

冷風乾燥と焙焼に伴うマアジ塩干品の呈味成分の変化

誌名	日本食品科学工学会誌
ISSN	1341027X
著者名	原田,恭行 大泉,徹
発行元	日本食品科学工学会
巻/号	63巻3号
掲載ページ	p. 117-126
発行年月	2016年3月

農林水産省 農林水産技術会議事務局筑波産学連携支援センター
Tsukuba Business-Academia Cooperation Support Center, Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council
Secretariat



技術論文

冷風乾燥と焙焼に伴うマアジ塩干品の呈味成分の変化

原田恭行^{1*}, 大泉 徹²

¹ 富山県農林水産総合技術センター食品研究所

² 福井県立大学海洋生物資源学部

Changes in Taste-active Components in Dried Horse Mackerel by Cold Air Drying and Grilling

Yasuyuki Harada^{1*} and Tooru Ooizumi²

¹ Food Research Institute, Toyama Prefectural Agricultural, Forestry and Fisheries Research Center,
360, Yoshioka, Toyama, Toyama 939-8153

² Department of Marine Bioscience, Faculty of Biotechnology, Fukui Prefectural University,
Obama, Fukui 917-0003

Taste-active components in dried horse mackerel prepared by cold air drying at 20°C (CAD) were compared to those by hot air drying at 50°C (HAD). The content of inosine monophosphate in dried horse mackerel by HAD was significantly smaller than that by CAD. On the other hand, the contents of bitter-taste components including hypoxanthine, valine, and leucine in dried horse mackerel by HAD were greater than those by CAD. Next, the two kinds of dried horse mackerel prepared by CAD or HAD for 2 hours were grilled and the changes in taste-active components were investigated. As a result, free amino acids, lysine, and histidine in dried horse mackerel by HAD were decreased to a greater extent by grilling than those by CAD. Conversely, the content of hypoxanthine in grilled-dried horse mackerel by HAD was greater than that by CAD. Sensory evaluation rated grilled-dried horse mackerel by CAD as sweeter and more acceptable than that by HAD. These results indicated that the differences in taste-active components of dried horse mackerel prepared by CAD and HAD were closely related to the sensory evaluation results and that the dried product by CAD was preferred to that by HAD.

(Received Aug. 13, 2015; Accepted Oct. 26, 2015)

Keywords : dried horse mackerel, cold air drying, inosine monophosphate, free amino acids, taste-active components

キーワード : マアジ塩干品, 冷風乾燥, イノシン酸, 遊離アミノ酸, 呈味成分

水産物の乾燥は、古くから行われてきた水産加工法の一つであり、今日までに様々な方法が開発されてきた。伝統的に行われてきた天日乾燥法は、日照があれば大掛かりな装置を必要とせず乾製品の製造が可能であるが、製品の乾燥状態が天候に左右される。このため、今日では天日乾燥法は、一部の地場産業を除いてあまり用いられなくなり、機械乾燥法に移行している¹⁾。機械乾燥法のうち、熱風乾燥法は、乾燥媒体として常温よりも高い高温低湿な空気を製品表面に吹き付けて水分の蒸発を促す方法である。この方法は、表面が急激に乾燥するため、長時間の乾燥は、表面硬化が起こりやすく、内部水分の表面への拡散を阻害し、乾燥速度の低下や、クラックの発生等、品質の低下を招くことがある¹⁾²⁾。一方、冷風乾燥法は、冷凍機で除湿・冷却した空気を乾燥機庫内に循環させ、製品表面からの水分の蒸発を促す方法である³⁾。水産乾製品の中でも、北海道の「す

きみスケトウダラ」や三重県の「ブリの燻製」等は、乾燥温度が25°C以上になると色、味、香りなどの品質が低下することが知られている²⁾。このため、冷風乾燥法は、水産乾製品の品質向上に有効とされる^{1)~4)}が、装置が高価であることなどが普及の障害となっている。また、冷風乾燥機は、熱風乾燥機に比べて乾燥に長時間を要するため、乾燥時間の短縮が期待されている²⁾。

水産乾製品の品質に及ぼす乾燥温度の影響については、タンパク質の変性、脂質の酸敗、および表面硬化の面から検討が行われており、低温で乾燥することにより、これらの変化が抑制される²⁾が、呈味成分の面から検討した研究例^{5)~7)}は少ない。他方、節類や調味乾燥品製造工程中の呈味成分の変化を調べた研究例^{8)~10)}はいくつか見られる。しかし、これらの製品では工程の初期に高温加熱処理が行われるため、呈味成分の変化に関わる魚肉中の自己消化酵素

¹ 〒939-8153 富山県富山市吉岡 360, ² 〒917-0003 福井県小浜市学園町 1-1

* 連絡先 (Corresponding author), yasuyuki.harada@pref.toyama.lg.jp

等は失活しており、呈味成分の変化は、煮熟等による流出に起因するものである⁹⁾¹⁰⁾。そこで本研究では、報告例が少ない冷風乾燥させた塩干品の製造工程における呈味成分の変化を、熱風乾燥によるそれらと比較検討し、塩干品の品質に及ぼす低温乾燥の優位性を呈味成分の面から明らかにすることを目的とした。さらに、近年は、乾燥度の低い一夜干し(半乾品)の生産が主流となっている¹¹⁾¹²⁾ことから、冷風または熱風乾燥により製造した一夜干しを焙焼した際の呈味成分の変化を調べるとともに、それらの官能評価を行った。

実験方法

1. 乾燥機

冷風乾燥には、特殊冷風乾燥機テイストモディファイア(KF-1000型、GSK株式会社以下、冷風乾燥機と略す。)を用いた。塩干品の冷風乾燥は、低温にするほど乾燥効率が低下するため、一般的に20~28℃の乾燥温度で行われる⁴⁾。このため、本研究では、設定温度を20℃として乾燥を行った。熱風乾燥には、サンタリー式通風乾燥機(PS-120S型、清水理化学機器製作所以下、熱風乾燥機と略す。)を用いた。塩干品の熱風乾燥は、一般的に40~50℃程度で行われる⁴⁾。このため、本研究では、設定温度を50℃として乾燥を行った。

2. 浸漬試料、塩干品および焙焼品の調製方法

(1) 浸漬試料

実験に用いた試料は、すべて富山県沿岸で漁獲直後に船倉内で水冷された新鮮なマアジ *Trachurus japonicus* (平均尾叉長19cm)であり、水揚げ後、直ちに氷冷(5℃以下)して100分以内に実験室へ搬入した。室温5℃の調理室にて内臓を除去して水道水で洗浄した後、腹開きにした。約10℃に冷却した10%食塩水に魚体全体を20分間浸漬(以下、塩漬と略す。)した。

(2) 塩干品

塩干品は、塩漬試料の表面水分をペーパータオルで拭取り、冷風乾燥機の棚(390mm×330mm)の1段に5尾ずつ5段に載せ、20時間まで冷風乾燥(以下、冷風乾燥区と略す。)した。また、同様に熱風乾燥機を用いて50℃で20時間まで熱風乾燥(以下、熱風乾燥区と略す。)した。両乾燥区で2, 5, 8, 20時間後にそれぞれ3個体ずつ乾燥機から取り出し、背肉部を成分分析に供した。乾燥中の温度と湿度および重量の測定並びに官能試験に用いた試料も、同様のサイズのマアジから上記の条件で別途調製した。

(3) 焙焼品

各試験区で2時間乾燥させたマアジ(6尾)を、ガス赤外線グリラーリンナイペット(RGP-43SV、リンナイ株式会社)を用い、身側を上火で10分間焙焼した。

3. 物理化学的性状分析と官能評価

(1) 庫内温度と湿度および魚肉内部温度

乾燥機の庫内温度と湿度は、温湿度データロガー(TR72-

Ui, 株式会社ティアンドディ)を用い、15秒間隔で測定した。魚肉内部の温度は、4点式デジタルデータログ温度計(MT-309, 株式会社マザーツール)に熱電対温度センサー(TP-11)を接続し、センサーの先端を魚肉の中心部に頭部側から脊椎骨に沿って突き刺して2秒間隔で測定した。

(2) 水分

魚肉の水分は、105℃常圧加熱乾燥法¹³⁾により測定し、恒量となるまで乾燥させた。

(3) 塩分

魚肉の塩分は、フォルハルト法(湿式法)¹⁴⁾により測定した。

(4) 重量(歩留まり)

マアジ乾燥工程における試料の重量変化は、適宜、乾燥機から取り出し、電子天秤(LP34, ザルトリウス株式会社)で測定し、直ちに乾燥機に戻す操作を繰り返して検討した。

(5) 遊離アミノ酸(FAA)

FAAの抽出は、除蛋白法¹⁵⁾により行った。すなわち、各試料の背肉約5gを精密に採取し、2倍量の10%トリクロロ酢酸を加えてホモジナイズし、ろ液を10N水酸化カリウム溶液で中和した。この溶液を全自動アミノ酸分析機(JLC-500/V2, 日本電子株式会社)に供して、ニンヒドリン法によりFAAを測定した。

(6) 核酸関連物質

核酸関連物質は、FAAの抽出溶液の一部を用い、既報¹⁶⁾に基づき高速液体クロマトグラフ(LC10A, 島津製作所)により測定した。

(7) 官能評価

官能評価の試料は、上記した焙焼品の背肉部を丁寧にほぐして均一にした後、あらかじめ約10gを小皿に分け、常温でパネルに供試した。パネルは、訓練された富山県農林水産総合技術センター食品研究所に所属する30~50歳代のアジ干物を好む職員13名(男性11名、女性2名)とした。評価項目は、色沢、香り、味(おいしさ)、後味、食感、甘味、苦味、うま味、総合評価(各項目を総合的に判断した好ましさ)の9項目とした。評価方法は、両乾燥区のうち、どちらか「好ましい」方(ただし、甘味、苦味、うま味については、呈味成分含量との関連性を検討するため「強く感じる」方)を選択した人数の合計について、2点比較法¹⁷⁾¹⁸⁾により評価する分析型官能評価¹⁸⁾とした。評価結果は χ^2 検定を行った。

(8) 色調の測定

色調の測定は、簡易型分光色差計(NF333, 日本電子工業株式会社)を用いて $L^*a^*b^*$ 値を測定した。

4. 統計解析

成分分析値は、試験区間の差を比較検討するため、一元配置の分散分析(ANOVA)を行った。なお、有意差が認められた場合はTukeyの方法¹⁹⁾による多重比較検定を行った。

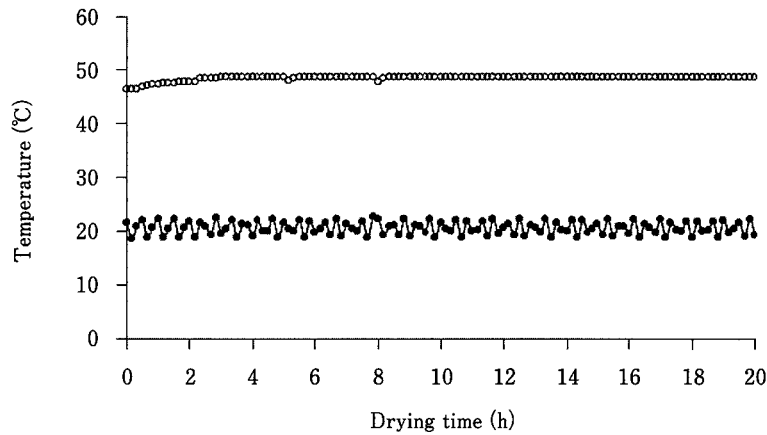


Fig. 1 Temperature changes of atmosphere in cold and hot air dryer during drying of salted horse mackerel
The set temperatures of the cold (●) and the hot (○) air dryer were 20°C and 50°C, respectively.

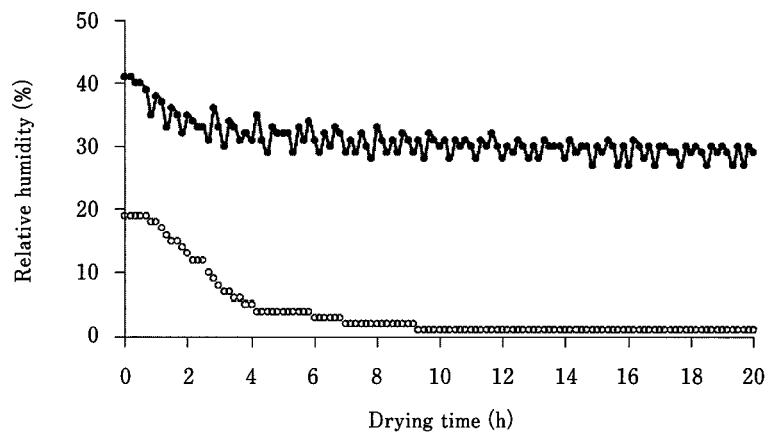


Fig. 2 Humidity changes of atmosphere in cold and hot air dryer during drying of salted horse mackerel
The set temperatures of the air dryers and the symbols were the same as in Fig. 1.

実験結果および考察

1. 乾燥機庫内温度と湿度および魚肉内部温度の変化

(1) 庫内温度と湿度の挙動

乾燥中の乾燥機の庫内温度と湿度の変化を Fig. 1 と 2 に示した。冷風乾燥機の庫内温度 (Fig. 1) は、運転終了の 20 時間後まで $20 \pm 2^\circ\text{C}$ の範囲を 7~8 分間隔で規則的に上下変動した。また、冷風乾燥機の庫内相対湿度 (Fig. 2) は、乾燥開始から約 2 時間後まで急激に湿度が低下し、その後も徐々に低下する傾向にあった。その際、乾燥開始時の上限値 41%、下限値 38% から乾燥終了時の上限値 30%、下限値 27% まで規則的に増減を繰り返しながら低下した。これら温度と湿度の規則的な変動は、庫内に内蔵された温度センサーによる冷却除湿コイル着霜防止のための加温と、除湿の一時停止による影響と考えられた。一方、熱風乾燥機の庫内温度 (Fig. 1) は、試料を投入した直後の 46°C から約 2 時間でほぼ 50°C に達し、その後は、ほとんど変動しなかった。また、熱風乾燥機の庫内相対湿度 (Fig. 2) は、

乾燥開始時の 19% から約 4 時間後の約 5% まで急激に低下し、その後の約 6 時間は約 1% まで緩やかに低下した。以降は、ほとんど変動しなかった。

(2) 魚肉内部温度の変化

乾燥中の魚肉内部温度の変化を Fig. 3 に示した。冷風乾燥区では、乾燥開始時の約 13°C から 2 時間で約 16°C 、5 時間で約 18°C 、8 時間で約 19°C まで上昇した。乾燥開始から庫内温度の約 20°C に達するまで 10 時間を要し、その後は乾燥終了まで約 20°C を維持した。熱風乾燥区の魚肉内部温度は、乾燥 2 時間で約 40°C まで急激に上昇した。その後は、乾燥 17 時間まで緩やかに上昇して約 45°C となったが、庫内温度の 50°C には達しなかった。熱風乾燥区の魚肉内部温度が 50°C に達しなかったことの詳細な原因については不明であるが、 50°C 区では表面が過度に乾燥して表面硬化が進み、水分の蒸発が抑制されて²⁾、魚肉内部への伝熱が妨げられたことが推察される。

2. 魚肉の水分および塩分の変化

塩漬した魚肉を冷風乾燥 (約 20°C) または熱風乾燥 (約

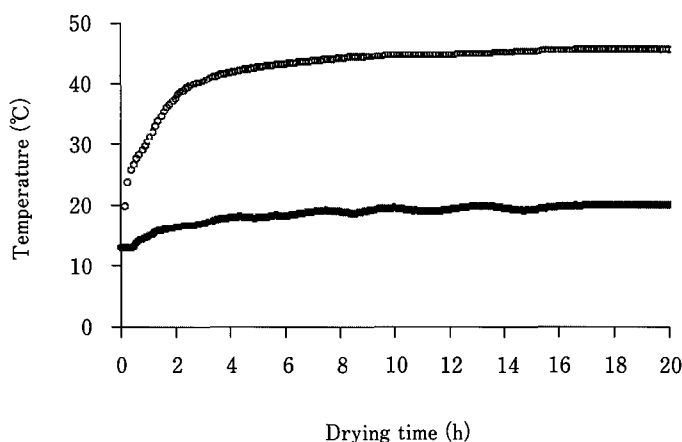


Fig. 3 Temperature changes of the center of fish flesh during drying of salted horse mackerel by the cold air and hot air drying

The set temperatures of the air dryers and the symbols were the same as in Fig. 1.

Table 1 Changes in moisture and salinity during drying of salted horse mackerel

		Drying time (h)				
		0	2	5	8	20
Cold air drying at 20°C	Moisture (%)	71 (100)	67 (89)	64 (82)	62 (78)	57 (68)
	Salinity (%)	1.5	1.7	1.8	1.9	2.2
Hot air drying at 50°C	Moisture (%)	71 (100)	68 (93)	63 (80)	59 (73)	47 (56)
	Salinity (%)	1.5	1.6	1.9	2.1	2.7

Results are expressed as mean ($n=3$).

Drying yield (%) is shown in the parentheses.

50°C)により20時間まで乾燥させた際の水分、歩留まりおよび塩分の変化をTable 1に示した。魚肉の水分は、塩漬後の71%から2時間後には、冷風乾燥区で67%、熱風乾燥区で68%となり、両区とも一夜干し程度の水分²⁰⁾となった。5時間後の水分もほとんど差が認められなかった。しかし、8時間後には、冷風乾燥区の水分は62%となったのに対して、熱風乾燥区では59%となり、熱風乾燥区の水分がやや速く低下する傾向がみられた。さらに20時間後には、冷風乾燥区の水分は57%となったのに対して、熱風乾燥区では47%となり、その差が拡大した。このような水分の減少と歩留まりの変化はよく対応しており、20時間後の歩留まりは、冷風乾燥区では68%となり、熱風乾燥区では56%となった。一方、塩分は、水分の減少度合が大きい熱風乾燥区では20時間後に2.7%となったが、冷風乾燥区では2.2%にとどまった。本研究で用いた冷風乾燥機と熱風乾燥機による魚肉の水分の減少傾向は、乾燥5時間後までは大差がなかった。飯田ら⁶⁾は冷風乾燥機(設定温度20°C, 設定湿度44%)を用いてマアジ塩干品の水分量を64~68%とするのに8時間を要したことを報告している。この結果と、本研究で用いた冷風乾燥機によるマアジ塩干品(水分量64~67%)の乾燥に要した時間(2~5時間)とを比べると、後者の乾燥時間は、かなり短縮されていると

判断された。

3. 冷風乾燥したマアジ塩干品の呈味成分の変化

(1) 核酸関連物質の変化

乾燥に伴うマアジ魚肉中の核酸関連物質の変化を乾燥重量換算でTable 2に示した。冷風乾燥区では、塩漬から乾燥20時間後まで総量に有意な変化はなく、塩漬後8時間までは、その組成に大きな変化も認められなかった。しかし乾燥20時間後にはイノシン酸(IMP)含量が有意に減少し、イノシン(HxR)含量が有意に増加した。また、ヒポキサンチン(Hx)含量が増加傾向を示した。これに対して熱風乾燥区では、塩漬から乾燥20時間後まで総量に有意な変化はなかったが、乾燥2時間後にアデニル酸(AMP)が有意に減少した。乾燥5時間後にはIMP含量が有意に減少し、HxRとHx含量が有意に増加した。旨味に関するIMP²¹⁾について両区の含量を比較すると、乾燥2時間後までは大差はないが、熱風乾燥区では乾燥5時間後までに急激に減少し、乾燥20時間後まで減少し続けた。これに対し、冷風乾燥区では乾燥8時間後までは変化が小さく、乾燥20時間後に減少したが、塩漬後の含量の6割以上が残存していた。両乾燥区の乾燥20時間後のIMP含量の差は10倍以上あったが、値の低い熱風乾燥区にもIMPの旨味閾値である1 $\mu\text{mol/g}$ ²¹⁾程度の含量は残存していた。IMP

の分解には、主に筋肉中のヌクレオチターゼ (EC 3.1.3.5) および酸性ホスファターゼ (EC 3.1.3.2) が関与する²¹⁾ ことが知られている。これらを含むマアジの IMP 分解酵素 (粗酵素) の活性は、反応温度とともに上昇して 40℃ 付近で最大となるが、20℃ 以下では活性が極めて低い²²⁾。このような IMP 分解酵素活性の温度依存性がマアジの乾燥に伴う IMP の分解に影響を及ぼし、熱風乾燥区では、冷風乾燥区よりも速やかに IMP が分解されたものと考えられた。これらの結果は、低温乾燥中におけるマアジの IMP の分解速度が小さいことを示した飯田らの報告⁶⁾ とよく一致していた。また、Hx 含量は、冷風乾燥区では、ほとんど増加せず、熱風乾燥区では 5 時間以降に増加したが、その含量は HxR に比べて少なかった。魚類筋肉の HxR の分解には主に加水分解酵素であるイノシンヌクレオチターゼ (EC 3.2.2.2) が関与し、HxR または Hx の蓄積性の相違は、この酵素活性の強弱による²³⁾。中野ら²³⁾ はマアジにおける HxR 分解酵素活性は低いとしていることから、乾燥中に Hx があまり生成しなかったものと考えられた。特に冷風乾燥区の乾燥 8 時間後までは、Hx の生成量が少なく、メイラード反応に関与する還元糖であるリボースもほとんど生成しない^{24)~26)} と考えられる。しかし、熱風乾燥区で 5 時間以上乾燥すると、Hx 含量が有意に増加しており、リボース含量も増加した^{24)~26)} ことが推察される。従って、このような高温で長時間の乾燥を行った製品では、メイラード反応による褐変が進行する可能性が示唆された。

(2) FAA 含量の変化

乾燥に伴うマアジ筋肉中の FAA 含量の変化を乾燥重量換算で Table 3 に示した。FAA の総量は、乾燥 20 時間後まで、冷風乾燥区では大きな変化を示さなかったが、熱風乾燥区ではやや増加する傾向がみられた。うま味を呈するグルタミン酸²¹⁾²⁷⁾ の含量は、両区とも乾燥中に大きな変化を示さなかった。甘味を呈するスレオニン、セリン、グリシン、アラニンおよびプロリン²⁷⁾ の含量は、冷風乾燥区では有意な増加がみられなかったが、熱風乾燥区では、アラニンが 5 時間後、グリシンとセリンが 20 時間後に有意に増加した。また、これら甘味を呈するアミノ酸の合計量を比較すると、冷風乾燥区では変動が小さく 20 時間後でも 128mg/100g にとどまったが、熱風乾燥区では 5 時間以降、有意に増加し、20 時間後には 265mg/100g に達した。一方、苦味を呈するバリン、メチオニン、イソロイシン、ロイシン、フェニルアラニンおよびアルギニン²⁷⁾ の含量は、冷風乾燥区では、ほとんど変化しなかったが、熱風乾燥区では、メチオニン、ロイシンが 5 時間後に、バリン、イソロイシン、フェニルアラニンが 8 時間後に、アルギニンが 20 時間後に有意に増加した。また、これら苦味を呈するアミノ酸の合計量を比較すると、冷風乾燥区では変動が小さく 20 時間後でも 59mg/100g にとどまったが、熱風乾燥区では 8 時間以降、顕著に増加し、20 時間後には冷風乾燥区の

約 4 倍の 219mg/100g に達した。熱風乾燥区で、これら数種のアミノ酸が増加した要因については、マアジ筋肉中に内在が確認されているカテプシン A²⁸⁾ 等のプロテアーゼが、熱風乾燥区の魚肉内部の温度が約 40℃ に達した乾燥 2 時間以降に、冷風乾燥区と比べて強く働いたことが要因の一つと推察されるが、詳細は不明であり、今後の研究課題としたい。これら数種のアミノ酸が乾燥 5 時間以降、増加したにも関わらず、熱風乾燥区の総量は、乾燥 5 時間以降に増加傾向を示さなかった。この要因としては、乾燥 8 時間以降、ヒスチジン含量が減少し、乾燥 20 時間以降、リジン含量が減少したためと考えられる。このようなヒスチジンとリジンの減少の原因として熱風乾燥区で HxR から生成したリボース^{24)~26)} とのメイラード反応が促進された²⁹⁾³⁰⁾ 可能性が推察された。乾燥中のヒスチジンの減少については、ヒスタミン生成菌のヒスチジン脱炭酸酵素によるヒスタミンの生成³¹⁾ によることも考えられたが、ヒスタミンの生成がほとんど認められなかったことから、前者の反応の可能性が高いと考えている。

4. 冷風および熱風乾燥した塩干品の焙焼による呈味成分の比較

前項までの結果から、冷風乾燥区は、熱風乾燥区と比べ、うま味を呈する IMP の残存量が多く、苦味を呈する FAA の増加量が少ない傾向にあり、その差は乾燥時間の経過とともに顕著となることが明らかとなった。しかし、近年の塩干品は、消費者嗜好から、一夜干し程度の乾燥度の低い半乾品が主流であり¹¹⁾¹²⁾、生で食すことは少ない。そこで、両乾燥区の 2 時間乾燥後の半乾品について、焙焼後の呈味成分を比較検討するとともに、官能評価を行った。

(1) 核酸関連物質の変化

焙焼前後の魚肉に含まれる核酸関連物質を乾燥重量換算で Table 4 に示した。両区を焙焼前後で比較すると、IMP 含量は、両区とも焙焼前の含量と比較して減少したが、減少量は冷風乾燥区で少なく、残存量も冷風乾燥区の方が高い傾向にあった。また、焙焼後の HxR と Hx の含量は両区とも増加し、それらの含量は熱風乾燥区の方が高い傾向にあった。焙焼前の核酸関連物質の組成をみると、両区のみかけ上の IMP 含量に大差はないが、HxR 含量は、冷風乾燥区よりも熱風乾燥区の方が多く生成していることから、乾燥中の核酸関連物質の分解は、熱風乾燥区の方が速やかに進行したことが推察される。その結果、熱風乾燥区で多量に生成した HxR が焙焼中に Hx に変化し、その含量が増加したことが考えられた。したがって、熱風乾燥区には還元糖のリボースも Hx に比例して多く生成している^{24)~26)} ことが示唆された。

(2) FAA 含量の変化

焙焼前後の魚肉に含まれる FAA 含量を乾燥重量換算で Table 5 に示した。両区を焙焼前後で比較すると、熱風乾燥区では FAA の総量は減少傾向を示したが、冷風乾燥区

Table 2 Changes in levels of ATP related compounds during drying

	Fillets	Salted	Cold air drying at 20°C			
			Drying time (h)			
			2	5	8	20
ATP	0.4±0.4 ^a	0.2±0.0 ^{ab}	0.2±0.0 ^{ab}	0.2±0.0 ^{ab}	0.0±0.0 ^b	0.0±0.0 ^b
ADP	1.3±1.4 ^a	1.0±1.0 ^{abc}	0.9±1.0 ^{abc}	0.9±0.8 ^{abc}	1.0±1.0 ^{abc}	1.0±0.3 ^{abc}
AMP	1.8±1.8 ^a	0.9±0.9 ^b	0.8±0.8 ^{bc}	0.8±0.8 ^{bc}	0.7±0.1 ^{bc}	0.3±0.0 ^c
IMP	28.5±1.5 ^a	24.3±4.3 ^{ab}	25.6±0.1 ^{ab}	27.0±2.4 ^a	26.4±1.3 ^{ab}	15.7±1.5 ^{cd}
HxR	0.7±0.2 ^c	1.2±0.0 ^c	1.8±0.9 ^c	3.1±0.2 ^c	4.1±0.6 ^c	10.9±3.3 ^b
Hx	0.8±0.2 ^{de}	0.8±0.2 ^{de}	1.2±1.2 ^{cde}	0.8±0.5 ^{de}	0.7±0.1 ^e	2.2±0.5 ^{cd}
Total	33.6±1.0	28.7±4.9	30.5±2.1	32.8±2.5	32.7±0.9	30.1±5.6

Results are expressed as mean±SD ($n=3$).

ATP, adenosine triphosphate ; ADP, adenosine-5'-diphosphate ; AMP, adenosine-5'-monophosphate ; Different letters (a~e) in the superscript indicate significant difference ($p<0.05$) in the same row.

Table 3 Changes in free amino acids composition during drying

	Fillets	Salted	Cold air drying at 20°C			
			Drying time (h)			
			2	5	8	20
Taurine	323±56	324±52	397±152	492±54	461±178	493±49
Asparagine	0±0 ^b	0±0 ^b	0±0 ^b	0±0 ^b	0±0 ^b	0±0 ^b
○ Threonine	13±2	14±4	10±3	9±8	3±2	15±1
○ Serine	10±3 ^{ab}	4±4 ^{bc}	5±2 ^{bc}	3±3 ^{bc}	2±3 ^c	6±1 ^{bc}
Glutamic acid	30±1	34±2	33±7	18±1	28±24	16±1
○ Glycine	38±10 ^b	31±11 ^b	32±6 ^b	41±12 ^b	44±7 ^b	37±6 ^b
○ Alanine	53±10 ^d	47±10 ^d	42±9 ^d	53±9 ^d	56±15 ^{cd}	62±6 ^{cd}
Citrulline	4±1	3±0	4±1	3±1	4±1	3±0
● Valine	13±3 ^{cd}	16±2 ^{cd}	13±1 ^{cd}	21±4 ^{bc}	15±5 ^{cd}	14±1 ^{cd}
● Methionine	4±4 ^{cd}	0±0 ^{de}	5±0 ^{cd}	12±3 ^{bc}	4±4 ^{cd}	6±0 ^{cd}
● Isoleucine	8±2 ^{bc}	6±2 ^c	9±2 ^{bc}	15±1 ^{abc}	9±3 ^{bc}	9±2 ^{bc}
● Leucine	11±2 ^{cd}	6±3 ^d	11±2 ^{cd}	24±5 ^{bcd}	16±7 ^{bcd}	14±3 ^{cd}
Tyrosine	0±0 ^e	0±0 ^e	0±0 ^e	6±2 ^{cd}	6±2 ^{cd}	9±2 ^{cd}
● Phenylalanine	0±0 ^c	0±0 ^c	0±0 ^c	10±8 ^{bc}	6±3 ^c	8±1 ^c
Ornithine	5±5	0±0	4±4	10±9	6±2	13±4
Lysine	52±22 ^{ab}	55±23 ^{ab}	41±16 ^{ab}	73±21 ^{ab}	78±24 ^{ab}	73±3 ^{ab}
Histidine	1063±150	757±107	892±46	818±129	848±62	704±144
● Arginine	0±0 ^b	0±0 ^b	0±0 ^b	11±2 ^b	9±5 ^b	8±2 ^b
○ Proline	3±6	0±0	1±2	10±11	0±0	8±8
Total	1631±191 ^{ab}	1296±148 ^b	1501±134 ^{ab}	1629±189 ^{ab}	1596±186 ^{ab}	1498±118 ^{ab}
○ Subtotal*	118±23 ^{cd}	96±17 ^d	91±21 ^d	116±9 ^{cd}	105±20 ^{cd}	128±10 ^{cd}
● Subtotal**	38±8 ^c	28±4 ^c	39±4 ^c	93±9 ^{bc}	60±20 ^c	59±9 ^c

Results are expressed as mean±SD ($n=3$).

Different letters (a~d) in the superscript indicate significant difference ($p<0.05$) in the same row.

*Subtotal of free amino acid exhibiting sweet taste, threonine, serine, glycine, alanine, proline (○)

**Subtotal of free amino acid exhibiting bitter taste, valine, methionine, isoleucine, leucine, phenylalanine,

では増加傾向を示した。うま味を呈するグルタミン酸²¹⁾²⁷⁾の含量の変化は両区とも小さかった。前項で示した甘味および苦味を呈するアミノ酸の合計量を比較すると、両区で大きな変化を示さなかったが、焙焼後の甘味を呈するアミ

ノ酸の合計量は、冷風乾燥区 (201 mg/100 g) が熱風乾燥区 (170 mg/100 g) と比較してやや多い傾向を示した。また、リジンとヒスチジンの含量は、熱風乾燥区では有意に減少したが、冷風乾燥区では変化が小さかった。リジンとヒス

of salted horse mackerel (μ mol/g of dry meat)

Hot air drying at 50°C				ANOVA (P)
Drying time (h)				
2	5	8	20	
0.0±0.0 ^{ab}	0.0±0.0 ^{ab}	0.0±0.0 ^{ab}	0.0±0.0 ^{ab}	<0.05
0.9±0.9 ^{abc}	1.2±1.2 ^{ab}	1.0±1.0 ^{abc}	0.5±0.5 ^c	<0.05
0.4±0.4 ^{cd}	0.2±0.1 ^d	0.2±0.1 ^d	0.0±0.0 ^d	<0.001
21.0±1.0 ^b	13.1±0.4 ^c	6.9±1.8 ^d	1.1±0.2 ^e	<0.001
5.0±0.6 ^c	16.3±3.7 ^a	20.5±2.3 ^a	16.4±0.8 ^a	<0.001
0.8±0.1 ^{de}	2.6±0.3 ^c	4.2±0.7 ^b	11.1±0.6 ^a	<0.001
28.2±0.2	33.4±4.4	32.8±1.4	29.2±0.5	>0.05

IMP, inosine-5'-monophosphate ; HxR, inosine ; Hx, hypoxanthine

of salted horse mackerel (mg/100 g of dry meat)

Hot air drying at 50°C				ANOVA (P)
Drying time (h)				
2	5	8	20	
519±64	590±170	507±69	554±15	<0.001
0±0 ^b	0±0 ^b	0±0	3±1 ^a	<0.001
7±4	12±10	21±10	18±15	>0.05
5±1 ^{bc}	5±4 ^{bc}	9±0 ^{ab}	17±2 ^a	<0.001
19±5	33±19	21±5	33±3	>0.05
34±5 ^b	42±3 ^b	43±10 ^b	75±6 ^a	<0.001
61±3 ^{cd}	99±15 ^b	86±15 ^{bc}	138±10 ^a	<0.001
3±0	4±0	4±1	3±1	<0.001
16±1 ^{cd}	26±4 ^{bc}	31±12 ^{ab}	42±4 ^a	<0.001
7±1 ^{cd}	12±3 ^{bc}	19±9 ^{ab}	24±4 ^a	<0.001
9±1 ^{bc}	17±4 ^{abc}	21±14 ^{ab}	24±5 ^a	<0.001
14±2 ^{cd}	31±8 ^{bc}	40±22 ^{ab}	60±8 ^a	<0.001
6±1 ^{cd}	17±2 ^b	18±2 ^{ab}	22±4 ^a	<0.001
6±1 ^c	17±2 ^{abc}	19±8 ^{ab}	29±5 ^a	<0.001
4±4	13±11	9±8	11±1	>0.05
37±10 ^{ab}	61±24 ^{ab}	125±89 ^a	99±14 ^{ab}	<0.05
949±95	993±234	917±165	748±38	>0.05
5±1 ^b	15±5 ^{ab}	28±19 ^{ab}	39±4 ^a	<0.001
3±3	6±5	32±37	17±3	>0.05
1704±128 ^{ab}	1994±367 ^a	1951±412 ^a	1958±80 ^a	<0.001
110±11 ^{cd}	164±10 ^{bc}	191±49 ^{ab}	265±6 ^a	<0.05
57±7 ^c	118±24 ^{bc}	158±83 ^{ab}	219±27 ^a	<0.05

arginine (●)

チジンは、メイラード反応の進行により消費される²⁹⁾³⁰⁾と考えられており、熱風乾燥区のリジンとヒスチジン含量の減少は、冷風乾燥区と比べて多く生成したリボース^{24)~26)}等の還元糖とのメイラード反応が、焙焼(加熱)により促進

された²⁹⁾³⁰⁾ことが要因の一つと考えられた。このことは、熱風乾燥区の焙焼後の褐変が著しく、色調(黄色)を示す b^* 値を比較すると熱風乾燥区(b^* 値=16.93±1.74)が冷風乾燥区(b^* 値=12.74±1.5)より高かったことから支持

Table 4 Change in levels of ATP related compounds in semi-dried salted horse mackerel by drying for 2h and subsequent grilling for 10 min. (μ mol/g of dry meat)

	Fillets	Salted	Cold air drying at 20°C for 2h		Hot air drying at 50°C for 2h		ANOVA (P)
			Pre-grilled	Grilled	Pre-grilled	Grilled	
ATP	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00	>0.05
ADP	1.51±0.08 ^a	1.19±0.07 ^{ab}	0.80±0.18 ^c	0.87±0.23 ^c	1.43±0.03 ^a	0.89±0.10 ^{bc}	<0.001
AMP	0.38±0.20 ^{ab}	0.29±0.02 ^{ab}	0.43±0.11 ^{ab}	0.58±0.17 ^a	0.12±0.04 ^b	0.47±0.13 ^{ab}	<0.05
IMP	33.17±0.98 ^a	27.25±0.2 ^{bc}	28.82±0.67 ^b	26.72±0.57 ^c	27.01±0.19 ^{bc}	23.00±1.25 ^d	<0.001
HxR	0.55±0.08 ^c	0.74±0.11 ^c	1.89±0.51 ^c	4.14±0.13 ^b	4.30±0.91 ^b	7.02±1.02 ^a	<0.001
Hx	0.73±0.87 ^b	0.66±0.1 ^b	0.49±0.09 ^b	0.95±0.11 ^{ab}	0.98±0.51 ^{ab}	2.14±0.67 ^a	<0.05
Total	36.34±0.69 ^a	30.13±0.41 ^b	32.43±0.31 ^c	33.26±0.56 ^c	33.83±0.91 ^c	33.52±1.3 ^c	<0.001

Results are expressed as mean±SD ($n=3$).

The same abbreviations are used as in Table 2.

された。本研究で認められた乾燥中のヒスチジンの減少は、干しあご乾燥中にヒスチジンが減少すること³²⁾や、煮干しわしの貯蔵中にリジンとヒスチジンが褐変の進行に伴い減少すること³⁰⁾とも一致していた。なお、焙焼(加熱)によりドリップが生成し、FAAが流出する可能性も考えられるが、本研究では、焙焼中の魚体外へのドリップは両区ともほとんど認められず、焙焼前後の重量変化は両区でほとんど差がなかったため、重量変化は主に水分の蒸発によるものと推察され、FAAの変化は流出に起因するものではないと考えている。

5. 冷風乾燥したマアジ干物の焙焼後の官能評価

両乾燥区で2時間乾燥させた半乾品(水分約68%)を焙焼後に官能評価した結果をFig. 4に示した。冷風乾燥区は、甘味が有意に強く、うま味が強い傾向にあり、味(おいしさ)、後味、食感、総合評価の点で有意に好ましい結果となった。これらの要因として、熱風乾燥区では、強い苦味を呈するHx⁷⁾³³⁾の生成量が多く、苦味を呈する成分は甘味を弱める可能性がある¹⁶⁾³⁴⁾³⁵⁾ため、冷風乾燥区と比較して甘味が弱められたことが考えられる。また、冷風乾燥区では、うま味を呈するIMP²¹⁾が多く残存したため、うま味が強く感じられたことが考えられる。さらに、熱風乾燥区ではメイラード反応によると推察されるヒスチジン含量の著しい減少が焙焼後に認められたが、ヒスチジンには他のアミノ酸との共存により酸味を伴ううま味を与え、呈味を強化する効果がある³²⁾³³⁾³⁶⁾。また、メイラード反応の進行は、甘味やうま味を弱める作用がある³⁷⁾。これらのことから、熱風乾燥区では、甘味やうま味等の呈味が弱く感じられたことが考えられる。色沢の点では評価が分かれた。この要因としては、パネルの塩干品の色に対する嗜好に多様性があることが考えられる。食感が冷風乾燥区で好ましい結果であった要因については、保水力や筋原繊維たんぱく(Mf)の変性等が関与すると考えられ、今後の研究課題としたい。

本研究の結果から、高温での乾燥が乾燥中および焙焼後の核酸関連物質とFAA組成を大きく変化させ、呈味性が



Fig. 4 Sensory evaluation of grilled semi-dried horse mackerel

■, Dried with the hot air dryer at 20°C for 2h and grilled for 10 min.

□, Dried with the hot air dryer at 50°C for 2h and grilled for 10 min.

Results are expressed as the number of panelists ($n=13$).

** $p<0.01$ and * $p<0.05$

低下することが分かった。このことは、塩干品の乾燥温度は、たんぱく質の変性や脂質の酸敗等の面だけでなく、呈味の面からも低温が好ましいことを示している。

要 約

冷風乾燥した塩干品の呈味成分の変化を明らかにするため、マアジを約20°C(冷風乾燥区)または約50°C(熱風乾燥区)で20時間乾燥させ、FAAと核酸関連物質の経時変化を比較した。その結果、熱風乾燥区ではIMPの急激な減少に伴いHxが増加するとともに、苦味を呈するFAAの増加が著しかった。一方、冷風乾燥区ではIMPの減少が小さく、苦味を呈するHxとFAAはあまり増加しな

Table 5 Changes in free amino acids composition in semi-dried salted horse mackerel by drying for 2 h and subsequent grilling for 10 min. (mg/100 g of dry meat)

	Fillets	Salted	Cold air drying at 20°C		Hot air drying at 50°C		ANOVA (P)
			Pre-grilled	Grilled	Pre-grilled	Grilled	
Taurine	276±43	273±49	424±129	404±93	308±85	318±38	>0.05
Asparagine	0±0	0±0	0±0	0±0	0±0	0±0	>0.05
○ Threonine	10±13	10±7	14±12	32±6	24±21	25±9	>0.05
○ Serine	0±0	4±5	6±6	10±9	5±6	8±1	>0.05
Glutamic acid	44±5	28±5	46±5	55±17	58±16	57±19	>0.05
○ Glycine	33±7	27±10	31±4	32±6	30±11	25±8	>0.05
○ Alanine	75±20	52±13	104±21	109±20	96±31	87±24	>0.05
Citruline	1±1	0±0	0±0	0±0	0±0	0±0	>0.05
● Valine	17±6	15±2	43±15	46±12	65±54	57±43	>0.05
● Methionine	6±2	7±1	13±4	14±5	12±6	12±5	>0.05
● Isoleucine	9±3	7±3	26±6	27±5	41±39	35±30	>0.05
● Leucine	14±4	8±3	36±7	38±5	43±33	39±25	>0.05
Tyrosine	4±2	7±4	9±3	11±3	7±2	8±2	>0.05
● Phenylalanine	3±5	5±1	11±4	13±4	10±5	11±2	>0.05
Ornithine	6±6	7±6	7±2	7±1	12±9	9±7	>0.05
Lysine	119±1 ^c	112±1 ^c	194±12 ^b	177±11 ^b	256±17 ^a	186±16 ^b	<0.001
Histidine	1073±86 ^a	893±73 ^{ab}	1030±170 ^{ab}	1146±25 ^a	1085±99 ^a	794±12 ^b	<0.001
● Arginine	3±5	9±6	15±11	17±10	19±12	16±8	>0.05
○ Proline	10±8	9±9	16±13	19±17	30±23	24±16	>0.05
Total	1701±160 ^{bc}	1472±142 ^c	2025±200 ^{ab}	2156±139 ^a	2102±68 ^{ab}	1713±143 ^{bc}	<0.001
○ Subtotal*	127±38	102±14	170±17	201±38	185±62	170±48	>0.05
● Subtotal**	35±18	35±8	102±23	109±19	125±93	113±70	>0.05

Results are expressed as mean±SD (n=3).

The same abbreviations are used as in Table 3.

かった。このような呈味成分の差異は乾燥時間の経過とともに顕著となった。一方、両乾燥区における乾燥2時間(水分約68%)の半乾品を焙焼すると、冷風乾燥区では、甘味を呈するアミノ酸が増加する傾向にあったが、熱風乾燥区では、Hx含量が増加し、リジンとヒスチジンが顕著に減少した。さらに、両区を官能評価すると、冷風乾燥区は、甘味が有意に強く、苦味が弱い傾向にあり、総合評価で有意に好ましい結果となった。これらの結果は、塩干品の冷風乾燥の優位性を呈味の面から示唆するものである。

本研究を進めるにあたり、冷風乾燥機に関する数多くの情報提供をGSK株式会社小屋敷一雄社長および摂南大学名誉教授中室克彦博士から戴いた。また、本研究をとりまとめるにあたり、元近畿大学農学部教授川崎賢一博士から有益なご助言を戴いた。ここに記して心より感謝申し上げます。

文 献

- 1) 大島敏明, 乾製品, 「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), pp. 93-128 (2005).
- 2) 田中和夫, わが国の水産物の乾燥および乾燥機の現状, 真空, 4, 105-114 (1960).
- 3) 太田 隆, 荒瀬和義, 冷風乾燥装置, 「新版 第6版冷凍空調便覧 第IV巻 食品・生物編」, 公益社団法人 日本冷凍空調学会 冷凍空調便覧改訂委員会編, (公益社団法人日本冷凍空調学会, 東京), pp. 584-590 (2013).
- 4) 滝口明秀, 干物の科学, 月刊アクアネット, 12, 20-25 (2012).
- 5) 藤田孝夫, 橋本芳郎, 食品のイノシン酸含量-III 各種水産食品, 日本水産学会誌, 26, 907-910 (1960).
- 6) 飯田 遥, 中村弘二, 徳永俊夫, マアジ塩乾品の品質に及ぼす原料鮮度と乾燥条件の影響, 中央水産研究所研究報告, 5, 1-8 (1993).
- 7) 小西史子, 香西みどり, 畑江敬子, 天日乾燥あるいは温風乾燥によって調製されたスルメエキスの呈味成分の変化, 日本家政学会誌, 53, 15-22 (2002).
- 8) 鴻巣章二, 橋本芳郎, かつお節製造中の遊離アミノ酸の変化, 日本水産学会誌, 25, 307-311 (1959).
- 9) 鈴木敏博, 本杉正義, かつお節エキス成分の焙乾工程中的変化, 日本食品工業学会誌, 41, 550-556 (1994).
- 10) Chiou, T.K., Chang, H.K., Lo, L., Lan, H.L. and Shiau, C.Y., Changes in chemical constituents and physical indices during processing of dried-seasoned squid. *Fisheries Science*, 66, 708-715 (2000).
- 11) 滝口明秀, 干物概論, 「干物の機能と科学」, 滝口明秀・川崎賢一編, (朝倉書店), pp. 1-18 (2014).
- 12) 小屋敷一雄, 干物, 養殖ビジネス, 2013年臨時増刊号, 19-22 (2013).
- 13) 堤 忠一, 安井明美, 平田芳明, 一般成分および関連成分,

- 「新・食品分析法」, 新・食品分析法編集委員会編, (光琳, 東京), pp. 5-118 (1996).
- 14) 堤 忠一, 食塩および塩素, 「食品分析法」, 食品分析法編集委員会編, (光琳, 東京), pp. 363-384 (1982).
- 15) 鈴木忠直, アミノ酸組成の定量法, 「新・食品分析法」, 日本食品科学工学会 新・食品分析法編集委員会編, (光琳, 東京), pp. 493-507 (1996).
- 16) 原田恭行, 熊谷敬之, 小善圭一, 横井健二, 異なる餌料で養殖したアワビ F1 交雑種の肉質の比較, 日本水産学会誌, **78**, 945-950 (2012).
- 17) 川北兵蔵, 山田光江, 食品の官能検査に適した手法, 「食品の官能検査」, (医歯薬出版株式会社, 東京), pp. 32-68 (1975).
- 18) 日科技連官能検査委員会, 「新版 官能検査ハンドブック」, 日科技連官能検査委員会編, (日科技連出版社, 東京), pp. 249-634 (1973).
- 19) 松田眞一, 永田 靖, 多重比較における新たな検出力の提案と各手法の特徴比較, 応用統計学, **19**, 93-113 (1990).
- 20) 「五訂増補 日本食品標準成分表」, 文部科学省, 科学技術・学術審議会, 資源調査分科会編, (独立行政法人国立印刷局, 東京), pp. 136-137 (2005).
- 21) 村田道代, 安藤正史, 坂口守彦, 魚肉の鮮度とおいしさ, 日本食品科学工学会誌, **42**, 462-468 (1995).
- 22) 大泉 徹, 干物の科学, 「干物の機能と科学」, 滝口明秀・川崎賢一編, (朝倉書店), pp. 40-73 (2014).
- 23) 中野俊樹, 伊藤恵真, 中川孝之, 永山文男, 魚介類筋肉のイノシン分解酵素の特性, 日本水産学会誌, **56**, 633-639 (1990).
- 24) 江平重男, 内山 均, ヒラメ氷蔵中におけるリボースの消長について, 日本水産学会誌, **33**, 136-140 (1967).
- 25) 内山 均, 江平重男, 核酸関連化合物からみた魚類鮮度化学研究の現状, 日本水産学会誌, **36**, 977-992 (1970).
- 26) 内山 均, 魚類鮮度研究の現状とその応用, 食品衛生学会誌, **12**, 267-276 (1971).
- 27) アミノ酸ハンドブック編集局, アミノ酸の呈味, 「アミノ酸ハンドブック」, 味の素株式会社編, (工業調査会, 東京), pp. 44-51 (2003).
- 28) Makinodan, Y. and Ikeda, S., Studies on fish muscle protease-VI Separation of carp muscle cathepsins A and D, and some properties of carp muscle cathepsin A. *Nippon Suisan Gakkaishi*, **42**, 239-247 (1976).
- 29) 豊水正道, 魚肉の褐変, 日本水産学会誌, **33**, 894-899 (1967).
- 30) 滝口明秀, 煮干しいわしの室温および低温貯蔵中における脂質酸化および褐変, 日本水産学会誌, **58**, 489-494 (1992).
- 31) 大槻直也, 川島時英, 網仲 仁, 赤身魚塩干品のヒスタミン生成について-I 製品の実態調査と製造中の挙動, 千葉県水産総合研究センター研究報告, **1**, 87-90 (2006).
- 32) 小櫛満里子, 原田祿郎, 干しあごと焼きあごのエキス成分の比較, 日本栄養・食糧学会誌, **50**, 295-301 (1997).
- 33) 鴻巣章二, 魚貝類の味—呈味成分を中心にして—, 日本食品工業学会誌, **20**, 38-45 (1973).
- 34) 浜島教子, 味の相互関係について (第5報) 甘味と苦味の関係, 家政学会誌, **32**, 156-161 (1981).
- 35) Pangborn, R.M., Taste interrelationships. *Food Research*, **25**, 245-256 (1960).
- 36) Suyama, M., Maruyama, M. and Takeuchi, S., Chemical composition of the extracts of whale meat and its change during condensation. *Nippon Suisan Gakkaishi*, **36**, 1250-1257 (1970).
- 37) Tsai, C.H., Kong, M.S. and Pan, B.S., Water activity and temperature effects on nonenzymic browning of amino acids in dried squid and simulated model system. *J. Food Sci.*, **56**, 665-670 (1991).

(平成27年8月13日受付, 平成27年10月26日受理)