

令和 4 年 6 月 6 日現在

機関番号：47407

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2017～2021

課題番号：17K12892

研究課題名(和文) 低・未利用水産資源の機能性に及ぼす調理加工操作の影響

研究課題名(英文) The effect of cooking process on the functionality of underutilized or unutilized marine products

研究代表者

相良 剛史 (Sagara, Takefumi)

尚綱大学短期大学部・その他部局等・教授

研究者番号：60353132

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000円

研究成果の概要(和文)：原藻わかめの加工工程において大部分が廃棄されている茎わかめおよびめかぶは、生鮮品ほどの含有量ではないものの乾製品においても相当量のポリフェノールや抗酸化活性などが残存しており、特にめかぶ乾製品は他の部位よりも残存割合が高かったことから、めかぶ乾製品の機能性食材としての有用性が示唆された。一方、めかぶ乾製品粉末を添加したパンは、葉わかめや茎わかめ乾製品粉末を添加したパンよりも硬くなりやすく、比容積も大きく、また、官能評価においても良好な結果が得られ、アミノ酸スコアも無添加のパンと比較すると10%程度向上していたことから、低利用であっためかぶの利用拡大に寄与するものと思われた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

これまで、様々な水産物において加工前後の機能性や栄養性を検討した例が報告されているが、茎わかめやめかぶなどの低利用水産資源においてはほとんど検討されていなかったため、本研究成果は学術的に有用な資料になるものと思われた。また、めかぶ乾製品粉末を添加したパンの製パン性や栄養性における優位性を示すことが出来たため、大部分が廃棄されていためかぶに乾製品としての利用価値の向上と機能性食材としての可能性を見出すことができ、本研究成果は食品廃棄物等の社会問題への貢献にも寄与するものと思われた。

研究成果の概要(英文)：Most of the wakame stalk and mekabu are discarded during the processing of raw seaweed. Interestingly, considerable amounts of polyphenols and antioxidant activity still remain in the dried products of mekabu, even though the amounts of polyphenols and antioxidant activity in the dried mekabu are lower than those in the raw mekabu. Therefore, these findings suggest the usefulness of dried mekabu as functional food ingredients. On the other hand, the bread baked with mekabu dry product powder had a larger specific loaf volume and gave better sensory properties. In addition, its amino acid score was also improved by approximately 10% compared with the bread without mekabu dry product powder. Consequently, our results revealed that addition of the dried mekabu powder to bread should contribute to the expanding utilization of mekabu, which is currently underutilized, in the future.

研究分野：食品科学

キーワード：未利用資源 めかぶ 官能評価 物性 製パン性 嗜好性

## 1. 研究開始当初の背景

わが国では、脂質や糖質を中心とする高カロリー型の食生活が広く行きわたるにつれて、高血圧症、肥満、糖尿病、動脈硬化、高脂血症、脳卒中などの生活習慣病と呼ばれる種々の疾病のリスクが著しく増大しつつあり、その健康に及ぼす悪影響は深刻な社会問題となっている。また、超高齢化社会を迎えた近年においては、高齢者の低栄養によるフレイルなどの問題も深刻化している。このような状況の下、研究代表者らは、昨今問題となっている食品廃棄物の中にも、健康食品と同様の機能性や栄養性を有するものがあると考え、ワカメを加工する際に排出される食品廃棄物も含め、低利用の農畜水産資源の有効利用へ向けた研究を行ってきた。ワカメは三陸や徳島県などを中心に養殖による生産が盛んに行われてきたが、1970年代後半頃から中国産や韓国産の安価なワカメ加工品が輸入されるようになり、1974年に約17万トンであった国内のワカメ生産量は、2018年には約5万トンにまで減少し、その国内自給率は25%を下回るようになっている。ワカメは商品化に際して、芯抜きなどの手間を要する作業が必要となるが、この工程において取り除かれる中芯(茎ワカメ)は単価が低いため、そのほとんどが廃棄物として処理されている。また、メカブに関しても、その加工には煩雑な作業が必要となることから、そのほとんどが廃棄されているが、1980年のロンドン・ダンプング条約批准により安価な海洋投棄による処理ができなくなり、その処理費用の過重負担もワカメ生産者の収益を減少させる要因となっている。そこで、それらの廃棄部位に有用性を見出すことにより市場価値を高めようとする取り組みが主に国内の研究グループによって行われてきたが、解決には至っていない状況であった。一方、海藻に含まれる有用成分を効率よく摂取することを目的に、海藻を添加したパンを製造する取り組みが複数の研究者によりなされているが、ワカメを添加したパンに関する報告はこれまでにない。また、このような低・未利用水産資源を原料とした加工品の加工前後における栄養性や機能性の変化に焦点をあてた研究はほとんど行われていない状況であった。

## 2. 研究の目的

水産物の加工残渣には高い機能性や栄養性を示す成分を含有するものもあるが、それらの多くは利用価値の低さから廃棄処分されている状況であった。また、水産食品が有する機能性や栄養性の乾燥や調理加工による変化についてはあまり検討されていなかったため、低・未利用水産資源に生活習慣病予防や健康増進に寄与する機能性や栄養性を見出し、乾燥や調理加工における機能変化を検討するとともに、それらの成分を効果的に摂取するための嗜好性を加味した調理加工法を開発することを目的に研究を行った。

## 3. 研究の方法

### (1) ワカメ各部位に含まれる食品成分

生ワカメを葉状体(葉ワカメ)、中肋(茎ワカメ)および孢子葉(メカブ)の3部位に分別し、それぞれを凍結乾燥後にハイスピードミルを用いて粉碎した試料につき、常法に準じて一般成分および無機質量を測定した。即ち、水分は常圧加熱乾燥法、たんぱく質量はケルダール分解法、脂質はジエチルエーテルによるソックスレー抽出法、灰分は直接灰化法により測定し、炭水化物量は差し引き法により算出した。また、無機質は原子吸光法(フレイム AAS)により、ナトリウム、カリウム、マグネシウムおよびカルシウム量を測定した。一方、オートクレーブにより熱水抽出した試験液の低分子画分について、総ポリフェノール量(フォーリン・チオカルト法)、ラジカル消去活性(DPPH法)および抗酸化活性(FRAP法)などの測定を行うとともに、ラット副腎髄質褐色細胞腫由来 PC12 細胞に対する酸化ストレス、低酸素負荷および鉄に起因する細胞毒性からの保護作用について検討を行った。

### (2) ワカメ加工品に含まれるフコキサンチンについて

ワカメの加工方法の違いによるフコキサンチンの消長を確認するべく、数種のワカメ加工品に含まれるフコキサンチン量を、高速液体クロマトグラフィー(HPLC)により定量した。すなわち、11種類のワカメ加工品をそれぞれ凍結乾燥後、摩砕してエタノールを加えて1分間超音波抽出を行い、抽出液を10,000 rpmで20分間、遠心分離後、上清を0.2 μmのメンブレンフィルターでろ過し、HPLCによりフコキサンチン量を定量した。

### (3) 機能性食材としてのスピルリナの利用

スピルリナが有する新規の機能性を確認するために、スピルリナ熱水抽出液の除タンパク処理したものにつき、消化酵素に対する阻害活性の測定を行った。すなわち、スピルリナ乾燥粉末に蒸留水を加え、121℃で30分間抽出後、酸処理および透析処理によりタンパク質を取り除いた画分のリパーゼやα-グルコシダーゼなどの消化酵素に対する阻害活性を調べた。次いで、スピルリナを添加したパンを試作し、製パン性に関する検討を行った。

### (4) ワカメ乾製品の添加が製パンに与える影響

各種ワカメ乾製品(ワカメ、茎ワカメおよびメカブ)に含まれる一般成分および無機質量を特定するとともに、アミノ酸分析計を用いてタンパク質構成アミノ酸の含有量を測定した。また、

それぞれの熱水抽出液のポリフェノール量、ラジカル消去活性および抗酸化活性などを測定し、機能性についての検討を行った。次いで、各種ワカメ乾製品の微粉末を添加したパンを試作し、それらのパンの比容積(菜種法)、色度、硬さ、凝集性を測定するとともに官能評価により嗜好性の検討を行った。色度は色彩色差計を用いて、パン上面の外相(crust)と内面の内相(crumb)の $L^*$ 値、 $a^*$ 値および $b^*$ 値を測定し、内相と外相を区別して無添加パンを基準とした色差 $E_{ab} = [(L^*)^2 + (a^*)^2 + (b^*)^2]^{1/2}$ を求めた。また、無添加パン、葉ワカメ乾製品粉末添加パン(葉ワカメ添加パン)、茎ワカメ乾製品粉末添加パン(茎ワカメ添加パン)およびメカブ乾製品粉末添加パン(メカブ添加パン)の間での $L^*$ 値、 $a^*$ 値および $b^*$ 値の有意差を求めた。物性は、パンをスライサーにより切断面からの厚さが20 mmになるように切り取り、卓上物性測定器を用いてかたさおよび凝集性を測定した。嗜好性に関しては、無添加パン、葉ワカメ添加パン、茎ワカメ添加パンおよびメカブ添加パンの4種類のパンを用い、電動ブレッド&マルチナイフを用いてパンを8等分したものを嗜好型の官能評価試験に供した。さらに試作したパンのタンパク質構成アミノ酸量を測定し、アミノ酸スコアを算出した。

#### 4. 研究成果

##### (1)ワカメ各部位に含まれる食品成分

生ワカメ凍結乾燥試料に含まれるタンパク質量は5.2(中肋)~12.8%(葉状体)と、部位により差がみられた。また、脂質に関しても、0.7(中肋)~3.1%(孢子葉)と大きな差異を生じた。灰分は中肋の42.4%が最も高い値となったが、葉状体(34.4%)および孢子葉(31.1%)に大きな差は見られなかった。無機質量は、葉状体ではカリウムよりもナトリウムが多く含まれていたが、中肋および孢子葉においてはナトリウムよりもカリウムが多く含まれており、特に中肋にはナトリウム量の2~3倍のカリウムが含まれていることが明らかとなった。一方、含有する総ポリフェノール量は孢子葉が最も多く、ラジカル消去活性および抗酸化活性も孢子葉で最も高い値が得られた。他方、孢子葉から調製した試験液はPC12細胞に対し、濃度依存的に低酸素負荷および鉄に起因する酸化ストレスから保護する働きを有することが明らかとなった。PC12細胞は神経分化モデルとして広く使用されている細胞であり、本細胞に対する保護作用はアルツハイマー病やパーキンソン病などの神経変性疾患に有効である可能性があることから、ワカメ孢子葉の有効活用が期待できる結果となった。

##### (2)ワカメ加工品に含まれるフコキサンチンについて

供試試料中、めかぶ茶に含まれるフコキサンチン量が36.16 mg/kg(乾燥重量)と最も多く、次いで芽かぶとろろ(3.16 mg/kg)、きざみめかぶ(2.72 mg/kg)、おしゃぶりめかぶ(0.76 mg/kg)、味わいめかぶ(0.30 mg/kg)の順であった市販のワカメ製品のフコキサンチン含有量は、製品ごとにかかりのばらつきがあったが、総じて低い含有量であった。特に、わかめそうめん、めかぶ大福、わかめふしめんなど、原料ワカメの使用量が少ないと思われる製品からはフコキサンチンは殆ど検出されなかった。また、茎わかめ(酢)、茎わかめの佃煮からもフコキサンチンは検出されなかったが、酸や加熱による処理が原因である可能性が考えられた。

##### (3)機能性食材としてのスピルリナの利用

スピルリナの熱水抽出物除タンパク質画分は、リパーゼ活性を阻害するが、 $\alpha$ -グルコシダーゼ活性は阻害しないことが明らかとなった。スピルリナが有する栄養性や機能性に関する研究はこれまでに多くの研究者によりなされてきているが、その多くはタンパク質に起因するものであったため、非タンパク質画分を対象とした本研究成果は有用な新規の知見になり得るものと思われた。スピルリナ添加パンの検討では、スピルリナの含有割合を高めるとパンとしての物性や芳香性に著しい問題が生じ、熱水抽出物においても芳香性の問題を解決できなかったため、今後の課題として検討を進めたい。

##### (4)ワカメ乾製品の添加が製パンに与える影響

ワカメ乾製品に含まれる一般成分は、特にタンパク質および脂質含有量において、各製品間で大きな差異を生じた。無機質量は葉ワカメおよび茎ワカメ乾製品でナトリウムが多く、メカブ乾製品でカリウムが比較的多い結果となった。また、総ポリフェノール量はメカブ乾製品に最も多く含まれ、ラジカル消去活性および抗酸化活性もメカブ乾製品で最も高い値が得られた。一方、製パンに与える影響について、比容積は無添加>メカブ>ワカメ>茎ワカメ粉末添加パンの順となり、凝集性や官能評価結果も茎ワカメ粉末を添加したパンで評価が低く、メカブ粉末を添加したパンで良好な結果が得られた。また、各相の無添加パンと比較した $E$ 値は、内相ではメカブ添加パンが最も小さく、外相では茎ワカメ添加パンが最も小さな値となったが、外相の茎ワカメ添加パンとメカブ添加パンとの差は僅かであった。他方、メカブ乾製品のタンパク質構成アミノ酸含有量(mg/g タンパク質)は、葉ワカメおよび茎ワカメ乾製品と比較するとリシン、ロイシンおよびヒスチジンが約2~3割程度少なかったが、それらの粉末を添加したパンの間での差はほとんど無く、高齢者の低栄養改善の指標のひとつとなるアミノ酸スコアは、無添加パンが63であったのに対し、葉ワカメ粉末添加パンで72、茎ワカメ粉末添加パンで70、メカブ粉末添加パンで69であり、いずれもリシンのみが制限アミノ酸となっていた。これらの結果から、製パン原料にワカメ乾製品を添加する際には、機能性や栄養性に富み製パン性を損ないにくいメカブ乾製品粉末を使用することが最も効果的であるものと思われた。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計6件（うち査読付論文 6件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 5件）

1. 著者名 相良剛史, 森口裕子, 吉田茉夕, 原田香, 西堀尚良, 橋本多美子	4. 巻 13
2. 論文標題 わかめ乾製品の添加が製パン性に及ぼす影響について	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 食品科学教育協議会誌	6. 最初と最後の頁 31-38
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Nishibori, N. Sagara, T. Morita, K.	4. 巻 60(2)
2. 論文標題 Identification of nicotianamine as potential inhibitor of angiotensin I converting enzyme in aqueous extract of Okara dry powders	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Food and Nutrition Research	6. 最初と最後の頁 161-167
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Aya Shibata, Sayaka Ichihara, Miwa Kubota, Aimi Sakata, Ayaka Shibata, Yuko Moriguchi, Kaori Harata, Tekefumi Sagara, Hidehiko Kikuchi	4. 巻 1
2. 論文標題 Possibility for nutritional improvement of the "authentic milk bread" by increasing the amount of milk added	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Association of Food Science Education in Japan	6. 最初と最後の頁 25-30
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Aya Shibata, Kaori Harata, Yuko Moriguchi, Risako Kanegawa, Ayaka Nagahira, Misaki Shigematsu, Yuri Takamura, Haruno Watanabe, Takefumi Sagara, Harishkumar Madhyastha, Hidehiko Kikuchi	4. 巻 11
2. 論文標題 Production and evaluation of the authentic milk bread using a lactose-utilizing yeast, Kluyveromyces marxianus	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Current Topics in Biotechnology	6. 最初と最後の頁 31-36
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 相良剛史、高津廣美、西堀尚良	4. 巻 11
2. 論文標題 ワカメ加工品に含まれるフコキサンチンの定量	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 食品科学教育協議会誌	6. 最初と最後の頁 21～25
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Kishibuchi Reina, Nishibori Naoyoshi, Sagara Takefumi, Morita Kyoji	4. 巻 16
2. 論文標題 Putative Effect of Spirulina Extract on Enzyme Activities Participating in Lipid and Carbohydrate Digestion Processes	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Dietary Supplements	6. 最初と最後の頁 521～529
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/19390211.2018.1472166	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計5件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件)

1. 発表者名 相良剛史・森口裕子・吉田茉夕・原田香・橋本多美子
2. 発表標題 わかめ乾燥品が製パンに与える影響について
3. 学会等名 日本家政学会第73回大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 相良 剛史, 原田 香, 西堀 尚良
2. 発表標題 木綿豆腐製造過程で排出されるイソフラボンの性状
3. 学会等名 日本家政学会第71回大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 相良剛史, 森口裕子, 原田 香, 當房浩一, 西堀尚良
2. 発表標題 ワカメ(Undaria pinnatifida)に含まれる食品成分の機能性について
3. 学会等名 日本水産学会春季大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 原田 香, 相良 剛史, 橋本 多美子
2. 発表標題 節レンコン添加パンの製パン性
3. 学会等名 日本調理科学会大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 相良 剛史, 原田 香, 橋本 多美子
2. 発表標題 節レンコンパウダーの有用性について
3. 学会等名 日本調理科学会大会
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計1件

産業財産権の名称 パン、パン生地およびパンの製造方法	発明者 菊池秀彦、柴田文、 原田香、相良剛史	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、特願2020-099640	出願年 2020年	国内・外国の別 国内

〔取得〕 計0件

〔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
研究協力者	西堀 尚良  (Nishibori Naoyoshi)		
研究協力者	谷山 茂人  (Taniyama Shigeto)		

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