

ピタヤ茎部粉末水溶液の物性と多糖類の分析

大城あゆみ・安田みどり・尊田 民喜・中多 啓子¹・柘植 圭介²

(西九州大学大学院健康福祉学研究科健康福祉学専攻、¹西九州大学健康福祉学部健康栄養学科、
²佐賀県工業技術センター食品工業部)

(平成22年11月29日受理)

Physical Properties of Powdered Pitaya Stem Aqueous Solution and Analysis of Polysaccharide in Pitaya Stem

Ayumi OHSHIRO, Midori YASUDA, Tamiyoshi SONDA, ¹Keiko NAKATA and ²Keisuke TSUGE

Graduate School of Health and Social Welfare, Nishikyushu University Graduate School

¹*Department of Health and Nutrition Sciences, Faculty of Health and Social Welfare Sciences, Nishikyushu University*

²*Division of Food Industry, Saga Prefectural Institute of Advanced Technology*

(Accepted: November 29, 2010)

Abstract

Pitaya (dragon fruit) which belongs to the Cactaceae family grows up rapidly, and branches off well, so that a lot of stems are disposed. Because pitaya stem has high-viscosity, it may be able to use as physiological functional food. In this study, we examined the physical properties of pitaya stem, and extracted viscous substance (polysaccharide) from pitaya stem. Pitaya stem includes a lot of water, and that is almost free water. The textures (hardness, cohesiveness and adhesiveness) of pitaya stem aqueous solution were measured by a creep meter. The hardness and cohesiveness of pitaya stem were hardly affected by temperature and pH. On the other hand, the adhesiveness of pitaya stem decreased in high temperature and low pH. In addition, we extracted polysaccharide from pitaya stem, and examined composition of monosaccharides in polysaccharide by HPLC analysis. As a result, the polysaccharide was composed of galactose, arabinose, glucose, rhamnose, xylose, mannose and uronic acid, respectively. Because the polysaccharide contains a lot of galactose and arabinose, and the adhesiveness of pitaya stem is damaged by heat and acid, the polysaccharide in pitaya stem is considered as a glycoprotein based on an arabinogalactan.

キーワード：ピタヤ、多糖類、テクスチャー、粘性

Key words : pitaya, polysaccharide, texture, viscous property

1 緒 言

ピタヤは、サボテン科ハシラサボテン亜科の多肉植物で、南米北部、中米およびメキシコの熱帯雨林地帯を原産地とする登攀性ハシラサボテンの果実の総称である¹⁾。この果実は、果皮色と果肉の色から、大きく以下の3つに分けることができる。果皮色が赤く、果肉が白いホワイトピタヤ (*Hylocereus undatus*)、果皮が赤色で果肉も赤いレッドピタヤ (*Hylocereus costaricensis*)、果皮が黄色で果肉が白のイエローピタヤまたはゴールデンピタヤ (*Serenicereus megalanthus*)がある²⁾。なかでもレッドピタヤは外観が消費者に好まれるために生産が拡大している¹⁾。日本では、ドラゴンフルーツの名でよく知られており、美容、健康食品として注目されている³⁾。国内では、主に沖縄で栽培されており、近年栽培面積は増加傾向にある²⁾。特産果樹生産出荷実績調査によると、平成15年のピタヤの生産量は361 tで、パパイヤと同じくらいであったが、平成19年には445 tとなり、パパイヤを抜き、マンゴーに次ぐ重要な熱帯果樹となっている¹⁾。沖縄では、一般家庭の庭で栽培されているのをよく目にするが、九州南部でも栽培が普及してきている。また、最近では佐賀でもビニールハウス栽培にて生産されるまでになっている。ピタヤは、栽培が簡易である半面、成長が早く、茎が多数分岐することから、剪定の際に多量に発生する茎の処分が問題となっており、解決策が待たれているところである²⁾。

ピタヤの研究は、 β -カロテンやリコペン、強力な抗酸化性を示すベタレインなどの色素が含まれている^{4,5)}ことから、果実や果皮に関するものが多い。一方、ピタヤの茎部については、無機元素やCAM型光合成に関する報告がなされているのみである²⁾。我々は、ピタヤの茎部の糸を曳くような強い粘性に注目し、機能性食品または化粧品の素材として利用できるのではないかと考えた。粘性物質については、ウチワサボテンなどの *Opuntia* 属に関する報告が多くあるものの、*Hylocereus* 属茎部の粘性物質に関してはほとんど報告がない。そこで、本研究では、廃棄される茎の有効活用に向けて、ピタヤ茎部の物理的な特性を調べ、ピタヤに含まれる粘性物質の抽出を行った。

2 実 験

2.1 試料

今回使用した試料は、沖縄県産のピタヤ茎部 (*Hylocereus* 属・レッドピタヤ) を使用した。ピタヤ茎部の汚れやトゲは取り除いて使用した。

2.2 水分含量

水分含量の測定は、常圧加熱乾燥法⁶⁾に準じて行った。まず、試料をフードプロセッサーにて粉碎した。それをよく乾燥させた秤量瓶に、約25 g 秤量し、電気定温乾燥機 (S-45M、島津製作所) にて、60 °C で24時間乾燥した。その後、シリカゲルを入れたデシケーター中で、30分間放冷した後、再び秤量し、水分含量を求めた。測定は3回行った。

2.3 テクスチャー

テクスチャーの測定は、クリープメーター (RE 2 -3305 S、山電) を用いて、えん下困難者用食品の許可基準⁷⁾に準じて、以下の条件下にて行った。試料台：ステンレスシャーレ (40×20 mm、ST-40、山電) に試料を充填し、ロードセル：20 N、格納ピッチ：0.01 sec、測定歪率：66.7 %、測定速度：10 mm/sec、戻り距離：10 mm、プランジャー：No. 56 (20×8 mm、山電)、圧縮速度：10 mm/sec、クリアランス：5 mmで、試料を2回圧縮した。測定項目は、硬さ、付着性、凝集性の3項目である。試料はピタヤ茎部を凍結乾燥させたものを乳鉢にて粉末化したものを利用し、濃度、温度、pHの影響を調べた。濃度の影響を調べる実験では、粉末化したピタヤ茎部をそれぞれ0.01、0.1、0.5、1.0、2.0 %の濃度となるよう水に溶かし、25 °C でpH 7にて測定を行った。温度による影響を調べる実験では、pH 7において1 %ピタヤ茎部水溶液を4、10、20、40、50、70、90 °Cにて60分間放置し、その後室温まで戻して測定を行った。pHによる影響を調べる実験では、ピタヤ茎部濃度を1 %、25 °Cの条件下にて以下のような溶液を用いて行った。pH 1、3では塩酸、pH 5では0.1 M 酢酸-酢酸 Na 緩衝液、pH 7では0.1 M KH_2PO_4 -水酸化ナトリウム緩衝液、pH 9ではホウ酸-水酸化ナトリウム緩衝液、pH 11、13は水酸化ナトリウム溶液を使用した。pHは、MP230型pHメーター (メトラー・トレド) を用いて調整した。

2.4 粘性物質の抽出

ピタヤ茎部に含まれる粘性物質の抽出は、Yang⁸⁾らの方法に準じて行った。試料を約25 g 採取し、水を500 ml 加え、ホモジナイザーにて粉碎した。次に、その溶液をホットスターラー (ERC-1000H、東京理化工械) にて50 °C で回転速度を約600 rpm とし、2時間攪拌した。その後、ろ紙 (No. 1、アドバンテック) にて吸引ろ過した。ろ過の際に残った残留物について、前述した操作をさらに3回繰り返した。ろ液をエバポレーター (NVC-2000、東京理化工械) にて濃縮し、タンパク質を除去するためにSevag 試薬 (クロロホルム：n-ブタノール=3：1)⁹⁾を加え、振とう器にて30分間激しく攪拌した後、分液ロートにてSevag 試薬を除去した。除タンパク

後の抽出溶液に無水エタノールを加え、エタノール濃度を55%にした。そして、4℃にて一晩放置し、得られた沈殿物をろ紙(No.1、アドバンテック)にてろ過することにより除去した。さらに、ろ液に無水エタノールを加え、エタノール最終濃度を80%にし、再び4℃で一晩放置した。これを遠心分離(3900×g, 15分)(6500、久保田商事)し、得られた沈殿物を凍結乾燥(DRC-1000、東京理化工機)(-40℃、24時間)することで、粘性物質を得た。

2.5 粘性物質中の構成糖の分析

粘性物質の構成糖を決定するために、メタノリシス法、硫酸加水分解法、還元加水分解法の3つの方法にて前処理を行った。

2.5.1 メタノリシス法

メタノリシス法は、Talaga¹⁰⁾らの方法に準じて行った。この方法では、オリゴ糖や多糖類から単糖メチルグリコシドが得られ¹¹⁾、ウロン酸も検出できる。はじめに、試料を10%酢酸溶液に0.8 mg溶解させた。これを400 μ l採取し、窒素ガスにて乾燥させた。その後、2Nメタノール塩酸を0.5 ml加え、密封して80℃の条件下にて24時間加熱した。それを冷却し、さらに窒素ガスにて濃縮を行った。そこに10Nのトリフルオロ酢酸(TFA)を100 μ l加え、密封して121℃で2時間加熱した。さらに窒素ガスにて乾燥させ、水400 μ lを加えて、試料とした。

2.5.2 硫酸加水分解法

硫酸加水分解法に関しては、Hilz¹²⁾らの方法を参考にして行った。抽出した多糖類を1.0 mg採取し、72%の硫酸を0.2 ml加え、室温(25℃)にて1時間放置した。その後、水2.4 mlを加え、硫酸の最終濃度を1.0 Mとし、100℃にて3時間加熱した。

2.5.3 還元加水分解法

還元加水分解法とは、Borane-4-methylmorpholine complex(MMB)-TFAの存在下で多糖類を還元・加水分解して糖アルコールとする方法である¹³⁾。この方法により、メタノリシス法や硫酸加水分解法では分離が困難であったキシロースやマンノースを検出することができる。還元加水分解法は、Jol¹⁴⁾らの方法に準じて行った。はじめに抽出した多糖類を1.0 mg採取し、10%酢酸溶液に溶解させ、この試料溶液を100 μ l採取し、80 mg/mlのMMB溶液を50 μ l、6MのTFA溶液を100 μ l加え、80℃のウォーターバス中で30分間加熱した。これを室温に戻し、さらにMMB溶液を50 μ l加え、ウォーターバス(50~55℃)中にて加温しながら窒素ガスを充填させ乾燥させた。その後、水100 μ l、4MのTFA溶液100 μ lを加え、さらにオイルバス(120℃)中にて1時間加熱した。そして、室温まで冷まし、MMB溶液を100 μ l加え、50~55℃中で窒素ガスにて乾燥させた。そこ

にアセトニトリルを500 μ l加え、窒素ガス中(50~55℃)にてさらに乾燥させた。これに、メタノールを1 ml加え、窒素ガス中(50~55℃)にて乾燥させる操作を2回行った。さらに、水2 mlと、溶離液(0.6 M水酸化ナトリウム溶液)250 μ lを混合したものを試料とした。

2.5.4 HPLCによる分離分析

上記3つの方法にて前処理を行った試料は、パルスドアンペロメトリ検出器(HPAE-PAD)(DXc500、Dionex)を用いたHPLCにより、それぞれ分析を行った。用いたカラムは、メタノリシス法と硫酸処理法では、CarboPac PA10(4.6×250 mm、Dionex)およびガードカラム、(Dionex)、還元加水分解法では、CarboPac MA-1(Dionex)およびガードカラム、流速は、メタノリシス法と硫酸処理法では1 ml/min、還元加水分解法では0.4 ml/minであった。溶離液は、メタノリシス法では、18 mm水酸化ナトリウム溶液、0.1 M水酸化ナトリウム溶液、0.1 M水酸化ナトリウム溶液-0.6 M酢酸ナトリウムのグラジエント、硫酸処理法では、水、0.1 M水酸化ナトリウム溶液、0.6 M水酸化ナトリウム溶液のグラジエント、還元加水分解法では、0.6 M水酸化ナトリウム溶液をそれぞれ用いた。注入量は、全ての方法において20 μ lにて行った。

3 結果及び考察

3.1 水分含量

ピタヤ茎部の水分含量は88.0±0.1%、水分活性は0.98±0.01となり、ピタヤ茎部はほとんどが水分であること、さらにその水分のほとんどが自由水であることが明らかとなった。ピタヤ茎部の水分含量は、90%を超えたという報告²⁾、また、*Opuntia*属のサボテンでも、88~95%の水分含量が報告¹⁵⁾されている。ピタヤやサボテンのような多肉植物は、厳しい水不足の過酷な地に耐えるため、体内に水分を蓄える能力に優れているため¹⁶⁾、水分含量が高いと考えられる。

3.2 テクスチャー

表1にピタヤ茎部のテクスチャーの温度、濃度、pHによる影響を調べた結果を示す。測定項目は、硬さ、付着性、凝集性であった。硬さとは、サンプルを潰した時にかかる圧力のことで、付着性は、粘着性を表し、数値が高いほど粘性が高いことを意味する。凝集性とは、サンプルの復元性の指標であり、(2回目のサンプル圧縮時の波形面積)/(1回目のサンプル圧縮時の波形面積の比)で算出される。このため、値が1に近いほど、2回目の圧縮時には圧縮前の形状に戻ったことを表す。テクスチャーへのピタヤの濃度の影響について調べた結果、硬さ、凝集性にはあまり影響を与えないことが明らかとなったが、付着性に関しては、0.01%から0.5%

表1 ピタヤのテクスチャーに対する濃度、温度、pHの影響

| 濃度 (%) | 温度 (°C) | pH | 硬さ ($\times 10^3$ Pa) | 付着性 ($\times 10^2$ J/m ³) | 凝集性 |
|--------|---------|----|------------------------|--|------|
| 0.01 | 25 | 7 | 1.27 | 1.66 | 0.95 |
| 0.1 | 25 | 7 | 1.26 | 3.51 | 0.89 |
| 0.5 | 25 | 7 | 1.33 | 5.23 | 0.87 |
| 1 | 25 | 7 | 1.27 | 6.02 | 0.88 |
| 2 | 25 | 7 | 1.38 | 7.03 | 0.86 |
| 1 | 4 | 7 | 1.28 | 6.15 | 0.87 |
| 1 | 10 | 7 | 1.26 | 5.78 | 0.88 |
| 1 | 25 | 7 | 1.27 | 6.17 | 0.86 |
| 1 | 40 | 7 | 1.27 | 6.02 | 0.88 |
| 1 | 50 | 7 | 1.25 | 6.67 | 0.87 |
| 1 | 70 | 7 | 1.26 | 5.90 | 0.87 |
| 1 | 90 | 7 | 1.25 | 4.64 | 0.87 |
| 1 | 25 | 1 | 1.23 | 4.47 | 0.86 |
| 1 | 25 | 3 | 1.28 | 5.64 | 0.84 |
| 1 | 25 | 5 | 1.25 | 5.42 | 0.87 |
| 1 | 25 | 7 | 1.26 | 5.17 | 0.89 |
| 1 | 25 | 9 | 1.25 | 4.92 | 0.87 |
| 1 | 25 | 11 | 1.26 | 5.59 | 0.87 |
| 1 | 25 | 13 | 1.24 | 5.37 | 0.88 |

にかけて大きく影響していることがわかった。このことから、ピタヤの濃度が高くなるにつれ、まとわりつくような粘性が増していることが明らかとなった。温度の影響では、硬さと凝集性に関しては影響をもたらさなかったが、付着性は、60℃を境にわずかに低下していることが分かる。高温の環境下で変性したことから、タンパク質の存在が示唆された。pHの影響でも、硬さと凝集性に関しては、影響をもたらさなかったものの、付着性に関しては、pH1で低下していることが分かった。これは、強酸の環境下にて、多糖類が一部分解されている、若しくは、ピタヤ茎部に含まれるタンパク質が酸変性したとも考えられる。

以上のことから、高温、酸性の条件下では、付着性の低下がみられ、最も粘性を示す条件は50℃以下、pH3以上であることが明らかとなった。そこで、えん下困難者用食品としての活用が可能ではないかと考え、その許可基準と比較した。えん下困難者用食品とは、消費者庁が認可する、えん下を容易にし、かつ、誤嚥及び窒息を防ぐ目的とする食品であり、その許可基準⁷⁾は、硬さ： $1 \times 10^3 \sim 1.5 \times 10^4$ Pa、付着性： 1×10^3 J/m³以下、凝集性：0.2~0.9の3つである。今回の測定結果を、許可基準と比較すると、熱や酸の環境下で付着性の低下がみられたものの、濃度0.01%以外、すべての基準を満たしていた。このことから、ピタヤ茎部に含まれる粘性物質は、えん下困難者用食品としての利用が期待される。

3.3 多糖類の抽出

これまでの実験で、我々はピタヤ茎部に粘性があることを確認した。この粘性物質は、多糖類が関与しているのではないかと考え、多糖類の抽出を行った。生のピタヤ茎部から多糖類を抽出した結果、0.38% (乾燥重量) の糖類を得られた。Srivastavaらが*Opuntia dillenii*の茎から、0.5%の粘性収率¹⁷⁾であったことから、これよりも低い収率であったことがいえる。

この抽出多糖類は、水に不溶性であり、酸に可溶であった。太田²⁾らは、ピタヤ茎部の成熟茎は、マグネシウムとカルシウムが他の無機元素より数倍多く含有されていることを報告している。このことから、このピタヤ茎部抽出物には、カルシウムやマグネシウムが含まれている可能性が高いと考えられる。

3.4 多糖類中の構成糖の分析

今回の抽出多糖類中に含まれる構成糖類をHPLCにて分析を行ったときのクロマトグラムを図1~3に示す。メタノリシス法により、ラムノース、アラビノース、ガラクトース、ガラクトuron酸、グルクロン酸(図1)、硫酸加水分解法より、グルコース(図2)、還元加水分解法より、キシリトール、マンニトール(図3)が検出された。また、抽出した多糖類中の単糖類の含有量を表2にまとめた。抽出した多糖類の構成糖の比率は、ガラ

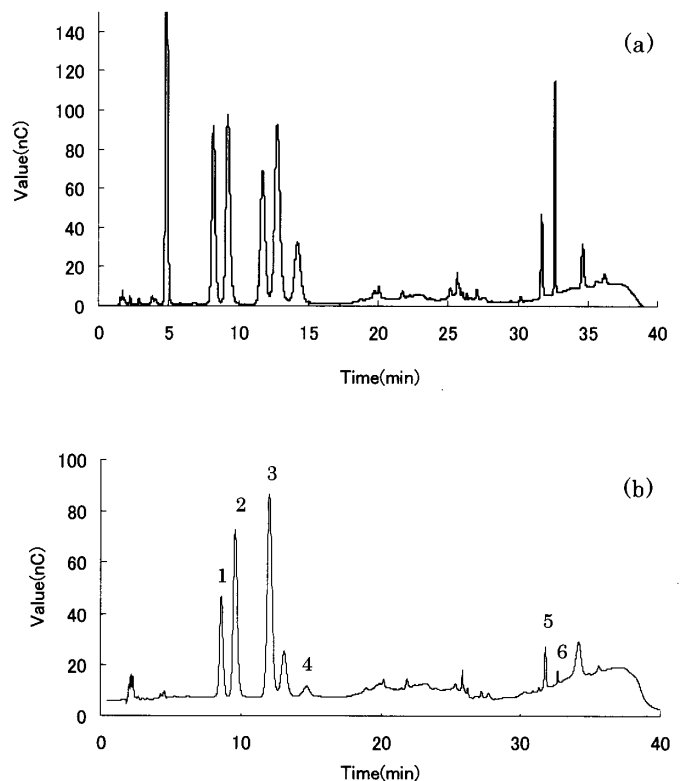


図1 メタノリシス処理後のHPLC分析クロマトグラム

(a): 標準溶液、(b): 試料溶液

- 1: ラムノース、2: アラビノース、3: ガラクトース、
4: マンノース/キシロース、5: ガラクトuron酸、
6: グルクロン酸

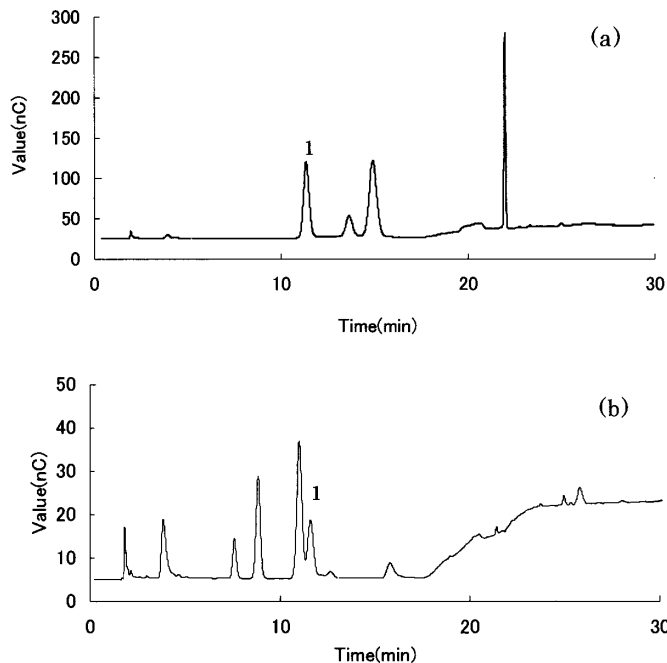


図2 硫酸処理後のHPLCのクロマトグラム

(a)：標準溶液、(b)：試料溶液
1：グルコース

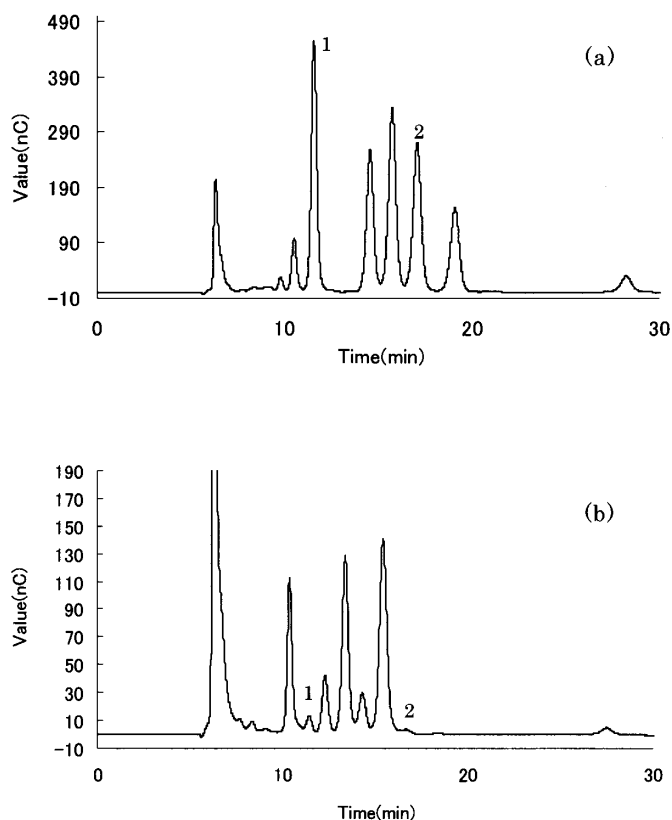


図3 還元加水分解後のHPLCのクロマトグラム

(a)：標準溶液、(b)：試料溶液
1：キシリトール、2：マンニトール

クトース：アラビノース：グルコース：ラムノース：キシロース：マンノース＝1：0.71：0.48：0.45：0.06：0.02となり、ガラクトースやグルクロン酸も含まれていることが明らかとなった。この結果は、中性糖含量とウロン酸含量を、それぞれフェノール硫酸法とカバゾー

表2 抽出した多糖類中の単糖類の含有量

| | 含有量 (mg/g) | 比率* | 前処理法 |
|-----------|---------------|------|------|
| 中性糖 | | | |
| ガラクトース | 62.1±3.2 | 1 | a |
| アラビノース | 44.2±0.8 | 0.71 | a |
| グルコース | 30.1±0.5 | 0.48 | b |
| ラムノース | 28.2±0.4 | 0.45 | a |
| キシロース | 3.6±0.5 | 0.06 | c |
| マンノース | 1.3±0.2 | 0.02 | c |
| ウロン酸 | | | |
| ガラクトuron酸 | 31.6±1.5 | | a |
| グルクロン酸 | 2.5±0.6 | | a |
| 合計 | 203.6±0.6 | | |

*：ガラクトースを1としたときの割合

a：メタノリシス法

b：硫酸処理分解法

c：還元加水分解法

ル硫酸法で測定した橋爪らの報告³⁾とほぼ一致しており、*Opuntia* 属の構成糖¹⁷⁾も似たような傾向にあった。特に、ガラクトースとアラビノースが多く含まれていたことから、アラビノガラクトランを主成分とした多糖類ではないかと推察される。アラビノガラクトランは、タンパク質と結合し、糖タンパク質として植物の細胞や組織に広く分布している¹⁸⁾ことから、粘性物質は、糖タンパク質である可能性が高いと考えられる。このことを踏まえて、先述したテクスチャー測定結果を考えると、熱や酸の条件下にて付着性の低下がみられた原因は、糖タンパク質中のタンパク質が、熱や酸によって変性したためではないかと推察される。また、アラビノガラクトランは、高等植物の細胞膜や細胞壁に存在し、細胞成長や細胞間の情報伝達などの役割を担っており³⁾、さらには、傷の治癒、霜耐性、干ばつへの耐性はアラビノガラクトランタンパク質の保水力によるといわれている¹⁹⁾。アラビノガラクトランには粘性があること以外にも、様々な生理機能を持つことが明らかになりつつある。例えば、免疫賦活効果³⁾が報告されている。さらに、同じサボテン科の*Opuntia* 属では、抗糖化作用²⁰⁾や食後血糖上昇抑制効果²¹⁾も報告されていることから、今回抽出した粘性物質にも同様の生理機能が期待される。

4 要 約

サボテン科であるピタヤ（ドラゴンフルーツ）は、成長が早く、分岐しやすいため、多量の茎が捨てられている。ピタヤ茎部には強い粘性があることから、機能性食品としての利用が期待される。そこで、本研究では、ピタヤ茎部の物理的性質を調べ、それに含まれる粘性物質（多糖類）の抽出を行った。ピタヤ茎部は、水分が多く、

ほとんどが自由水であることが分かった。また、ピタヤ茎部水溶液のテクスチャーを測定した結果、硬さや凝集性は、温度や pH の影響をほとんど受けなかった。一方、付着性は、高温、酸性の条件下で低下がみられた。さらに、ピタヤ茎部から多糖類を抽出し、HPLC 分析にて構成糖を調べた。その結果、この多糖類は、ガラクトース、アラビノース、グルコース、ラムノース、キシロース、マンノースとウロン酸で構成されていることが明らかとなった。ガラクトースとアラビノースの含量が多かったこと、熱や酸によって付着性が低下したことから、ピタヤ茎部に含まれる粘性物質は、アラビノガラクトンを主成分とした糖タンパク質ではないかと推察された。

5 謝 辞

ピタヤの茎部をご提供していただいた、安谷屋勝夫氏に厚く御礼申し上げます。

6 引用文献

- 1) 山本宗立, 井上裕嗣, 米本仁巳, 樋口浩和, 縄田栄治: 熱帯農業, **48**(2), 115 (2004)
- 2) 太田麻希子, 福澤康典, 川満芳信: 沖縄農業, **41**(1), 27 (2007)
- 3) 橋爪佐依, 米本仁巳, 田之上大, 水野雅史, 角田万里子, 野村啓一: 園芸学研究, **7 別 1**, 435 (2008)
- 4) S. Wichienchot, M. Jatupornpipat, R. A. Rastall: *Food Chemistry*, **120**, 850 (2010)
- 5) H. K. Lim, C. P. Tan, R. Karim, A. A. Ariffin, J. Bakar: *Food Chemistry*, **119**, 1326 (2010)
- 6) 菅原龍幸, 前川昭男: “食品分析ハンドブック”, p.16 (2000), (建帛社)
- 7) 消費者庁: 「特別用途食品の表示許可等について」(2009) (消費者庁ホームページ)
- 8) N. Yang, M. Zhao, B. Zhu, B. Yang, C. Chen, C. Cui, Y. Jiang: *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, **9**, 570 (2008)
- 9) E. Vilkas, F. Radjabi-Nassab: *Biochimie*, **68**, 1123 (1986)
- 10) P. Talaga, S. Vialle, M. Moreau: *Vaccine*, **20**, 2474 (2002)
- 11) 今堀和友, 山川民夫: “生化学辞典”, p.1349 (2007), (東京化学同人)
- 12) H. Hilz, E. J. Bakx, H. A. Schols, A. G. j. Voragen: *Carbohydrate Polymers*, **59**, 477 (2005)
- 13) 柘植圭介, 吉村臣史, 服部新, 小金丸和義, 吉木政弘, 阿部真一, 西野志津男, 實松正剛: 佐賀県工業技術センター平成16年度研究報告書, 22 (2005)
- 14) C. N. Jol, T. G. Neiss, B. Penninkhof, B. Rudolph, G. A. D. Ruiter: *Analytical Biochemistry*, **268**, 213 (1999)

- 15) F. C. Stintzing, R. Carle: *Mol. Nutr. Food Res.*, **49**, 175 (2005)
- 16) 湯浅浩史: “世界の不思議な植物”, p.58 (2008), (誠文堂新光社)
- 17) C. Saenz, E. Sepulveda, B. Matsuhiro: *Journal of Arid Environments*, **57**, 275 (2004)
- 18) Y. Habibi, M. Mahrouz, M. -F. Marais, M. Vignon: *Carbohydrate RESEARCH*, **339**, 1201 (2004)
- 19) K. V. D. Bulck, A.-M. A. Loosveld, C. M. Courtin, P. Proost, J. V. Damme, J. Robben, A. Mort, J. A. Delcour: *Cereal Chem.*, **79** (3), 329 (2002)
- 20) M. Zhao, N. Yang, B. Yang, Y. Jiang, G. Zhang: *Food Chemistry*, **105**, 1480 (2007)
- 21) 古庄律, 石田裕, 鈴野弘子, 齋藤守史, 三成由美, 徳井教孝, 印南敏: 日本栄養・食糧学会大会講演要旨集, 62, 188 (2008)