

野菜の加熱軟化特性とデンプンの関係

井上 竜一

Relationship between Heat-Softening Characteristics of Vegetables and Starch

Ryuichi Inoue

With increasing in the aging people, the demand for soft care food is increasing, and its market is expected to continue to expand in the future. Heating is one of the methods that softens foods. However, it cannot soften food to the level of care food. In this study, we describe the hardness of 16 kinds of vegetables after heating at 121°C and the relationship between the hardness and starch content.

After heating for 33 min, many vegetables were softened to the hardness level of care foods ($2 \times 10^4 \text{ N/m}^2$). However, Burdock, Lotus root, and Bamboo shoot maintained a high level of hardness. Therefore, these three vegetables were considered difficult to soften by heating.

The component that was related to the hardness of the vegetables after heating was considered to affect the heat-softening characteristics of vegetables. To study the relationship between heat-softening characteristics and starch, the three root vegetables, after heating at 121°C, were treated with a starch-degrading enzyme (SDE). Burdock and Carrot were not softened by SDE, but Lotus root was softened by 50%. Examination of the polysaccharide content in Lotus root indicated that 50% starch remained after treatment with SDE. Lotus root were only softened by 20% after polygalacturonase treatment. In conclusion, our study suggests that starch is related to the heat-softening characteristics of Lotus root.

Key words: vegetables, root vegetables, lotus root, heating, softening, enzyme, starch, pectin

I. 背景・目的

国民の高齢化に伴い、介護食品の需要が高まっている。特に嚥下・咀嚼困難者用食品の需要の伸びが顕著であり、今後も市場が拡大することが予想されている¹⁾。

介護食品には、ユニバーサルデザインフード (UDF)²⁾などの喫食者の状態に合わせて分けられた規格が存在しており、それら規格に準拠したメーカーは、定められた物性値に合わせて食品の硬さを調整している。

食品を軟化させる方法の1つとしては、殺菌を兼ねたレトルト処理が用いられているが、UDFの「舌でつぶせる」相当まで軟化させる場合、加熱処理では規格値以下まで軟化させることが難しい食品も存在する。

そこで、本研究では介護食品製造の一助とするため、レトルト処理を行った各種野菜の軟化の程度を調べた。また、レトルト処理後の野菜の硬さには高耐熱性の多糖の関与が予想されることから、野菜に含まれる多糖の1つであるデンプンに着目し、根菜の加熱軟化性との関係を調べた結果について報告する。

II. 実験材料および実験方法

1. 実験材料

1-1. 使用容器と蓋材

角浅型ラミコンカップ (LS115-200T: 容積 225 ml) を、蓋材には酸化アルミ蒸着フィルムをバリア材とした多層フィルム (12 μm 蒸着 PET / 15 μm Ny / 50 μm PP) を用いた。

1-2. 使用した野菜

野菜は市販のニンジン、ダイコン、カブ、サツマイモ、ゴボウ、レンコン、アスパラガス (穂先を除いた部位)、タケノコ (水煮の根元部分)、ブロッコリー (茎)、キャベツ、レタス、ハクサイ、タマネギ、ニラ、ピーマン、キュウリを用いた。

酵素は、Megazyme 製の、デンプンのアミロースを分解する α -Amylase (*Aspergillus niger* 由来, AAase)、デンプンを非還元末端から分解しアミロペクチンも分解する Amyloglucosidase (*A.niger* 由来, GAase)、ペクチンの主鎖であるホモガラクトツロナンを分解する endo-Polygalacturonanase M2 (*A.aculeatus* 由来, PGase)

を用いた。

2. 実験方法

2-1. 各種測定用の野菜サンプルの調製

ニンジン、ダイコン、カブ、サツマイモ、ゴボウ、レンコン、タマネギは剥皮後に使用した。

加熱軟化性評価用のサンプルは、ゴボウ、アスパラガス、キュウリは厚さ 15 mm に輪切り、レンコンは厚さ 15 mm の扇型にカット、ニンジン、ダイコン、カブ、サツマイモ、タケノコ、ブロッコリーは 15 mm 角にカットし使用した。キャベツ、ハクサイ、タマネギについては 50 × 50 mm に、ニラは 50 mm 幅に、ピーマンについては 5 mm 幅の細切りにカットして使用した。

硬さに関与する成分の評価用サンプルは、ゴボウは斜め切り、ニンジン、レンコンは扇型に 15 mm 厚でカットしたものを使用した。

100℃処理品として、カットした野菜を沸騰水中で 5 分間加熱処理したものを用いた。

レトルト処理品は、以下の方法で調製した。カットした食材 20 g をラミコンカップに入れた後、イオン交換水を満注充填し蓋材をヒートシールした。各野菜の容器詰をシミュレーターレトルト（東洋製罐製 H130-C110）で殺菌した。殺菌プログラムは熱水シャワー等圧殺菌方式を用い、30 分間かけて 121℃まで昇温した後、121℃で 12 分間 ($F_0=10$) および 33 分間 ($F_0=30$) 保持し、15 分間で 30℃まで冷却した。各野菜を同時に殺菌し、代表として容器の幾何学的中心に配置したタケノコの中心温度を、 ϕ 1.2 の温度センサー（エラブ製）を接続した温度測定器 E-VAL FLEX（エラブ製）を用いて測定した（図 1）。

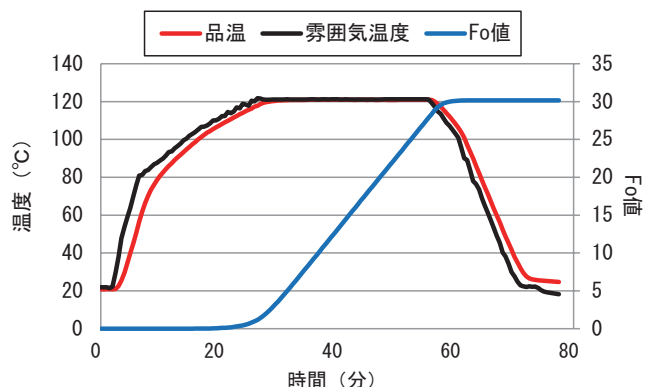


図 1 殺菌中のタケノコの温度履歴 ($F_0=30$ の場合)

2-2. 硬さ測定

硬さは、テクスチュロメーター（EZ Test：島津製作所製）を用いて測定した ($n=10$)。

加熱軟化性評価は、キャベツ、レタス、ハクサイ、タマネギ、ニラ、ピーマンを除く野菜では、直径 20 mm の円柱状プランジャーで速度 60 mm/min で歪率 60% まで変位させた時の最大荷重として測定した。ゴボウ、アスパラ

ガスは切断面を上下に向けて置き、ゴボウ、アスパラガスは中心部を測定部位とした（アスパラガスは皮部を含む）。キュウリ、レンコンも同様に置き、キュウリは中心より外れた皮を含む部分を、レンコンは出来る限り穴を含まない外周部を測定部位とした。ニンジン、カブ、ダイコン、サツマイモ、タケノコ、ブロッコリーは、立方体の中心部を測定部位とした。キャベツ、レタス、ハクサイ、タマネギ、ニラ、ピーマンについては、図 2 の矢印に示す位置にサンプル 1 つを置いてミニクランマーシアセルを速度 60 mm/min で押し込み、破断した際の最大値を硬さとした。

硬さに関与する多糖評価用のサンプルの硬さは、切断面を上下に向けて置き、ゴボウは斜面部を含む部位を、ニンジンは中心部を測定部とし（図 3）、上記の条件で測定した。

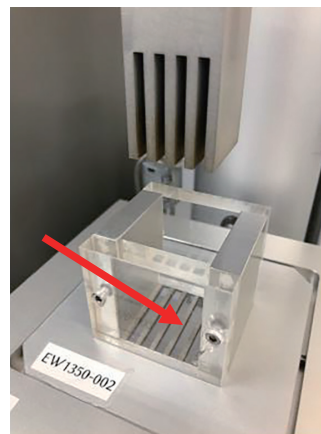


図 2 ミニクランマーシアセルの外観とサンプルの設置場所



図 3 野菜の圧縮部位の例

2-3. 酵素処理

ゴボウ、レンコン、ニンジンを 2-1. 項に記載の条件で 121℃ - 33 分間加熱したものをサンプルとした。

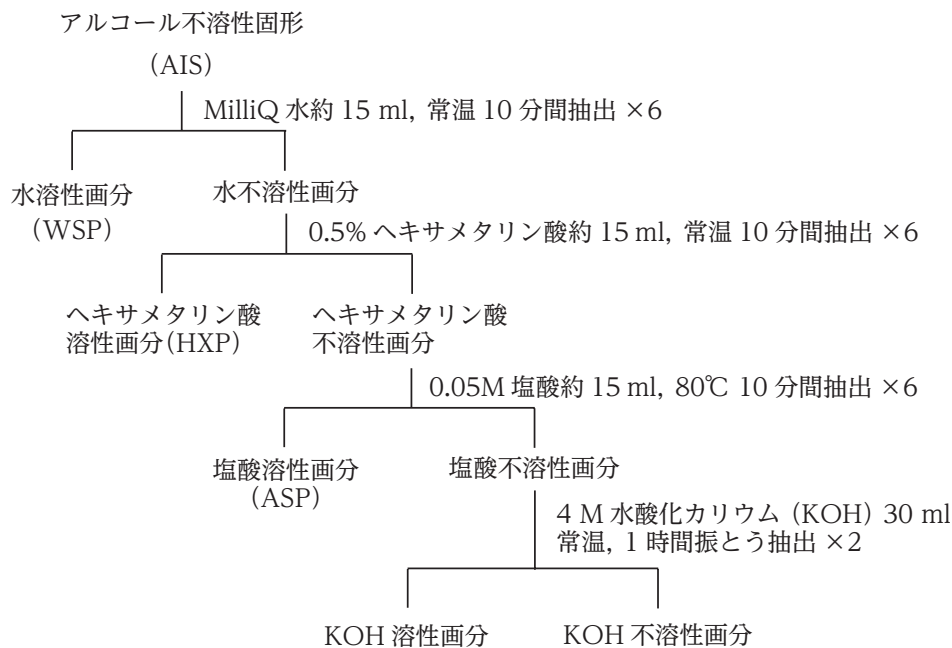
酵素反応液は、50 mM 酢酸緩衝液 (pH 4.2) 100 ml に 200 U の酵素を添加し調製した。デンプン分解酵素を使用する際は、AAase および GAase をそれぞれ 200U ずつ添加して使用した。なお 2 つの酵素は、合わせて Starch Degradation Enzyme : SDE と称する。酵素処理は、凍結含浸法³⁾を用いてサンプル内部に酵素を浸透させた後、40℃ - 24 時間反応して行った。凍結含浸法は、-20℃で一晩冷凍したサンプル 20 g を 100 ml の酵素反応液内で解凍した後、酵素反応液に浸漬した状態で -98 kPa - 30 分間保持し、減圧開放して行った。

2-4. アルコール不溶性固形物 (AIS) 調製

加熱処理および酵素処理したサンプルを凍結乾燥後に粉末化した。凍結乾燥粉末 0.5 g にエタノール 100 ml を添加し、常温で 1 時間振とう後、残渣を回収した。この操作を 2 度行った後、残渣にアセトン 100 ml を加え常温 1 時間振とうし、残渣を回収した。この操作を 2 度行った後、残渣を室温で乾燥させ AIS を得た。

2-5. 多糖の分画

AIS からの多糖の分画は、Scheme. 1 に示す手順で行い、KOH 画分を除き Dionex ASE 350 高速溶媒抽出装置 (Thermo Fisher Scientific 製) を用いた。抽出装置では、サンプル 0.5 g と珪藻土 2.3 g を乳鉢ですりつぶしながら混和した後、10 ml 容のステンレスセルに充填し、抽出を行った。KOH 画分は、分画後クエン酸で中和した。分画した各種多糖をセルロース透析チューブに入れて MilliQ 水で透析した後、減圧濃縮した。濃縮物を MilliQ 水で 5 ml にメスアップし、4 種類の多糖画分を得た。



Scheme 1. 多糖の分画手順

2-6. 多糖の糖組成分析

2-6-1. 前処理法

単糖処理は酸加水分解および酵素処理を併用した。

酸加水分解は、等量の 8 M トリフルオロ酢酸を加え、100℃ -3 時間保温し行った。サンプルを減圧乾固した後、2-プロパノールを加えさらに減圧乾固した。乾固物に MilliQ 水 10 μ l を加え、溶解させたものをサンプルとした。

ガラクトツロン酸およびキシロースは、上記方法では分解し回収できないため、これらを含む多糖の単糖化には酵素処理を用いた。酵素分解は、分画した多糖溶液 150 μ l, 0.2 M 酢酸緩衝液 (pH 4.2) 50 μ l, 2 倍希釈 Pectinex Ultra SP-L (Novozyme 製) 酵素液 50 μ l を混合して調製した酵素反応液を、35℃, 48 時間反応させて行った。沸騰水中で 1 分間加熱することで酵素反応を停止させ、糖組成分析用サンプルとした。

単糖化処理後のサンプルに、内部標準として 100 μ g の 2-デオキシグルコースを添加した後、Glyscope ABEE Labeling Kit (J-オイルミルズ製) を用いて 4-アミノ安

息香酸エチルエステル (ABEE) 誘導体化した。

2-6-2. HPLC 分析

蛍光検出器 RF-10 (島津製作所製) が接続された LC-20A (島津製作所製) で分析を行った。カラムは Xbridge C18 (4.6 $\times$ 150 mm, ϕ 5 μ m, Waters 製) を用い、0.2 M ホウ酸カリウム緩衝液 (pH 8.9) とアセトニトリルを 93:7 で混合した移動層を、流速 1 ml/min のイソクラティックで流した。オープン温度は 40℃, 注入量は 5 μ l とし、蛍光検出 (励起波長 305 nm, 検出波長 360 nm) により、各種糖濃度を測定した。

Ⅲ. 結果

1. 各種野菜の加熱軟化性

100℃ -5 分間, 121℃ -12 分間, 121℃ -33 分間加熱した後の、各種野菜の硬さを表 1 に示した。16 種の野菜のうち、9 種は「舌でぶつせる」相当もしくはそれに近いレベルまで軟化した。根菜類であるニンジン、サツマイモ、

表 1 加熱処理による各野菜の硬さの変化

		硬さ ($\times 10^4 \text{ N/m}^2$)		
		100 $^{\circ}\text{C}$ -5 分間	121 $^{\circ}\text{C}$ -12 分間	121 $^{\circ}\text{C}$ -33 分間
根菜類	ニンジン	62.4 $\pm$ 3.1	3.2 $\pm$ 0.1	4.1 $\pm$ 0.1
	ダイコン	84.7 $\pm$ 4.5	2.0 $\pm$ 0.1	2.9 $\pm$ 0.1
	カブ	30.4 $\pm$ 2.9	1.0 $\pm$ 0	1.2 $\pm$ 0.1
	サツマイモ	9.1 $\pm$ 1.0	3.0 $\pm$ 0.2	4.4 $\pm$ 0.6
	ゴボウ	21.0 $\pm$ 2.5	11.3 $\pm$ 2.1	11.3 $\pm$ 2.9
	レンコン	—	14.5 $\pm$ 3.0	6.5 $\pm$ 0.7
葉菜類	アスパラガス	24.0 $\pm$ 0.9	1.2 $\pm$ 0.1	1.6 $\pm$ 0.2
	タケノコ	84.2 $\pm$ 7.3	78.7 $\pm$ 8.1	53.0 $\pm$ 5.4
	ブロッコリー	66.5 $\pm$ 3.6	2.6 $\pm$ 0.2	2.3 $\pm$ 0.4
	キャベツ	—	1.3 $\pm$ 0.4	2.0 $\pm$ 0.9
	レタス	—	3.1 $\pm$ 1.6	1.3 $\pm$ 0.4
	ハクサイ	—	4.9 $\pm$ 1.9	4.6 $\pm$ 1.6
	タマネギ	—	1.2 $\pm$ 0.5	1.0 $\pm$ 0.5
	ニラ	—	1.0 $\pm$ 0.4	1.1 $\pm$ 0.5
果菜類	ピーマン	—	1.8 $\pm$ 0.6	1.7 $\pm$ 0.6
	キュウリ	87.7 $\pm$ 8.7	4.8 $\pm$ 0.6	3.2 $\pm$ 0.4

※「舌でつぶせる」相当の物性規格： $2 \times 10^4 \text{ N/m}^2$

レンコン、葉菜類のハクサイ、果菜類のキュウリについては、 $5 \times 10^4 \text{ N/m}^2$ 以下まで軟化した、「舌でつぶせる」相当の硬さの物性規格値である $2 \times 10^4 \text{ N/m}^2$ 以下には到達していなかった。ただし、サツマイモについては、圧縮試験では硬く評価されたが、実際は脆く崩れやすいことから、感覚的に舌で十分につぶせるものと思われた。また、ハクサイについては芯が、キュウリについては皮が軟化し難いことが原因であると考えられた。121 $^{\circ}\text{C}$ -33分間の加熱処理を行っても根菜類のゴボウは $10 \times 10^4 \text{ N/m}^2$ 以上、同じくレンコンは $6.5 \times 10^4 \text{ N/m}^2$ 、葉菜類のタケノコは $50 \times 10^4 \text{ N/m}^2$ 以上の硬さを保持しており、これら3種の野菜は加熱で軟化し難い野菜であると考えられた。

2. 加熱処理後の根菜の硬さとデンプンの関係

ゴボウ、レンコン、ニンジンに対してSDE処理を行った結果を図4および表2に示す。121 $^{\circ}\text{C}$ -33分間加熱後(Control)のゴボウ、ニンジンの硬さが前項の加熱軟化性評価の結果と差がみられたが、サンプルのロットが異なるため、個体間のバラツキが影響したと考えられる。

SDE処理を行った結果、ゴボウ、ニンジンは、軟化しなかったが、レンコンは49%軟化した。このサンプルから多糖を分画し、それぞれの画分の糖組成を調べた結果を表3に示す。

ゴボウ、ニンジンについては、デンプンの構成糖であるGlc量が少なく、その量に大きな変動も見られなかった。

一方で、レンコンのASP画分の多糖にはGlcが20 mg/g DW含まれており、SDE処理によってGlc量は50%減少した(表3)。SDE処理品ではWSP画分のGlc量の増加および総Glc量の減少が見られており、分解されたデンプン由来のGlcが水溶性画分に移動、もしくは酵素処理液に溶出したと考えられた。このことから、本試験の抽出条件において、ASP画分のGlcはデンプン由来であると予想された。レンコンのASP画分には、SDE処理後も最大50%のデンプンが残存している可能性がある。

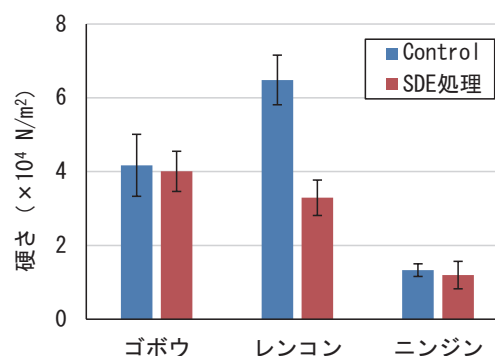


図 4 121 $^{\circ}\text{C}$ 加熱処理後の各種根菜の硬さに対するデンプン分解酵素 (SDE) 処理の影響

表 2 121℃加熱処理後の各種根菜の硬さに対する
デンプン分解酵素 (SDE) 処理の影響

	Cont	SDE 処理
ゴボウ	4.2 ± 0.8	4.0 ± 0.5
レンコン	6.5 ± 0.7	3.3 ± 0.5
ニンジン	1.3 ± 0.2	1.2 ± 0.4

表 3 121℃加熱処理後の各種根菜の多糖糖組成に対するデンプン分解酵素 (SDE) 処理の影響

		凍結乾燥粉末 1 g あたり (mg/g dryweight)					
		GalA	Gal	Glc	Ara	Xyl	Rha
ゴボウ	cont	WSP	15.9	4.0	0.0	7.7	0.2
		HXP	53.8	1.4	0.4	3.7	0.0
		ASP	34.6	3.2	0.5	11.0	0.2
		KOH	5.1	3.5	3.9	5.2	6.7
		Total	109.4	12.1	4.8	27.6	7.1
	SDE 処理	WSP	18.5	4.2	0.6	8.2	0.3
		HXP	52.5	1.7	0.7	4.6	0.0
		ASP	32.0	2.8	0.4	9.4	0.2
		KOH	3.4	3.0	3.8	4.1	7.9
		Total	106.4	11.7	5.5	26.3	8.5
レンコン	cont	WSP	0.5	0.4	3.7	0.1	—
		HXP	4.6	0.2	2.4	0.1	—
		ASP	—	2.3	19.7	—	—
		KOH	0.4	1.5	2.5	0.3	2.6
		Total	5.5	4.4	28.3	0.5	2.6
	SDE 処理	WSP	1.4	0.9	8.3	0.3	—
		HXP	7.1	0.2	2.4	0.1	—
		ASP	0.1	1.5	10.5	—	—
		KOH	0.3	1.8	2.5	0.2	2.5
		Total	8.9	4.4	23.7	0.6	2.5
ニンジン	cont	WSP	24.1	9.5	0.7	6.7	0.1
		HXP	64.1	3.6	0.2	3.0	0.1
		ASP	36.2	3.7	0.3	4.6	0.1
		KOH	5.7	8.4	6.1	4.9	15.2
		Total	130.2	25.3	7.4	19.3	15.5
	SDE 処理	WSP	28.6	8.7	0.3	6.6	0.1
		HXP	59.8	2.6	0.2	2.2	0.0
		ASP	40.3	5.9	1.4	6.9	0.1
		KOH	4.9	8.8	6.1	5.0	16.9
		Total	133.6	25.9	8.0	20.7	17.1

—: 未検出

硬さに関与すると考えられるその他の多糖としては、ペクチンが考えられる⁴⁾。そこで、加熱処理後のレンコンの硬さに対するペクチンの関与を調べるため、ペクチン分解酵素 (PGase) 処理を行った結果、軟化は約 20%にとどまった (図 5)。酵素処理前後の各種画分の糖組成を比較すると、HXP および ASP 画分の GalA 量が約 70%減少しており、大部分は分解されたと考えられる (表 4)。

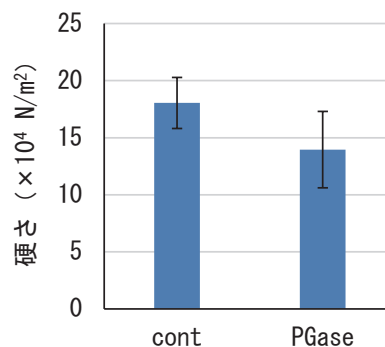


図 5 121℃加熱処理後のレンコンの硬さに対するペクチン分解酵素 (PGase) 処理の影響

表 4 121℃加熱処理後のレンコンの多糖糖組成に対するペクチン分解酵素 (PGase) 処理の影響

		凍結乾燥粉末 1 g あたり (mg/g dryweight)					
		GalA	Gal	Glc	Ara	Xyl	Rha
cont	WSP	0.9	0.6	10.6	0.2	0.1	0.1
	HXP	6.2	0.2	4.2	0.1	—	—
	ASP	1.9	2.2	359.5	—	—	—
	KOH	0.3	0.7	52.7	0.4	3.9	0.3
	Total	9.3	3.8	427.0	0.8	4.1	0.4
SDE 処理	WSP	1.7	0.8	6.7	0.2	0.1	0.2
	HXP	2.1	0.2	3.5	0.1	—	—
	ASP	0.5	1.9	380.2	—	—	—
	KOH	0.2	1.9	82.5	0.4	4.6	0.3
	Total	4.5	4.8	472.9	0.7	4.7	0.4

—: 未検出

IV. 考察とまとめ

介護食品の製造方法の 1 つであるレトルト処理による軟化について調べるため、16 種の野菜を 121℃で加熱して硬さを調べた。121℃-12 分間以上の加熱処理によって、多くの野菜が「舌でつぶせる」相当、もしくはそれに近いレベルまで軟化することがわかった。一方で、葉菜類であるタケノコや、根菜類であるゴボウ、レンコンについては、121℃-33 分間加熱を行っても一定の硬さを保持しており、加熱によって軟化し難い野菜であると考えられた。

そこで、加熱で軟化し難いゴボウ、レンコン、軟化し易いニンジンを対象に、デンプン分解酵素 (SDE) を用いて、根菜の加熱軟化性とデンプンの関係を調べた。ゴボウ、ニンジンは SDE 処理で軟化せず、多糖の糖組成も変化していないことから、硬さにデンプンは関与していないと考えられた。一方で、レンコンは SDE 処理で約 50%軟化し、ASP 画分には Glc が約 50%残存していた。凍結乾燥粉末化した生レンコンの重量の 50%以上がデンプンであり、その他の多糖に含まれる Glc 量は 4%以下であるとの報告されている⁵⁾ ことから、本試験における ASP 画分に

は未分解のデンプンが多く残存している可能性が高いと考えられる。また、硬さに関与する多糖としてペクチンが挙げられるが、加熱処理後のレンコンはペクチン主鎖の分解では約 20%程度の軟化にとどまっていた。

以上を踏まえ、121℃加熱処理後のレンコンの硬さに関与する主要成分はデンプンであり、デンプンがレンコンの加熱軟化性に影響していることが示唆された。今後は得られた知見を用い、これら根菜の軟化技術の開発につなげたい。

V. 参考文献

- 1) 介護食品をめぐる状況 (農林水産省)
(https://www.maff.go.jp/j/jas/kaigi/pdf/h280229_jas_tyou_bukai_siryous3_ver2.pdf)
- 2) ユニバーサルデザインフードとは (日本介護食品協議会)
(<https://www.udf.jp/outline/udf.html>)
- 3) 坂本ら, 特許第 3686912 号
- 4) 洲上, 日本家政学会誌, 65, 479-491 (2014)
- 5) 加藤, 弘前大学教育学部紀要, 74, 37-47 (1995)