仮定し、ヘミセルロース画分と見なせばその比率はPS:HC:CLは30.3:39.7:30.0ということになることがわかった。今後は生育時期の違いにおける細胞壁多糖の差異および変化について検討するとともに、他品種の細胞壁多糖と比較することで、ブドウ果実の軟化機構の解明について把握できるものと考えられる。

## 引用文献

- 1) 加藤陽治, 斉藤幸子, 佐藤あつ子, 荒川 修, 元村佳恵: リンゴ7品種の果実の生育における細胞壁多糖の変化, 弘前大学教育学部紀要, 85, 115-120, (2001)
- 2) Huber, D.J.: Polyuronide degradation and hemicellulose modifications in ripening tomato fruit. *J. Amer. Soc. Sci.* 108, 405-409, (1993)
- 3) Redgwell, R.J. MacRae, E. Hallet, I. Fischer, M. Perry, J. and Harker, R.: In vivo and in vitro swelling of cell walls during fruit ripening. *Planta*, 203, 162-173, (1997)
- 4) Nunan, K.J., Sims, I.M. Basic, A., Robinson, S.P. and Fincher, G.B.: Isolation and characterization of cell walls from the pulp of mature grape berries (*Vitis vinifera*). *Planta*, 203, 93-100, (1997)
- 5) Nunan, K.J., Sims, I.M. Basic, A., Robinson, S.P. and Fincher, G.B.: Changes in cell wall composition during ripening grape berries. *Plant Physiol.*, 118, 783-792, (1998)
- 6) Saulnier, L. and Thibault, J.F.: Extraction and characterization of pectic substances from the pulp of grape berries. *Carbohydr. Polym.* 7, 329-343 (1987)
- 7) Yakushiji, H. Sakurai, N. and Morinaga, K.: Changes in cell-wall polysaccharides from the mesocarp of grape berries during veraison. *Physiol. Plant.*, 111, 188-195 (2001)
- 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, 350-356 (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, 351-364 (1982)
- 10) Robyt, J. and French, D.: Action pattern and specificity of an amylase from *Bacillus subtilis*. *Arch. Biochem. Biophys.*, 100, 451-467 (1963)
- 11) 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)

- 12) Kato, Y. and Matsuda, K.: Presence of a xyloglucan in *Phaseolus aureus* hypocotyls. *Plant Cell Physiol.*, 17, 1185-1198 (1976)
- 13) Saulnier, L., Brillouet, J.M. and Joseleau, J.P.: Structural studies of pectic substances from the pulp of grape berries. *Carbohydr. Res.* 45, 315-323 (2001)
- 14) Vidal, S., Williams, P., O'Neill, M.A. and Pellerin, P.: polysaccharides from grape berry cell walls. Part I: tissue distribution and structural characterization of the pectic polysaccharides. *Carbohydr. Polym.* 45, 315-323 (2001)
- 15) Kato, Y. and Matsuda, K.: Structure of oligosaccharides obtained by controlled degradation of mung bean xyloglucan with acid and *Aspergillus oryzae* enzyme preparation. *Agric. Biol. Chem.*, 44, 1751-1758 (1980)
- 16) Kato, Y. and Matsuda, K.: Distribution of xyloglucan in *Phaseolus aureus* seeds. *Plant Cell Physiol.*, 18, 1089-1098 (1977)
- 17) Hayashi, T.: Xyloglucan in the primary cell wall. *Ann. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.*, 40, 139-168. (1989)
- 18) Hayashi, T., Marsden, M.P.S. and Delmer, D.P.: Pea xyloglucan and cellulose. V. Xyloglucan-cellulose *in vitro* and *in vivo*. *Plant Physiol.*, 83, 384-389. (1987) (2004. 1. 15受理)