大麦麴と耐塩性微生物を用いて調製したシロサケ魚醤油の開発

吉川修司[§], 田中 彰, 錦織孝史, 太田智樹

北海道立食品加工研究センター

Development of Fish Sauce from Chum Salmon by Fermentation with Barley Koji and Halo-tolerant Microorganisms

Shuji Yoshikawa[§], Akira Tanaka, Takafumi Nishikiori and Tomoki Ohta

Hokkaido Food Processing Research Center, 589-4,
Bunkyo-dai-Midorimachi, Ebetsu 069-0836

A fish sauce (CSS) was prepared from gutted chum salmon (*Oncorhynchus keta*) using barley koji and halo-tolerant microorganisms (HTM) *Zygosaccharomyces rouxii*, *Candida versatilis* and *Tetragenococcus halophilus*. During fermentation, chemical analysis was performed to determine the pH of the fish sauce mash (*moromi*). After fermentation, the optical density at 550 nm and the chemical and extractable components of CSS were compared with those of Thai fish sauce (*nampla*) and soy sauce. The pH of CSS *moromi* fell rapidly early in the fermentation process, and the color of CSS was lighter than that of fish sauce prepared without using HTM. The ethanol content of CSS was higher than that of *nampla*, but lower than that of soy sauce. According to free amino acid analysis, contents of aspartic acid, glycine, lysine and leucine were higher in CSS than in *nampla* and soy sauce; however, its lactic acid, acetic acid and pyroglutamic acid contents were lower. Sensory evaluation showed that CSS had a soy-sauce-like flavor and a less fishy odor than *nampla*.
(Received Jul. 4, 2005 ; Accepted Feb. 25, 2006)

アジア地域では古来より魚介類から製造する魚醤などの水産発酵調味料が多く造られてきた。^{1)~4)}最近, 食品に対する自然志向やエスニックブームにより, 味わいの深い天然調味料である魚醤油の需要が増大している。魚醤油は一般的に食塩を大量に加え, 魚介類の自己消化酵素や環境および原料由来の微生物の作用により原料を分解して製造されている。しかし, これらの製品の多くは製造中に魚介類に含まれる脂質の酸化による油焼け臭, 原料の鮮度低下に起因するアミン臭, および熟成不良が原因のうま味不足などが原因で, 市販品の品質にはバラツキがみられる。また, 風味を醸成するために麴を加えると, 素材の分解が促進されて呈味が増強されるが, 同時に褐変を促進することも知られている⁵⁾。褐変現象は進行に伴って HDMF (4-ヒドロキシ-2, 5-ジメチル-3(2H)-フラノン) や HMMF (4-ヒドロキシ-5-メチル-3(2H)-フラノン) などの醤油様香気⁶⁾やコク味(持続性があり厚みのある強い味とフレーバー)を付与するメイラードペプチドが生成されるが⁷⁾, その度合いが過度になると加工品の色に悪影響を及ぼす。

魚醤油の持つ生臭さの低減化や風味改善については, これまでに *Penicillium nigricans* を用いた麴の利用⁸⁾, 醤油

麴の利用⁹⁾, 嫌気条件による酸化抑制¹⁰⁾¹¹⁾, *Tetragenococcus halophilus* と *Zygosaccharomyces rouxii* の添加による魚臭さの抑制¹²⁾¹³⁾などが試みられてきた。

これまでにシロサケを用いて魚醤油を開発した例として船津ら⁵⁾が醤油麴を用いた例と小島ら¹¹⁾が醤油麴を用いて仕込んだ諸味を気密性の包装材料で密閉して発酵した例があり, いずれも醤油麴の利用により, タンパク質の分解が進み, グルタミン酸含量が高く, 魚醤油独特の不快臭などが抑えられたと報告されている。

本報告ではシロサケを素材とした魚醤油の呈味の増強, 製造中の褐変の抑制, および魚臭さの低減と風味の改善を目的とし, 大麦麴とこれまでにシロサケ魚醤油の報告で用例のない耐塩性酵母 (*Z. rouxii*, *Candida versatilis*), および耐塩性乳酸菌 (*T. halophilus*) を添加した魚醤油の製造を行い, その品質をナンブラおよび大豆濃口醤油と比較検討した。

実 験 方 法

1. 原材料

原材料は 2001 年 10 月に北海道日高地方で漁獲されたシロサケ (*Oncorhynchus keta*) を用い, 漁獲後に魚体をそのまま -25℃ で凍結保存した。麴は味噌製造用の *Aspergil-*

〒069-0836 北海道江別市文京台緑町 589-4

[§] 連絡先 (Corresponding author), yoshikawa@foodhokkaido.gr.jp

lus oryzae で製麹された大麦麹を用いた。また、耐塩性乳酸菌 *T. halophilus*, 耐塩性酵母 *Z. rouxii* および *C. versatilis* はそれぞれ醤油用乳酸菌、醤油用主発酵酵母および後熟酵母を使用した。用いた麹、乳酸菌および酵母はいずれも(株)ビオックより購入した。

2. 魚醤油の製造方法

原材料のシロサケは4℃で解凍後に頭部を除き(メスの場合は卵巣も除く)、残った部分全て(魚皮、内臓、魚肉、ヒレ、骨)を細切後、チョッパーによりミンチ状にし、試料の20%重量の食塩(並塩、塩事業センター)、および試料の20%重量の大麦麹を加えてよく混合した。なお、大麦麹は麹800gに水を200mlの割合で加水し、時折攪拌しながら1時間復水処理したものをを用いた。試料の5%重量の5% (w/v) 食塩水に *T. halophilus*, *Z. rouxii* および *C. versatilis* を諸味中のそれぞれの菌を終濃度が 1.0×10^6 /g となるように加えて混合して菌液を調製した。

食塩と大麦麹を加えた魚肉に菌液を添加後よく混合して諸味とし、ふた付きのプラスチック容器中で室温 $37.5 \pm 2.5^\circ\text{C}$ の保温庫内で3ヶ月発酵した。発酵後、諸味を $6800 \times \text{g}$, 4°C で30分間遠心分離し、最上面の脂質の層が混入しないよう留意して上清を回収し、 85°C の水浴中で30分加熱後、0.5%重量の珪藻土(CELPURE S1000, ADVANCED MINERALS CORPORATION)を加えて十分攪拌後、3日間室温で静置し、No. 5C のろ紙で吸引ろ過後のろ液を製品とした。

3. 製品の化学成分分析

製品の化学成分としてはpH, Brix, 全窒素分, 塩分, 遊離アミノ酸組成, 有機酸(乳酸, 酢酸およびピログルタミン酸)量, およびアルコール量を測定した。

Brix は糖用屈折計の示す示度, 全窒素はケルダール法¹⁴⁾, 塩分はナトリウムイオン電極法¹⁵⁾により食品塩分計(東興化学研究所, TS-90)を用いて, エタノールは製品を蒸留水で100倍希釈したものをF-kit(ベリンガー)を用いて測定した。遊離アミノ酸組成は魚醤油1mlを蒸留水4mlで希釈後混合し, うち1mlを分取し99.5%エタノール4mlを加えて除タンパク後に, 上清0.3mlを減圧乾燥し, 溶媒を0.02N塩酸1mlに置換したものを試料として全自動アミノ酸分析計(日立, L-9200)で分析した。酢酸は製品を蒸留水で10倍希釈したもの(大豆濃口醤油とナンプラは100倍希釈)をF-kit(ベリンガー)を用いて測定した。酢酸以外の有機酸は蒸留水で5倍希釈した試料をHPLC法で分析した。分析条件は下記のとおりである。カラム: TSK-gel OApak-P, および TSK-gel OApak-A(いずれも東ソー)を2本直列, 溶離液: 0.75 mM 硫酸(pH 2.8), 流速: 0.5 ml/min, 反応液: 0.2 mM BTB-15 mM リン酸水素ナトリウム(pH 8.6), 反応温度: 60°C , 検出波長: 450 nm。

なお, 褐変度合いは波長 550 nm における OD を分光光

度計(SHIMADZU, UV-1200)により測定した。

4. 官能試験

製品の官能特性を把握するため, 北海道立食品加工研究センターの研究員10名(年齢: 28から40歳, 性別: 男性6人, 女性4人)に対し香ばしい香り(燻煙様香), 甘い香り(カラメル様香), 醤油用の香り, うま味, 甘味, 酸味, 色の淡さ, 魚臭さの8項目について, 評点法¹⁶⁾による官能試験を行い, 二元配置法(繰返しなし)による分散分析による有意差検定¹⁶⁾を行った。大豆濃口醤油(キッコーマンしょうゆ, JAS 特級, キッコーマン(株))を対照として用い, 同時に従来の魚醤油としてナンプラ(魚醤, 丸味屋, 原産国タイ)も評価した。対照の評点を0として, 対照より特性(魚臭さ以外)が非常に強い場合は+2, 強い場合は+1, 同じ場合は0, 弱い場合は-1, 非常に弱い場合は-2とした。魚臭さについては対照の評点0(魚臭さ無し), 魚臭さが非常に弱い場合を評点1, 魚臭さが弱い場合を評点2, 魚臭さが強い場合を評点3, 魚臭さが非常に強い場合を評点4とした。

実験結果および考察

1. 耐塩性微生物添加諸味の発酵経過と製品の褐変度合いに与える影響

大麦麹と耐塩性酵母2種(*Z. rouxii* と *C. versatilis*)と耐塩性乳酸菌(*T. halophilus*)を添加して魚醤油の製造を行った。スターターを添加した諸味のpHは, 発酵開始後の6日間で無添加区に比べて急激に低下し, 発酵14日目まで無添加区に比べ低い状態であった。21日目以後は無添加区の方がpHが高かったが添加区と大きな差はなかった(Fig. 1)。内田ら¹⁷⁾はハクレンに醤油麹と *T. halophilus* を添加して発酵させると発酵開始後に諸味のpHが低下することを報告しており, 本研究の発酵初期のスターター添加区でみられた急激なpH低下は, 添加したスターター中の耐塩性乳酸菌の作用によると考えられた。本研究では内田らの報告に比べて発酵中の諸味のpHの低下が速く, しかもその度合いも大きかった。これは内田らが室温で諸味を発酵させたのに対し, 本研究では発酵を促すために発酵期間を通じて諸味を $37.5 \pm 2.5^\circ\text{C}$ の高温で発酵させたためと考えられた。

次に, スターター添加区と無添加区の褐変度合いならびに乳酸値を比較した(Table 1)。スターター添加区の試料は発酵期間を通じ褐変度合いが無添加区に比べて低かった。褐変の原因となるメイラード反応は低pHで抑制される傾向があるが, 発酵28日後以降でスターター添加区は無添加区に比べ諸味のpHに大きな差はなく, 乳酸量は発酵後21, 28および90日目のいずれにおいても無添加区を下回った。このことから発酵後期ではなく, 発酵開始後1週間以内に諸味のpHが急激に低下することにより製品の褐変は抑制され, 色が淡くなる要因の一つであると考えら

Fig. 1 Changes in pH of chum salmon *moromi* (fish sauce mash) during fermentation

Frozen chum salmon was thawed, gutted and minced. *Moromi* (fish sauce mash) was prepared by fermenting a mixture of minced meat, salt (20%, purity 95%), water-based barley koji (20%) and halo-tolerant microorganisms (5%) (HTM: *Zygosaccharomyces rouxii*, *Candida versatilis* and *Tetragenococcus halophilus*) in a suspension containing 5% brine on a wet basis at $37.5 \pm 2.5^\circ\text{C}$ for 90 days. The pH values of CSS *moromi* prepared with HTM (○) and without HTM (●) were measured during fermentation. Water-based barley koji was prepared by mixing 800 g of barley koji and 200 ml of water; the mixture was allowed to stand for 1 hour before use. After fermentation the *moromi* was centrifuged at $6,800 \times g$ for 30 min at 4°C . The obtained supernatant was heated at 80°C for 30 min and mixed with 0.5% diatomaceous earth. The mixed sauce was allowed to stand for 3 days at room temperature, and was then filtered with a No. 5C filter paper. This sauce will be hereafter called chum salmon sauce (CSS).

Table 1 Effect of HTM inoculation on color and lactic acid content of fish sauce prepared from chum salmon using barley koji

Starter inoculation	Fermented period (day)	OD ₅₅₀	Lactic acid (mg/100 ml)
—	21	0.932	291
—	28	1.368	317
—	90	1.823	346
+	21	0.547	193
+	28	0.959	229
+	90	1.777	256

HTM: halo-tolerant microorganisms (*Zygosaccharomyces rouxii*, *Candida versatilis* and *Tetragenococcus halophilus*).

れた。

2. 耐塩性微生物を添加した魚醤油の分析

大麦麹と耐塩性微生物を添加した製品、および大豆濃口醤油とナンプラの成分分析値および pH, Brix を Table 2 に示す。pH はナンプラに比べて低く、大豆濃口醤油に近い値を示した。また、Brix はナンプラと大豆濃口醤油の中間の値、全窒素は 3 者の中では最も高い値を示した。本研究で検出された有機酸は乳酸、酢酸およびピログルタミン酸であった。これまで、ピログルタミン酸は呈味性が無いとされていたが Park ら¹⁸⁾ はベトナムの魚醤油であるニョクマムにおいてはピログルタミン酸が全体味に影響を与えると報告している。製品の乳酸と酢酸の含有量は大豆濃口醤油やナンプラに比べて低かった。醤油醸造では有機酸が

pH、酸度、緩衝能、および微生物の増殖を制御するのみならず、適量の醤油の苦味や鹹味を和らげて食味を向上させることが知られており¹⁹⁾、淡口醤油では有機酸総量の少ないものが穏やかな味わいがあると報告されている²⁰⁾。製品の乳酸量および酢酸量は山本ら²¹⁾や牛島ら²²⁾が測定した醤油類と比較すると、白醤油のほぼ 2 倍、本醸造淡口醤油の中では乳酸量が少なめなものに相当することから、本製品は穏やかな味わいを有する可能性がある。

エタノールはナンプラには検出されず、製品では 100 ml 中に 420 mg 含まれていた。このことから諸味に添加した耐塩性酵母がアルコール発酵を起こしたと考えられた。製品のエタノール含有量は大豆濃口醤油の約 3 分の 1 にとどまった。この理由は大豆濃口醤油の諸味には麹と基質の双方に発酵可能な糖が存在し、この中で製品の諸味の糖は主に麹に由来し、大豆濃口醤油の諸味に比べて限られた糖源からアルコール発酵や乳酸発酵などが行われるため、これらの成分量が少ない値を示したと推察された。

製品およびナンプラの全窒素分、無塩可溶性固形分²³⁾およびアルコール分が、醤油の日本農林規格²⁴⁾ではどの種類に相当するかを調べた。製品およびナンプラの全窒素分および無塩可溶性固形分は、特級の濃口醤油の基準値である全窒素 1.50% (w/v)、無塩可溶性固形分 16% (w/v) を上回るが、アルコール分の基準値である 0.8% (w/v) を満たさないため、濃口醤油の上級に相当した。

製品の遊離アミノ酸組成を魚醤（ナンプラ）および大豆濃口醤油と比較した (Table 3)。製品の遊離アミノ酸量はナンプラの 1.3 倍、大豆濃口醤油の 1.7 倍の数値を示した。

Table 2 Comparison of chemical composition of CSS with those in *Nampla* and soy sauce

	CSS	<i>Nampla</i>	Soy sauce
pH	4.96	5.5	4.81
Brix	39.3	43.9	36.5
Total Nitrogen (g/100 ml)	2.39	2.15	1.64
Soluble solids excluding salt	22.1	16.8	19.2
Sodium chloride (g/100 ml)*	17.2	27.1	17.3
Lactic acid (mg/100 ml)	256	608	1056
Acetic acid (mg/100 ml)	68	334	131
Pyroglutamic acid (mg/100 ml)	83	145	144
Ethanol (mg/100 ml)	420	ND	1189

*Calculate from sodium concentration.

ND : not detected.

Soluble solids excluding salt²³⁾=Brix-sodium chloride.

See Fig.1 for CSS.

Table 3 Comparison of free amino acid composition of CSS with those in *Nampla* and soy sauce (mg/100 ml)

Amino acid	CSS	<i>Nampla</i>	Soy sauce
Alanine	630	505	663
Arginine	559	2	501
Asparagine	77	ND	9
Aspartic acid	617	80	192
Glutamic acid	876	257	1215
Glutamine	1	ND	ND
Glycine	518	200	281
Histidine	143	160	140
Isoleucine	444	393	428
Leucine	779	531	673
Lysine	787	522	382
Methionine	245	222	110
Phenylalanine	343	346	374
Proline	367	190	359
Serine	400	127	410
Threonine	379	288	289
Tryptophan	21	50	ND
Tyrosine	197	97	68
Valine	536	604	456
Anserine*	497	ND	41
Citrulline	ND	393	ND
Ornithine	4	35	5
Taurine	107	69	11
Total	8527	5071	6607

ND : not detected

* β -alanyl-L-methyl-L-histidine

See Fig.1 for CSS.

うま味に関与するアミノ酸としてグルタミン酸とアスパラギン酸の量を比較すると、ナンプラはどちらの量も少なかった。一方、大豆濃口醤油と製品はどちらもうま味に関与するアミノ酸の含量が多いが、大豆濃口醤油はグルタミ

ン酸の比率が高く、製品はグルタミン酸とアスパラギン酸の比率が1.4 : 1 と大豆濃口醤油よりもアスパラギン酸の比率が高かった。さらに甘味を有するアミノ酸としてセリン、グリシン、アラニン、ヒドロキシプロリン、プロリンの量を比較すると、ナンプラは他に比べてセリン、プロリン、アラニンが少なかった。製品は大豆濃口醤油のほぼ2倍のグリシンが含まれていた。このことから試作品は大豆濃口醤油やナンプラに比べ甘味系のアミノ酸が多いことが分かった。

製品には大豆濃口醤油やナンプラにほとんど含まれないアンセリンが含まれていた。アンセリンはカツオやマグロなど赤身魚類や鮫類の筋肉に多く含まれ²⁵⁾、サケおよびマス類に多く含まれることが知られている²⁶⁾。須山ら²⁷⁾はアンセリンに弱い甘みとわずかな苦みがあり、閾値が0.047 mM (0.011%) であることに加え、高濃度で添加することによりコク味を与えることを明らかにしている。これらのことから本研究で得られた製品に含まれるアンセリンがコク味に寄与する可能性があると推測される。製品の遊離アミノ酸総量は3者の中で最も多く、ナンプラの1.7倍、大豆濃口醤油の1.3倍であり、製品はうま味や甘味だけでなく、全体味も豊かであると推測される。

Table 2 の全窒素量と Table 3 の遊離アミノ酸総量から全窒素に占める遊離アミノ酸由来の窒素の割合 (AN/TN) を求めると、開発した製品が37.6%、ナンプラが24.8%、大豆濃口醤油が45.3%であった。このことから製品はナンプラに比べてタンパク質の分解が進んでいるが、大豆濃口醤油ほどは分解が進んでいないと考えられた。うま味に関与する成分としては遊離アミノ酸の他にペプチドや核酸が挙げられる。ペプチドは基本味の呈味強度や閾値に影響を与えるとの報告があり²⁸⁾、Park ら²⁹⁾ はニョクマムから17種類のオリゴペプチドを単離し、それらのほぼ全てが0.3%食塩存在下で甘味およびうま味を呈することを確認

Fig. 2 Sensory evaluation of the properties of CSS, *nampla* and soy sauce

CSS (□) and *nampla* (■) were compared with soy sauce (*koikuchi shoyu*), with reference to 8 descriptors of quality. Soy sauce (▨) was used as a control. For 7 of these descriptors (all except for fishy odor), CSS and *nampla* were scored on scales of -2 to +2: -2=very weak; -1=strong; 0=same as control; +1=strong; +2=very strong. For fishy odor, CSS and *nampla* were scored on scales of 0 to 4: 0=no fishy odor (same as control); 1=very weak; 2=weak; 3=strong; 4=very strong. Significance among CSS, soy sauce and *nampla* were assessed by the two-way layout method¹⁶⁾: * $p < 0.05$.

している。また、道畠ら³⁰⁾はイシルにオリゴペプチドが含まれることが明らかにするとともに、含まれる核酸関連化合物を定量したが、AMP, IMP, GMP なども味に関与する核酸成分は検出されなかった。本研究の製品のうま味成分は遊離アミノ酸のみ分析を行ったが、製品の味の特徴を把握する上でオリゴペプチド態アミノ酸の定量、および核酸関連化合物の測定が必要であると考えている。

3. 耐塩性微生物を添加した魚醤油の官能特性

本研究で得られた製品の風味について、大豆濃口醤油を対照、ナンプラを従来品として官能評価による比較を行い、開発した製品の官能評価を行った (Fig. 2)。

香ばしい香り、甘い香り、醤油様の香りについてはいずれも大豆濃口醤油と製品間に有意差は無く、ナンプラは他に比べ香ばしい香りが有意に弱かった。醤油醸造において *C. versatilis* は煙香様の香ばしい香りを有する 4-EP (4-エチルフェノール) や 4-EG (4-エチルグアヤコール, エチル-2-メトキシフェノール) を、*Z. rouxii* はカラメル様の甘い香りを有する HEMF (4-ヒドロキシ-2(or5)-エチル-5(or2)-メチル3(2H)-フラノン) を生産することが知られている³¹⁾³²⁾。本研究の結果は微生物スターターの添加によって製品が大豆濃口醤油と同程度に香ばしい香りと甘い香りが付与されたことを示しており、*C. versatilis* と *Z. rouxii* により香りが付与された可能性がある。

呈味性ではうま味と甘味については3者に有意差は認められなかったが、製品の酸味はナンプラと差が無く、大豆

濃口醤油より有意に強かった。色は製品と大豆濃口醤油の間では差がみられず、ナンプラが両者よりも有意に明るい色調をしていた。これはナンプラが麴を使用せずに製造されているため、麴を使用した製品や大豆濃口醤油に比べメイラード反応が進んでいないためと考えられた。魚臭さは各サンプル間に有意差があり、大豆濃口醤油、製品、ナンプラの順で魚臭さが少なかった。これは微生物スターターの添加により、従来の魚醤油が持つ魚臭さが改善されたと推測される。

これまでにシロサケを用いて魚醤油を開発した例として船津ら⁵⁾が醤油麴を用いた例と小島ら¹¹⁾が気密性の包装材料で密閉して発酵した例があり、いずれも醤油麴の利用により、タンパク質の分解が進み、グルタミン酸含量が高く、魚醤油独特の不快臭などが抑えられたと報告されている。本研究では麴の種類は違うが、これらの例と同様に麴を用いて諸味のタンパク質の分解を促進した。本研究で製品と同時に仕込んだ麴無添加の遊離アミノ酸総量は 3515 mg/100 ml であり、麴の利用により遊離アミノ酸が約 2.5 倍に増加して、従来の報告と同様に麴の添加により呈味を增强することが可能であった。

本研究の官能評価では製品には添加した酵母により香りが付与されたと考えられたが、著者らは醤油の重要な香気成分である HEMF³³⁾ がスターターの添加により生成したことを確認している (未発表データ)。今後は添加した *C. versatilis* の生成する 4-EG などの香気成分や魚臭さに関

する匂い成分の消長, ならびに添加した各微生物の諸味中の消長との関係などを調べる必要があると考えている.

要 約

シロサケ (*O. keta*) を素材として, 大麦麹と耐塩性微生物 (*Z. rouxii*, *C. versatilis* および *T. halophilus*) を添加した魚醤油を開発し, 以下の結果を得た.

(1) 大麦麹と耐塩性微生物スターターの添加によって, 発酵当初 (6 日間) で諸味の急激な pH の低下がみられた.

(2) 製品にはエタノールが含まれており, 添加した酵母によるアルコール発酵が認められた.

(3) 呈味性の有機酸は乳酸と酢酸およびピログルタミン酸であったが, 大豆濃口醤油やナンプラよりもそれらの含有量が低かった.

(4) 遊離アミノ酸はナンプラおよび大豆濃口醤油に比べ, アスパラギン酸, グリシン, リジンの含量が多く, ナンプラと大豆濃口醤油にはないアンセリンが含まれていた.

(5) 官能評価では, 開発した製品は魚臭さがナンプラに比べて少なく, 醤油様の香りが付与されていた.

文 献

- Sanchez, P.C., Microorganisms and Technology of Philippine Fermented Foods, 日本乳酸菌学会誌, **10**, 19-28 (1999).
- Aryanta, W.R., Traditional Fermented Foods in Indonesia, 日本乳酸菌学会誌, **10**, 90-102 (2000).
- 柳田藤治, 小泉幸道, 村 清司, 田中秀夫, ベトナムの魚醤油について, 醸協, **89**, 698-703 (1994).
- 野田文雄, 東南アジアの魚醤油, 醸協, **88**, 531-536 (1993).
- 竹島文雄, 鍋島裕佳子, 船津保浩, 川崎賢一, ブナサケを原料とした魚醤油の開発, 富山県食品研究所研究報告, **4**, 1-8 (2001).
- 佐々木正興, 森 修三, 醤油の香り, 醸協, **86**, 913-922 (1991).
- 斉藤知明, 食品のこくと, こく味, 日本味と匂学会誌, **11**, 165-174 (2004).
- 藤井建夫, 微生物による魚臭の除去について, 香料, **113**, 46-48 (1975).
- 船津保浩, 醤油麹を用いて製造した魚醤油の風味, 日食科工, **49**, 1-11 (2002).
- Sanceda, N.G., Kurata, T., Suzuki, Y. and Arakawa, N., Oxygen Effect on Volatile Acids Formation During Fermentation in Manufacture of Fish Sauce, *J. Food Sci.*, **57**, 1120-1135 (1992).
- 小島登貴子, 尾畑賢一, 大島貞雄, 食品産業における未利用資源の有効利用による環境負荷低減に関する研究, 埼玉県工業技術センター報告, **1**, 188-192 (1999).
- 味の素株式会社, 株式会社柳屋本店, 株式会社かつお技術研究所: 特許公開広報 2002-191321 号 (2000.12.25).
- 堂本信彦, 王 鏗智, 森 徹, 木村郁夫, 郡山 剛, 阿部宏喜, 穀醤油醸造技術を応用した新規魚醤油の開発, 日本水産学会誌, **67**, 1103-1109 (2001).
- 科学技術庁資源調査会食品成分部会, たんぱく質, 日本食品標準成分表分析マニュアル, 五訂, 科学技術庁資源調査会食品成分部会編 (科学技術庁, 東京) pp. 13-17 (1997).
- みそ分析法検討委員会, 基準みそ分析法 栄養成分分析, 「みそ技術ハンドブック 付 基準みそ分析法」, 初版, 全国味噌技術会編 (全国味噌技術会, 東京) pp. 2-23 (1995).
- 古川秀子, 官能検査の方法および解析法, 「おいしさを測る」, 初版, 古川秀子 ((株) 幸書房, 東京) pp. 19-66 (1994).
- Uchida, M., Ou, J., Chen, B.W., Yuan, C.H., Zhang, X.H., Chen, S.S., Funatsu, Y., Kawasaki, K., Satomi, M. and Fukuda, Y., Effect of soy sauce koji and lactic acid bacteria on the fermentation of fish sauce from freshwater silver carp *Hypophthalmichthys molitrix*, *Fish. Sci.*, **71**, 422-430 (2005).
- Park, J., Ishida, K., Watanabe, T., Endoh, K., Watanabe, K., Murakami, M. and Abe, H., Taste-active components in a Vietnamese fish sauce, *Fish. Sci.*, **68**, 913-920 (2002).
- 内田一生, 成分, 「醤油の科学と技術」, 増補, 析倉辰六郎編, ((財) 日本醸造協会, 東京) pp. 277-293 (1994).
- 広瀬義成, 田中秀夫, 福岡幸蔵, しょう油の有機酸と品質に関する検討 2 うすくち, たまり, さいしこみ, しろの各しょう油, 醤油研究所雑誌, **2**, 264-268 (1976).
- 山本 泰, 柳田藤治, 住江金之, 白醤油の有機酸組成について, 日食工誌, **20**, 109-112 (1973).
- 牛島重臣, 浜田孝司, 神戸千幸, 液体クロマトグラフィーによる醤油有機酸の高感度定量法, 醤油研究所雑誌, **8**, 58-63 (1982).
- 進士栄一郎, 千葉秀雄, 鳥越圭子, 外池良三, しょう油中の無塩可溶性固形分と純エキスの関係, 醤油研究所雑誌, **9**, 103-107 (1983).
- 農林水産省, しょうゆの日本農林規格, 農林水産省告示 第 1703 号, (2004).
- 石田賢悟, 隠し味の基礎理論, 「隠し味の科学」, 初版, 斎藤 浩, 太田静行編, (恒星社厚生閣, 東京) pp. 132-300 (1992).
- 安藤清一, 羽田野六男, 水産の研究, **6**, 93-96 (1987).
- 須山三千三, 清水哲二, カルノシンとメチル化合物の緩衝能と呈味性, 日水誌, **48**, 89-95 (1982).
- 石井克枝, ペプチドの呈味に及ぼす影響, 日本調理学会誌, **29**, 45-51 (1996).
- Park, J., Ishida, K., Watanabe, T., Endoh, K., Watanabe, K., Murakami, M. and Abe, H., Taste effect of oligopeptides in a Vietnamese fish sauce, *Fish. Sci.*, **68**, 921-928 (2002).
- 道島俊英, 佐渡康夫, 矢野俊博, 榎本俊樹, イシル (魚醤油) の遊離アミノ酸, オリゴペプチド, 有機酸, 核酸関連物質, 食科工, **47**, 241-248 (2000).
- 佐々木正興, 森 修三, 醤油の香り, 醸協, **86**, 913-922 (1991).
- 古屋 武, 藤元秀雄, 森 治彦, 析倉辰六郎, 中台忠信, 微生物, 「醤油の科学と技術」, 増補, 析倉辰六郎編, ((財) 日本醸造協会, 東京) pp. 152-227 (1994).
- 布村伸武, 佐々木正興, 香味成分から見た世界の醤油 (Soy Sauce), 醤油研究所雑誌, **24**, 209-223 (1998).

(平成 17 年 7 月 4 日受付, 平成 18 年 2 月 25 日受理)