

調理時の鉄の溶出条件

大阪府立千里高等学校

川合咲穂 安田悠世 水瀬秀太 富田啓熙

1. 研究の動機・目的

鉄イオンは鉄分として人体に必須の栄養素であるが、現在日本人は鉄分摂取量が少ないことが問題となっている⁽¹⁾。鉄イオンの摂取法の一つとして料理からの経口摂取が挙げられる。鉄分は鉄製調理器具から溶出し、料理の鉄分含量に影響を与えている。よって、鉄製調理器具からの鉄分摂取は鉄分不足の解消に有効であると考えられる。しかしながら、この溶出に関する研究は少ない。そこで私は、調理時に鉄製調理器具から鉄イオンが溶出しやすい条件を探ろうと考えた。

2. 研究の方法

(1) 装置、試験材、および分析試薬

紫外可視分光光度計：SHIMADZU 社 UV1280

供試材：北口物産株式会社 “ザ・鉄タマゴ” (铸铁)

発色試薬：o-フェナントロリン溶液 ($C_{12}H_8N_2$ 1.00 g を $0.100 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ HCl aq 200 mL に溶解したもの)

還元剤：0.0196 mass % 塩酸ヒドロキシルアミン水溶液 ($\text{HONH}_2 \cdot \text{HCl}$)

緩衝液：クエン酸緩衝液 (25.0 mass % クエン酸三ナトリウム二水和物水溶液： $0.100 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ HCl aq = 47 : 153, pH 3.5)

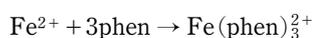
これらの試薬は“食品学実験書”に準じたものを実験に合わせて調整して使用した⁽²⁾。

(2) 鉄イオンの価数について

Fe^{2+} は人体に吸収されやすく、 Fe^{3+} は殆どされない。よって、溶出する2価と3価の鉄イオン割合は鉄分摂取の効率に大きく関係しているため、それを考慮する必要がある。

(3) 鉄イオンの測定方法

Fe^{2+} はフェナントロリン ($C_{12}H_8N_2$, phen) とキレートを作り、赤橙色 (510 nm に吸光) を示す。その吸光度からランベルト・ベールの法則を用いて溶液中の Fe^{2+} の濃度を求めることが出来る⁽³⁾。



また、 Fe^{2+} と Fe^{3+} のそれぞれの測定方法として、塩酸ヒドロキシルアミンは Fe^{3+} を Fe^{2+} に還元するので、計測時に塩酸ヒドロキシルアミンを入れれば Fe^{2+} と Fe^{3+} の総

量を、入れなければ Fe^{2+} のみの量をそれぞれ知ることが出来る⁽²⁾。

そして、今回の実験では火力および加熱時間が異なるので、蒸発による濃度の変化も考慮するために蒸発量による補正として、加熱前の体積を V_0 mL、蒸発した水の量を J mL とし、蒸発後の濃度に $(V_0 - J) / V_0$ を掛けた。

(4) 実験手順

1. ビーカー内に溶媒(イオン交換水, あるいは, 酸溶液)を 200 mL 入れ, 質量を測定した。
2. ガスバーナーで加熱し, 沸騰時点で鉄玉子を入れ, そこから所定の時間加熱した。
3. 加熱終了後, 鉄玉子をビーカーから取り出し, その溶液の一部を水冷した。
4. ビーカーと溶液の質量を測定し蒸発した溶媒(水溶液)の質量を求めた。
5. 冷却した3の液体を一定量採り, それを検体とした。
6. 検体をメスフラスコに入れ, (Fe^{2+} と Fe^{3+} をあわせた濃度を求めるときは塩酸ヒドロキシルアミン溶液 2.0 mL) o-フェナントロリン溶液 2.0 mL, クエン酸緩衝液 10 mL を順に入れ, その後イオン交換水で 50 mL に定容した。
7. 紫外可視分光光度計を用いて 510 nm における吸光度を測定し, 前述した方法を用いて濃度を求めた。

3. 加熱時間, 酸, 鉄の酸化状態の影響

(1) 実験条件

今回の実験では実際に調理法で変動するであろう条件の, ①加熱時間 (5, 10 min), ②酸の有無, および③鉄の酸化状態と溶出量の関係を調べた。酸については, 実際に料理で使われていることから酢酸溶液を使用した (濃度 $1.0 \times 10^{-3} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$, pH 3.71)。参考文献⁽⁴⁾で酢酸を用いると溶出量の増加が示されている。それを利用して溶出量を増やすことで, 他の条件による変化をイオン交換水での実験より見やすくする目的で酸を使用した。実験③について, 紙やすりで金属光沢が出るまで研磨を行った鉄玉子(やすりがけ処理)とガスバーナーで数分間加熱し, 酸化処理を行った鉄玉子(から焼き処理)を用意し, 比較実験を行った。実験①, ②についてはやすりがけ処理を行った鉄玉子を用いて実験を行った。

(2) 結果と考察

(a) 実験① 加熱時間

加熱時間が長い方が鉄の溶出量が増加した。反応時間が長いからだと考えられる。しかし, 加熱時間を2倍にしても, 鉄の溶出量は2倍にならなかった。加熱時間5分ではほぼ鉄は溶出しきっているのではないかと考えられる。全 Fe イオンに占める Fe^{2+} の割合は加熱時間5分と10分では顕著な違いはなかった(図1, 2)。

(b) 実験② 酸の有無

イオン交換水を用いたときよりも酢酸水溶液を用いたとき

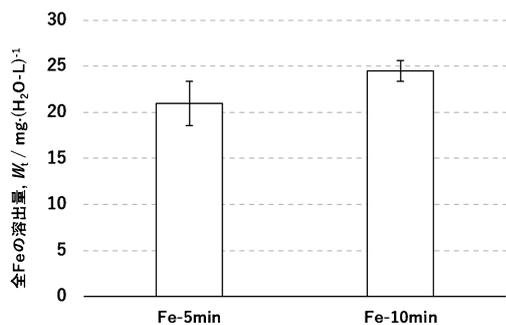


図1 加熱時間による全鉄の溶出量(酢酸溶液中).

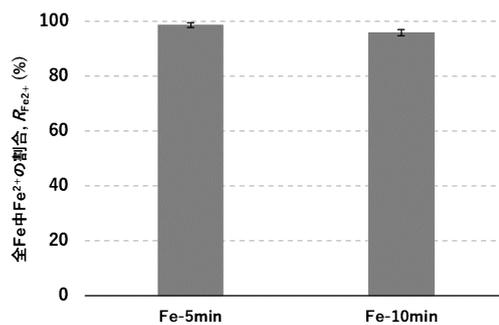


図2 全鉄イオンに占める Fe²⁺ の割合(酢酸溶液中).

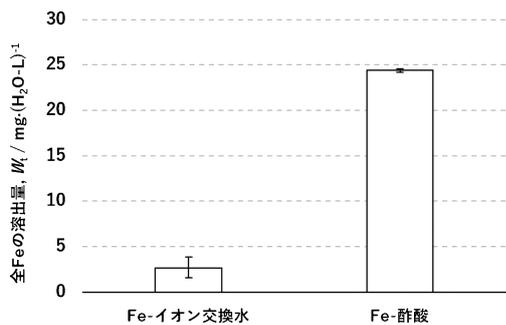


図3 酸の有無による全鉄の溶出量(加熱時間 10 min).

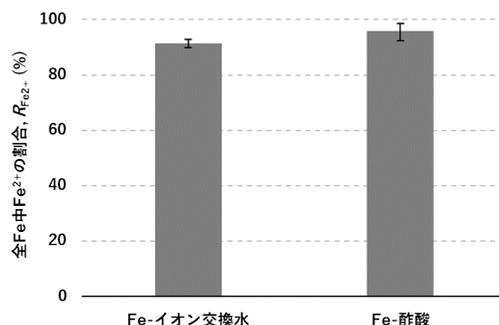


図4 全鉄イオンに占める Fe²⁺ の割合(加熱時間 10 min).

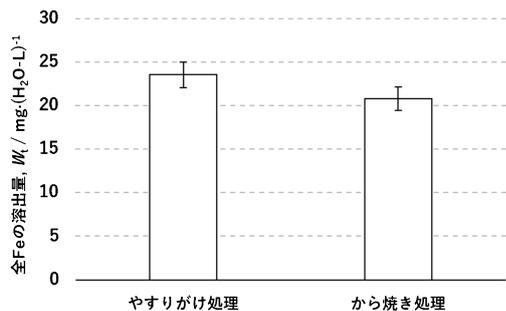


図5 鉄の酸化状態による全鉄の溶出量(酢酸溶液中, 加熱時間 10 min).

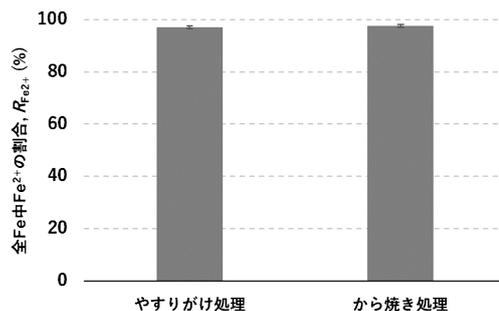


図6 全鉄イオンに占める Fe²⁺ の割合(酢酸溶液中, 加熱時間 10 min).

の方が鉄の溶出量が大幅に多かった。鉄は水素よりもイオン化傾向が大きい金属であるため、酢酸水溶液に含まれる H⁺ が Fe を酸化してイオン化させたと考えられる。



Fe²⁺ の割合はイオン交換水と酢酸でほとんど変わらなかった(図3, 4)。

(c) 実験③ 鉄の酸化状態

やすりがけ処理を行った鉄玉子の方が溶出量が若干多かった。から焼き処理を行った鉄玉子表面の主成分が Fe₃O₄ であること(表面の黒色より判断)から、Fe と酢酸の接触を妨げたと考えた。Fe²⁺ の割合はやすりがけ処理とから焼き処理でほぼ変わらなかった(図5, 6)。

4. 油および食塩の影響

(1) 実験条件

前実験からある程度、鉄が溶出しやすい条件がわかった。実際の調理では添加物を加えることがある。添加物は、鉄の溶出や全鉄イオンに占める Fe²⁺ の割合にどの程度影響を与

えるのかを調べる実験を行った。溶媒には酢酸水溶液 $1.0 \times 10^{-3} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ (pH 3.71) を用い、加熱時間は 10 min に定めた。添加物は④ヤシ油、⑤NaCl をそれぞれ加えた。実験④では溶媒の沸騰後、ヤシ油を 1.0 mL 加え、実験⑤では溶液中の NaCl の濃度を 1.0 mass% になるように調整した。

(2) 結果と考察

(a) 実験④(油の添加)

油を添加した場合、添加しなかった場合と比べて溶出量が 30% ほど抑制された。Fe²⁺ の割合はほぼ変わらなかった。図9より、鉄玉子の表面の一部が油膜で覆われていることがわかる。このことにより、鉄玉子と溶媒の接触面積が小さくなり、鉄の溶出が抑制されたと考えた(図7, 8, 9)。

(b) 実験⑤(NaClの添加)

NaCl の添加により、鉄の溶出量および Fe²⁺ の割合はほぼ変化しなかった。参考文献⁽⁴⁾では、食塩を加えると鉄の溶出量が増加すると報告されていたが、今回の結果はそれに反していた(図10, 11)。

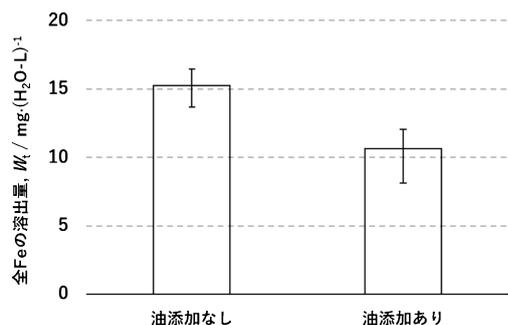


図7 油の添加による全鉄の溶出量(酢酸溶液中, 加熱時間 10 min).

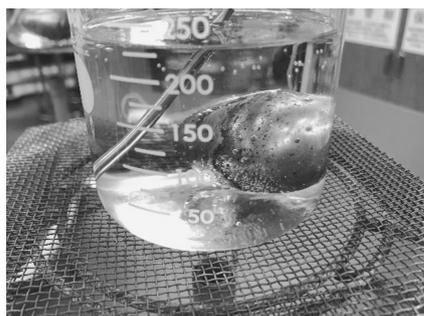


図9 油を添加した後の鉄玉子の写真.

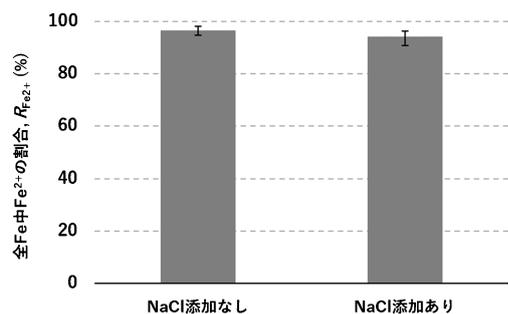


図11 全鉄イオンに占める Fe²⁺ の割合(酢酸溶液中, 加熱時間 10 min).

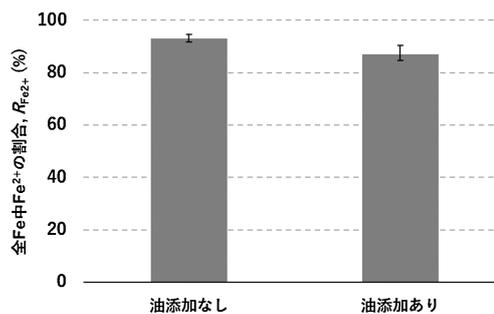


図8 全鉄イオンに占める Fe²⁺ の割合(酢酸溶液中, 加熱時間 10 min).

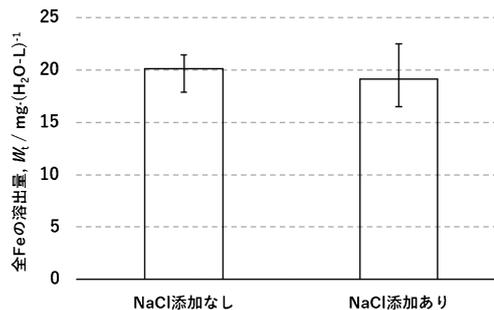


図10 NaClの添加による全鉄の溶出量(酢酸溶液中, 加熱時間 10 min).

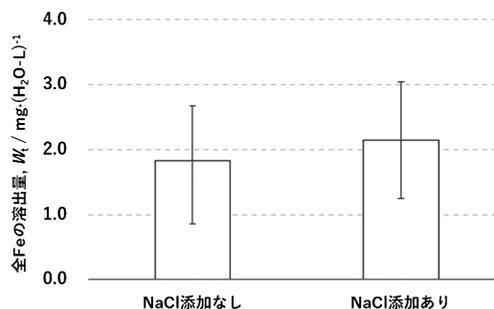


図12 NaClの添加による全鉄の溶出量(イオン交換水中, 加熱時間 10 min).

5. 食塩の影響の精査

(1) 実験条件

NaClの添加による鉄の溶出量の変化をより詳細に知るために、溶媒を酢酸水溶液 $1.0 \times 10^{-3} \text{ mol/L}$ からイオン交換水に変更し実験を行った。

(2) 結果と考察

統計的には有意でないが、平均値は若干の溶出量の増加がみられたため、NaClの添加は鉄の溶出量の増加に有効であると考えられる(図12)。

6. 結論

調理時に鉄製調理器具から鉄イオンが溶出しやすい条件

は、料理をなるべく酸性にすること(例:食酢を使った料理をする)、酸性環境下において鉄製調理器具で加熱する時間を長くすること(例:食酢を早めに入れる)、金属Feが露出している鉄製調理器具を用いること(例:錆をしっかり落としてから使う)、鉄製調理器具に油膜が生成されないようにすること(例:かき混ぜながら調理する)、塩化ナトリウムを添加することとわかった。

文献

- (1) 厚生労働省「日本人の食事摂取基準」(2010年版), 218-226.
- (2) 藤田修三: 食品学実験書 第二版, 医歯薬出版, (2002), 69-70.
- (3) 釜谷美則: ぶんせき, 4(2008), 158-162.
- (4) 今野暁子, 及川桂子: 日本調理科学会誌, 36(2003), 39-44.
(2023年7月24日受理)[doi:10.2320/materia.63.133]
(連絡先: 〒565-0861 吹田市高野台2-17-1)