

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 12 日現在

機関番号：12611

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2014～2016

課題番号：26750022

研究課題名(和文)根菜類の湿式加熱における物性及び調味の制御とその最適化

研究課題名(英文)Control and optimization of texture and taste in root vegetables during wet heating

研究代表者

佐藤 瑤子(Sato, Yoko)

お茶の水女子大学・基幹研究院・助教

研究者番号：80725185

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円

研究成果の概要(和文)：根菜類の湿式加熱における調理条件設定を目的とし、軟化の速度定数及び拡散係数を測定した。調味液及びだし汁中でのダイコンの軟化の速度定数を測定した結果、調味料及びだし汁の種類によって軟化速度は異なり、水煮の軟化の速度定数に近いのは醤油及び鰹と昆布の混合だしであった。また、ダイコン中のスクロース及びグルタミン酸ナトリウムの拡散係数を測定し、アレニウスの式で表した。蒸し加熱とゆで加熱の軟化の速度定数を比較したところ、85℃ではゆで加熱が、100℃では蒸し加熱がわずかに大きかった。しかし、同じ時間で蒸し加熱またはゆで加熱した試料の硬さを官能評価したところ、両者の評点に有意な差は認められなかった。

研究成果の概要(英文)：For the aim of setting cooking conditions in wet heating of root vegetables, the softening rate constant and the diffusion coefficient were measured. As a result of measuring the softening rate constants of Japanese radish in the seasoning liquid and soup stock, the softening rate differs from the kinds of seasoning and soup stock, and the softening rate constant of soy sauce and kombu-katsuo stock were close to that of water. The diffusion coefficients of sucrose and monosodium glutamate in Japanese radish were measured and expressed by the Arrhenius equation. The softening rate constant for steaming is slightly smaller than that of heating in hot water around 85℃ and slightly larger than around 100℃. However, when the samples were steamed or boiled at the same time, there were no significant differences between sensory evaluation scores of steamed sample and that of boiled sample.

研究分野：調理科学

キーワード：根菜類 煮物 蒸し物 予測 最適調理条件 軟化の測度定数 拡散係数 余熱

1. 研究開始当初の背景

加熱調理の目的は食材を適度な状態に仕上げることにある。根菜類の嗜好性を決定する上で物性や調味の状態は重要であり、一定品質の調理品を連続的に調製するためには、調理過程における変化を予測し、制御することが求められる。加熱調理は大きく分けて湿式加熱と乾式加熱に分けられ、湿式加熱は沸点が一定と温度調節が容易な一方で、火力や消火後の余熱の利用などが仕上がりに影響するという特徴がある。わが国において、根菜類の湿式加熱には調味しながら加熱する“煮物”と、蒸気中で加熱する“蒸し物”が主として行われており、それぞれの最適調理条件を設定することが重要である。

煮物及び蒸し物の調理条件設定のためには、食材内部の硬さの変化を予測する必要がある。これまで、ゆで加熱については水温変化の実測値から根菜類内部温度を予測し¹⁾、それに基づき硬さの変化を予測できる²⁾ことが報告されている。また、硬さの変化は温度だけでなく、調味料成分の影響を受けることが知られており、食塩は軟化を促進する³⁾こと、pH 4 付近では軟化が抑制される⁴⁾ことなどが報告されている。しかし、砂糖やだし汁が野菜の物性に及ぼす影響についてはほとんど検討されておらず、調味料を混合し、各調味料成分の相互作用を考慮して最適加熱時間を予測するという報告は見られない。

さらに、煮物は調味液中で食材を加熱する調理法であり、根菜類の加熱中には軟化と同時に調味が進行する。調味過程の予測を行うためには、根菜類中の調味料成分の拡散係数が必要である。これまでに NaCl 水溶液に浸漬した際の根菜類中の NaCl 拡散係数を測定し⁵⁾、その値を用いた食塩濃度の経時変化及び適度な塩味となる調味時間の予測について報告されている⁶⁾。しかし、煮物の味付けは食塩だけを用いることはほとんどなく、基本味の中でも特にうま味と甘味について考慮すべきであると考えられるが、これらの味に関わる調味料成分の根菜類中の拡散係数を測定し、混合調味液中での調味過程を予測した報告はみられない。

蒸し加熱についてはゆで加熱に比べて予測的研究が少なく、根菜類内部の温度及び硬さの変化を予測し、適度な硬さに仕上げるための最適加熱時間を予測するという観点からの報告は見られない。また、湿式加熱における加熱時間設定のためには両者の違いを知る必要があり、蒸し加熱とゆで加熱の加熱時間の違いについての検討が必要であると考えられる。

2. 研究の目的

本研究では複数種類の調味料を用いて根菜類を煮る場合の物性や調味過程の予測及び蒸し加熱とゆで加熱の軟化過程の比較を行い、湿式加熱における調理条件の最適化を図ることを目的とした。

3. 研究の方法

(1) 調味料及びだし汁加熱中の根菜類の軟化の速度定数の測定及び最適加熱時間の予測

ダイコン 1 cm 角を 85~95 一定温度の各種調味液及びだし汁中で加熱し、硬さの経時変化から軟化の速度定数を求めた。調味液は 1 及び 2 %食塩水溶液、7 及び 14%醤油水溶液 (1 %または 2 %食塩水溶液相当、いずれも pH は 4.9)、5 及び 10 %ショ糖水溶液を用いた。だし汁は昆布だし (pH6.2)、かつおだし (pH5.5)、昆布とかつおの混合だし (pH5.7)、煮干しだし (pH6.8) を用いた。比較のため脱イオン蒸留水中でも加熱した。だし汁については、金属イオン (Na, K, Ca, Mg) 濃度を測定した (原子吸光分光光度計)。さらに、熱伝導解析及び硬さの予測式⁷⁾を組み合わせることで各水溶液中で加熱した種々の形状のダイコンの温度及び硬さの変化をシミュレーションし、中心部が適度な硬さになるまでの最適加熱時間を求めた。

(2) 野菜中の調味料成分の拡散係数の測定

2 cm 角ダイコンを試料とし、20~70 の 0.15 M (5.13%相当) ショ糖水溶液及び 0.1 M (1.69%相当) グルタミン酸ナトリウム (MSG) 水溶液中に浸漬した。試料のショ糖及び MSG の濃度変化を測定し、三次元拡散方程式に基づくプログラム計算 (差分法) により各温度における拡散係数を算出した。濃度測定にはショ糖はフェノール硫酸法、MSG は高速アミノ酸分析計を用いて行った。

(3) 調味料成分の拡散過程の予測

実際の調理を想定し、試料と 0.15 M ショ糖水溶液または 0.1 M MSG 水溶液を室温から加熱し、濃度変化の予測値と実測値を比較した。次に、50 の単独調味液 (0.8, 1.6%食塩水溶液、5, 10% ショ糖水溶液、0.5, 1.0% MSG 水溶液) または 2 種の混合調味液 (0.8% 食塩, 5% ショ糖, 0.5% MSG; 1.6% 食塩, 10% ショ糖, 1.0% MSG) 中で試料を加熱した。食塩濃度はモール法、ショ糖濃度は HPLC、MSG は高速アミノ酸分析計を用いて測定した。

(4) 蒸し加熱中の根菜類内部温度の予測

3 cm 角ジャガイモを蒸し器内で加熱し、蒸し器内温度及び試料中心部温度を K 熱電対を用いて測定した。得られた蒸し器内温度を用い、熱伝導解析により試料内部温度の予測を行い、実測値と比較した。

(5) 根菜類の蒸し加熱中の軟化速度の解析

1 cm 角のジャガイモ、ニンジン、ダイコンの 85~100 の蒸し器または水中で加熱し、硬さの経時変化を測定した。得られた実測値より各温度における軟化の速度定数を算出した。

(6) 最適蒸し時間の予測及び官能評価

測定した軟化の速度定数を用い、硬さの予測式を用いて蒸し加熱中の硬さの変化を予測し、試料中心部が適度な硬さになるまでの最適蒸し時間を算出した。

さらに、予測した最適加熱時間で試料を実際に加熱し、ダイコン、ニンジン、ジャガイモの硬さ、色、におい、風味及び甘味を官能評価（5段階評点法）した。ダイコンは甘味の代わりにダイコンそのものの味を評価した。

(7) 蒸し加熱の余熱利用

高さ×直径が4 cmの円柱型のジャガイモを、水量一定(1.2 kg)で試料重量比を1:0.05~1:1.1の範囲で蒸し及びゆで加熱し、蒸し器内温度又は水温を測定した。温度の実測値から試料内部温度及び硬さの変化を予測し、余熱利用の有無による最適加熱時間の違いを比較した。

4. 研究成果

(1) 調味料及びだし汁加熱中の根菜類の軟化の速度定数及び最適加熱時間

調味料がダイコンの軟化速度に及ぼす影響を検討した結果、食塩はいずれも軟化を促進し、濃度が高い方がその影響が大きかった。7%醤油水溶液はpHの影響が大きく軟化を抑制し、14%醤油水溶液はpHは7%水溶液と同程度であるが、食塩濃度が2%であり、食塩の影響が大きくなることで、わずかに軟化を促進した。醤油水溶液は濃度により硬さへの影響が異なるものの、食塩水や酢酸緩衝液よりも水煮の軟化の速度定数に近かった。得られた速度定数を用いて予測した最適加熱時間は、食塩水溶液は水煮の約1/2であったのに対し、醤油水溶液は7%水溶液で水煮の1.1倍、14%水溶液で0.8倍と、食塩水溶液に比べて水煮に近かった。

次に、だし汁の影響について検討した。煮干し及び昆布だしはpHが6以上と高いため、軟化が促進された。かつおだしは他のだし汁に比べてNa及びKが少ないためこれらの金属イオンの軟化への寄与は小さく、pHが低いことから軟化が抑制された。混合だしはpHがかつおだしと同程度であるが、NaやK含量がかつおだしよりも多く、これらの金属イオンの影響が大きくなるため軟化を促進した。だし汁の中で軟化の速度定数が最も水煮に近いのは混合だしであり、加熱時間は水煮の0.9倍であった。

(2) 根菜類中のショ糖及びMSGの拡散係数

ダイコン中のショ糖及びMSG濃度変化の実測値を用い、各温度における拡散係数を求め、アレニウスプロットしたところ、ショ糖及びMSGの拡散係数はいずれも直線性が認められた。よって、ダイコン中のショ糖及びMSGの拡散係数はアレニウスの式(1)に従うことを確認した。

$$D=A\exp(-E/RT) \quad (1)$$

D : 拡散係数 (cm^2/sec)

A : 頻度因子 (cm^2/sec)

E : 見かけの活性化エネルギー (J/mol)

R : 気体定数 ($8.314 \text{ [J/(mol} \cdot \text{K)]}$)

T : 絶対温度 (K)

アレニウスの式から求めた99.5における拡散係数は、ショ糖が $2.50 \times 10^{-5} \text{ cm}^2/\text{sec}$ 、MSGが $1.12 \times 10^{-5} \text{ cm}^2/\text{sec}$ であった。

(3) 調味料成分の拡散過程の予測

実際の調理を想定し、ショ糖単独水溶液、MSG単独水溶液中で加熱したショ糖及びMSGの濃度変化を測定し、予測値と比較したところ、両者の値は概ね一致した。さらに、混合調味液中でダイコンの食塩が適度な濃度(0.7%)⁶⁾に達するまでの各調味料成分の濃度は単独調味液中で加熱した試料と有意な差はなく、いずれも予測値と実測値は概ね一致した。以上より、複数の調味料を混合して調味する煮物における、調味料成分変化の同時予測が可能であると考えられた。

(4) 蒸し加熱中の試料内部温度の予測

蒸し加熱中の試料内部温度の予測値と実測値は概ね一致した。ゆで加熱では水温変化の実測値から試料内部温度の予測が可能であることが報告されている¹⁾。本研究において、ゆで加熱と同様の手法で蒸し器内温度を用いることで、根菜類内部の温度の予測が可能であることを確認した。

(5) 蒸し及びゆで加熱時の軟化の速度定数

85~100で蒸し及びゆで加熱したジャガイモ、ニンジン、ダイコンの軟化の速度定数を測定した。その結果、85ではゆで加熱が、100では蒸し加熱の速度定数がわずかに大きかった。85で蒸し器内を維持する際には蒸し器内の水蒸気量が少ないため、潜熱の影響が小さくなり、対流熱伝達の影響が大きいためゆで加熱の速度定数が大きくなったと考えられる。一方、100では蒸し加熱中に蒸し器内に水蒸気が充満しており、潜熱の影響が大きくなることで、ゆで加熱よりも蒸し加熱の速度定数が大きくなったと考えられる。

(6) 最適蒸し時間の予測及び官能評価

ジャガイモ、ニンジン、ダイコン2 cm角を100の蒸し器内で加熱する際の最適蒸し時間はそれぞれ10.3、12.4、21.7分であった。実際に試料を加熱し、官能評価を行ったところ、いずれの試料も適度な硬さと評価された。

さらに、湿式加熱として加熱時間を統一できるかを検討するため、蒸し加熱とゆで加熱の硬さを平均して軟化の速度定数を求め、硬さの変化を予測した。ここから試料中心部が適度な硬さになるまでの加熱時間を算出したところ、ジャガイモ、ニンジン、ダイコン2 cm角でそれぞれ10.8、13.9、22.2分であ

った。算出した加熱時間で蒸し及びゆで加熱を行い、官能評価したところ、蒸し加熱とゆで加熱の硬さの評点に有意な差は認められなかった。一方、色や味はゆで加熱よりも蒸し加熱した試料が濃いと評価された。蒸し加熱がゆで加熱よりも呈味成分等の溶出を抑制することで素材の味を保ち、なおかつ硬さはゆで加熱と同程度に上げることができることをシミュレーション及び官能評価により明らかとした。

(7) 蒸し加熱の余熱利用

消火後の蒸し器内の温度下降は、ゆで加熱よりも早かったが、水と試料の重量比が大きいほど温度下降は緩慢になり、ゆで加熱との差は縮まった。よって、蒸し加熱はゆで加熱に比べて試料重量の影響が大きいことが示唆された。

高さと直径が 4 cm の円柱型のジャガイモを 100 一定で加熱する場合の最適加熱時間は 26.7 分であった。水から加熱し、消火後の余熱を利用する場合の沸騰継続時間は、水と試料の重量比が 1:0.3 の場合、蒸し加熱で 15.0 分、ゆで加熱で 12.6 分、1:0.6 の場合は蒸し加熱で 12.7 分、ゆで加熱で 11.5 分であり、いずれの加熱法で加熱した場合にも、消火後の余熱を利用することで加熱時間が短縮された。実際に試料を加熱し、官能評価を行ったところ、余熱を利用して蒸した試料の硬さは適度と評価され、蒸し加熱時の余熱を考慮した最適加熱時間の予測が可能となった。

<引用文献>

- 1) 香西みどり, 中村文子, 畑江敬子, 島田淳子 (1998) 非等温加熱における最適加熱時間の予測, 日本家政学会誌, **49**, 373-381
- 2) 遠藤瑤子, 今泉有喜, 香西みどり (2012) シミュレーションによるジャガイモの最適加熱時間におよぼす水温上昇速度の影響の解析, 日本調理科学会誌, **45**, 403-412
- 3) 田村咲江 (1987) 野菜の煮熟軟化の機構について (第 1 報) ダイコン根部の煮熟軟化に及ぼす食塩添加の影響, 日本家政学会誌, **38**, 375-381
- 4) 淵上倫子 (1983) 野菜の軟化に及ぼす加熱時の pH の影響, 日本栄養・食糧学会誌, **36**, 219-224
- 5) 遠藤瑤子, 藤居東奈, 香西みどり (2013) 根菜類中の NaCl 拡散係数と調理過程の食塩濃度の予測, 日本調理科学会誌, **46**, 8-14
- 6) 遠藤瑤子, 渥美恵理, 香西みどり (2012) 根菜類の食塩拡散過程の予測と適度な食塩濃度の評価, 日本調理科学会誌, **45**, 422-428
- 7) Kasai, M., Hatae, K., Shimada, A., Iibuchi, S. (1994) A Kinetic Study of Hardening and Softening Processes in Vegetable during

Cooking, *Nippon Syokuhin Kogyo Gakkaishi*, **41**, 933-941

5. 主な発表論文等

(研究代表者, 研究分担者及び連携研究者には下線)

[学会発表](計 4 件)

佐藤瑤子, 金城みなみ, 香西みどり(2016) ダイコンの煮物の調味過程のシミュレーション, 日本食品科学工学会第 63 回大会, 愛知

佐藤瑤子, 入山明日香, 熊谷美智世, 香西みどり(2015) 消火後空气中放置したジャガイモ内部の余熱を利用した調理条件の設定, 日本食品科学工学会第 62 回大会, 京都

入山明日香, 佐藤瑤子, 香西みどり(2015) 根菜類の蒸し加熱における余熱の利用, 日本家政学会第 67 回大会, 岩手
金城みなみ, 佐藤瑤子, 香西みどり(2014) 煮物におけるダイコン中のショ糖及び食塩の拡散過程のシミュレーション, 日本調理科学会平成 26 年度大会, 広島

6. 研究組織

(1) 研究代表者

佐藤瑤子 (SATO, Yoko)

お茶の水女子大学・基幹研究院・助教
研究者番号: 80725185