



エビを塩麴につけると青くなるのはなぜか

出口, 龍

(Citation)

課題研究優秀論文集, 2022:97-105

(Issue Date)

2023-01

(Resource Type)

departmental bulletin paper

(Version)

Version of Record

(JaLCD0I)

<https://doi.org/10.24546/0100477739>

(URL)

<https://hdl.handle.net/20.500.14094/0100477739>



2022 年度 卒業研究最終論文

エビを塩麴につけると青くなるのはなぜか

Mechanism of Blue Coloration of Shrimps Exposed to Shio-Koji

神戸大学附属中等教育学校 9 回生

6 年 3 組 20 番

出口 龍

Deguchi Ryu

(指導教員 玉久保 敦也、中垣 篤志)

Abstract

This study aims to discover the mechanism why prawns become blue when pickled in “shio-koji”; Japanese fermented seasoning made from salt and rice. It was verified whether the color changes depending on the type of prawn and the substance applied. In order to carry out absorbance analysis, the shio-koji that turned blue was collected and made into an aqueous solution. The results of the experiment showed that the effect of a protein called clustacyanin on the surface of the prawns was the cause of their color turning blue. Clustacyanin is normally combined with carotenoids which make it black, but it is estimated that the function of shio-koji breaks this bond and the clustacyanin becomes its original blue color. It is still unclear, however, which substances in the shio-koji mold are responsible for these changes.

Keywords: Prawn, Shio-koji, Absorbance analysis, Clustacyanin, Protein

目次

第 1 章	序論	1
第 1 節	研究の背景.....	1
第 2 節	研究の社会的意義.....	1
第 2 章	文献調査.....	1
第 1 節	麴について.....	1
第 2 節	エビについて	3
第 3 節	吸光度について	4
第 3 章	実験 - Side A.....	4
第 1 節	実験の準備.....	4
第 2 節	実験 1.....	5
第 3 節	実験 2.....	5
第 4 節	実験 3.....	6
第 5 節	実験 4.....	8
第 4 章	実験 - Side B.....	9
第 1 節	実験 5.....	9
第 2 節	実験 6.....	10
第 3 節	実験 7.....	10
第 4 節	実験 8.....	11
第 5 章	結論	13
第 1 節	結果.....	13
第 2 節	仮説.....	14
参考文献		15

第1章 序論

第1節 研究の背景

本研究はエビを塩麴に漬けると青くなる原因を探るものである。エビを塩麴につけると、1時間程度で青色になる。エビを加熱すると赤くなる現象について言及している論文は多数存在するが、塩麴による青変について触れている研究は、筆者が調査した限りでは存在しない。今日、塩麴は基本調味料として利用されている。肉や魚を塩麴に漬け込むことで、柔らかく、旨味たっぷりに仕上がる。肉や魚の場合、塩麴による色の変化は見られないが、エビは青変する。青色は食欲を減らす色として知られており、エビの青変は好ましい現象ではない [1]。以上のことより、塩麴によってエビが青変するメカニズムの解明を行った。

第2節 研究の社会的意義

水溶性の天然青色顔料は、食品等の着色料として商業的に利用することが求められている。アントシアニンなど他の天然青色顔料は、一般に色の安定性が悪い。そこで、カロテノプロテインなどが持つ青色色素の利用が期待されている [2]。

第2章 文献調査

第1節 麴について

第1項 麴の働き

麴は蒸した穀類や豆類に、麴菌（麴カビと

もいう）と呼ばれる微生物を繁殖させたものである。麴は食品を栄養にするために、消化酵素を出して成分を分解しながら生きている [3]。表1は麴に含まれる酵素の種類とその働きである。酵素によって食材が分解されることで、食材の旨味を感じやすくなったり、食材を消化しやすくなったりする。塩麴は米麴を発酵させて作る。米麴は蒸した米に麴菌をつけて、培養させたものである。

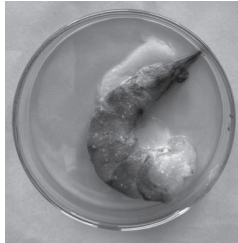


図1 塩麴によって青く変色したブラックタイガー

表1 麴に含まれる酵素の種類と働き [7]

酵素名	働き
アミラーゼ	デンプンを麦芽糖やブドウ糖に加水分解する。人はデンプンなどの多糖類の甘みを感じることができないが、ブドウ糖などの単糖類および二糖類の甘みは感じることができる。
α アミラーゼ	
プロテアーゼ	タンパク質をアミノ酸に加水分解する。タンパク質はアミノ酸が多数結合したポリペプチドだが、人はポリペプチドから旨味を感じることができないが、アミノ酸からは旨味を感じることができる。
プロテイナーゼ	
リパーゼ	脂肪を分解し、脂肪酸とモノグリセリドに分解する。
ペプチダーゼ	遊離アミノ酸の育成
グルコアミラーゼ	グルコースの育成
ペクチナーゼ	
ヘミセルラーゼ	組織の分解
セルラーゼ	
チロシナーゼ	麴の褐変
ホスファターゼ	リボ核酸の分解
フィターゼ	大豆、米のフィチンからイノシトール
ホスホリパーゼ	大豆のレシチンからコリン、イノシトール脂質からイノシトールの育成
エステラーゼ	エステルを酸とアルコールに分解
グルタミナーゼ	グルタミンをグルタミン酸に変える

第2項 塩麴について

塩麴は今日、味噌、醤油、みりんと並ぶ基本調味料として消費者に浸透している [8]。塩麴は古来べったら漬けや三五八漬けなどの漬物の漬け床として使われてきた。調味料として使われるようになったのはここ数年のことで、大分県のお餅麴メーカーが「塩糘」と名づけ商品化したのが最初である。2011年には全国の醸造業者から販売されるようになり、2012年には流行語大賞にノミネートされるほど人気となった [9]。

塩麴は、複数の酵素を持っており、それらが食品を分解する。例えば、豚ロース肉を塩麴に一晩つけた場合、遊離アミノ酸量お

よびグルタミン酸量は共に 2-3 倍になった [4]。一般に遊離アミノ酸は熟成によって増加し、美味しくなるとされている [5]。また、グルタミン酸は旨味成分として有名である。塩麴は塩分濃度を 10%以上にすることで食中毒菌の繁殖・増殖を防げるとされている [6]。後述の通り（4章1節実験5）甘酒（食塩を加えずに水と米麴を発酵させたもの）でもエビを漬けると青く変色するが確かめられたが、保存の観点から、本実験では塩麴を使用した。

第2節 エビについて

エビは節足動物門甲殻綱十脚目長尾亜目の総称である。エビは人とは違い酸素の運搬のためにヘモシアニンを使用している。ヘモシアニンは酸素と結合して青くなる。また、エビは開放血管系であり、毛細血管がない。

第1項 ブラックタイガーについて

本実験では冷凍されたブラックライガー (*Penaeus monodon*) を用いた。ブラックタイガーは十脚目クルマエビ科クルマエビ (フトミゾエビ) 属のエビである。体長30cmをこえる大型種で、クルマエビ科としては最大のえびである。ブラックタイガーは灰黒色で、小型個体では腹部の関節付近が黄色を帯びている [10]。成長の速さと食味の良さから、1970 年ごろから台湾で養殖が始まり、急激に東南アジア各地に広まった。しかし、現在は図2 の通り、養殖の効率や疾病への抵抗性に優れているパナメイエビが養殖の主流となっている [11]。パナメイエビも同じくクルマエビ科のエビである。

第2項 ヘモシアニンについて

ヘモシアニンは色素タンパク質の一種で、軟体動物と節足動物であるエビ、ザリガニ、カタツムリ、アワビなどの血色素である。ヘモシアニンは銅 2 原子に対して酸素 1 分子と結合し、無色から青色に変わる [10]。エビの血液にはヘモシアニンが含まれているが、死ぬと酸素が供給されず、無色になる。過酸化水素水をかけると、酸素が供

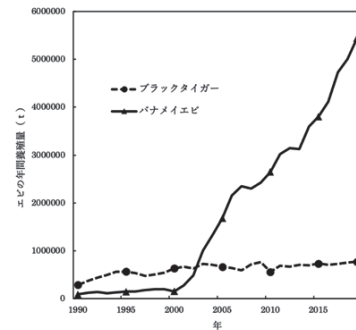


図2 ブラックタイガーとパナメイエビの養殖量の推移 [9]

給され、血液が青く変色する [12]。

第3項 クラスタシアニンについて

エビなどの甲殻類を加熱すると赤くなるのは、アスタキサンチン (astaxanthin : Atx) と呼ばれるカロテノイドに由来する。Atx は近年、高い抗酸化作用があるとして注目が集まっている。甲殻類に含まれる Atx は、タンパク質と結合し、クラスタシアニン (crustacyanin : CRCN) と呼ばれるアポタンパク質 (タンパク質と色素等の複合体) の状態で存在する。CRCN はエビの表皮および殻に存在している。CRCN の単体は青色を示す。CRCN が加熱されると、CRCN 中のタンパク質の変性によって、アポタンパク質から Atx が放出され、赤色を呈する。なお、エビが黒色背景において、黒みがかかるのは CRCN の影響である [13]。CRCN は図3の吸光スペクトラムを示す。

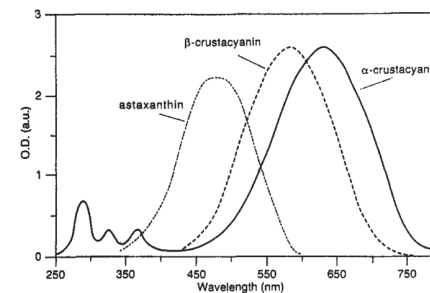


Fig. 1. UV/Visible spectra of astaxanthin (in dimethylformamide) and of α -crustacyanin and β -crustacyanin (in 0.05M sodium phosphate pH 7.0).

図3 クラスタシアニンとアスタキサンチンの吸光スペクトラム [2]

第3節 吸光度について

本実験では、吸光度測定機を用いた。表2は光の波長とその分類である。

表2 波長とその分類

種類	名称	波長 (nm)
紫外線	紫	400-435
	藍	435-480
	青	480-490
	緑	500-580
可視光線	黄	580-595
	橙	595-610
	赤	610-750
赤外線		800-

第3章 実験 - Side A

ここでは、エビにおける青くなる原因を特定する実験について記述する。

第1節 実験の準備

第1項 塩麴の製法

準備物：乾燥米麴、食塩、蒸留水 150mL、三角フラスコ、インキュベーター、薬さじ、

ガラス棒、電子天秤、アルミホイル
方法

- ① 乾燥米麴 100 g と食塩 30 g を計量し、三角フラスコに入れて、ガラス棒で軽く混ぜた。
- ② ①に蒸留水 150mL を加えて水が均等に行き渡るように混ぜた。
- ③ ②の三角フラスコの口をアルミホイルで覆い、40℃のインキュベーターで 20 時間発酵させた。
- ④ 室温(約 20℃)で冷まし、約 4℃の冷蔵庫で保管した。

塩麴を使用する際は、反応を促進させるために、乳鉢と乳棒を用いてすりつぶした。

第2項 加熱した塩麴の製法

準備物：塩麴、ビーカー、薬さじ、恒温水槽、温度計、電子天秤、アルミホイル

方法

- ① 塩麴 50 g を 100mL ビーカーに入れて、上部をアルミホイルで覆った。
- ② ①のビーカーを恒温水槽に入れて、中心温度 80℃で 30 分間湯煎した。
- ③ 1 時間ほど実験室 (約 20℃) で冷ました。
- ④ ③が 50 g になるように蒸留水 2.1g

を加え、元の塩麴と濃度を等しくした。

実験で使用する際は、反応を促進させるために、乳鉢と乳棒を用いてすりつぶして使用した。

第3項 エビの処理

本実験では、頭なし、殻付きの冷凍えびを使用した。実験では次の処理を行ってから用いた。

- ① 冷凍エビを流水解凍（約 10℃の水道水で5分間解凍）した。
- ② 殻をむいた上で、表面の水分をペーパータオルで拭き取りそれぞれシャーレに入れた。

第2節 実験1

第1項 目的

変色とヘモシアニンの関係を調べる

第2項 方法

準備物：過酸化水素水、ブラックタイガー

- ① エビに過酸化水素水を 5mL 滴下し、色の変化を観察した。

第3項 結果

色の変化はなかった

第4項 考察

ヘモシアニンが含まれている場合、過酸化水素水をかけると青くなる。[12]エビに過酸化水素水をかけてもエビが青く変色しなかったため、ヘモシアニンは変色に関係がないことが示された。

第3節 実験2

第1項 目的

塩麴によって青く変色するエビの種類を特定する

第2項 方法

準備物：塩麴、ブラックタイガー、バナメイエビ、大正エビ

- ① 3種類のエビについてそれぞれ 2g ずつ表面に塩麴をかけた。
- ② 24時間冷蔵庫（約 4℃）で保管し、色の変化を確かめた。

第3項 結果

表 3 実験1の結果

エビの種類	変化
ブラックタイガー	濃い青色になった
バナメイエビ	青色になった
大正エビ	変化がなかった

第4項 考察

あるエビの種に特有の現象であるかを調べることで、変色に関係している物質の特定に近づくと考えた。むき身の状態のエビの表面は、ブラックタイガーは黒に近く、バナメイエビは灰色で、大正エビは白に近い。表面の黒色の濃さの順に青色も濃かったことから、エビの表皮の黒い部分が青く変色していることが示唆された。ブラックタイガー、バナメイエビ、大正エビは全てクルマエビ科に属しており、その他の科のエビが青くなるかについては不明である。なお、以後の実験では、色の変化が顕著なブラックタイガーを用いた。

第4節 実験3

第1項 目的

吸光度測定機を用いて変色とクラスタシアニンの関係を調べる

第2項 方法

準備物：塩麴、蒸留水、ブラックタイガー、ビーカー、マイクロチューブ、恒温水槽、葉さじ、遠心分離機、ピペッター、分光光度計

- ① 生の塩麴と加熱した塩麴をそれぞれ 2g ずつをブラックタイガーにかけて、7日間冷蔵庫（約 4℃）で保管した。
- ② 試料 A、B、C、D を以下の通りに定めた。
A:生の塩麴

第3項 結果

B:加熱した塩麴

C:エビにかけて、青く変色した生の塩麴

D:エビにかけて、青く変色した加熱した塩麴

試料 A-D をそれぞれ 0.5 グラムずつ採取し試験管に入れて、15mL の蒸留水に溶かした。

- ③ ②で作った溶液 A-D2.0ml と蒸留水 1mL をマイクロチューブに入れて、遠心分離（15000rpm、120秒間）した。
- ④ ③で遠心分離した溶液の上澄みを採取し、分光光度計でスペクトラムを測定した。
- ⑤ 2週間後に再度④の試料のスペクトラムを測定した。

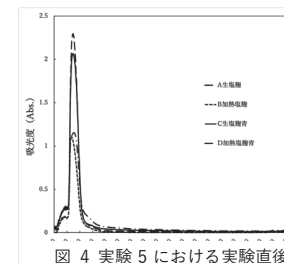


図 4 実験5における実験直後のスペクトラム測定結果

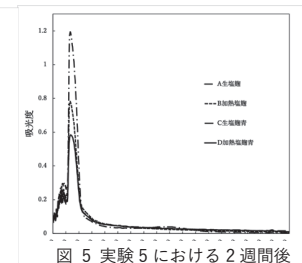


図 5 実験5における2週間後のスペクトラム測定結果

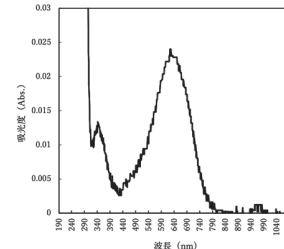


図 6 実験5 実験直後の吸光度において C-A を行ったグラフ 590-690nm にピークが見られ、α-CRCN と一致する

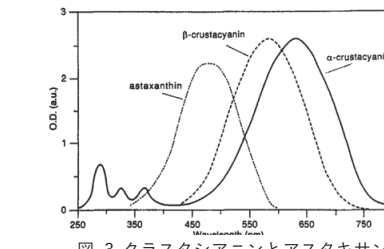


図 3 クラスタシアニンとアスタキサンチンの吸光スペクトラム [2]

第4項 考察

以下の方法で、実験直後に測定したスペクトラムの分析を行った。

- ① A から D までの波長の値について、最長波長領域の吸光度の値がゼロになるように、それぞれある値を引く。
 - ② 計算した結果が負にならないようにあらかじめある数をかけて、C から A を、D から B を引く。
- ① の操作は、最長波長領域ではサンプルの

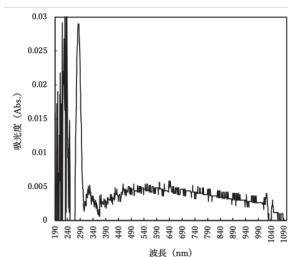


図 7 実験 5 実験直後の吸光度において D-B を行ったグラフ

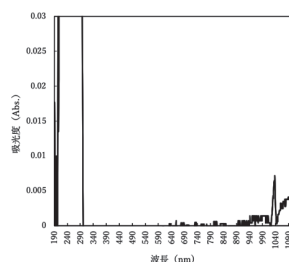


図 8 実験 5 2 週間後に測定し C-A を行なったグラフ
590-640nm にピークは見られない。紫外線領域における吸光度が増加している。タンパク質などが分解されて、散乱を起こしている可能性がある。

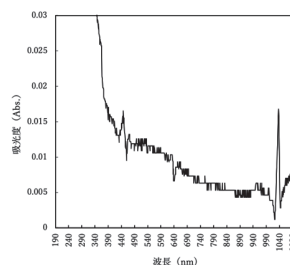


図 9 実験 5 2 週間後に測定し D-B を行ったグラフ

2 週間後にスペクトラムを計測したものについては、①の操作を行った際、吸光度の値が負となったため、この操作を行っていない。②の操作については、A と B の吸光度の値に 0.8 をかけて分析した。

図 6 から、生の塩麴の場合、590-690nm にかけて波長のピークがあり、 α -CRCN の存在が認められる。一方、加熱した塩麴の場合はピークが見られない。目視では青く見えたため、濃度が薄かった可能性がある。

光の吸収がないと仮定したためである。今回はそれぞれの吸光度から、A では 0.018、B では 0.015、C では 0.025、D では 0.028 だけ引いた。

② で C から A を引いたのはエビにかけて青く変色した塩麴の変化を数値的に捉えるためである。D から B も同様である。ここでは、引いた結果の数値がマイナスにならないように A と B の吸光度の値に 0.8 をかけた。しかし、0.8 をかけたことが適切であるかの検証は行っていない。

2 週間後に再度スペクトラムの測定を行ったところ、生の塩麴において 590-640nm 付近にあったピークはなくなった（図 8）。一方、生の塩麴の紫外線領域における吸光度の値は 2 倍以上に増加している。この現象は、時間経過によって塩麴中の物質や、CRCN などが分解され、散乱を起こしているのかは不明である。時間経過と吸光度の変化を短いスパンで比較することが望ましい。

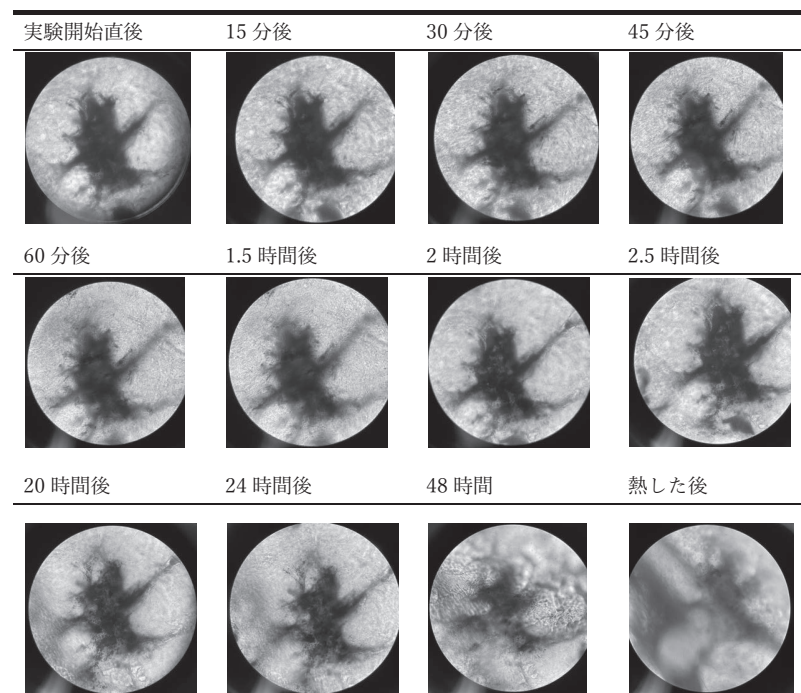


図 10 実験 4 塩麴をかけた際のエビの細胞の色変化 (600 倍生物顕微鏡)

加熱した塩麴については、以前は見られなかったなだらかな傾斜が見られるようになった。(図 9) この変化の原因は不明である。C および D については元々、青色を呈していたが、2 週間経過後は赤色を呈す様になった。しかし、それらの様子は吸光度には全く表れていない。

第5節 実験 4

第1項 目的

エビと塩麴の反応の過程を明らかにする

第2項 方法

準備物：塩麴、ブラックタイガー、メス、ピ

ンセット、スライドガラス、カバーガラス、顕微鏡

- ① メスを用いてエビの表皮を薄くはいた。
- ② ①の表皮をスライドガラスに乗せ、乾燥防止のために蒸留水を 0.05mL 滴下し、さらに塩麴をかけた。
- ③ カバーガラスをかけて、ろ紙ではみ出た液体を拭いた。
- ④ 顕微鏡で変化の様子を観察した。
- ⑤ 50 時間後にプレパラートをヒートガン(105℃以上、10 秒間)で熱して顕微鏡で観察した。

第3項 結果

図10を参照。

考察

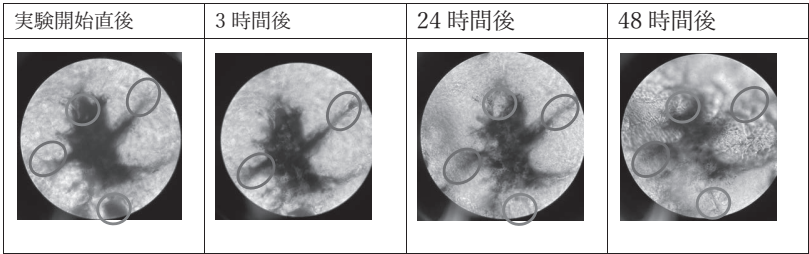


図11 実験4 塩麴をかけた際のエビの細胞の色変化(600倍生物顕微鏡)
赤丸を付した部分に青色成分の拡散が見られる。緑丸を付した赤い粒のようなものは、徐々に黄色に変色した。

実験3より、青色成分はCRCNである。赤丸を付した部分において3時間後に青くなっているが、24時間後には薄くなり始めている。また、3時間後にエビが青くなるにつれて、徐々に中心部の色が薄くなることからCRCNの色素の拡散の可能性がある。24時間後に赤丸を付した部分の色が薄くなっているのも、拡散が進んだためであると考えられる。一方、中心部や右下部分の緑色の丸を付した部分は元々、赤色の粒のようなものが存在しているが、24時間後には一部が黄色くなり、48時間後にはさらに多くが黄色に変化している。過去の実験では、エビを塩麴につけると黄色くなる現象は確認されておらず、なぜこのような変化が起きているかはわからない。本実験では、塩麴をつけていないエビの細胞の変化について観察しなかったため、これらの変化が塩麴によるものかは判断できない。

加熱するとすべての箇所が加熱前には見られなかった赤褐色になった。この色はAtxに由来すると推測される。

第4章 実験 - Side B

ここでは、エビの青変における塩麴の働きを特定する実験について記述する。

第1節 実験5

第1項 目的

エビを青くする塩麴以外の物質を見つける。塩麴と共通する成分を見つけることで、変色に関わる成分の特定につなげる。

第2項 方法

準備物: クエン酸、酢酸、食塩、甘酒、ヨーグルト、ブラックタイガー、シャーレ

- ① クエン酸および食塩は濃度が12%になるように水溶液を調製した。甘酒は米麴 100g、蒸留水 110mL を混ぜてインキュベーターを用いて 40℃で 20 時間発酵させたものを使用した。
- ② ①で作った溶液、酢酸、甘酒およびヨーグルト 2g ずつを、それぞれエビの表面を覆うようにかけて 24 時間冷蔵庫(約 4℃)で保管し、

色の変化を確かめた。

第3項 結果

表4 実験5の結果

かけたもの	変化
クエン酸水溶液	赤くなった
酢酸	滴下してすぐに赤くなった
食塩水	変化がなかった
甘酒	青くなった
ヨーグルト	変化がなかった

第4項 考察

クエン酸水溶液にエビを漬けると赤くなったのは、水素イオンと組織タンパク質とが結合するタンパク凝固作用が働いたためである [14]。酢酸は、濃度が高く、酸化が急速に行われたため滴下してすぐに赤変したと考えられる。食塩水では青くならないことや、甘酒でも青く変色することから、食塩はエビの青変に関係していないことが示された。ヨーグルトで青く変色しなかったことから、全ての発酵食品で変色が起こるわけではないこと、白い物質で青く見えるわけではないことが明らかになった。

第2節 実験6

第1項 目的

塩麴がどのような働きをしているか調べる

第2項 方法

準備物: 塩麴、ブラックタイガー、シャーレ、恒温水槽、温度計、ピーカー

- ① 加熱した塩麴を 2g ブラックタイガーにかけて、色の変化を観察した。

第3項 結果

表5 実験6の結果

時間	変化
4h	変化なし
8h	一部青くなった
24h	全体が青くなった

第4項 考察

加熱した塩麴でも青く変色することから次の3つの仮説が示唆される。

- i. 変色には酵素が関わっていない
- ii. 熱に耐性のある酵素が塩麴に含まれている
- iii. 失活しても数時間で再生する酵素が塩麴に含まれている

酵素がタンパク質であることから、最も現実的な仮説は i であるが、検証が必要である。

第3節 実験7

第1項 目的

塩麴の時間経過と変色の関係を調べる

第2項 方法

準備物: 塩麴、ブラックタイガー、シャーレ、恒温水槽、温度計、ピーカー

- ① 加熱した塩麴を 30 日間冷蔵庫(約 4℃)で保管した。
- ② 実験日に再度加熱した塩麴を製造した。ただしこの際、元の塩麴の濃度と一致させるために加熱後に蒸留水を足す操作を行わなかった。
- ③ ①と②の加熱した塩麴および、生の塩麴をそれぞれ 2g ずつエビにかけて色の変化を観察した。

第3項 結果

表 6 実験7の結果

時間	変化		
	生の塩麴	加熱した塩麴	加熱して 30 日間保存した塩麴
4h	変化なし	変化なし	変化なし
8h	わずかに青くなった	わずかに青くなった	わずかに青くなった
24h	青くなった	濃い青になった	青くなった
48h	青くなった	濃い青になった	青くなった

第4項 考察

最も濃い青色になったのが、加熱した塩麴であった。多くの酵素が 70℃以上で失活することを考えると、酵素が変色に関わっていないことがわかる。加熱した塩麴で最も青くなったのは、加熱によって、塩麴に含まれる変色にかかわる成分が濃縮されたためであると考えられる。一方、エビの個体差の影響があるため、実験の回数を増やすなど、個体差による影響を減らす必要がある。

第4節 実験8

第1項 目的

温度による色の変化を確かめる
酵素とエビの青変の関係を確かめる

第2項 方法

準備物：塩麴、ブラックタイガー、シャーレ、胃腸薬（第一三共胃腸薬）、乳鉢、乳棒

- ① 胃腸薬 1 錠を乳鉢と乳棒を用いてすりつぶした。
- ② 加熱した①の胃腸薬と、塩麴および生の塩麴を 2g ずつ表面全体を

覆うようにエビにかけた。これを 3 サンプルずつ用意した。

- ③ ②の 3 種類のサンプルと加工を施していないエビを、4℃の冷蔵庫、22℃の実験室、40℃のインキュベーターに入れて色の変化を観察した。

※胃腸薬にはタカザアスターゼと呼ばれる酵素由来の成分が配合されており、胃腸薬をエビにかけることで酵素と青変の関係を調べられる。

第3項 結果

表 7-10 を参照

第4項 考察

加工を施していないエビは 40℃で 45 時間経過したもののみが赤くなった。この変化は加熱によるタンパク質の変性、すなわちタンパク質の非極性基の水和に起因する[15]。
加熱した塩麴をかけたエビは生の塩麴をかけたエビに比べて青くなりにくい。すなわち、塩麴における青変の原因物質は加熱によって機能を完全に失わないまでも、なんらかの変化が起きていることが推測される。
加熱した塩麴をかけたエビが 40℃ 45 時間で赤くなっているのは、塩麴が原因では

表 7 実験8 加工を施していないエビの色の变化

時間	変化		
	4℃	22℃	40℃
30 分後	変化なし	変化なし	変化なし
1 時間後	変化なし	変化なし	変化なし
2 時間後	変化なし	変化なし	変化なし
20 時間後	変化なし	変化なし	変化なし
45 時間後	変化なし	変化なし	赤くなった

表 8 実験8 加熱した塩麴をかけたエビにおける色の变化

時間	変化		
	4℃	22℃	40℃
30 分後	変化なし	変化なし	変化なし
1 時間後	変化なし	変化なし	変化なし
2 時間後	変化なし	青くなった	変化なし
20 時間後	変化なし	一部が青くなった	変化なし
45 時間後	薄く青くなった	薄く青くなった	赤くなった

表 9 実験8 塩麴をかけたエビにおける色の变化

時間	変化		
	4℃	22℃	40℃
30 分後	変化なし	わずかに青くなった	わずかに青くなった
1 時間後	わずかに青くなった	青くなった	わずかに青くなった
2 時間後	わずかに青くなった	青くなった	わずかに赤く
20 時間後	わずかに青くなった	青くなった	赤くなった
45 時間後	青くなった	濃い青になった	赤くなった

表 10 実験8 胃腸薬をかけた時のエビの変化

時間	変化		
	4℃	22℃	40℃
30 分後	変化なし	変化なし	変化なし
1 時間後	変化なし	変化なし	わずかに赤くなった
2 時間後	変化なし	変化なし	わずかに赤くなった
20 時間後	変化なし	わずかに赤くなった	わずかに赤くなった
45 時間後	変化なし	わずかに赤くなった	赤くなった

なく、長時間の加熱の影響である可能性がある。胃腸薬にはタカヂアスターゼと呼ばれる酵素由来の成分が配合されている。タカヂアスターゼ以外にも様々な物質が配合されているため、酵素の影響であると断定し難いものの、酵素がエビの赤変に関係していることが示唆された。また、4℃では変化がなかったのに対し、40℃では赤変しており、酵素の最適温度との関係が認められた。生の塩麴は室温において最も速く、濃い青色に変化した。この違いは青変に最適温度があることを示唆している。

第5章 結論

第1節 結果

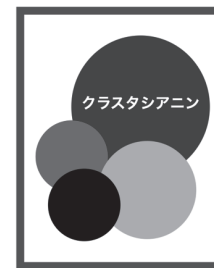
実験1では、過酸化水素水を滴下した場合でもエビが青変しなかったことから、エビの血色素であるヘモシアニンの影響が否定された。実験3の吸光度分析より、クラスタシアニンが関係していることが明らかになった。

実験5からは、発酵させた米麴によってエビが青変することが示された。一方で、実験6、7で、加熱した塩麴でも青変したことから、酵素がエビの青変に関わっていないことが示唆された。また、実験8で、室温において青変が最も速く進行したことから、青変にも最適温度がある可能性がある。

第2節 仮説

第1項 仮説

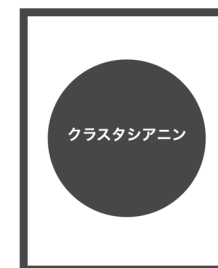
実験7・8・9より次のモデルが示唆される。



普段は、Atx とタンパク質が非共有結合で会合し CRCN として存在する。CRCN やその他の色素胞の影響でエビは灰黒色を呈す [16]。

【根拠】

文献調査より。
(2章2節3項)

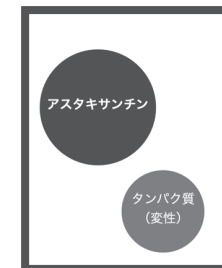


【仮説】

酵素ではない、塩麴の働きによって、色素胞のうち、CRCN のみの特異的に抽出される。CRCN は塩麴にも拡散し、青色を呈すようになる。

【根拠】

実験4より色素胞が拡散する様子が観察されたこと。実験8で失活した塩麴でもエビが青変したこと。



【仮説】

加熱や酵素の働きによって CRCN が分解されると、Atx に由来する赤色を呈すようになる。

【根拠】

実験7で酵素の最適温度で塩麴をつけたエビが赤色になったこと。
タカヂアスターゼによって赤色を呈すようになったこと。

参考文献

- [1] 小林茂雄, “鮮やかな光色で照明された食品に対する食欲,” *日本建築学会環境系論文集*, 第 巻 74, 第 637, pp. 271-276, 2009.
- [2] R. J. W. D. A. J. D. W. L. G.-G. F. J. J. H. J. M. d. G. J. L. J.-P. C. a. J.-C. M. George Britton, “Carotenoid blues: structural studies on carotenoproteins,” *Pure and Applied Chemistry*, 第 巻 69, 第 10, pp. 2075-2084, 1997.
- [3] NHK 出版, “今さら聞けない……塩こうじってそもそも何? | NHK テキストビュー,” NHK 出版, 8 1 2014. [オンライン]. Available: <https://textview.jp/post/cooking/11558>. [アクセス日: 27 12 2021].
- [4] 阿部真紀, 澤山茂, 秋田修, “塩麴漬けか 豚ロース肉の調理性に及ぼす影響,” *日本調理科学会誌*, 第 巻 51, 第 3, pp. 142-150, 2018.
- [5] 近藤君夫, 戸井田仁一, 蟻川幸彦, ほか 1 名, “食肉の遊離アミノ酸,” *長野県工業技術総合センター食品技術部門研究報告*, 第 33, pp. 36-44, 2005.
- [6] 相良純, 尾関健二, 新田陽子, 高橋香澄, 北元憲利, “塩麴製造中および 保存中における食塩濃度の違いによる抗菌効果について,” *2015 年度大会講演要旨集*, p. 3F28a07, 2015.
- [7] 日本味噌株式会社, “日本味噌株式会社,” 日本味噌株式会社, 7 10 2019. [オンライン]. Available: <https://www.nihonmiso.com/recipe/lis>
- [8] 旭利彦, “ハナマルキに見る塩こうじのヒ シ ネス,” 第 巻 56, 第 7, pp. 54-59, 2013.
- [9] 前橋健二, “塩麴の調味特性,” *日本海水学会誌*, 第 巻 71, 第 4, pp. 232-239, 2017.
- [10] ブリタニカ・ジャパン, ブリタニカ国際大百科事典 小項目事典, ブリタニカ・ジャパン, 2014.
- [11] 株式会社コーラル・シー, “ブラックタイガーの養殖方法は? 安価で高品質なエビを供給できる方法とは?,” 株式会社コーラル・シー, 22 11 2021. [オンライン]. Available: <https://coralsea.co.jp/coralpress/2021/11/black-taiger-youshokuhouhou/>. [アクセス日: 19 1 2022].
- [12] 舩山誉人, “水産 海洋系高等学校における地域貢献活動の取り組み,” *日本水産学会誌*, 第 巻 77, 第 3, 2011.
- [13] 上. 幸. 足. 亨. 森. 克. 川龍 祥子, “短期的蓄養によるクマエビ (Penaeus semisulcatus) のアスタキサンチン量の制御,” *水産増殖*, 第 巻 67, 第 1, pp. 1-8, 2019.
- [14] 山元修, “化学熱傷: 誰もが知っておきたい知識,” *熱傷*, 第 巻 46, 第 1, pp. 1-15, 2020.
- [15] 平野篤・白木賢太郎, “姿をかえるタンパク質,” *生物工学会誌*, 第 巻 89, 第 7, pp. 404-407, 2011.
- [16] 足立亨介, “組み替えタンパク質を用いたカロテノプロテインの色彩多様性に関する研究,” 高知大学, 2016.
- [17] 宝ホールディングス株式会社, “こうじに関する基礎知識 | おいしさづくりの基礎知識 | 加工・業務用調味料 | 商品紹介 | 宝酒造株式会社,” 28 3 2019. [オンライン]. Available: <https://www.takarashuzo.co.jp/products/seasoning/basicinfo/005.htm>. [アクセス日: 19 1 2022].
- [18] FAO, “Global Aquaculture Production,” FAO, 2019.
- [19] 牧野誠夫, “ヘモシアニンの構造と機能,” *生物物理*, 第 巻 19, 第 4, pp. 171-175, 1979.
- [20] 足立康介, “クルマエビにおけるメラニン生成機構に関する研究,” 京都大学, 2001.
- [21] 柿. 金沢昭夫, “エビ類の黒変に関する研究-II チロジナーゼの分布と黒変との関係,” *Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries*, 第 巻 22, 第 8, pp. 476-479, 1956.
- [22] 金. 昭. 柿本 大孝, “エビ類の黒変に関する研究-III 黒変阻止に就いて,” *日本水産学会誌*, 第 巻 23, 第 7-8, pp. 454-457, 1957.