



Title	ヨウ素低減コンブ加工食品の製造技術の開発 [論文内容及び審査の要旨]
Author(s)	伊木, 亜子
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(水産科学)
Dissertation Number	甲第15587号
Issue Date	2023-09-25
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/90872
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/
Type	doctoral thesis
File Information	Ako_Igi_abstract.pdf, 論文内容の要旨



学位論文内容の要旨

博士の専攻分野の名称：博士（水産科学）

氏名：伊木 亜子

学位論文題目

ヨウ素低減コンブ加工食品の製造技術の開発

和食に欠かせない食材の一つであるコンブは、煮物などの調理食品だけでなく、他の食材にうま味を付与するために「だし」を用いる食文化が定着している。コンブには、ビタミン類や無機質などの、ヒトの生体機能を調節するために欠かせない栄養素が豊富に含まれている。特に、コンブのヨウ素含有量は、他の食材に比較して突出しており、一度の摂取でヨウ素の1日当たりに必要とされる食事摂取基準を満たすことができる。ヨウ素は、ヒトの必須元素であり甲状腺機能の維持に欠かせない栄養素の一つであるが、過剰に摂取すると甲状腺機能障害を招く。日本人はコンブやコンブだしの摂取頻度が高いため潜在的な甲状腺疾患リスクに曝されている。また、近年の健康志向から、諸外国においても和食が注目されているが、WHOに示されるヨウ素の耐容上限量は日本人の約1/3と低く、ヨウ素の過剰摂取が懸念される。

わが国では、海藻を灰化してヨウ素を回収する技術が実用されていたが、食用を目的として海藻からヨウ素を低減する技術の報告例はない。このような背景から、本研究では「ヨウ素低減コンブ加工食品の製造技術の開発」を試みた。市場におけるコンブ製品の流通形態は、①乾燥製品（だし昆布、おぼろ昆布等）、②調理加工品（昆布巻き、つくだ煮等）、③液状製品（昆布つゆ、昆布しょうゆ等）の3つに大別できる。そこで、乾燥コンブを水戻しすることによりヨウ素を溶出させ、その戻し汁から陰イオン交換樹脂（以下、IRA402）を用いてヨウ素を吸着除去した後に、①コンブを再乾燥した乾燥製品、②戻し汁とコンブまたはコンブ以外の食材を用いた調理加工品、および、③戻し汁を用いた液状製品の利用可能性について検討した。

第1章では、乾燥コンブの水戻し溶媒へのヨウ素（ヨウ化物イオンをヨウ素と称する）の溶出と、コンブの質量損失の抑制について検討した。蒸留水を用いた水戻しにより、コンブのヨウ素の約90%が溶出したが、コンブの質量が約50%減少した。このことについて、コンブの主要成分であるアルギン酸やマンニトールの溶出が原因であると考え、まず、アルギン酸の溶出を抑制するために水戻し溶媒に塩化カルシウム水溶液を用いたところ、質量損失率を約25%に抑制できた。次に、マンニトールの溶出を抑制するために水戻し溶媒に0.9 M マンニトール水溶液を用いたところ、質量損失率を約10%まで抑制することができた。いずれの場合もヨウ素除去率は約90%を維持した。また、ヨウ素の溶出過程は擬一次速度式によく従った。

第2章では、IRA402のヨウ素吸着特性について検討した。まず、ヨウ化カリウム水溶液をコンブの模擬戻し汁としてヨウ素吸着実験をおこなった。IRA402による模擬戻し汁からのヨウ素の吸着速度を検討した結果、擬一次速度式に基づく速度モデルに従い（相関係数0.99）、速度定数4.96 L/g・hが得られた。

次に、IRA402によるヨウ素吸着実験の結果に、Langmuir吸着等温式から導いた吸着モデルを適用し、諸因子の影響の定量的な評価基準となる吸着定数16.6と最大吸着量2.10 mmol/g

を決定した。これらのパラメータ値を用いてモデルから算出した計算値は、実験値と相関係数 0.99 の良好な一致を示した。また、質量損失を抑制するためにマンニトールを添加しても、IRA402 へのヨウ素吸着は影響を受けなかった。塩化物イオンの添加によってヨウ素吸着量は半減したが、マンニトールを同時に添加すると、塩化物イオンの影響が緩和された。さらに、昆布巻きの一一般的なレシピに準じた調味料（しょうゆ、酢、砂糖）の添加が IRA402 のヨウ素吸着に及ぼす影響について検討した結果、調味料は IRA402 のヨウ素吸着にほとんど影響せず、ヨウ素除去率は約 90%のまま維持された。この実験結果について、乾燥コンブとしょうゆの塩分から求めた塩化物イオン濃度を用いて吸着モデルから算出したヨウ素除去率は、実験値と相関係数 0.99 の良好な一致を示した。

第 3 章では、ヨウ素低減乾燥コンブの製造コストの削減と SDGs の観点から、水戻し溶媒と IRA402 の繰り返し使用を試みた結果、水戻し溶媒と IRA402 を 5 回繰り返し使用してもコンブのヨウ素除去率は約 95%を維持した。一方、戻し汁のヨウ素濃度は繰り返し回数とともに上昇したが、各回の IRA402 無添加の場合のヨウ素濃度を基準とすると、3 回目までヨウ素除去率が約 90%であった。この結果を解析するために、(1) 水戻しによってコンブに含まれる無機態ヨウ素のすべてが溶出する、(2) IRA402 による水戻し溶媒のヨウ素吸着は各操作において速やかに平衡に達する、との仮定に基づいてモデルを導いた。このモデルを実験結果に適用した結果、モデルによる計算値と実験結果は相関係数 0.99 の良好な一致を示した。

第 4 章では、コンブの特徴的かつ主要なうま味成分であり、ヨウ素とともに水戻し溶媒に溶出するグルタミン酸が、IRA402 によって戻し汁から吸着除去されるか否かについて検討した。まず、グルタミン酸濃度を実験変数とした模擬戻し汁を用いた IRA402 によるヨウ素吸着実験をおこない、その結果をヨウ素とグルタミン酸のイオン交換反応の物質収支に基づくモデルによって解析した。その結果、モデルによる計算値と実験値は相関係数 0.98 の一致を示した。また、モデル解析によって得た吸着定数から、IRA402 のヨウ素に対する選択性がグルタミン酸の約 140 倍であることが示された。次に、IRA402 の対イオンを Cl 型から I 型に置換した IRA-I を用いてグルタミン酸濃度をおこない、グルタミン酸とのイオン交換によって IRA-I からヨウ素が放出されるか否かを確認した。その結果、IRA402 への吸着による戻し汁のグルタミン酸減少率は 3%程度であり、ヨウ素除去率はほとんど影響を受けないことが確認された。

第 5 章では、コンブだしと昆布巻きの商品化の可能性について検討した。乾燥コンブの水戻し工程に IRA402 を用いた競争吸着法を適用することで、戻し汁(昆布だし)のヨウ素の 90%以上が除去されることを確認した。水戻しコンブとその戻し汁を用いた昆布巻きについても、製品中のヨウ素濃度が検出限界以下であることが確認できた。また、コンブだしの遊離アミノ酸濃度を測定し、ヨウ素除去操作の有無で比較した結果、うま味成分のアスパラギン酸とグルタミン酸、および甘味成分のアラニンとプロリンは、いずれも減少していないことが確認された。さらに、ヒトによるコンブだしの官能評価を分析型の「3 点識別法」と基本五味に関する特性評価の「2 点識別法」でおこない、ヨウ素除去操作の有無によるコンブだしの味の違いを比較した。その結果、正答数に有意差が認められず、「ヨウ素低減昆布だし」と従来の「昆布だし」の味は、ヒトが明確に識別できないほど遜色のないものであることが示された。ヨウ素低減昆布だしについては、特性評価においてもうま味と甘味を強く感じることを示され、特性評価とアミノ酸分析の結果に強い相関が認められた。

以上の結果から、本研究が提案する「ヨウ素低減コンブ加工食品の製造技術」により、ヨウ素を低減したコンブを用いた調理加工製品と液状製品の商品化が可能であることが示唆された。