

令和 5 年 5 月 18 日現在

機関番号：11101

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2020～2022

課題番号：20K02341

研究課題名（和文）アカガイが鉄欠乏性貧血の改善効果を有する加工食品としての可能性の研究

研究課題名（英文）Potential of ark clam as a processed food with beneficial effects on iron-deficiency anemia

研究代表者

樋口 智之（HIGUCHI, Tomoyuki）

弘前大学・農学生命科学部・准教授

研究者番号：80597469

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）：アカガイの加工処理によるヘム鉄含量に対する影響を調べた結果、100℃で60分加熱するとヘム鉄が減少し、非ヘム鉄が増加した。また鉄と結合できるEDTAやクエン酸の溶液にアカガイを浸漬させるとヘム鉄含量が低下した。一方、対照に用いたブタレバーのヘム鉄ではこのような現象は認められなかった。鉄欠乏状態のラットに5%アカガイ凍結乾燥粉末を配合した飼料を摂取させると、統計的に有意ではなかったが鉄欠乏状態からの改善傾向が見られた。以上より、アカガイは鉄供給のための食品として有益であるが、加工処理の条件によってはその効果が低減する可能性がある。

研究成果の学術的意義や社会的意義

アカガイは脊椎動物と同様に腸管吸収に優れた鉄の形態であるヘム鉄を有する珍しい貝だが、鉄供給食品として注目し、加工処理による影響を調べた研究はなかった。本研究によりアカガイは鉄供給食品として有益である可能性を見出し、長時間で高温の加熱あるいは鉄との結合能を有する食品成分および添加物と共存することによってヘム鉄含量が低下することを初めて明らかにした。またブタのヘム鉄と比較検討することにより、アカガイのヘム鉄はブタに比べて不安定であることも推察される。

研究成果の概要（英文）：The effect of processing on heme iron content in ark shells was investigated. Results showed that heme iron decreased while non-heme iron increased when the ark shells were heated at 100℃ for 60 minutes. Immersing the ark shells in EDTA or citric acid solutions, which can bind to iron, also led to a decrease in heme iron content. On the other hand, no such phenomenon was observed in heme iron content of pork liver used as a control. When rats with iron deficiency were fed a diet containing 5% freeze-dried powder of ark shells, an improvement trend was observed, although it was not statistically significant. These results suggest that ark shells may be a useful food for iron supply, but the processing conditions may reduce its effectiveness.

研究分野：食品科学

キーワード：アカガイ ヘム鉄 鉄欠乏 食品加工 調理

1. 研究開始当初の背景

アカガイ属貝類は海水二枚貝で、体液は赤色を呈しているが、これは酸素運搬タンパク質であるエリスロクルオリンを含むためである。エリスロクルオリンはポルフィリン環を分子骨格としたヘム分子を補欠因子として結合したグロビン鎖によって多量体を形成しており、脊椎動物が持つヘモグロビンとよく似た様式で酸素を組織中に運搬する。同じく二枚貝で我々に馴染み深いシジミやアサリはエリスロクルオリンではなくヘモシアニンによって酸素を運搬するが、ヘモシアニンはヘム分子を要しない機構で酸素と結合する。よって、シジミやアサリの鉄形態は非ヘム鉄で、アカガイ属貝類はヘム鉄で存在することになる。

鉄の腸管吸収率はヘム鉄と非ヘム鉄で大きく異なり、非ヘム鉄は 10% 以下であるのに対し、ヘム鉄では 30~40% である (Hussain, *et al.*, *Am. J. Clin. Nutr.*, 1965)。このことから、アカガイ属貝類はシジミやアサリに比べて鉄吸収率が高いと予想でき、鉄供給食材として優れていることが期待できる。鉄は世界的に見ても欠乏しやすい栄養素であり、急激な成長を伴う年長乳児や幼児、月経血損失のある女性、鉄要求量の多い妊婦・授乳婦は特に不足しがちな傾向にある。我が国でも、特に若い女性は極端な食事制限による無理なダイエットに起因する鉄やその他の栄養素不足も問題となっている。

近年、アカガイ属貝類のヘム鉄の含量が報告されたが (Chad *et al.*, *J. Food Comp. Analysis*, 2017)、それ以外の食品学分野からの報告は全くない。アカガイ属貝類が鉄供給食材として新たな選択肢に加われば、鉄分供給の機会が増え、鉄欠乏性貧血の減少へ繋がる可能性があるかもしれないが、これを明らかにした研究は全くなかった。

2. 研究の目的

本研究の目的は、アカガイが加工によってヘム鉄含量に対してどの程度影響し、鉄欠乏性貧血の改善へ寄与する食品として活用できるかを検証することである。ヘム鉄供給食品はレバーが最も高含量で適しているが、独特の風味があり、コレステロールなどといった動物性脂質を多く摂取してしまう可能性がある。他の鉄供給食品はシジミやアサリ、大豆、昆布、ほうれん草などが挙げられるが、これらは非ヘム鉄であり、ヘム鉄含有食品の選択肢が少ない。本研究でアカガイがレバーに代わる新たなヘム鉄含有食品としての有効性が明らかになる可能性がある。また研究代表者が所属する機関は青森県に位置しているが、水産業が盛んで、ホタテ貝が北海道に次いで高い生産量となっている。昔はアカガイの養殖も行っていたが、近年はホタテ貝の養殖に偏っている。これはあまり良い状況とは言えない。なぜなら、伝染病や環境の変化などでホタテ産業が一気に壊滅的な損害を被る可能性があるからだ。ホタテ貝以外にも多様な養殖産業を実施してリスクの分散をすることが望ましく、本研究は国民の鉄不足解消への貢献ばかりではなく、青森県でのアカガイ生産を復活と振興のきっかけとなる水産業への波及効果をもつ可能性がある。

3. 研究の方法

(1) アカガイの鉄をはじめとする含有成分の解明

アカガイに含まれる総鉄、ヘム鉄および非ヘム鉄含量を測定し、獣鳥肉類と比較した。総鉄含量の測定は、試料に対して濃硝酸を用いて湿式灰化し、残渣を 1% HCl に溶解した後に原子吸光度計を用いて定量した。ヘム鉄含量は Hornsey の方法により測定した。すなわち、試料をアセトン-水-HCl 混合液 (80:20:2, v/v/v) と共にホモジナイズしてヘム鉄を抽出し、遠心分離により得られた上澄みを用いて 640 nm の吸光度を測定して定量した。非ヘム鉄含量は Schriker の方法によって測定した。すなわち、3 N HCl, 20% (w/v) トリクロロ酢酸と 0.39% (w/v) 亜硝酸ナトリウムに混合した試料を 65℃ で 20 時間加熱し、冷却した後に得られた上清に対して発色試薬のバソフェナントロリン溶液を加えて遠心分離し、得られた上清の 540nm の吸光度から定量した。

(2) アカガイの加工処理によるヘム鉄への影響に対する検討

アカガイに含まれるヘム鉄に対する加工および調理による影響を検証するために、40~100℃ で 0~60 分間加熱し、ヘム鉄と非ヘム鉄含量を測定して加熱がヘム鉄含量にどの程度影響するかについて明らかにした。

アカガイヘム鉄含量に対する pH の影響を明らかにするために、pH4.0, 7.0 および 10.0 それぞれに調整した緩衝液に 0~6 時間浸漬させ、その後ヘム鉄含量を測定した。

アカガイと共存させた食品添加物等は、亜硝酸ナトリウム、クエン酸、エリソルビン酸、ポリフェノールの代表物質として没食子酸、EDTA を用い、pH4.0, 7.0 および 10.0 に調整した 1% の溶液をそれぞれ調製し、0~6 時間浸漬したのちにヘム鉄含量を測定した。

(3) 鉄欠乏状態ラットに対するアカガイ摂取の影響

8 週齢雄性 Wistar ラットを用いて、AIN93G 標準飼料を摂取させる対照群 (n=8) と AIN93G 標

準飼料をベースとした鉄欠乏食を摂取させる鉄欠乏食群 (n=16) に分けて、それぞれ 2 週間飼育して鉄欠乏状態にした。その後鉄欠乏群は鉄欠乏食群 (n=8) とアカガイ摂取群 (n=8) に分け、それぞれの群に対して鉄欠乏食と鉄欠乏食に 5% のアカガイ凍結乾燥粉末を配合したアカガイ食を 3 週間与えた。飼育期間終了後はラットをイソフルランによる麻酔下で解剖し、採取した血液から血清鉄 (SI)、鉄結合能 (TIBC)、ヘモグロビン量 (Hb)、ヘマトクリット値 (Ht) を測定した。

4. 研究成果

(1) アカガイの総鉄およびヘム鉄含量

アカガイの総鉄およびヘム鉄含量について、しばしば可食部として扱われる斧足組織と軟体部 + 体液それぞれを試料として分析に供し、ブタ・レバーと比較した。表 1 に示すとおり、総鉄が最も多く含まれていたのはブタ・レバーだったが、ヘム鉄が最も多く含まれていたのはアカガイ (軟体部 + 体液) だった。アカガイのヘム鉄は体液に多く含まれていることが示唆される。

表1 アカガイの総鉄およびヘム鉄含量 (mg/100g)

試料	総鉄	ヘム鉄
アカガイ (斧足組織)	1.88 ± 0.45	0.74 ± 0.10
アカガイ (軟体部 + 体液)	5.90 ± 0.20	2.61 ± 0.33
ブタ・レバー	14.4 ± 1.00	2.34 ± 0.25

(2) 加工処理によるアカガイヘム鉄への影響

a. 加熱によるアカガイヘム鉄への影響

アカガイのヘム鉄含量が加熱によってどのような影響を受けるかを明らかにするために、アカガイおよびブタ・レバーを 40~100 で 0~60 分間加熱したのちにヘム鉄含量を測定した (図 1)。ブタ・レバーのヘム鉄はどのような条件で加熱してもヘム鉄含量に変化はなかったが、アカガイは 100 で 60 分間加熱すると未加熱のヘム鉄に比べて有意に低下した。このことから、アカガイヘム鉄はブタに比べて熱に対して不安定で、100 で 60 分間といった高温長時間の加熱によってヘム鉄が減少することが明らかになった。加熱時には試料からドリップの流出が確認できたので、ドリップ中のヘム鉄含量を測定したところ、ヘム鉄の存在は確認できなかった。このことから、加熱によるヘム鉄含量の減少は試料外部へ流出することによるものではない可能性がある。

加熱による非ヘム鉄含量の変化を調べたところ、ブタ・レバーは変化しなかったが、アカガイは 100 で 60 分間加熱すると有意に増加した。また、ヘムは固有の吸光スペクトル波形を示すが、アカガイは加熱前後でスペクトル波形が変化することがわかった。このことから、アカガイのヘム鉄は加熱によってヘム分子が変化して鉄との結合能を損失し、鉄がヘムから解離して非ヘム鉄化した可能性がある。

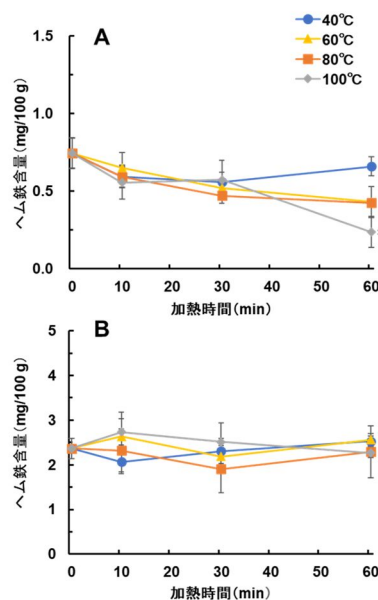


図1 アカガイ(A)およびブタレバー(B)の加熱によるヘム鉄含量の変化

b. pH のアカガイヘム鉄への影響

pH の違いによるアカガイおよびブタ・レバーに含まれているヘム鉄含量への影響を明らかにするために、pH4.0, 7.0 および 10.0 の緩衝液に 0~6 時間浸漬してからヘム鉄含量を測定した。その結果、いずれの pH においてもヘム鉄含量に有意な変化はなかった。したがって、アカガイおよびブタ・レバーのヘム鉄はいずれも pH の影響を受けないと考えられる。

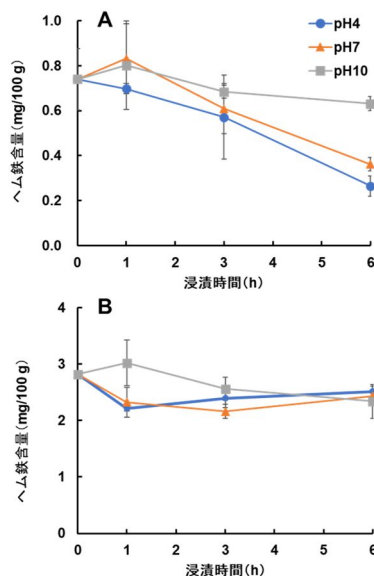


図2 アカガイ(A)およびブタレバー(B)の1%クエン酸溶液への浸漬によるヘム鉄含量の変化

c. 共存物質によるアカガイヘム鉄への影響

アカガイおよびブタ・レバーに対して pH4.0, 7.0 および 10.0 それぞれに調整した 1% (w/v) クエン酸溶液に 0~6 時間浸漬させたところ、pH4.0 と pH7.0 でいずれも 6 時間浸漬したアカガイにおいて、浸漬前よりもヘム鉄含量が有意に低下した (図 2)。一方、ブタ・レバーのヘム鉄含量はどのような条件でも変化はなかった。他に 1% EDTA に浸漬した場合、アカガイとブタ・レバーいずれもヘム鉄含量の有意な低下が認められた。なお、亜硝酸ナトリウム、エリソルビン酸、没食子酸溶液それぞれによる浸漬ではア

カガイおよびブタ・レバーのヘム鉄含量に変化はなかった。クエン酸と EDTA はいずれも鉄イオンと錯体を形成する性質があることから、両者の物質はヘムと競合して鉄を奪うことによってヘム鉄が減少した可能性がある。

(3) 鉄欠乏状態ラットに対するアカガイ摂取の影響

飼育期間中におけるラットの体重および飼料摂取量は食餌群間で有意な差は無かった。対照群、鉄欠乏食群、アカガイ摂取群それぞれの SI, TIBC, Hb, Ht は対照群において最も高値を示し、鉄欠乏食群はいずれも最も低かった (表 2)。これらのパラメーターは対照群と鉄欠乏食群の間で統計的な有意差が認められた。アカガイ摂取群は対照群に比べていずれも有意に低かったが、鉄欠乏食群に比べて有意差はなかったもののいずれも高い傾向だった。以上より、本実験ではアカガイの摂取によって鉄欠乏状態の十分な改善には至らなかったものの、改善効果を有する可能性が示唆された。

表2 鉄欠乏食を摂取したラットの血液学的パラメーター

食餌群	Ht (%)	Hb (g/dL)	SI (μg/dL)	TSAT (%)
対照食群	44.5 ± 4.4 ^a	11.7 ± 1.0 ^a	257 ± 109 ^a	43.0 ± 16.8 ^a
鉄欠乏食群	40.5 ± 2.3 ^b	10.2 ± 0.6 ^b	111 ± 26 ^b	18.8 ± 5.2 ^b
アカガイ配合食群	40.8 ± 2.3 ^b	10.6 ± 0.7 ^{ab}	128 ± 21 ^{ab}	22.0 ± 3.6 ^b

(4) 総括

加熱によるアカガイのヘム鉄に対する影響については、100 で 60 分間の高温長時間で加熱すると未加熱に比べて有意に低下することが明らかになった。しかしながら、ブタ・レバーは影響を確認できなかったことから、アカガイヘム鉄はブタ・レバーよりも熱に対して不安定であることが示唆された。ヘム鉄に対する pH 単独の変化の影響は認められなかったが、クエン酸が共存すると pH4 および 7 においてアカガイヘム鉄が減少した。一方、ブタ・レバーのヘム鉄はクエン酸の影響は認められなかった。また EDTA はアカガイおよびブタ・レバーいずれのヘム鉄も低下させた。Wistar ラットを用いた動物実験によって、アカガイの摂取は鉄欠乏状態から改善する可能性を見出すことができた。アカガイの摂取による鉄供給を効果的にするためには、前述のようなヘム鉄減少を引き起こす条件に配慮して加工および調理して食すべきと考えられる。

5．主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計2件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1．発表者名 小林奎太・樋口智之
2．発表標題 アカガイのヘム鉄に対する加工処理の影響
3．学会等名 日本食品科学工学会第69回大会
4．発表年 2022年

1．発表者名 小林奎太、樋口智之
2．発表標題 アカガイに含まれる無機質の組成とヘム鉄の分析
3．学会等名 日本食品科学工学会第68回大会
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
---------	---------