

3種のジャガイモの熱的挙動

橋場浩子* 吉田光一* 本間優理亜**

Thermal Behaviors of Three Kinds of Potatoes

Hiroko HASHIBA*, Koichi YOSHIDA* and Yuria HONMA***

The components of three kinds of potatoes (Ground Pechika, Haruka, and Cynthia) were measured. Gelatinization and retrogradation properties of these potatoes were measured by micro-DSC. Positive relationship was obtained between gelatinization enthalpy and carbohydrate content ($R^2 = 0.9992$). Positive relationship was also obtained between gelatinization peak temperature and retrogradation enthalpy ($R^2 = 0.9593$). It was suggested high gelatinization temperature means high amylase/amylopectin ratio, which leads to high early retrogradation.

(Received August 31, 2015; Accepted December 1, 2015)

緒言

橋場らは、いくつかの食材中の NaCl の拡散について研究し、それらがいずれも二元収着拡散理論で解析できることを報告してきた^{1)~5)}が、今回は3種のジャガイモの熱的挙動について調べてみた。

ジャガイモはナス科ナス属の植物で、学名は *Solanum tuberosum* L. である。原産地の南アメリカアンデス地域で7,000年前から栽培されてきたと推定される。これがコロンブスの新大陸発見によりヨーロッパにもたらされ、一時は「悪魔の食物」として忌み嫌われた時代もあったが、冷涼な気候でも丈夫に育つことから救荒作物として、世界各地に広がった。わが国へは17世紀中頃にオランダ人によりもたらされ、飢饉のたびに各地に広がった⁶⁾。ジャガイモは主成分としての炭水化物の他に、ビタミン、ミネラル、食物繊維を含む栄養価の高い食物であり、そのために救荒作物として利用されてきた。

このジャガイモの主成分はデンプンであり、デンプンは一般にグルコース鎖が部分的に会合したミセル構造をもつ不溶性の粒状構造をしており、水とともに加熱するとミセル構造、粒状構造が崩壊し、ゲル化する。これは

不可逆な反応で糊化と呼ぶ⁷⁾。糊化したでんぷんを放置すると、一旦ほどけたグルコース鎖が再び凝集し、老化が起こる。老化デンプンは再び加熱することによって糊化するから、これを示差走査熱量計 (DSC) によって測定することができる⁸⁾。

このように、デンプンの糊化特性および老化特性は DSC により測定できる。そこで本研究では、3種のジャガイモの熱的挙動を DSC により測定し、これらの糊化特性および老化特性と一般成分値との間にどのような関連があるかを調べることを目的とした。

実験方法

1. 試料

グラウンドペチカ (Tawara masahiko, Japan)、はるか (Incorporated Administrative Agency National Agriculture and Food Research Organization, Japan)、シンシア (Germicopa S.A., France) の3種のジャガイモを、2014年青森県黄金崎農場より購入し、冷蔵庫で4℃にて保存した。生のジャガイモの中心部分より、直径3.6cm 長さ6cm の円柱をステンレス製の型でくりぬき、

Keywords: potato, thermal behavior, DSC, gelatinization, retrogradation,

* 東京聖栄大学健康栄養学部

** 世田谷区立給田小学校

ここから髓の無い部分を取り、糊化特性用試料とした。98℃で40分蒸したジャガイモを4℃で1日保存したのから同様に試料を取り、老化特性用試料とした。

2. 走査型電子顕微鏡 (SEM) による観察

生および予備加熱したジャガイモ (シンシア種) 試料の断面を、低真空 SEM (JSM-6380, 日本電子株式会社) にて観察した。試料は-10℃のクールステージに載せ、加速電圧 15kV、倍率 300 倍の条件下で行った。

3. 一般成分分析

日本食品分析センターに依頼し、3種のジャガイモの一般成分値として、たんぱく質、脂質、灰分、炭水化物含量を測定した⁹⁾。測定は2回以上行い、平均値と標準偏差を求めた。

4. 示差走査熱量計 (DSC) による測定

ジャガイモ試料約 60 μg を中圧パン (120 μl、ヴィトン株式会社) に精秤して密封した。示差走査熱量計 (Micro-DSC1、メトラートレド株式会社) を用いて、これらの試料の吸熱開始温度 (T_b)、吸熱ピーク温度 (T_p)、吸熱終了温度 (T_c)、及び吸熱エンタルピー (ΔH) を測定した。昇温速度は毎分 2℃とし、リファレンスには脱イオン蒸留水 50 μl を用いた。

5. 統計処理

各測定結果は、平均値±標準偏差で示した。データの解析はエクセル統計 2010 を用いて一元配置分散分析を行い、Fisher の最小有意差法により、p<0.05 のものを

統計的に有意とした。

結果および考察

1. ジャガイモ (シンシア) の SEM 写真

写真 1⁴⁾に示すように、生のジャガイモでは、細胞壁の中に大小の澱粉粒子が多数存在する。これを加熱すると、澱粉は膨潤糊化し細胞間のペクチンが溶出し、細胞間に隙間が現れた。Hermasson and Svegmarm によれば、糊化の間、デンプン粒子は膨潤し糊化粒子を形成する。一般に、膨潤粒子はアミロペクチンに富んでいて、直鎖のアミロースは膨潤粒子から溶出し粒子外に連続相を形成する。そしてアミロースは膨潤抑止材となる¹⁰⁾。

2. ジャガイモ 3 種の成分値

3種のジャガイモの水分、タンパク質、脂質、灰分、炭水化物の測定値を表 1 に示す。3種のジャガイモの水分含量はグラウンドペチカ、はるか、シンシアの順に低くなり、炭水化物含量は逆にこの順に高い値となった。いずれの間にも 5% の有意水準で有意差が見られた。

3. 3 種のジャガイモの糊化特性

3種の生のジャガイモの DSC 曲線を、図 1 に示す。グラウンドペチカ、はるか、シンシアの順にピーク温度 (T_p) は低く、吸熱量 (ΔH) は大きくなっている様子が見られる。表 2 にその数値を示す。高橋らは、示差熱分析により、デンプンを主成分とする代表的な食品として、ジャガイモ (男爵)、レンコン、サトイモ、サツマイモの吸熱開始温度 (T_b) を測定しており、男爵イモの T_b は 60.6±1.33 であると報告している¹¹⁾。この値に比べ

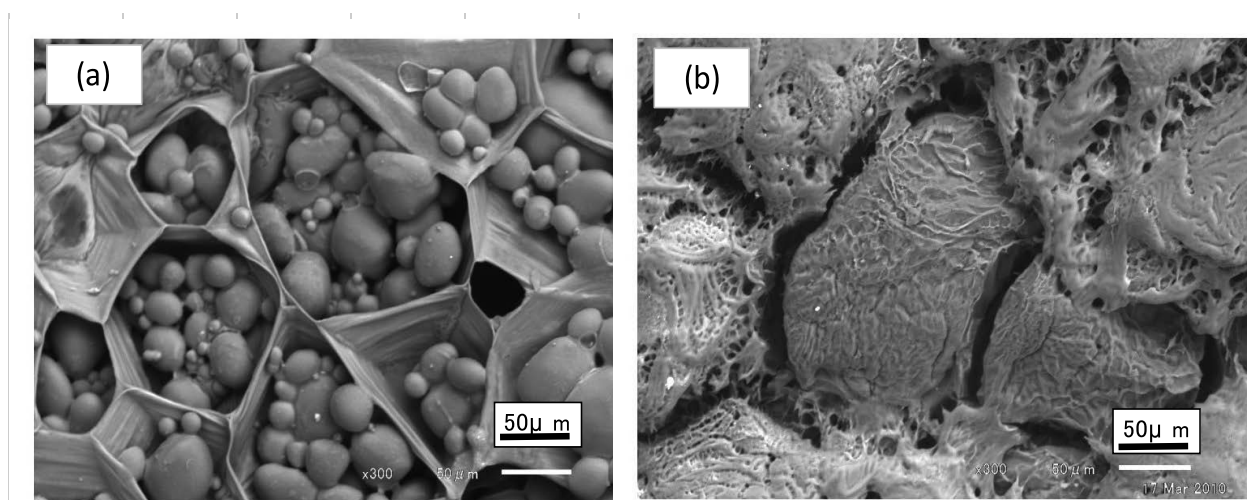


Photo 1 Natural SEM photos of Cynthia potato (a) raw and (b) cooked

Table 1 Components of three kinds of precooked potatoes

Potato	Moisture g/100g	Protein g/100g	Lipid g/100g	Ash g/100g	Carbohydrate g/100g
Ground Pechika	83.94±0.06 ^a	2.45±0.18±0.08 ^a	0.99±0.02 ^a	12.45±0.03 ^a	
Haruka	81.72±0.25 ^b	2.28±0.11±0.01 ^a	1.17±0.02 ^a	14.74±0.37 ^b	
Cynthia	80.16±0.03 ^c	1.56±0.11±0.00 ^a	0.76±0.04 ^a	17.41±0.12 ^c	

Data was obtained by Japan Food Research Laboratories.

Different letters within a column indicate significant difference at $p > 0.05$.

ると、グラウンドペチカの値がやや高めではあったが、はるか、シンシアの値はほぼ男爵イモの値に匹敵するものであった。

Mortensenらは、ジャガイモを乾物量の高い群と低い群に分けて、DSCにより吸熱開始温度 (T_b)、ピーク温度 (T_p) および吸熱エンタルピー (ΔH) を測定し比較した。彼らの結果によれば、乾物量の高い群のほうが、 ΔH は大きくなった¹²⁾。本実験でも、炭水化物含量の多い順に ΔH が大きくなった。これは、乾物量や炭水化物含量が高いほど、デンプン含量も高くなり、糊化による吸熱エンタルピーが大きくなったためと考えられる。ここで、3種のジャガイモの吸熱エンタルピーと炭水化物含量の間の相関をみると、図2に示すように、 $R^2 = 0.998$

という高い正の相関がみられた。上に述べたように、炭水化物含量が多ければデンプン含量も多くなり、デンプンの糊化による吸熱エンタルピーが大きくなったものと推察された。

一方、 T_b および T_p は炭水化物含量とともに低い値となった。 T_p の場合、有意水準 5% で3種のジャガイモの間に有意差があった。Mortensenらの結果でもジャガイモの乾物量の高いほうが、 T_b および T_p は低くなった¹³⁾。これは、ジャガイモの乾物量が増すと同時に、アミロース/アミロペクチンの比が増加することによる¹³⁾ことが示唆された。

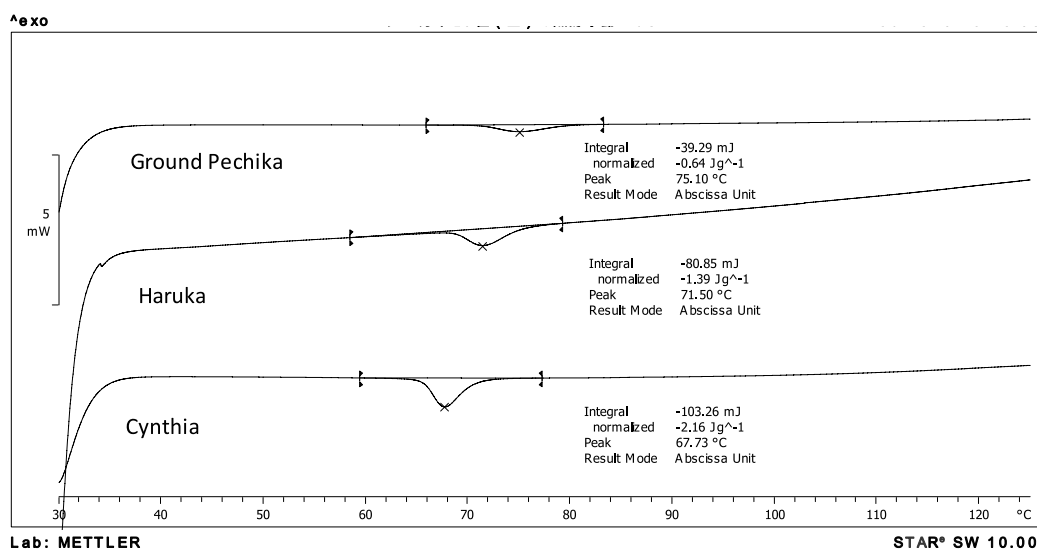


Figure 1 DSC thermograms of three kinds of raw potatoes

Table 2. Onset temperature, peak temperature, conclusion temperature and endotherm enthalpy of three kinds of raw potatoes

Potato	To °C	Tp °C	Tc °C	Δ H J/g
Ground Pechika	68.35 ± 0.18 ^a	74.75 ± 0.49 ^a	81.45 ± 0.13 ^{ab}	0.58 ± 0.01 ^a
Haruka	61.18 ± 0.14 ^b	71.9 ± 0.57 ^b	82.65 ± 0.05 ^a	1.27 ± 0.13 ^b
Cynthia	60.91 ± 0.69 ^b	68.02 ± 0.40 ^c	79.39 ± 1.62 ^b	1.95 ± 0.28 ^c

Different letters within a column indicate significant difference at $p > 0.05$.

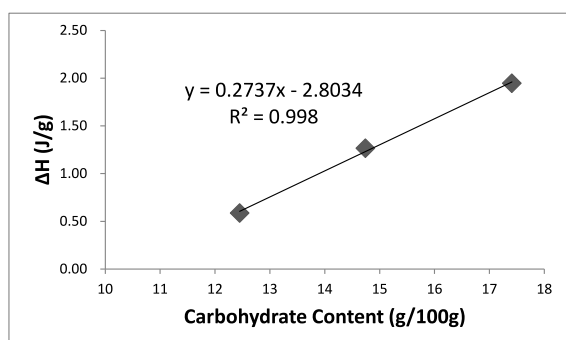


Figure 2 The correlation between endothermic enthalpy and carbohydrate content of three kinds of potatoes

4. 3種のジャガイモの老化特性

予備加熱して1日後の3種のジャガイモのDSC測定の結果を表3に示す。グラウンドペチカの吸熱エンタルピー(ΔH)が最も高い値であり、3種のジャガイモの間にはいずれも有意水準5%で有意差があった。図1お

よび表2からわかるように、グラウンドペチカのTpが最も高値を示した。このことは、アミロース/アミロペクチンも高いことを示唆する¹⁴⁾。老化という言葉は、糊化デンプンを冷却したり保存したりする時の変化を描写するのに使われ、糊化デンプンの短期の結晶化はアミロースの結晶化によるとされている¹⁴⁾¹⁵⁾。従ってグラウンドペチカは、はるかやシンシアに比べて、アミロース/アミロペクチン比が高いため、老化のエンタルピーも高くなったのではないかと推察される。

図3に糊化による吸熱ピーク温度(Tp)と老化による吸熱エンタルピー(ΔH)の関係を示す。Tpが高いほど、ΔHも高くなり、相関係数 $R^2 = 0.9593$ という高い正の相関がみられた。これは、Tpが高いほど、アミロース/アミロペクチン比が高くなり、初期の老化に関わるためと考えられる。今後、3種のジャガイモのアミロース/アミロペクチン比を測定し、老化との関係をより詳しく検討したい。

Table 3 Onset temperature, peak temperature, conclusion temperature and endotherm enthalpy of three kinds of cooked potatoes

Potato	To °C	Tp °C	Tc °C	Δ H J/g
Ground Pechika	53.49 ± 0.95 ^a	65.54 ± 0.62 ^a	77.07 ± 1.92 ^a	0.38 ± 0.07 ^a
Haruka	54.66 ± 2.17 ^a	64.37 ± 0.62 ^a	74.62 ± 0.47 ^b	0.20 ± 0.03 ^b
Cynthia	54.20 ± 1.21 ^a	63.02 ± 2.93 ^a	74.48 ± 0.57 ^b	0.08 ± 0.01 ^c

Different letters within a column indicate significant difference at $p > 0.05$.

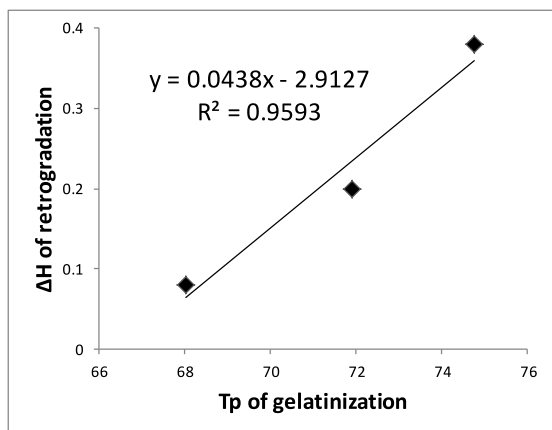


Figure 3 The correlation between ΔH of gelatinization and Tp of retrogradation

要約

3種のジャガイモの糊化による吸熱エンタルピー (ΔH) は、炭水化物含量と高い正の相関があった ($R^2 = 0.9992$)。糊化ピーク温度 (T_p) はシンシア、はるか、グラウンドペチカの順に高値となり、老化による吸熱エンタルピー (ΔH) との間に高い正の相関がみられた ($R^2 = 0.9593$)。アミロースは初期の老化に関与することが示唆されており、糊化による T_p が高いとアミロース/アミロペクチン比が高くなるため老化しやすいものと推測された。

謝辞

本研究は、平成 26 年度東京聖栄大学共同研究費の助成を受けました。ここに謝意を表します。また、SEM 撮影をしていただいた日本電子株式会社にも篤く御礼申し上げます。

文献

- 1) Hashiba, H., Komiyama, J., Nakanishi, T., & Gocho, H. (2007). Dual mode diffusion of NaCl in Japanese radish under cooking conditions. *Journal of Food Science*, 72(3), C154-C162.
- 2) Hashiba, H., Gocho, H., & Komiyama, J. (2008). Dual mode diffusion and sorption of sodium chloride in pre-cooked egg white. *LWT-Food Science and Technology*, 41(10), 1978-1986.
- 3) Hashiba, H., Gocho, H., & Komiyama, J. (2009). Dual mode diffusion and sorption of sodium

chloride in pork meats under cooking conditions. *LWT-Food Science and Technology*, 42(6), 1153-1163.

- 4) Hashiba, H., Gocho, H., & Komiyama, J. (2013). Dual mode diffusion and sorption of sodium chloride in pre-cooked potato (*Solanum tuberosum* L.), *Journal of Food Research*, 2(1), 66-79.
- 5) Hashiba, H., Gocho, H., & Komiyama, J. (2014). Dual mode diffusion and sorption of sodium chloride in surimis under cooking conditions, *Journal of Food Engineering*, 137, 101-109.
- 6) 小巻克己編：ジャガイモ事典、三松堂書店 (2012)
- 7) 塩坪聡子、日本調理科学会誌、24、54-61(1991)
- 8) 塩坪聡子、日本調理科学会誌、24、157-164(1991)
- 9) 科学技術庁資源調査会編：4訂日本食品標準成分表 (1982)
- 10) Hermansson and Svegmarm : Development in the understanding of starch functionality, *Trends Food Sci. Technol.*, 7, 345-353 (1996)
- 11) 高橋 浩司、白井 邦郎、和田 敬三、川村 亮: 示差熱分析による食品中澱粉の熱的性質の検討 食品関連高分子の熱的性質(第2報)、日本農芸化学会誌、52、441-448 (1978)
- 12) Mortensen, M., Thybo, A. K., Bertram, H. C., Andersen, H. J., and Engelsen, S. B.: Cooking effects on water distribution in potatoes using nuclear magnetic resonance relaxation. *J. Agri. Food Chem.*, 53, 5976-5981 (2005)
- 13) Burton, W. G., The Potato: 3rd ed.: Longman Scientific and Technical, Essex, U.K. (1989)
- 14) Miles, M. J., Morris, V. J., Orford, P. D., and Ring, S. G.: The roles of amylose and amylopectin in the gelatinization and retrogradation of starch, *Carbohydrate Res.*, 135, 271-281 (1985)
- 15) Sievert, D., and Wursch, P.: Amylose chain association based on differential scanning calorimetry, *J. Food Sci.*, 58, 1332-1345(1993)