

令和 6 年 6 月 20 日現在

機関番号：12611

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2020～2023

課題番号：20K02404

研究課題名（和文）煮物における種々の呈味成分の拡散過程のシミュレーションと制御

研究課題名（英文）Simulating diffusion process of various taste component in cooked food

研究代表者

佐藤 瑶子（Sato, Yoko）

お茶の水女子大学・基幹研究院・講師

研究者番号：80725185

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,400,000円

研究成果の概要（和文）：日常頻繁に喫食する根菜類の煮物の呈味成分の拡散過程をシミュレーションすることを目的に、呈味成分を中心とする低分子成分13種（アミノ酸類、有機酸類、糖類、無機塩類）のダイコン中での移動速度、すなわち拡散係数を測定した。さらに比較のために、水中での拡散係数も測定した。その結果、ダイコン中の拡散係数は無機塩類を除き分子量が大きいほど小さい傾向にあることを確認した。しかし、分子量が同等の複数成分の拡散係数の比較および水中の拡散係数と比較した結果から、食材中の低分子成分の拡散には分子量だけでなく、ダイコン組織との相互作用や他成分の添加も影響する可能性が示唆された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

煮物の調味料の添加順序の経験則は“さしすせそ”で表現される。砂糖（さ）と塩（し）の添加順序は分子量が大きい砂糖の方が拡散係数が小さいためであると説明されるものの、食品中でこれを検証した報告はこれまでにない。そこで、食品中での呈味成分の拡散に着目して検討を行なった。本研究において各種成分のダイコン中の拡散係数は分子量が大きいほど小さいことを確認しただけでなく、食品組織との相互作用や他成分の影響する可能性が示されたことは、食品の調味過程を制御する上で重要な知見であり、食品に応じた解析の必要性を示した結果であると言える。

研究成果の概要（英文）：To simulate the diffusion process of taste components of Japanese radish, which are frequently consumed in Japan, the diffusion coefficients of 13 low molecular weight components in radish were measured. Additionally, the diffusion coefficients in water were also measured. Results showed that for same group of components except mineral salt, the larger molecular weight, the smaller diffusion coefficient, i.e., less diffusive. However, it was suggested that not only the molecular weight of the component but also its interaction with the radish tissue and the addition of other components may affect the diffusion of low molecular weight components in the radish.

研究分野：調理科学

キーワード：拡散 煮物 シミュレーション ダイコン 調理

様式 C - 19、F - 19 - 1 (共通)

1. 研究開始当初の背景

根菜類の煮物は日常頻繁に食され、そのおいしさには味付けの状態が大きく関わる。常に品質一定の煮物を調理するためには、食材中の呈味成分の拡散過程を把握し、調味過程をどのように制御すれば良いかを明らかにする必要がある。そのためには呈味成分の拡散過程をシミュレーションすることが有用である。煮物は食塩、砂糖、醤油といった調味料をだし汁に加えた煮汁中で食材を加熱する。煮物の調味のコツとして知られる“さしすせそ”は砂糖(さ)、塩(し)、酢(す)、醤油(せ)、味噌(そ)の順番に添加すると良いという経験則を表している。この中の砂糖と塩の添加順序については、分子量の違いであるとされている。すなわち、砂糖(スクロースの分子量 342)が食塩(NaCl 分子量 58)よりも分子量が大きく、拡散係数が小さいため先に入れるということが説明される。しかし一般的に分子量が大きいほど拡散係数は小さいとされているものの、食材中の呈味成分の拡散係数と分子量の関係を検証した報告は認められない。また醤油や味噌には食塩以外にも有機酸やアミノ酸など多様な成分が含まれる。さらに煮物にはだし汁を用いる。その種類にはカツオ節、昆布、煮干し等があり、用いる食材によって抽出されるうま味成分も異なる。このように煮汁に含まれる呈味成分は複雑であり、これらが同時に食材中へ拡散する。よって各成分の拡散は他の成分の影響を受けるか否かも把握する必要がある。

我々はこれまでに調理中の NaCl 単独の濃度変化をシミュレーションし、塩味を適度に仕上げるための調味条件に関する検討を行ってきた¹⁻³⁾。しかしさまざまな呈味成分の濃度変化をシミュレーションし、根菜類の煮物の調味条件を提案した報告はみられない。また、NaCl やスクロースといった呈味成分の食材中での拡散過程の予測について国外には多くの報告があるものの、浸透脱水や塩蔵といった高濃度で室温以下の拡散を対象とした研究が多い。一方、国内において調理中の食材の変化を予測した報告は少なく、煮物のような和食の調理品を予測の対象としている研究は僅少である。さらに、煮物のように複数の呈味成分が同時に拡散する系において、他成分の影響を検討した報告は見られない。以上より、根菜類の煮物の調味の制御のためには呈味成分の拡散係数に影響する要因を明らかにした上で、呈味成分の拡散過程をシミュレーションすることが重要である。

2. 研究の目的

本研究では根菜類中の呈味成分の拡散係数に影響する要因を明らかにした上で、呈味成分の濃度変化をシミュレーションすることで調味過程を数量的、視覚的に示すことを目的とした。

3. 研究の方法

(1) ダイコン中の各種低分子成分の拡散係数の測定

本研究では拡散係数に影響する要因として主に分子量に着目した。そこで、呈味成分を中心に、その他食品添加物として食品に添加される成分等も含めて解析を行なった。すなわち、アミノ酸系成分としてグリシン、アスパラギン酸 Na、グルタミン酸 Na (以下 MSG) の 3 種、有機酸系成分として酢酸、酢酸ナトリウム、コハク酸二 Na、クエン酸三 Na の 4 種、糖類としてグルコース、フルクトース、スクロース、マルトースの 4 種、無機塩として NaCl および KCl の 2 種を用い、それぞれの 0.1 M 水溶液を調製した。ダイコン 2 cm 角を浸漬してそれぞれの成分の濃度変化を測定した。なお本研究では、各水溶液中に細胞膜機能を低下させるため沸騰水中で 12 分間加熱したダイコンを試料として用いた。アミノ酸、有機酸、糖類は HPLC にて測定し、無機塩は電位差滴定法により測定した。さらに、前報¹⁾に準じてダイコン中の呈味成分の拡散過程を三次元拡散方程式を用いて差分法により解析し、得られた濃度変化の実測値にフィッティングするように、拡散係数を算出した(最小二乗法)。なお、予備実験においてクエン酸三 Na 溶液中にダイコンを浸漬したところ、50°C に浸漬した際に浸漬中に試料が溶けてしまい、拡散係数の計測ができなかった。そこで本研究では実験はすべて 20°C で行なうこととした。

(2) 混合調味液中での拡散係数

通常の調理では複数成分が同時に拡散するため、煮物の主要な調味料である NaCl およびうま味成分として MSG が同時に拡散する系において、相互に拡散に影響するかを検証した。0.1 M NaCl-0.1 M MSG 水溶液および 0.1 M KCl-0.1 M MSG 混合水溶液中にダイコン 2 cm 角を浸漬し、ダイコン中の NaCl、KCl、MSG 濃度の変化を測定し、各種成分の拡散係数を前項(1)と同様に算出した。さらに、ダイコンを含む植物性食品 5 種、動物性食品 3 種を 0.1 M NaCl-0.1 M MSG 水溶液もしくはそれぞれの単独溶液に浸漬し、浸漬 1 h 後の NaCl および MSG 濃度を測定した。

(3) 水中の種低分子成分の拡散係数の測定

前項(1)および(2)において用いた各成分のうち、無機塩以外の 0.1 M D₂O 溶液を調製し、¹H DOSY (Diffusion-ordered 2D NMR Spectroscopy) 法にて水中の拡散係数を測定した。測定は NMR 装置 Ultra Shield 600 型 (Bruker) を用いた。測定温度は 20°C とし、磁場勾配の印加時間 δ および拡散時間 Δ はそれぞれの試料に応じて設定した。

4. 研究成果

(1) 低分子成分のダイコン中および水溶液中の拡散係数の測定および拡散過程のシミュレーション

最初に計 13 種の低分子成分の各 0.1 M 水溶液中にダイコンを浸漬し、各成分の濃度変化を測定した。さらに、得られた濃度変化にフィッティングするように、拡散係数を算出した。無機塩である NaCl (分子量 58.44) と KCl (分子量 74.55) は KCl の方が拡散係数が大きく、分子量と拡散係数の関係が逆転した。水溶液中の拡散係数についても KCl は NaCl よりも大きいことが知られており、K イオン周辺の水分子が動きやすいためであると言われている⁴⁾。よって、水中で動きやすい KCl がダイコン中でも速く拡散したと考えられた。

無機塩以外の成分については、同種の成分間では分子量が小さいほど拡散係数は大きい、すなわち速く拡散することを確認した。しかし、分子量が同等の範囲でみると、アミノ酸系成分は有機酸系成分に比べて拡散係数が小さい傾向が認められた。これについて、水溶液中の拡散係数を測定したところ、アミノ酸系成分と有機酸系成分の拡散係数はほぼ同じであった。さらに水中の拡散係数に対するダイコン中の拡散係数の比は有機酸系成分で約 0.9、アミノ酸系成分で約 0.6 とダイコン中の水分含量が約 95%⁵⁾であることも考慮すると、ダイコン中で有機酸系成分の拡散が促進されるというよりも、アミノ酸系成分の拡散が妨げられている可能性が示唆された。糖類については単糖類間で拡散係数に違いがある可能性が認められたものの、実験値にばらつきが大きく、今後より詳細な検討が必要であると考えられた。

次に調味に要する時間と拡散係数との関係を数量的に表現するため、各成分が外液の 63.2% (1-1/e) になるまでの時間 y (min) を算出した。その結果、 y と D には以下の関係式が得られた。

$$y = -3.57 \ln D - 38.7 \quad (R^2 = 0.98)$$

今後は各呈味成分の適度な濃度やそのバランスを定量化することで、調味時間との関係を整理することが望まれる。

(2) 混合溶液中での拡散係数の測定および拡散過程のシミュレーション

他成分の存在が拡散に影響するかを検証するため、NaCl-MSG または KCl-MSG 混合溶液中での拡散係数を測定した。MSG の拡散係数は前項で実施した単独溶液中の拡散係数とほぼ同じであった。一方、NaCl および KCl の拡散係数は単独溶液に比べて大きかった。これについてさらに検証するため、ダイコンを含む計 8 種の食材を NaCl-MSG 混合溶液またはそれぞれの単独溶液に 1 h 浸漬したところ、MSG 濃度は単独溶液と混合溶液で同程度であったのに対し、NaCl 濃度は試料によって程度は異なるものの、混合溶液の方が高い傾向にあった。NaCl の拡散は電荷の影響を受けることが報告されている^{6,7)}。そこで実験に用いた水溶液の pH を測定したところ、NaCl 単独溶液よりも混合溶液の方が高かった。混合溶液は単独溶液に比べて H⁺濃度が低いことで Cl⁻が動きやすくなり、ダイコン中の NaCl 拡散係数が単独溶液よりも大きくなったと考えられた。よって、MSG に限らず、pH 調整剤などの添加は NaCl の拡散速度に影響する可能性が示唆された。

以上、本研究では食材中の低分子成分の拡散に影響する要因には分子量だけでなく、ダイコン組織との相互作用や他成分を添加した際の影響が明らかになった。本研究で得られた知見は調味過程の制御において有用であると考えられる。

< 引用文献 >

- 1) 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.
- 2) 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.
- 3) Sato, Y., Hayashi, S., Hachikawa, R., and Kasai, M. (2021), Simultaneous simulation of changes in the NaCl concentrations of Japanese radish and an aqueous solution during cooking, *International Journal of Gastronomy and Food Science*, **24**, 100343.
- 4) 上平恒 (1998), 水の分子工学, 講談社サイエンティフィック
- 5) 文部科学省 (2020), 日本食品標準成分表 2020 年版 (八訂)
- 6) 橋場浩子 (2018), 調理における食材中の NaCl の二元収着拡散, 日本調理科学会誌, **51**, 307-314.
- 7) Ribeiro, A. C., Barros, M. C., Verissimo, L. M., Estes, M. A., and Leait, D. G. (2019), Coupled mutual diffusion in aqueous sodium (salicylate+ sodium chloride) solutions at 25 °C, *The Journal of Chemical Thermodynamics*, **138**, 282-287.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計1件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 渡邊直子, 佐藤瑠子
2. 発表標題 ダイコン中の種々の成分のみかけの拡散係数
3. 学会等名 日本調理科学会2021年度大会
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------