

# ナガコンブ *Saccharina longissima* の品質と加工特性に及ぼす凍結の影響

奈須亮耶<sup>1</sup>, 秋野雅樹<sup>2</sup>, 加藤慎二<sup>1</sup>, 小玉裕幸<sup>1</sup>, 武田浩郁<sup>1</sup>

<sup>1</sup>北海道立総合研究機構釧路水産試験場, <sup>2</sup>北海道立総合研究機構中央水産試験場

Effect of freezing on the quality of nagakombu (*Saccharina longissima*)

RYOUYA NASU<sup>1</sup>, MASAKI AKINO<sup>2</sup>, SHINJI KATOU<sup>1</sup>, HIROYUKI KODAMA<sup>1</sup> and HIROHUMI TAKEDA<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Kushiro Fisheries Research Institute, Hokkaido Research Organization, *Kushiro, Hokkaido, 085-0027*,

<sup>2</sup> Central Fisheries Research Institute, Hokkaido Research Organization, *Yoichi, Hokkaido, 046-8555, Japan*

Recently, kombu catch has decreased in Hokkaido, Japan. One of the reasons for this decline is ageing and a decrease in the population of fishery workers. Dried kombu accounts for most of kombu products. However, labor-intensive drying of kombu is a significant problem in terms of efficiency. Herein, we focused on nagakombu (*Saccharina longissima*) caught in Eastern Hokkaido and proposed replacement of the drying process for nagakombu products with freezing. We examined the effect of quality on frozen nagakombu compared with dried nagakombu. The yield and breaking strength of frozen nagakombu were lower than those of the dried nagakombu. Further, the nutritional content of frozen nagakombu was higher than that of dried nagakombu. Kombumaki (a food item made from nagakombu) was prepared by both frozen and dried nagakombu. The results were compared using a sensory evaluation. The differences between frozen and dried nagakombu were significant ( $p < 0.01$ ). The preference tests were not significantly different between frozen and dried nagakombu; however, sensory panelists showed a tendency to prefer texture-dried nagakombu to frozen nagakombu. These results suggest that frozen nagakombu maintained a high nutritional value and that the texture of the products became soft.

キーワード：官能評価, 昆布巻き, 凍結, ナガコンブ, 破断強度, 歩留り

ナガコンブ *Saccharina longissima* は北海道東部の太平洋沿岸に分布する大型の褐藻類であり、釧路から根室地方における重要な水産資源である。道内で漁獲されるコンブは主に汁用と調理・加工用途に分けられる。ナガコンブは他のコンブと比較して呈味の主体となるグルタミン酸やアスパラギン酸の含有量が少ないため（西塔ら, 2005）、汁素材として不向きであるが、加熱調理によって煮えやすいことから昆布巻きや佃煮、おでんの具材など食べるコンブとして利用されている。

近年では北海道のコンブ類の生産量は減少傾向にある（北海道水産林務部, 1991～2021）。その原因は海洋環境の変化によって海藻類の生息域が縮小していることに加え、漁業者の高齢化および新規就業者の減少による労働力不足と考えられている（幡宮, 2014）。漁獲されたナガ

コンブはそのほとんどが乾燥品に加工される。コンブ乾燥品の製造に至っては漁獲から、乾燥、切断、選別、荷造の工程を漁業者が自ら行っている。特にコンブの乾燥工程には多くの時間と労働力が必要であり、その効率化が喫緊の課題である。その課題解決策の一つとして、乾燥に伴う品質形成のメカニズムの解明（福士ら, 2021）や、天日乾燥を機械乾燥に代替する実証試験（福士ら, 2016）が行われてきた。

我々は上述した乾燥工程の効率化とは別の視点からコンブの生産を支援するために、凍結ナガコンブの生産流通の可能性について検討した。ナガコンブの冷凍素材化が可能となれば、従来のコンブに必須の乾燥工程は省略され、そこにかかる労力を削減できるだけでなく、ナガコンブの新たな加工原料としての活用も期待できる。

しかしながら, これまでにコンブの凍結に関する研究例は少なく, 凍結したナガコンブの性状に関する知見はない。そこで本研究では, ナガコンブの品質と加工特性に及ぼす凍結の影響を歩留りと物性, 成分量の変化から検討した。また, 凍結ナガコンブから昆布巻き製品を調製し, その品質を官能試験によって評価した。

## 試料及び方法

**貯蔵試験用のナガコンブ試料の調製** 2021年7月に漁獲されたナガコンブを散布漁業協同組合から調達し試験に供した。ナガコンブは, 葉元50 cmを除く葉状部を10 cm幅に切断して試験片とした。凍結品は試験片をチャック付きポリエチレン袋(ユニパック, セイニチ)に入れ,  $-10^{\circ}\text{C}$ および $-30^{\circ}\text{C}$ で12か月間貯蔵し, 分析した。対照の乾燥品は, 試験片の重量がおよそ10%程度になるまで $50^{\circ}\text{C}$ で熱風乾燥し, 上記と同様の袋に入れ室温で12か月間貯蔵した。

**凍結品の解凍歩留りと乾燥品の水戻し歩留りの測定** 凍結品は袋に入れたまま $4^{\circ}\text{C}$ に設定した恒温槽中に3~4時間静置することで解凍した(以下, 解凍品とする)。解凍品に付着したドリップはペーパータオルでふき取り, 解凍品の重量を計量した。解凍歩留りは, 試験片の重量に対するドリップふき取り後の解凍品の重量の割合とした。乾燥品は個別に $25^{\circ}\text{C}$ 設定の恒温槽中で500 mlの蒸留水を入れたガラスビーカー中に3時間浸すことで水戻しした(以下, 水戻し品とする)。水戻し歩留りは, 試験片の重量に対する水戻し品の重量の割合とした。

**物性の測定** 試料は生鮮のナガコンブおよび解凍品, 水戻し品として, 沸騰水中で10秒間加熱(以下, ボイル加熱とする)した後に物性の測定を行った。物性は直径2 mmの円柱状プランジャー(進入速度1 mm/sec)を装着したレオメーター(CR-500DX, サン科学)を用いて, 試料の中帯部の破断強度を測定した。測定回数は試料1枚につき3回とし, その平均値を使用した。

**灰分, 粗タンパク質, マンニトール, アルギン酸の分析** 各種成分の分析には生鮮のナガコンブおよび解凍品, 水戻し品をボイル加熱したものを用いた。それらを真空凍結乾燥(FD-550, EYELA)して得られた乾燥物を粉碎(FLabo Milser LM-PLUS, 岩谷産業)し, 各種成分の分析に供した。固形物量は解凍品および水戻し品の重量に対する乾燥物の重量の割合とした。灰分は $550^{\circ}\text{C}$ 直接灰化法(堤・安井, 1996)を用いた。アルギン酸は50 ml容量のサンプリングチューブに粉末試料を約0.3 g秤量し, 1%(w/v)の $\text{Na}_2\text{CO}_3$ を25 ml加えて沸騰水中で加熱抽出して, Galambos法(瀬野ら, 1972)により定量した。マン

ニトールは粉末試料約0.5 gに蒸留水を加えて100 mlに定容し, 5分間超音波処理(MCS-2, アズワン)した後, 75%アセトニトリルを溶離液とし, 分離カラム(Asahipak NH2P-50 4E, Shodex)とRI検出器(L-2490, 日立)を装備した高速液体クロマトグラフィー(Elite LaChrom, 日立)を用いて定量した。粗タンパク質はスミグラフ(NC TRINITY, 住化分析センター)を用いた改良デュマ法(日本食品分析センター, 2001)で得られた全窒素量に6.25を乗じて求めた。その他成分は固形物量から灰分, アルギン酸, マンニトール, 粗タンパク質の値を差し引いて算出した。

**官能評価** 加工原料は2021年8月に漁獲されたナガコンブを散布漁業協同組合から入手し,  $-20^{\circ}\text{C}$ で7か月間貯蔵した凍結ナガコンブと前述の方法にて乾燥した乾燥ナガコンブとした。これらの加工原料を水産加工会社に提供し, ニシンを具材とした昆布巻き製品を製造した。パネルは20代から60代の水産試験場職員および釧路地区水産技術普及指導所の15名(男性13名, 女性2名)とした。官能評価は3点識別法(佐藤, 1985a)により凍結原料と乾燥原料から製造した昆布巻き製品の違いを識別可能かどうか調べた。また2点嗜好試験(佐藤, 1985b)により外観, 味, 香り, 食感の4項目を評価した。なお, 嗜好試験では判断の根拠や感想についての自由記述欄を設けた。有意差検定は統計解析ソフトR(ver.4.2.1)を用いて二項検定により行った。

**凍結品および乾燥品の煮熟時間に伴う物性変化** 試料は2022年7月に漁獲されたナガコンブを散布漁業協同組合から入手し,  $-20^{\circ}\text{C}$ で3か月間貯蔵した凍結品および室温で3か月間貯蔵した乾燥品とした。それらを解凍品と水戻し品にした後, 沸騰水中で60分間加熱して, 経時的に破断強度を測定した。

## 結果

**貯蔵に伴う凍結品および乾燥品の歩留りの変化** 凍結品と乾燥品を12か月間貯蔵して, 解凍歩留りおよび水戻し歩留りの変化を経時的に測定した(Fig. 1)。

解凍歩留りと水戻し歩留りは貯蔵1か月目で83%( $-30^{\circ}\text{C}$ 貯蔵), 84%( $-10^{\circ}\text{C}$ 貯蔵), 92%(乾燥品)であった。解凍歩留りと水戻し歩留りは貯蔵1か月目以降ではほとんど変化しなかった。 $-10^{\circ}\text{C}$ で貯蔵した凍結品の解凍歩留りは,  $-30^{\circ}\text{C}$ で貯蔵した解凍歩留りよりも低い傾向を示した。

**貯蔵に伴う凍結品および乾燥品の物性の変化** 生鮮ナガコンブ, 解凍品および水戻し品をボイル加熱して破断強度の変化を検討した(Fig. 2)。生鮮ナガコンブの破断強

度は $999 \pm 87$  gであった。解凍品と水戻し品の破断強度は1か月間貯蔵するとそれぞれ $707 \pm 95$  g ( $-30$  °C 貯蔵),  $677 \pm 77$  g ( $-10$  °C 貯蔵),  $821 \text{ g} \pm 89$  (乾燥品) であり, 生鮮ナガコンブよりも低い値であった。貯蔵1か月目以降では, 解凍品と水戻し品ともに破断強度に顕著な変化はみられなかった。

**貯蔵に伴う凍結品および乾燥品の栄養成分の変化** 生鮮ナガコンブ, 解凍品および水戻し品をボイル加熱して主な成分含量と貯蔵期間の関係について検討した。その結

果, 解凍品と水戻し品の成分含量は貯蔵期間に関係なく一定であったことから, 貯蔵12か月目の結果のみを示した(Table 1)。ボイル加熱前の生鮮ナガコンブの固形物量は湿重量あたり11.4%であり, 各成分量は灰分 (3.8%), アルギン酸 (3.3%), マンニトール (2.2%), 粗タンパク質 (0.9%) の順に多かった。ボイル加熱後の生鮮ナガコンブおよび解凍品, 水戻し品の固形物量はそれぞれ, 8.6% (生鮮), 8.7% ( $-30$  °C 貯蔵), 8.3% ( $-10$  °C 貯蔵), 5.5% (乾燥品) であった。各成分量については, 灰分は

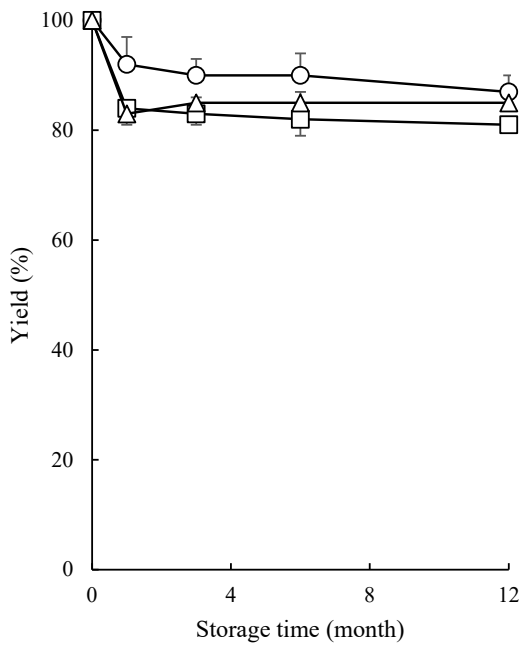


Fig. 1 Changes in the yield of frozen and dried nagakombu. Nagakombu was stored at  $-10$  °C (□) and  $-30$  °C (△) for up to 12 months. The frozen nagakombu was subsequently thawed in water. To estimate yield, frozen nagakombu was weighed before freezing and after thawing. Dried nagakombu was stored at room temperature for up to 12 months (○). Dried nagakombu was reconstituted by soaking in water at  $25$  °C for 3–4 h. Error bars indicate standard deviation ( $n=3$ ).

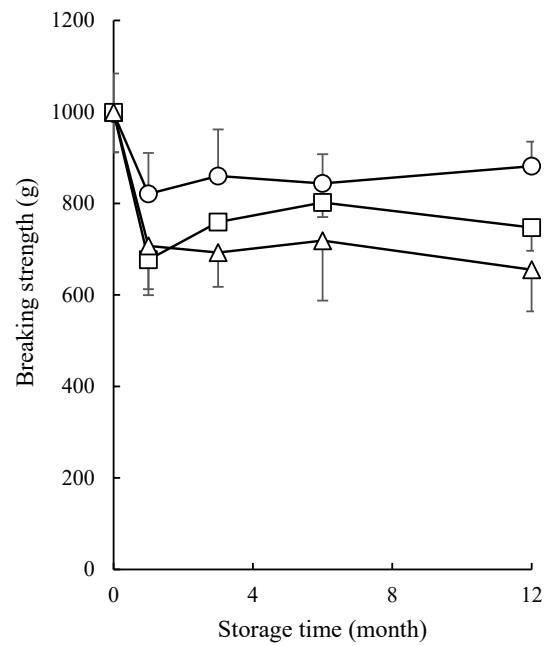


Fig. 2 Changes in the breaking strength of frozen and dried nagakombu after heating. Freeze-thawed and dried nagakombu after reconstitution were heated in boiling water for 10 s. The explanations of the symbols are given in Fig. 1. Error bars indicate standard deviation ( $n=3$ ).

Table 1 Nutritional contents, alginic acid content, and mannitol content in frozen and dried nagakombu after heating.

Samples	Dried content	Ash	Alginic acid	Mannitol	Crude Protein	Other
Raw nagakombu (before heating)	11.4	3.8	3.3	2.2	0.9	1.2
Raw nagakombu	8.6	2.2	3.0	1.3	0.8	1.4
Frozen( $-30$ °C)-thaw nagakombu	8.7	2.1	3.6	1.2	0.6	1.2
Frozen( $-10$ °C)-thaw nagakombu	8.3	2.0	3.6	1.1	0.6	1.0
Dried nagakombu after reconstitution	5.5	0.8	3.4	0	0.6	0.7

Raw nagakombu was defined as nagakombu before freezing. The frozen and dried nagakombu were stored for 12 months (Fig. 2). The component values are presented as percentages of the wet weight.

2.2% (生鮮), 2.1% (-30℃貯蔵), 2.0% (-10℃貯蔵), 0.8% (乾燥品)であった。アルギン酸は3.0% (生鮮), 3.6% (-30℃貯蔵), 3.6% (-10℃貯蔵), 3.4% (乾燥品)であった。マンニトールは1.3% (生鮮), 1.2% (-30℃貯蔵), 1.1% (-10℃貯蔵)であり, 水戻し品からは検出されなかった。粗タンパク質は生鮮で0.8%, 解凍品と水戻し品はいずれも0.6%であった。その他成分は, 1.4% (生鮮), 1.2% (-30℃貯蔵), 1.0% (-10℃貯蔵), 0.7% (乾燥品)であった。

**官能評価** 凍結ナガコンブおよび乾燥ナガコンブを原料として, それぞれから昆布巻きを調製し, その官能評価を行った (Table 2)。3点識別試験では, 15名のパネルのうち正答者は13名であり, 原料の異なる昆布巻きの違いは有意に識別された ( $p < 0.01$ )。続いて, 先の識別試験に正答したパネル13名により2点嗜好法を用いて評価を行った結果, いずれの設問においても有意な差は認められなかったが, 外観, 味, 香りについては凍結原料の昆布巻きを選択したパネルが多かった。食感については凍結原料を選択したパネルは13名中3名と少なかった。

Table 2 Sensory evaluation of frozen and dried nagakombu products.

Triangle difference test	Number of correct panelist	
	13*	
Pairing preference test	Number of panelist indicating for	
	Dried	Frozen
Appearance	5	8
Taste	5	8
Flavor	3	10
Texture	10	3

The difference test was performed by 15 panelists. The preference test panel consisted of participants who had correctly identified frozen and dried nagakombu in the difference test. Significant difference is indicated with \* ( $p < 0.01$ ).

**凍結品および乾燥品の煮熟時間に伴う物性変化** 解凍品および水戻し品の煮熟時間に伴う物性の変化をFig.3に示した。解凍品の加熱前の破断強度は $1162 \pm 183$  gであった。解凍品の破断強度は5分間の加熱によって $954 \pm 64$  gに低下した。また, 解凍品の破断強度は加熱時間が長くなるに従って減少し, 60分間の加熱によって $552 \pm 100$  gまで低下した。

水戻し品の加熱前の破断強度は $1066 \pm 134$  gであった。水戻し品の破断強度は5分間の加熱によって $875 \pm 92$  gに低下したが, 5分以上長く加熱してもわずかな増減はみられたが破断強度の値は概ね一定であった。

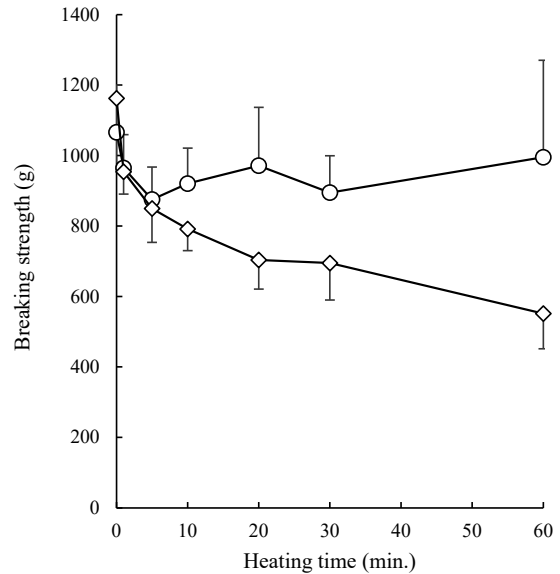


Fig. 3 Effect of heating on the breaking strength of frozen and dried nagakombu. Frozen ( $\diamond$ ) and dried nagakombu ( $\circ$ ) were heated in boiling water for up to 60 min.

Error bars indicate standard deviation ( $n=5$ ).

## 考察

解凍品および水戻し品の重量は生鮮ナガコンブの重量よりも低下した (Fig.1)。解凍品の歩留りの低下は, 凍結と解凍に伴ってナガコンブに含まれる水分がドリップとして葉体外に滲出したためであると考えられた。一方, 水戻し品の歩留りの低下は, 熱風乾燥によってナガコンブから蒸発した水分量が水戻しによって完全に戻らなかったことを示す。また, 解凍歩留りと水戻し歩留りは貯蔵期間中に大きな変化は認められなかったが, 凍結品では貯蔵温度を高めることで解凍歩留りがわずかに低下傾向を示したことから, 凍結障害が起こった可能性が示唆された。凍結障害は食品を凍結貯蔵することで起こる品質劣化の原因の一つである (御木, 2005)。これは凍結中に生成される氷結晶による組織損傷であり, ナガコンブは凍結貯蔵時の温度の条件によっては組織中の氷結晶の成長が進行し, その品質に影響すると推察された。

凍結ナガコンブの品質を物性の面から把握するため, 貯蔵試験において解凍品および水戻し品のボイル加熱後の破断強度を経時的に調査した結果, 解凍品の破断強度は水戻し品よりも低かった (Fig.2)。このことは, 凍結品を原料として加工品を製造した場合, その製品品質は乾燥品を原料とした製品と比べて食感が柔らかく変化すると推測された。また貯蔵期間中に解凍品と水戻し品の歩留りやボイル加熱後の破断強度に顕著な変化はみられなかったことから, 凍結品は乾燥品と同様に貯蔵中の品

質変化が起こりづらいことが示唆された。

凍結ナガコンブの品質を栄養成分の含有量から検討した (Table 1)。凍結品の解凍歩留りの低下量を解凍時のドリップ生成量とみなすと凍結品の栄養成分は、解凍ドリップを通じて流出することが懸念されたが、解凍品は水戻し品よりボイル加熱後の固形物量が大きく、水戻し品において著しく少なかったマンニトールや灰分を多く保持していた (Table 1)。マンニトールはコンブに含まれる炭水化物のおよそ半分を占める糖質であり、コンブの乾製品の表面に析出する白粉の主成分として知られている (飯田, 2005)。また、乾燥昆布製品に含まれるミネラル類は水戻しの操作によってその多くが溶出することが知られている (関本ら, 1983)。したがって、乾燥品は水戻しの操作によって栄養成分の多くを損失し、一方の凍結品は水戻しの操作を行っていないことから、多くの栄養成分を保持していたと推察された。また、生鮮ナガコンブに含まれている灰分とマンニトールはボイル加熱によって低下したが、生鮮ナガコンブと解凍品のボイル加熱後の灰分とマンニトール量は同程度であったことから (Table 1)、凍結品は加熱調理による栄養成分の損失が生鮮ナガコンブを加熱調理した場合と同等であることが示唆された。

凍結ナガコンブの加工原料としての特性を検討するため、凍結ナガコンブから昆布巻きを試作し、乾燥ナガコンブから製造した昆布巻きとの比較を官能評価によって行った (Table 2)。

その結果、昆布巻きの原料の違いは有意に識別され、凍結ナガコンブの加工特性は乾燥ナガコンブと異なることが示唆された。また、識別正答者の嗜好試験結果からは、凍結原料と乾燥原料の昆布巻きの間に嗜好の偏りは認められなかった。しかしながら、自由記述の欄には凍結原料の昆布巻きについて、食感の柔らかさを指摘する意見が多かった。このことは、Fig.2に示した凍結品の破断強度が乾燥品よりも低かった結果が製品品質に反映されたためであると考えられ、凍結ナガコンブは加熱調理によって物性の軟化が起こりやすいことが示唆された。

そのことを確認するために、解凍品と水戻し品を沸騰水中で60分間煮熟して経時的に物性の変化を検討した (Fig.3)。その結果、解凍品の破断強度は加熱時間の経過とともに低下したのに対して、水戻し品の破断強度は加熱時間に関わらず、ほとんど一定であった。

加熱調理に伴うコンブの軟化現象は組織の構造変化 (奥田・中川, 1987) やコンブの食物繊維であるアルギン酸の性状変化との関連から検討されている (奥田・中川, 1991; 岩田ら, 1997)。アルギン酸は褐藻類に存在する細胞間粘質多糖であり、葉体を保持している (野田, 1993)。

凍結したナガコンブでは解凍後にアルギン酸の含有量はほとんど変わらなかったが (Table 1)、その構造については未検討である。また、ナガコンブの葉体の構造についても検討していないことから、今後は凍結したナガコンブの物性低下のメカニズムについて、加熱の影響も加味して詳細に検討するとともに、凍結品を原料とする加工品の製造を想定して、加熱条件の最適化についても検討する必要があると考えられる。

以上の結果から、ナガコンブの凍結品は、従来の乾燥品と異なり、水戻し処理を必要としないことから、栄養成分の損失機会が少なく、加熱調理によって食感が柔らかくなる特徴を有する素材であることが明らかとなった。これは従来の乾燥品とは異なる性状の新たな加工原料である。なお、官能評価用の昆布巻きを試作した水産加工会社は、凍結品を原料とした製品の品質に問題はないと評価をしている。今後、我々はナガコンブの凍結解凍や加熱の影響、他の加工品への利用についても詳細に検討する必要があるが、ナガコンブの凍結品は十分に活用可能な優れた食品素材であると考えられた。

## 謝 辞

試験を実施するにあたりナガコンブの調達に協力いただいた散布漁業協同組合代表理事組合長の秋森新二氏と専務理事の中村雅人氏にお礼申し上げる。また、官能評価に協力いただいた釧路地区水産技術普及指導所の皆様にお礼申し上げる。

## 引用文献

- 福士暁彦, 宮崎亜希子, 加藤慎二, 武田忠明. 羅臼コンブの熟成プロセスの把握と新たな出汁コンブ加工技術の開発 (経常研究). 令和2年度道総研釧路水産試験場事業報告書, 釧路, 2021;69-77.
- 福士暁彦, 阪本正博, 武田浩郁, 木村稔. 道産コンブの生産安定化に関する研究 (重点研究). 平成26年度道総研釧路水産試験場事業報告書, 釧路, 2016;127-130.
- 幡宮輝雄. コンブの安定生産に向けた北海道の取り組み. 水産工学 2014;51:75-77.
- 北海道水産林務部. 平成3年度～令和3年北海道水産現勢. 札幌. 1991～2021.
- 飯田訓之. コンブの機械乾燥における注意点. 北水試だより2005;67:19-20.
- 岩田一幸, 西澤信, 山岸喬, 辻啓介. コンブの調理における低分子アルギン酸の生成量. 日本家政学会誌 1997;48:803-807.

御木英昌. 凍結貯蔵中の物理的变化. 「水産食品の加工と貯蔵 (小泉千秋・大島敏明編)」恒星社厚生閣, 東京. 2005;77-79.

日本食品分析センター. たんぱく質: 燃焼法 (改良デュマ法). 「分析実務者が書いた五訂日本食品標準成分表分析マニュアルの解説」中央法規出版, 東京. 2001;271.

西塔正孝, 平野絵美, 國崎直道. 食用昆布5種類の遊離アミノ酸含量について. 女子栄養大学紀要 2005;36:71-74.

野田宏行. 「海藻の化学海藻の科学 (大石圭一編)」朝倉書店, 東京. 1993;14-28.

奥田 弘枝, 中川 禎人. 乾燥コンブの軟化度に及ぼす調味成分の影響 (第2報). 調理科学1987;20:347-354.

奥田 弘枝, 中川 禎人. 乾燥コンブのアルギン酸の性状に及ぼす調味成分の影響. 調理科学1991;24:108-112.

佐藤信. 3点識別法. 「統計的官能検査法」日科技連出版社, 東京. 1985a;89-92.

佐藤信. 2点嗜好法. 「統計的官能検査法」日科技連出版社, 東京. 1985b;37-56.

関本邦敏, 星野信行, 戸塚耕二, 渡部昭, 山下光雄. 水戻し処理による海藻中のミネラル類の溶出. 日本・食料栄養学会誌 1983;36:21-24.

瀬野信子, 河合由美子, 阿武喜美子. 定量実験法. 「化学の領域増刊96号 ムコ多糖実験法」南江堂, 東京, 1972;85-125.

堤忠一, 安井明美. 灰分. 「新・食品分析法 (日本食品化学工学会編)」光琳, 東京. 1996;99-104.