

熊本県南阿蘇村産キクイモ (*Helianthus tuberosus*) における  
イヌリン含量および抗酸化力に及ぼす加熱加圧処理の影響

**Effect of Heat Processing with Pressure on Inulin Contents and Antioxidant Capacity of  
Jerusalem Artichoke (*Helianthus tuberosus*) Cultivated at Kumamoto-Minamiaso in Japan**

安田伸<sup>1,2)\*</sup>、安田智子<sup>1)</sup>、本田憲昭<sup>1)</sup>、松田靖<sup>1,2)</sup>

<sup>1)</sup>東海大学農学部、<sup>2)</sup>東海大学先進生命科学研究所

*Shin Yasuda<sup>1,2)\*</sup>, Tomoko Yasuda<sup>1)</sup>, Kensho Honda<sup>1)</sup> and Yasushi Matsuda<sup>1)</sup>*

<sup>1)</sup>*School of Agriculture, Tokai University*

<sup>2)</sup>*Institute of Advanced Biosciences, Tokai University*

\*連絡先：安田伸（東海大学先進生命科学研究所 高機能食品開発部門）

\*Corresponding author: Shin Yasuda (Division of Functional Food Science, Institute of Advanced Biosciences, Tokai University)

[要旨]

熊本県阿蘇郡南阿蘇村で2018年に収穫されたキクイモを異なる条件で加熱加圧処理し、熱水抽出後にイヌリン含量および抗酸化力を調べた。塊茎部を85°Cで30分間または115°Cで20分間加熱した結果、加熱前後でイヌリン含量に有意な差は認められなかったものの、抗酸化力にはそれぞれ14.8倍と9.3倍の高値を認めた。しかしながら、食酢とともに塊茎部を85°Cで30分間加熱した結果、フルクトース量の増加を伴って加熱前の62%にまでイヌリンが分解された。以上より、キクイモの処理条件を選ぶことによって機能性成分に影響を与えることがあるものの、むしろ抗酸化力を増強できる場合がある可能性を見出した。

[Abstract]

We investigated here the effect of heat processing with pressure on inulin content and antioxidant capacity of Jerusalem artichoke, harvested at Minamiaso, Aso, Kumamoto, Japan, in 2018. The amounts of inulin in the tubers heated at 85°C for 30 min and at 115°C for 20 min were comparable to that of unheated one, whereas those of antioxidant capacity were 14.8 and 9.3-times higher than that of unheated one, respectively. However, the tubers heated at 85°C for 30 min with vinegar resulted in decomposition of inulin lowering to 62% in concomitant with an increase of free fructose level. Collectively, it was found that selecting the processing settings of Jerusalem artichoke would influence on the functional ingredients, however rather could enhance antioxidant capacity of the products.

[Key Words]

Jerusalem artichoke, *Helianthus tuberosus*, inulin, heat processing with pressure, antioxidant capacity

1.はじめに

キクイモ（英名：Jerusalem artichoke、学名：*Helianthus tuberosus* Linne）は北米原産のキク科の多年生草本で、草丈1-3mにまで生育し、主にショウガ根のような形状をした塊茎部を食用とする【1】。世界中に外来種として分布しており、日本には第2次世界大戦前に食用として導入され帰化植物として自生するようになった。現在では日本各地で地域性のある作物として栽培も行わ

れている。フラクトオリゴ糖とは、スクロースにフルクトースが数個β-2,1結合で直鎖状に繋がったものを指す。フラクトオリゴ糖よりもさらに多くのフルクトースが約30個程度同様の結合様式で連結した多糖類を総称してイヌリンと呼ぶ。キクイモの塊茎にはイヌリンが多く含まれており、サラダとして生食されるほか、甘味料、アルコール発酵、飴原料、加熱調理、チップス、ピクルス、ピューレならびに粉末状に加工される

[1, 2]. イヌリンを豊富に含むキクイモ塊茎部が、糖分類制されている糖尿病患者のための代替食として伝統的に用いられてきたほか、現代では糖尿病リスクの予防または軽減を目的とした甘味性の機能性食品またはいわゆる健康食品やその素材として消費されている[1]。塊茎部に加えてポリフェノール類が豊富な葉部もまたキクイモ茶として国内で加工され、通信販売や地域性のある食材として市販されている。アジア圏ではキクイモの塊茎部、葉部、花部の各部位を食用とするほか薬用として利用する地域もある。熊本県内では、菊池市近郊や阿蘇郡などでキクイモが地域性ある機能性作物として栽培ならびに加工され、市場にて流通している。

キクイモ中の機能性成分であるイヌリンは、胃腸等の消化管では消化吸収されにくい難消化性の糖質である[2]。ビフィズス菌などの腸内細菌によって初めて資化されることから、腸内細菌叢の改善を目的とするプレバイオティクス効果が期待されるほか、水溶性食物繊維としての種々の保健機能が注目されている。しかしながら、地域性のある機能性作物の食品への加工と製品の利用を推進するためには、加熱や調理加工中の農作物中のイヌリン等の機能性成分の安定性や効能などについて個々に調べる必要がある。

本研究では、2018年秋に熊本県阿蘇郡南阿蘇村で栽培されたキクイモの塊茎部、葉部および花部を、小型高温高圧調理器により異なる条件で加熱加圧処理し、加工処理がイヌリン含量と抗酸化力に及ぼす影響を調べることにした。同時にポリフェノール含量も測定した。

## 2. 結果の概要

### 1) 試料の調製

材料には、熊本県阿蘇郡南阿蘇村で栽培され2018年秋期(9~10月)に収穫された新鮮なキクイモの塊茎部、葉部、花部を、Table 1に示す条件でレトルトパウチ包装ならびに小型高温高圧調理器(達人窯、FCS-KM76)を用いて加熱加圧処理されたものを、南阿蘇オーガニック株式会社(熊本県阿蘇郡南阿蘇村)より提供された。即ち、塊茎部には非加熱の生鮮品、85°Cで30分間加熱処理と115°Cで20分間レトルトパウチ加熱処理、市販の食酢とともに85°Cで30分間加熱処理された計4種類、葉部と花部はそれぞれ非加熱生鮮品と85°Cで30分間加熱処理された4種類、合計8種類を本研究で分析に用いた。

塊茎部、葉部、花部の各部位を用いた8種類のキクイモサンプルを用いて凍結乾燥を行い、ミルミキサーで約10秒間破碎した。それぞれの凍結乾燥粉末0.4gを5mlのMilliQ水とともに80°Cで20分間熱水抽出し、室温まで冷却後に、4,000 rpm (2,620 xg)、15°Cで20分間遠心後の上清を回収した。残渣を同条件で熱水により2回再抽出し、合計3回分の抽出後の遠心上清を混合した。これをミリポア社のSterile Millex®-HA, 0.45 µmを用いてフィルター濾過し、熱水抽出物として以降の実験に使用した。

**Table 1.** Unheated and heated Jerusalem artichoke samples evaluated in this study

Parts	Heat Settings
Tubers	Unheated (Raw)
	Heated at 85°C for 30 min
	Heated at 115°C for 20 min
	Heated at 85°C for 30 min (w/ vinegar)
Leaves	Unheated (Raw)
	Heated at 85°C for 30 min
Flowers	Unheated (Raw)
	Heated at 85°C for 30 min

Explanation in parenthesis (w/ vinegar) indicates the sample pickled in commercial vinegar during the heat process.

### 2) イヌリン含量の測定

抽出液中のイヌリン含量は過ヨウ素酸消費量測定法に基づき、既報に従ってフルクトース相当量として分光学的に定量した[3, 4]。本法は、還元糖と過ヨウ素酸との酸化反応によるものである[5]。フルクトースと過ヨウ素酸との反応がグルコースよりも早いことを利用し、反応後に残存する過ヨウ素酸を過剰量のヨウ化カリウムと反応させ、生じた水溶液中のヨウ素を350 nmで測定することによって、フルクトース含量を間接的に定量できる。イヌリン含量は次式により算出した。即ち、 $I = k(F_{tot} - F_f)$ 、 $I$ はイヌリン含量、 $F_{tot}$ は総フルクトース含量、 $F_f$ はフリーフルクトース含量、 $k=0.995$ は加水分解時の脱水を考慮した補正係数を表す[3]。

初めにキクイモ塊茎部のフリーフルクトース含量と塩酸加水分解後の総フルクトース含量を測定した結果、乾燥重量1gあたりそれぞれ55.4 mgと556 mgが認められた(Table 2)。総フルクトース量からフリーフルクトース量を差し引き、補正して得た値を多糖類イヌリン中のフルクトース量とみなし、乾燥重量1gあたり498 mgのイヌリン含量が算出された。85°Cで30分間加熱した際には492 mg、115°Cで20分間加熱した際には500 mgが認められ、生鮮時と同レベルのイヌリン含量を認めた。興味深いことに、食酢とともに85°Cで30分間加熱した際にのみ、加熱前の62%に相当する308

mg までイヌリン含量の低下が認められた。このときフリーフルクトースの明らかな上昇を伴っていた。このため、キクイモ塊茎部中のイヌリンは、加熱による影響を受けにくいものの、酢漬け等の酸性下で加熱すると加水分解されやすいことが推察された。市販の食酢中の酸度は約4-6%であるものの、これは酢酸以外にクエン酸などの各種有機酸による酸を含めた値であり、酢酸含量は数%にすぎない。予備実験として、試薬として入手可能なチコリー由来の高純度イヌリン 15 mg/ml を試験管内で 0, 0.25-2%の酢酸とともに 85°Cで 30 分間加熱したところ、酢酸濃度依存的なフリーのフルクトース量の増加とともにイヌリンの分解を認めている (data not shown)。一方、塊茎部に比べると葉部と花部においてはほとんどイヌリンが存在しておらず低値を示すこと、イヌリン構成単糖のフルクトースがおおよそフリーの状態で存在することを認めた。

本研究で得られた熊本県南阿蘇村産キクイモの生鮮塊茎部の乾燥重量中のイヌリン含量は 49.8%であり、既報のタイ産の 10 種類のキクイモで分析された 62.96-74.90%よりやや低値であった[3]。一方、本研究で用いたキクイモ同乾燥重量あたりのフリーフルクトース含量は 5.54%であり、既報のタイ産の 10 種類のキクイモの 1.18-1.60%よりもむしろ高値を示した。これまでに、キクイモの食品開発として酢酸菌によるキクイモ酢の調製を試行した研究において、32 日間の酢酸発酵の過程でキクイモ汁中のイヌリンが微減することも報告されている[2]。また、調理加工後のキクイモ中のイヌリンが、摂食後の胃酸によりどの程度分解されるのかを調べることも興味深いテーマの 1 つである。

**Table 2.** Effect of heat processing with pressure on the amounts of free and total fructose, and inulin in Jerusalem artichoke samples used in this study.

Samples	Fructose (mg/g D.W.)		Inulin (mg FruE/g D.W.)
	Free	Total	
<b>Tubers</b>			
Unheated (Raw)	55.4±8.6 <sup>a</sup>	556±44 <sup>a</sup>	498±36 <sup>a</sup>
Heated (85°C, 30 min)	41.3±2.3 <sup>ab</sup>	536±25 <sup>a</sup>	492±23 <sup>a</sup>
Heated (115°C, 20 min)	28.4±1.5 <sup>b</sup>	531±32 <sup>a</sup>	500±32 <sup>a</sup>
Heated (85°C, 30 min, w/ vinegar)	193±26 <sup>c</sup>	503±41 <sup>a</sup>	308±20 <sup>b</sup>
<b>Leaves</b>			
Unheated (Raw)	81.6±6.5 <sup>d</sup>	82.0±4.2 <sup>b</sup>	0.4±4.5 <sup>c</sup>
Heated (85°C, 30 min)	83.6±3.0 <sup>d</sup>	120±8 <sup>b</sup>	36±5 <sup>c</sup>
<b>Flowers</b>			
Unheated (Raw)	89.9±2.2 <sup>d</sup>	94.9±5.5 <sup>b</sup>	4.9±4.3 <sup>c</sup>
Heated (85°C, 30 min)	119±7 <sup>e</sup>	140±10 <sup>b</sup>	22±4 <sup>c</sup>

Data shown represent mean ± S.D. from four experiments. Values not sharing a common superscript letter are considered significantly different at  $P < 0.05$ , using the

Tukey-Kramer test for multiple comparisons with ANOVA. FruE; fructose equivalent, D.W.; dry weight.

### 3) 抗酸化力の測定

筆者らの既報に従って[6]、次に化成品ラジカル種の 1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl (DPPH) ラジカルに対する消去活性を測定した。このとき、trolox を標準抗酸化剤の陽性対照として使用し、サンプルの抗酸化力を TEAC 値 (trolox equivalent antioxidant capacity, trolox 相当の抗酸化力の換算値) として算出した。その結果、キクイモ塊茎部乾燥重量 1 g あたり 0.0619 mg (= 0.247 μmol) の trolox 相当の TE 値が得られた (Table 3)。塊茎部を 85°Cで 30 分間加熱した際には 0.916 mg TE (= 3.66 μmol TE)、115°Cで 20 分間加熱した際に 0.577 mg TE (= 2.31 μmol TE)、食酢とともに 85°Cで 30 分間加熱した際には 0.593 mg TE (= 2.37 μmol TE) が得られ、加熱後にはそれぞれ 14.8 倍、9.3 倍、9.6 倍の抗酸化力の向上が認められた。非加熱の葉部および花部ではそれぞれ 0.683 mg TE (= 2.73 μmol TE) および 0.715 mg TE (= 2.86 μmol TE) の値が得られ、これらは非加熱の塊茎部よりも約 11-12 倍もの高値を示すと同時に、85°Cで 30 分間加熱の際にはそれぞれと 1.14 mg TE (= 4.55 μmol TE) および 1.18 mg TE (= 4.71 μmol TE) といずれも約 1.7 倍の抗酸化力の向上が認められた。

**Table 3.** Effect of heat processing with pressure on the trolox equivalent antioxidant capacity (TEAC) of Jerusalem artichoke samples used in this study

Samples	(mg TE /g D.W.)	(μmol TE /g D.W.)
<b>Tubers</b>		
Unheated (Raw)	0.0619±0.0256 <sup>a</sup>	(0.247)
Heated (85°C, 30 min)	0.916±0.029 <sup>b</sup>	(3.66)
Heated (115°C, 20 min)	0.577±0.073 <sup>c</sup>	(2.31)
Heated (85°C, 30 min, w/ vinegar)	0.593±0.074 <sup>c</sup>	(2.37)
<b>Leaves</b>		
Unheated (Raw)	0.683±0.096 <sup>c</sup>	(2.73)
Heated (85°C, 30 min)	1.14±0.05 <sup>d</sup>	(4.55)
<b>Flowers</b>		
Unheated (Raw)	0.715±0.126 <sup>c</sup>	(2.86)
Heated (85°C, 30 min)	1.18±0.04 <sup>d</sup>	(4.71)

Data shown represent mean ± S.D. from four experiments. Values not sharing a common superscript letter are considered significantly different at  $P < 0.05$ , using the Tukey-Kramer test for multiple comparisons with ANOVA. DPPH radical scavenging assay was performed to obtain TEAC values with trolox as the standard sample. TE; trolox equivalent, D.W.; dry weight.

キクイモの加熱による抗酸化力向上の原因については、現時点では明らかになっていない。これまでに、加熱調理加工におけるアスコルビン酸と抗酸化力の低

下に、添加したスクロースやグルコースが保護効果を示すことに加えて、150°C以上の高温ではカラメル化が示唆される抗酸化力の急激な上昇が報告されている[7]。また、野菜類の調理による影響を調べた研究では、沸騰水中で40秒の加熱を行うと殆どの場合抗酸化活性が軽減するものの、キク科の食用キク、シュンギク、セリ科のセリを含むいくつかの農産物で抗酸化活性の上昇を認めている[8]。また、加熱処理が野菜抽出物の抗酸化活性に及ぼす影響を調べた他の研究では、ホウレンソウの蒸し加熱、ナスの電子レンジ加熱およびニンジン焼き加熱において、抗酸化活性が微増する傾向が認められている[9]。

#### 4) 総ポリフェノール含量の測定

抽出液中の総ポリフェノール含量はフォーリンチオカルト法に基づき、筆者らの既報に従ってクロロゲン酸相当量として分光学的に定量した[6]。その結果、キクイモ塊茎部乾燥重量1gあたり9.30mgの総ポリフェノールが含まれており、85°Cで30分間加熱した際には12.4mg、115°Cで20分間加熱した際には9.83mg、食酢とともに85°Cで30分間加熱した際には12.6mgが得られ、加熱処理後にも生鮮と同等もしくは85°C加熱時に微増する傾向を認めた (Table 4)。加熱前の葉部および花部ではそれぞれ37.3mgおよび39.1mgの総ポリフェノール含量が得られ、これらは非加熱の塊茎部よりも約4.0-4.1倍の高値を示すとともに、85°Cで30分間加熱することでいずれも約1.1倍の微増の傾向を認めた。

**Table 4.** Effect of heat processing with pressure on the amount of total polyphenol in Jerusalem artichoke samples used in this study

Samples	(mg CAE/g D.W.)
Tubers	
Unheated (Raw)	9.30±0.25 <sup>a</sup>
Heated (85°C, 30 min)	12.4±0.4 <sup>b</sup>
Heated (115°C, 20 min)	9.83±0.41 <sup>a</sup>
Heated (85°C, 30 min, w/ vinegar)	12.6±0.1 <sup>b</sup>
Leaves	
Unheated (Raw)	37.3±0.3 <sup>c</sup>
Heated (85°C, 30 min)	41.7±0.4 <sup>d</sup>
Flowers	
Unheated (Raw)	39.1±0.3 <sup>c</sup>
Heated (85°C, 30 min)	41.9±0.9 <sup>d</sup>

Data shown represent mean ± S.D. from four experiments. Values not sharing a common superscript letter are considered significantly different at  $P < 0.05$ , using the Tukey-Kramer test for multiple comparisons with ANOVA. CAE; chlorogenic acid equivalent, D.W.; dry weight.

ここで認められた加熱後の総ポリフェノール含量の

微増には、加熱による抽出効率の向上等が考えられる。前述の抗酸化力の差異と相関してはならず、加熱加工処理による抗酸化力の向上にはポリフェノール以外の成分によるもの影響が大きいと推察された。近年、いくつかの野菜の調理加熱において、ポリフェノール類のうち、タマネギ中のケルセチンとイソラムネチン誘導体、ピーマン中のケルセチンおよびルテオリン誘導体、カルドン (キク科アザミ亜科の植物) 中のとくにクロロゲン酸が加熱後の抗酸化活性の上昇に寄与しうる成分として報告されている[10]。興味深いことに、我々の先行研究においては、キク科の作物であるヤーコンの葉部を160°Cで熱処理すると、カフェ酸の上昇とともに抗酸化力が上昇する傾向を認めている[11]。一方、キクイモの葉部と塊茎部の抽出物による機能性として、酸化バランス調節および細胞増殖調節作用を示すことが報告されていることから[12]、摂取時の効能を想定するうえでは、キクイモの部位別の個々の効能における加熱処理の影響についても今後検証を行う必要があるかもしれない。本研究で認められた、キクイモの加熱による抗酸化力向上の原因については現時点では明らかになっておらず、大きな変動を示さなかったポリフェノール類よりも、加熱処理時に生じる可能性のあるメラノイジン等の非ポリフェノール性の抗酸化成分等の形成や影響について検証を行う必要がある。

本研究では、熊本県南阿蘇村で収穫されたキクイモを異なる条件で加熱加圧処理し、熱水抽出後にイヌリン含量および抗酸化力を調べた。塊茎部を85°Cで30分間または115°Cで20分間加熱したところ、加熱前後でイヌリン含量に有意な差は認められなかったものの、抗酸化力がそれぞれ14.8倍と9.3倍になることを見出した。しかしながら、食酢とともに塊茎部を85°Cで30分間加熱すると、フリーフルクトース量の増加を伴って加熱前の62%にまでイヌリンが分解されることを明らかにした。したがって、キクイモの酢漬けや酢酸発酵などのビネガー製品を開発する際には、機能性成分がどの程度の量、どの程度の期間製品中に残存しているのかを明らかにする必要がある。今回、キクイモ花部と葉部もまた85°Cで30分間加熱すると約1.7倍の抗酸化力の増加を認めた。総ポリフェノールにおいては加熱処理によっても同等もしくは微増であり、抗酸化力の向上にポリフェノールが貢献している可能性は少ないものと考えられる。以上より、キクイモの処理条件によっては機能性成分に影響を与えることがあるものの、条件次第ではむしろ抗酸化力のみを増強できる

場合がある可能性を見出した。

### 3. 展望

今後、熊本県阿蘇郡南阿蘇村産の地域性のある農産物の利用を推進するうえで、機能性成分イヌリンに注目したキクイモ塊茎部の食品開発を行うためには、胃酸によるイヌリン分解の可能性も考慮すると、有効成分を損なうことのない加熱処理条件の検証と各工程における成分分析、さらにはイヌリンの効能を評価できる実験系の導入を進めていく必要がある。本研究で認められたキクイモの加熱による抗酸化力向上の原因については現時点では明らかになっておらず、大きな変動を示さなかったポリフェノール類よりも、むしろそれ以外の加熱処理時に生じうる抗酸化成分について詳細に調べる必要がある。

### 4. 引用文献

- [1] 佐竹元吉ら編, 健康・機能性食品の起源植物事典, 中央法規出版株式会社, 東京, pp.188 (2016)
- [2] 本堂正明ら, 北海道立食品加工センター報告, **6**, 37-41 (2005)
- [3] A. Saengkanuk, *et al.*, *Eur Food Res. Technol.*, **233**, 609-616 (2011)
- [4] D. Puangbut, *et al.*, *Int J Plant Prod.*, **9**, 1735-8043 (2015)
- [5] M. Granda, *et al.*, *CIENCIA*, **7**, 277-282 (1999)
- [6] S. Sugahara, *et al.*, *J Food Sci.*, **80**, C2420-C2429 (2015)
- [7] 北尾悟, 大阪樟蔭女子大学研究紀要, **1**, 232 (2011)
- [8] 池羽智子と鹿島恭子, 茨城県農業総合センター園芸研究所研究報告 **14**, 27-33 (2006)
- [9] 久保田朗と山下純隆, 福岡県農業総合試験場研究報告, **19**, 81-84 (2000)
- [10] I. Juaniz, *et al.*, *Food Chem.*, **197(PartA)**, 466-473 (2016)
- [11] 上田裕人ら, 東海大学先進生命科学研究紀要, **2**, 29-34 (2018)
- [12] Z. Nizioł-Lukaszewska, *et al.*, *Lipids Health. Dis.* **17**, 280 (2018) doi: 10.1186/s12944-018-0929-8.

### 5. 業績

【論文発表】

【学会等発表】

該当なし

### 6. 謝辞

本研究は、主に南阿蘇オーガニック株式会社（熊本県阿蘇郡南阿蘇村）の「南阿蘇 田んぼを畑にする応援プロジェクト」における分析委託、ならびに一部で東海大学総合研究機構プロジェクト研究、総合農学研究所プロジェクト研究、および先進生命科学研究プロジェクト研究の資金援助により実施されています。