

低温調理法とその他の加熱調理法による 焼き芋のおいしさの比較

海津夕希子¹、鷺頭 哲男²、大坪 紫乃²、新井 夏希²
加藤ゆかり²、荒井 威吉²

Comparison of sensory properties of roast sweet potato
by low temperature cooking and other cooking ways

Yukiko Kaizu¹, Tetsuo Washizu², Shino Otsubo², Natsuki Arai²,
Yukari Kato², Ikichi Arai²

1. 緒 言

低温調理は、食材を一般的な調理温度より低い55℃～90℃程度の温度帯でじっくり加熱する調理法である。低温調理には、スチームコンベクションオーブン（以下、スチコンと記載する）が使われる。スチコンは、オーブン機能とスチーム噴射機能が備わった複合調理器で、2つの異なる加熱法と、それらの同時併用機能を持っており¹⁾、温度管理が容易で、焼く、煮る、蒸すなどの調理ができる。スチコンの加熱は30～300℃、スチームモードでは30～130℃、オーブンとスチームを組み合わせたコンビモードでは30～270℃の温度帯での幅広い調理が可能である²⁾。低温調理の利点は、食材や素材に均一に熱を伝えられるのでジューシーに仕上げられる、食材や素材の栄養素の破壊が少ない、調理過程での食材や素材の酸化を防止でき、煮崩れや目減りを抑えられる、真空調理法と併用すると食塩などの調味料を減らしても食材や素材に均一に浸透させることができるなどがある。欠点は、十分に加熱するためには時間がかかる、食材や素材ごとに適切な温度を調べて調理する必要がある、低温調理で生残する細菌があるので冷凍保存する、冷蔵保存の場合は細菌増殖の防止に注意するなどがある。これらの利点、欠点を理解して使用する必要がある。

収穫後間もないサツマイモ塊根のデンプンは α -アミラーゼなどの分解を受けない³⁾ので、 β -アミラーゼの作用も受けない。貯蔵したサツマイモ塊根を加熱調理するとマルトースが検出される。 β -アミラーゼは未糊化の生デンプンには作用しないので、マルトースの生成にはデンプンの糊化が前提となる⁴⁾。糊化については、豆類の細胞壁は強靱で、糊化に必要な水分の供給が制限されるので、細胞内デ

所属 ¹ 新潟青陵大学短期大学部 (Niigata Seiryō University Junior College Department)

² 国際調理製菓専門学校 (International Cooking Confectionery College)

ンブンの糊化は大きく抑制される⁵⁾が、サツマイモの細胞壁はある程度の弾力性を持ち、損傷細胞も多いので、加熱による熱量の増加に伴って細胞壁の間隙を通じて水分が取り込まれる⁶⁾。サツマイモ塊根のデンプンが加熱によって糊化し始める温度は、一般的な品種、系統では75℃前後であるが⁷⁾、品種、系統間で50～80℃の広範囲に分布し⁸⁾、栽培、生育時の環境などによっても変動しやすい⁹⁾。

サツマイモの β -アミラーゼは60℃で活性が低下し始め、75℃では40～50℃とされる至適温度域の酵素活性の30%程度しか残らない¹⁰⁾。未加熱のサツマイモの β -アミラーゼ活性が高いと加熱したサツマイモのマルトース含有量も高い。 β -アミラーゼ活性が同程度の場合はデンプン糊化温度が低い方がマルトース含有率は高くなる。また、品種、系統ごとのデンプン糊化開始温度とマルトース生成量との関係には統計的な負の関係が認められる¹¹⁾。したがって、サツマイモのデンプンが加熱されて糊化し始める温度に達した時には、マルトースを生成する β -アミラーゼの酵素活性はかなり低下している。サツマイモの甘さを増すためには、 β -アミラーゼ活性よりデンプン糊化開始温度が重要である¹¹⁾から、焼き芋を作る時は品温を徐々に上げて70～80℃の温度域を長く保つ石焼きや壺焼きの加熱方法が合理的である¹²⁾。

野菜を煮熟する際の煮汁のpHは、煮熟後の野菜の硬さに大きな影響がある。サツマイモなどはpH 4で最も煮熟軟化しにくく、煮熟後の硬さと組織中に残存するペクチン量には相関が認められる²¹⁾。サツマイモの硬さは、pH3以下では加水分解により、pH5以上ではトランスエリミネーション (β -脱離)によって分解するが、pH4では β -脱離による分解、加水分解、脱塩などが起きにくく、ペクチン質が溶出しにくい¹⁴⁾ためである¹⁴⁾。野菜を加熱調理する際、長時間水に浸すか、60℃付近で予加熱して、途中で加熱を中断すると再び加熱しても軟化しにくくなる。80℃以上では酵素が大部分破壊され、以後は高温が反応の主要因となる¹³⁾。加熱調理したサツマイモには生理機能としての糞便量の増加作用がある。水溶性食物繊維の粘度はレンジ加熱すると、生または蒸し加熱より高くなり、その一方で不溶性食物繊維の保水性は生が高く、レンジ加熱、蒸し加熱ともに約30%低下するが、加熱により不溶性食物繊維の量が増加するので、糞便量の増加作用には影響がない¹⁵⁾。

サツマイモに対する加熱の影響に関する研究は多く行われているが、これまでに低温調理を用いた焼き芋のおいしさを評価した研究は見当たらない。そこで、本研究では低温調理に適したサツマイモを用いて、低温調理法とその他の加熱方法で焼き芋を作り、おいしさについて比較検討した。

2. 実験方法

1) 供試材料

β -アミラーゼ活性が高く、糊化温度が低い特徴を持つ茨城県産べにはるかを用いた。

2) 焼き芋を作る条件

- ①低温調理法は、STEAM CONVECTION OVEN (Maruzen Super Steam) SSC-06SC を用いて、サツマイモをそのままの状態に加熱した。方法は2つで、低温調理の乾式加熱とスチーミングによる湿式加熱を組み合わせて、低温調理70℃で90分加熱の後90℃でスチーミング40分 (以下低温調理70℃と記載する) と、低温調理80℃で90分加熱の後90℃でスチーミング40分 (以下低温調理80℃と記載する) を行った。
- ②ふ卵器 (BITEC INCUBATOR, SHIMAZU製) の乾式加熱によって、サツマイモの水分が蒸散しないようにアルミホイルで全面を包んだ状態で加熱した。方法は3つで、恒温加熱70℃で35時間の長時間加熱 (以下恒温加熱70℃と記載する)、恒温加熱80℃で35時間の長時間加熱 (以下恒温加熱

80℃と記載する) および恒温加熱150℃で3時間 (以下恒温加熱150℃と記載する) を行った。

3) 糖度 (甘さ)

加熱したサツマイモ 3 g に純水 9 ml を加えて碎き、均質にして、屈折糖度計 (ポケット糖度計 PAL-J, ATAGO 製) で測定し、Brix% で示した。

4) 官能検査

5種類の加熱方法による焼き芋について、官能検査を、本校栄養士学科1年の学生39名と教員1名の40人で行った。官能検査の項目は食感、硬さ、甘さ、おいしさの4つで、評価は1 (悪い) から5 (大変良い) までの5段階の評価とした。項目別の基準の表現は、食感は評価1 (ざらざら・パサパサ) ~ 評価5 (滑らか)、硬さは評価1 (硬い) ~ 評価5 (柔らかい)、甘さは評価1 (甘くない) ~ 評価5 (甘い)、おいしさは評価1 (まずい) ~ 評価5 (おいしい) とした。

3. 実験結果

1) 各加熱方法による焼き芋の糖度

各加熱方法による焼き芋の4倍希釈液の糖度を図1に示した。比較試料としての恒温加熱150℃の焼き芋は9.0%で、1番高かった。次いで低温調理70℃が8.4%、低温調理80℃が7.2%となり、恒温加熱80℃は5.2%、恒温加熱70℃は3.8%で低かった。

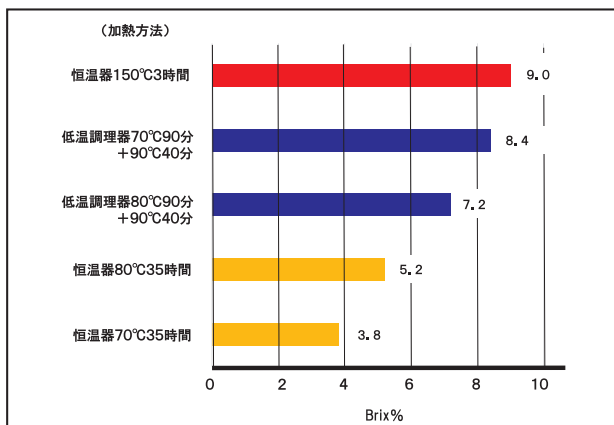


図1 各加熱方法による焼き芋の糖度 (Brix%)

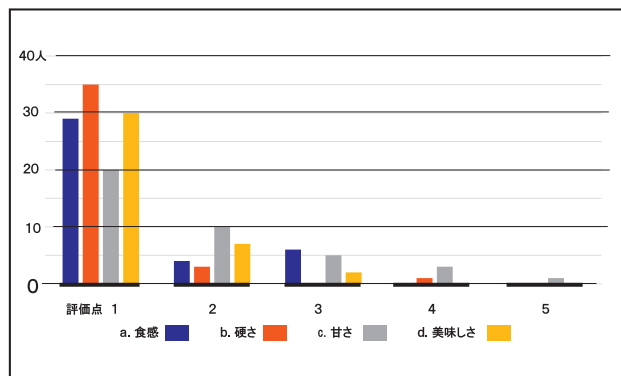


図2 70℃ 35時間加熱による焼き芋の官能検査 (評価点1 (悪い) ~ 5 (大変良い) の5段階で評価した)

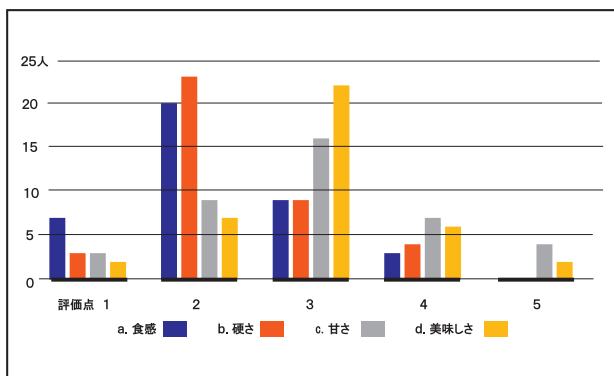


図3 70℃ 90分+90℃ 40分加熱による焼き芋の官能検査 (評価点1 (悪い) ~ 5 (大変良い) の5段階で評価した)

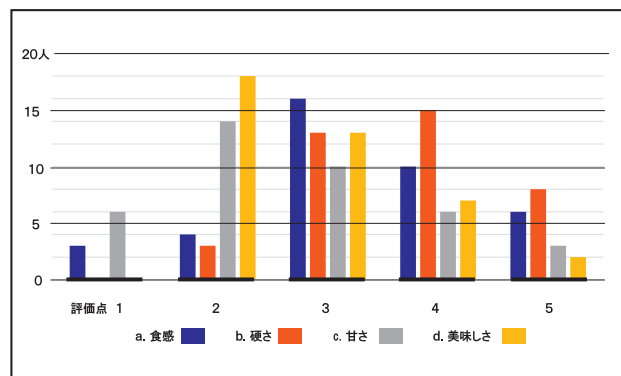


図4 80℃ 35時間加熱による焼き芋の官能検査 (評価点1 (悪い) ~ 5 (大変良い) の5段階で評価した)

2) 官能検査

各加熱方法による焼き芋の官能検査の結果を図2～6に示した。

恒温加熱70℃（図2）は、硬さ、食感、甘さ、おいしさの全ての項目で評価は約1であり、評価は1番低かった。次に評価が低かったのは低温調理70℃（図3）で、硬さ、食感は評価2が多く、甘さ、おいしさは評価3が多かった。続いて恒温加熱80℃（図4）は、硬さ、食感は評価3が最も多く、4の評価もあったが、甘さ、おいしさは評価2が最も多く、次いで3、4の順になった。低温調理80℃（図5）は、硬さ、食感は評価2と3が同程度となり、甘さ、おいしさは評価3が最も多かった。比較試料の恒温加熱150℃（図6）の評価が1番高く、4項目ともにほとんど評価5であった。

3) 官能検査の主成分分析

総合的な主成分分析の結果は図7に示した。個別の結果では、硬さと食感の評価が高い方から順に恒温加熱150℃が1番高く、次いで恒温加熱80℃、低温調理80℃、低温調理70℃、恒温加熱70℃となり、加熱温度が高いほど評価が高かった。また同じ加熱温度の時は、恒温加熱（乾式加熱）の評価の方が低温調理（乾式加熱とスチーミング（湿式加熱）の組み合わせたもの）より高かった。甘さとおいしさの評価が高い方から順に恒温加熱150℃が1番高く、続いて低温調理80℃、低温調理70℃となり、その次は恒温加熱80℃の順になり、1番低かったのは恒温加熱70℃であった。70℃～80℃で加熱する場合は、

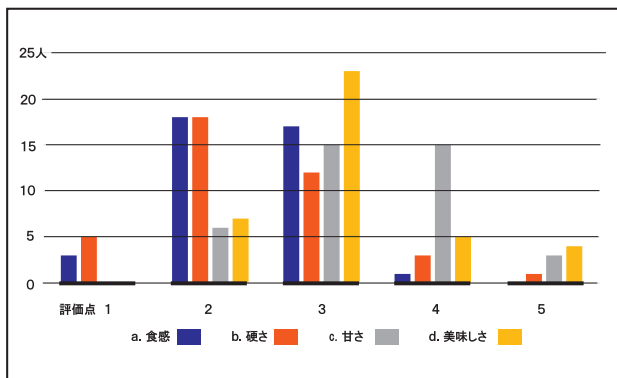


図5 80℃ 90分+90℃ 40分加熱による焼き芋の官能検査 (評価点1 (悪い)～5 (大変良い)の5段階で評価した)

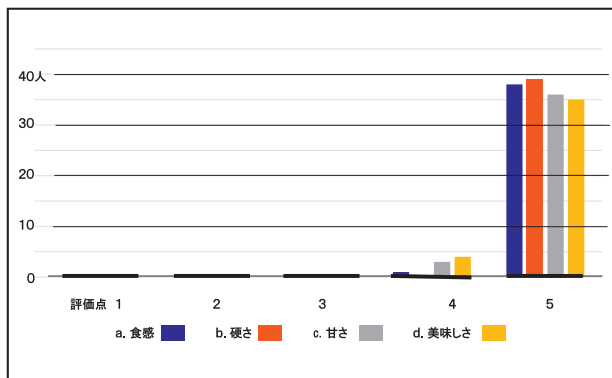


図6 150℃ 3時間加熱による焼き芋の官能検査 (評価点1 (悪い)～5 (大変良い)の5段階で評価した)

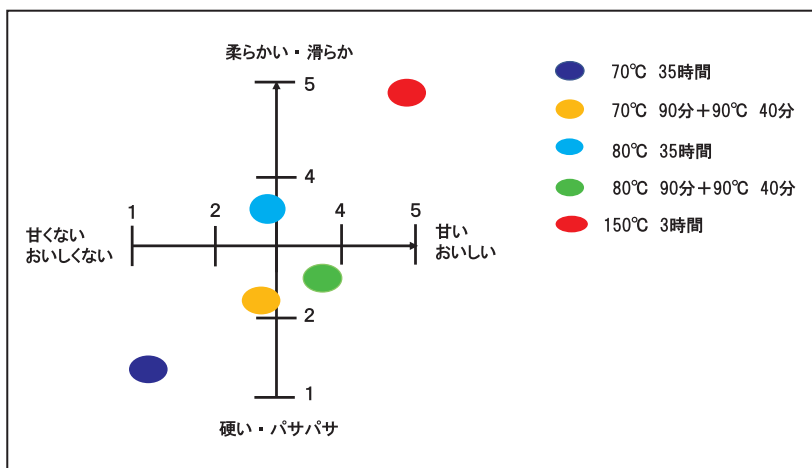


図7 焼き芋の加熱方法によるおいしさの主成分分析による傾向

恒温加熱より低温調理の方が評価は高く、低温調理で乾熱加熱の後に行うスチーミング（湿式加熱）による効果があったと考えられた。

総合的な主成分分析（図7）からは、恒温加熱70℃は全ての項目が評価1付近で最も低かった。2番目に低かったのは低温調理70℃であったが、恒温加熱70℃と比較して硬さと食感の評価が約2倍、甘さとおいしさの評価は約3倍に上がった。恒温加熱80℃は硬さと食感の評価は約3.5、甘さとおいしさは約3であった。低温調理80℃は、恒温加熱80℃と比較して甘さとおいしさは評価4に上がったが、硬さと食感の評価は2.5に下がった。比較試料の恒温加熱150℃は全ての項目が評価5付近で最も高かった。

4. 考 察

野菜を60℃付近で予加熱して途中で加熱を中断すると再び加熱しても軟化しにくくなる。これはペクチンメチルエステラーゼが作用してペクチンが低エステル化度となり、軟化しにくくなることによる¹¹⁾。この間は軟化と硬化の両方が起きており、その温度で優勢な方が見かけ上の硬さになる。また、軟化と硬化の反応速度は温度上昇とともに高くなり、70～75℃を境にして、それ以上では軟化が明瞭に認められ、それ以下では硬化が先行して見かけ上軟化が認められない¹³⁾。野菜、果物などのペクチン質は細胞壁の最外層の中層の主成分で、ガラクトuron酸を主とする複合糖質であり、細胞壁を接着し、組織に適度な硬さ、弾力性、可塑性を与えている¹⁴⁾。野菜を中性またはアルカリ性溶液中で加熱すると、グリコシドがトランスエリミネーション（ β -脱離）によって開裂して¹⁹⁾ ペクチンが分解される。メトキシ基は柑橘類やリンゴなどに多く含まれているが、メトキシ基のないペクチン酸は β -脱離しないので、メチルエステル化度の低いペクチンは加熱により分解されにくい²⁰⁾。野菜のペクチン質が分解または溶解する時に細胞間の結合が失われ、野菜の組織はマセレーション（浸軟する）を起こして柔らかくなる。ペクチンが熱溶液中で分解するpHと、野菜がマセレーションを起こしてペクチンが溶出するpHは大体一致する¹⁸⁾。

本実験の官能検査の結果をみると、硬さは恒温加熱70℃の評価が1番低く、硬いと評価されたが、加熱温度がペクチンの分解を起こす温度70～75℃¹³⁾に達していなかったことが考えられた。低温加熱70℃は、硬さの評価が恒温加熱70℃と比較して約2倍に上がった。これは、乾式加熱70℃で90分の後にスチーミング（湿熱加熱）を90℃で40分行っていることが関係しており、90℃のスチーミングが組み合わさっていることによる効果と推定される。恒温加熱80℃の硬さの評価は、恒温加熱70℃の約3倍になったが、ペクチンの分解が進んだことによると考えられた。低温調理80℃の硬さの評価は2.5で、恒温加熱80℃と比較して評価が約1下がったが、その要因は加熱時間が短かったことによると考えられた。恒温加熱150℃の硬さの評価はほとんど5となり、ペクチンの分解が十分に行われた結果であると考えられた。

食感の評価は、硬さの評価とほぼ同じ傾向を示したので、口中感覚で味わう焼き芋の物性は、硬さの影響を受けていると推測される。

サツマイモの甘さを増すためには、デンプンを糊化させて、 β -アミラーゼが働いて糖化させる時間を長くする必要があり、品温を徐々に上げて70～80℃の温度域を長く保つことが有効である¹²⁾。蒸し芋の糖度（Brix%）は、マルトース生成量あるいは β -アミラーゼ活性の間には相関が認められている¹¹⁾。一般的な未加熱のサツマイモの β -アミラーゼ活性は0.1mmole maltose/min/mg protein以下で、蒸し芋にした時のマルトース含有率も6%以下である。一方、現行食用主力品種のベニアズマ、ベにはるかなどは、 β -アミラーゼ活性は1.5～3.5倍、マルトース含有率は1.2～2倍である¹¹⁾。

加熱調理の際のサツマイモの糖化の適温は65℃前後であり、糖化酵素の作用は10分以内に完了するが、糊化デンプンに対する糖化酵素の活性適温は55℃前後であるため、加熱調理の場合とは一致しない¹⁶⁾。

本実験で用いたべにはるか糊化温度は産地によって異なり、北海道産が64.4℃、茨城産が69.4℃である¹¹⁾。ふ卵器で、恒温加熱70℃と恒温加熱80℃で、それぞれ35時間の長時間加熱を行い、デンプンが糊化して糖化が進み、甘くなるかについて検討した。蒸しいもの糖度 (Brix%) はマルトース含有率の増加に伴って増加する¹¹⁾ので、焼き芋の甘さの指標として糖度 (Brix%) を用いた。焼き芋の糖度 (Brix%) は、恒温加熱150℃が9.0%で1番高く、次いで低温調理70℃が8.4%、低温調理80℃が7.2%、恒温加熱80℃が5.2%となり、恒温加熱70℃が3.8%で1番低かった。湿式加熱で生成する糖量は、乾式加熱のものより多い¹⁶⁾ので、本実験で低温調理とスチーミング (湿式加熱) を組み合わせた焼き芋の糖度が高かったことと一致する。また、焼き芋の糖量は、蒸した茨城産ベニアズマのマルトース含有量8.5%、べにはるか10.3%の結果¹¹⁾と類似していた。

官能検査の結果をみると、恒温加熱70℃で長時間加熱しても糖度が3.8%で少なく、甘さ、おいしさの評価が約1であった。べにはるかを70℃で長時間加熱を続けてもデンプンの糊化が進まず、 β -アミラーゼが働かなかつたと考えられた。低温調理70℃は糖度が8.2%と高く、甘さの評価は恒温加熱70℃の約2倍に上がった。恒温加熱80℃は糖度が5.2%で、甘さ、おいしさの評価が約3となり、糖化が進んで β -アミラーゼが働き、マルトースが生成されて甘さを感じたと考えられた。サツマイモの β -アミラーゼは耐熱性がなく、加熱が進むと30分で50%以上が失活し、60分では90%以上が失活する¹⁷⁾ので、この時の β -アミラーゼ活性は低下していると考えられる。低温調理80℃は糖度が7.2%で、甘さ、おいしさの評価が4付近となり、恒温加熱80℃より糖度が高く、甘く感じたことが考えられる。恒温加熱150℃は、甘さ、おいしさの評価は約5で非常に高かった。乾式加熱で生成する糖量は、湿式加熱より少ないにも拘らず、焼き芋の甘さを強く感じるが、これは蒸発する水分が多く、糖が濃縮されるためと考えられる¹⁶⁾。本実験では、恒温加熱150℃の糖度が9.0%で、1番多かつたが、サツマイモの全面をアルミホイルで包んで水分の蒸発を抑えて作っているので、糖が濃縮されたとは一概に考えられず、その理由は明確ではない。

官能検査の甘さの評価の順序は、糖度 (Brix%) の高い順と一致した。また、甘さの評価とおいしさの評価は、評価の高かつたものから低いものまで同じ順であり、甘さの評価がおいしさの評価に影響していると推測された。

官能検査の総合的な評価は、恒温加熱70℃が硬さ、食感、甘さ、おいしさの4項目全てが評価約1で、最も低かつた。この恒温加熱70℃と比較すると、低温調理70℃は硬さ、食感は約2倍に上がり、恒温加熱80℃では硬さ、食感の評価は3.5倍、甘さ、おいしさの評価は3倍に大幅に上がった。低温調理80℃は硬さ、食感が評価約2.5、甘さ、おいしさは評価4付近となり、恒温加熱80℃と比較すると、硬さ、食感の評価は約1下がったが、甘さ、おいしさの評価は約1上がった。この要因として硬さ、食感は加熱時間が短かつたこと、甘さ、おいしさは糖度が高く、スチーミング (湿熱加熱) の効果があつたためと推測された。

5. 要 約

低温調理に適したサツマイモを用いて、低温調理法とその他の加熱方法で焼き芋を作り、おいしさについて比較検討した。

焼き芋を作る加熱方法は2つで、1つは低温調理 (乾式加熱) 70℃で90分加熱の後90℃でスチーミン

グ40分（以下低温調理70℃と記載する）と、低温調理80℃で90分加熱の後90℃でスチーミング40分（以下低温調理80℃と記載する）、もう1つはふ卵器（乾式加熱）で、サツマイモの全面をアルミホイルで包み、恒温加熱70℃で35時間（以下恒温加熱70℃と記載する）、恒温加熱80℃で35時間（以下恒温加熱80℃と記載する）および恒温加熱150℃で3時間（以下恒温加熱150℃と記載する）を行った。

官能検査の総合的な評価は、恒温加熱70℃が硬さ、食感、甘さ、おいしさの4項目全てが評価約1で、最も低かった。70℃ではペクチンが分解されず、十分な糊化も起きないので、 β -アミラーゼが働かず、糖度（Brix%）が上がらなかった。この恒温加熱70℃と比較すると、低温調理70℃は硬さ、食感は約2倍に上がり、恒温加熱80℃では硬さ、食感の評価は3.5倍、甘さ、おいしさの評価は3倍に大幅に上がった。この要因として、恒温加熱80℃は長時間加熱したこと、低温調理70℃は90℃のスチーミングがあるので、ペクチンが分解されたためと考えられた。低温調理80℃は硬さ、食感が評価約2.5、甘さ、おいしさは評価4付近となり、恒温加熱80℃と比較すると、硬さ、食感の評価は約1下がったが、甘さ、おいしさの評価は約1上がった。この要因として硬さ、食感は加熱時間が短かったこと、甘さ、おいしさは糖度が高く、デンプンの糊化と β -アミラーゼの働きにおいて90℃のスチーミング（湿熱加熱）の効果があつたためと考えられた。

【参考文献】

- 1) 山田晶子、杉山智美、渋谷祥子：スチームコンベクションオーブンの加熱特性。日本家政学会誌 53, 331-337. 2002.
- 2) ホシザキ電気株式会社. クックエブリオサポートサイト：
<https://www.hoshizaki.co.jp/kitchenplus/tech/point.html>, (2014/4/2)
- 3) 馬場透：サツマイモの高度加工に関する研究。鹿児島県農業試験場研究報告 18, 61-122. 1990.
- 4) Kiribuchi, T., Kubota, K. : Studies on cooking of sweet potato (part 1). J. Home economics of Japan (Kaseigaku Zasshi) 27, 418-422, 1976.
- 5) 藤村智子、釘宮正往：小豆の子葉細胞内デンプンが糊化する際の細胞内の水分の推定。応用糖質科学 42, 7-13. 1995.
- 6) 伊藤知子：サツマイモの細胞内デンプンの糊化特性。帝塚山大学現代生活学部紀要 14, 1-7. 2018.
- 7) Kitahara, K., Nakamura, Y., Otani, M., Hamada, T., Nakayachi, O., Takahara, Y. : Carbohydrate components in sweet potato storage roots : their diversities and genetic improvement. Breeding Science 67, 62-72. 2017.
- 8) Katayama, K., Komae, K., Kohyama, K., Kato, T., Tamiya, S., Komaki, K. : New sweet potato line having low gelatinization temperature and altered starch structure. Starch/ Stärke 54, 51-57. 2002.
- 9) Noda, T. : Effect of cultivar and growth conditions on starch properties of sweet potatoes. J. Appl. Glycoscience 48, 233-238. 2001.
- 10) Ogura, N., Hirato, Y., Kazumi, D. : Detection of a heat-stable and insoluble form of β -amylase in sweet potatoes. J. Food Science and technology 48, 218-220. 2001.
- 11) Nakamura, Y., Kuranouchi, T., Ohara-Takada, A., Katayama, K. : The effects of β -amylase activity and starch pasting temperature on maltose generation in steamed storage roots of sweet potato. Japanese Society Food Science and Technology. 61, 577-585. 2014.

- 12) 小倉長雄、稲田瑞穂、辰田和佳子、平戸八千代：野菜類の β -アミラーゼについて II) さつまいもの加熱処理とマルトースの生成量. 山脇大学短期大学部紀要 36, 23-31. 1998.
- 13) 測上倫子、小西英子：野菜の加熱調理に関する研究（第3報）野菜の硬化に及ぼす予備加熱温度と時間の影響について. 岡山県立短大研究紀要 22, 45-53. 1978.
- 14) 測上倫子：野菜の加熱とペクチン質. 日本調理科学会誌 40, 1-9. 2007.
- 15) 大場君枝、山中なつみ、小川宣子：さつまいもの加熱調理及び保存による食物繊維の性状変化. 岐阜女子大学紀要 36, 115-120. 2007.
- 16) 山口美代子、樋上純子、北村由香里：さつまいもの加熱調理について. 園田学園女子大学論文集 29, 329-337. 1994.
- 17) 桐渕壽子、久保田紀久枝：甘藷の加熱調理に関する研究（第1報）生成糖と β -アミラーゼ活性. 家政学雑誌 27, 418-422. 1976.
- 18) 後藤重芳、河上敦子、高祖美紀子：調理による蔬菜のペクチン質の変化（第1報）中性または酸性で蔬菜を加熱調理したときのペクチン質の変化. 家政学雑誌 20, 235-238. 1969.
- 19) Albersheim, P., Neukom, H., Deuel, H. : Splitting of pectic chain molecules in neutral solution. Arch. Biochem. Biophys. 90, 46-51. 1960.
- 20) 小西英子、測上倫子、河上敦子：野菜の加熱調理に関する研究（第1報）ペクチン質のエステル化度とトランスエリミネーションの関係について. 岡山県立短大研究紀要 18, 1-4. 1974.
- 21) Fuchigami, M., Teramoto, A., Sasaki, A. : Changes in firmness, pectic substances and histological pressurization. J. Cookery Sci. Jpn. 35, 343-356. 2002.