

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年 6月 6日現在

機関番号：11201

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2009～2011

課題番号：21500751

研究課題名（和文） 醤油や味噌の加熱調理による食欲をそそる香りの形成機構と調理加工条件の解明

研究課題名（英文） Odor contribution and formation mechanism during heating and aging of volatile thiols in Japanese soy sauce and miso (fermented soybean paste)

研究代表者

菅原 悦子 (SUGAWARA ETSUKO)

岩手大学・教育学部・教授

研究者番号：70122918

研究成果の概要（和文）：濃口醤油4種とその加熱処理前の生揚げ醤油から、共通して3種の揮発性含硫化合物（強いコーヒー様の 2-furanmethanethiol ,いぶしたような香りの benzenemethanethiol , トロピカルフルーツ様の ethyl 2-mercaptopropionate)を初めて同定した。これら3成分の濃度は閾値を大きく上回り、特に生揚げ醤油の加熱処理によって多量に生成し、火入れ醤油の香りに大きく貢献することを官能検査で確認した。また、モデル濃口醤油を仕込み、これら3成分は酵母による発酵と加熱の共同作用で生成することを明らかにした。

研究成果の概要（英文）：Three compounds of volatile thiols, 2-furanmethanethiol with a strong roast coffee aroma, benzenemethanethiol with a strong empyreumatic aroma reminiscent of smoke and ethyl 2-mercaptopropionate with a tropical fruit-like aroma, were identified for the first time in four types of heat-treated soy sauce and raw soy sauce. 2FM, BM and ET2MP were present in these soy sauce samples at considerably higher concentrations than their perception thresholds. Their concentrations also increased when the raw soy sauce was heated for pasteurization. The volatile thiols thus contributed to the aroma of heat-treated soy sauce.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	2,900,000	870,000	3,770,000
2010年度	400,000	120,000	520,000
2011年度	400,000	120,000	520,000
年度			
年度			
総計	3,700,000	1110,000	4,810,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：生活科学・食生活学

キーワード：醤油、香气成分、加熱香气、揮発性含硫化合物

1. 研究開始当初の背景
味噌・醤油は日本人の食生活にとって極めて重要な調味料である。これら調味料の香りはその品質を大きく左右するとともに、それを

用いて調理加工された食物のおいしさにも大きく影響する。特に、醤油や味噌を加熱調理に用いると香りが大きく変化し、焼きおにぎりや照り焼きに代表されるように、極めて食

欲をそその香りが形成される。しかしながら、その強く食欲をそその香りを構成する成分や形成メカニズムに関する研究は全く進んでいない。近年、醤油や味噌の調理加工における香りへの貢献に着目した西洋料理のシェフたちが自らの料理へも用いるようになり、醤油や味噌は世界の調味料として発展しようとしている。しかし、世界の香気成分に関する研究者が味噌や醤油を研究対象にすることは少なく、特に、近年注目されている強力微量な香気成分に関する研究は、味噌や醤油において全く行われていない。著者は長年、味噌や醤油の香りの研究に取り組み、赤系辛口米味噌から初めて閾値 0.04ppb 以下で強く甘いカラメル様香気をもち、醤油の特有香気成分とされていた 4-Hydroxy-2(or5)-ethyl-5(or2)-methyl-3(2H)-furanone (HEMF) を同定し、その形成メカニズムも解明して研究成果をあげるとともに、味噌や醤油の香りを熟知している。さらに、味噌・醤油を用いた調理についても深く理解している。

2. 研究の目的

(1) 味噌・醤油の加熱により特異的に形成される新規の香気成分を同定し、加熱調理による香りの変化への貢献を明らかにするために以下のような研究を行う。

- ① 味噌・醤油の加熱香気へ影響する新規揮発性含硫化合物の新しい抽出方法を確立する。
- ② 標準物質を用いて検量線を作成し、定量方法を確立する。
- ③ 加熱による新規揮発性含硫化合物の濃度の変化を特定する。

(2) 同定された新規揮発性含硫化合物について、官能評価により香気への寄与を解明する。特に、これら成分を加熱前の試料へ添加し、官能検査でその貢献度を明らかにする。

(3) モデル系を用い、味噌・醤油の各種加熱条件による新規揮発性含硫化合物の生成を確認するとともに、生成条件（加熱温度や加熱時間等）や前駆物質を解明し、生成機構を考察する。

(4) 醤油の試醸による発酵熟成中の新規揮発性含硫化合物の変動と、微生物の役割を明らかにする。味噌・醤油の発酵熟成に関与する微生物（2種類の酵母 *Zygosaccharomyces rouxii* と *Candida versatilis*、乳酸菌、麹かび）の組み合わせを検討し、麹かびに含まれる酵素を添加したモデル醤油の試醸を岩手県工業技術センターと共同で行う。仕込み直後から製品になるまでの約6ヶ月にわたって、試料を採取し、一般成分の変動や同化合物を定量し、前駆物質を明らかにすると

ともに、生成への微生物の役割を考察する。

(5) モデル培地を用い、発酵熟成中の新規揮発性含硫化合物の酵母による生成機構の解明を試みる。モデル培地を用い、同化合物の前駆物質と想定される成分の種類や添加量等の培養条件を変化させ、酵母を培養する。その後、培養物から菌体を取り除き、培養物中の同化合物濃度を測定し、生成要因を明らかにして、酵母による生成機構を推測する。

(6) 実際の調理を想定し、各種調味料等の揮発性含硫化合物生成への影響を明らかにする。同化合物の前駆物質を多く含み、同化合物形成を促進する各種調味料を添加した調味液を調製する。これを実際の調理において想定される条件で加熱し、同化合物を定量するとともに、官能検査で評価し、実際の調理への応用について考察する。

(7) 同化合物の生成機構を応用し、新しい加熱用調味料の試醸を提案する。これについては、新しく加熱用調味料として開発された生醤油（なましょうゆ、キッコーマン製）について、加熱前後の香気変動を共同研究で明らかにすることとした。生醤油は火入れ（加熱処理）をしないしぼりたての醤油で穏やかな香りをもつことが特徴である。

3. 研究の方法

(1) 新規揮発性含硫化合物の新しい抽出方法の確立：ジクロロメタンによる液々抽出法を基本とし、微量な同成分の最適な抽出条件を確立した。

(2) チオール化合物定量のために検量線の作成：5,5'-Dithiobis(2-nitro-benzoic acid) (DTNB) を用いてチオール化合物の標準濃度溶液を調製した。内部標準物質 (I.S) を用い、GC-MS の SIM モードで分析した。I.S 分子量のイオン強度と、チオール化合物の分子量のイオン強度の比較により、検量線を作成した。

(3) 加熱によるチオール化合物の濃度変化：最適化法によって得られた検量線を用いて、市販濃口醤油中のチオール化合物濃度を定量した。使用した醤油は宮城県味噌醤油工業共同組合から提供された4種類の生揚げと火入れの濃口醤油である。

(4) 同定されたチオール化合物の官能評価：同化合物の火入れ香への貢献度を明らかにするために、三段階の官能検査を行った。(3) で定量した生揚げ醤油と火入れ醤油中のチオール化合物の濃度差に基づき、各化合物の添加量を決定した。

第一段階：生揚げ醤油と火入れ醤油の識別：パネルは大学院生・大学生計25名。

第二段階：モデル火入れ醤油と火入れ醤油の

評価: 同定されたチオール化合物 2-furanmethanethiol(2FM) benzene-methanethiol(BM), ethyl 2-mercapto-propionat(ET2MP)を生揚げ醤油に添加し、表1のようにA、B、Cの3種類のモデル火入れ醤油溶液を調製した。

表1 モデル火入れ醤油 I

項目	A	B	C
内容	生揚げ +2FM	生揚げ +BM	生揚げ +ET2MP

また、生揚げ醤油に表2で示したように2種類または3種類を組み合わせて添加し、D、E、F、Gの4種類のモデル火入れ醤油溶液を調製した。

表2 モデル火入れ醤油 II

D	E	F	G
生揚げ +2FM +BM	生揚げ +2FM +ET2MP	生揚げ +BM +ET2MP	生揚げ +2FM+BM +ET2MP

火入れ醤油を標準としてパネルに提供し、標準品のおいとしに近い順に1~4位でA、B、C、N(生揚げ醤油)に順位をつける方法で、17名のパネルが評価した。さらに、同様に火入れ醤油を標準品とし、においが近い順に1~5位までD、E、F、G、N(生揚げ醤油)に順位をつける方法により評価した。パネルは13名。第三段階: モデル火入れ醤油と火入れ醤油の再識別: 第二段階で得られた結果を用い、生揚げ醤油にチオール化合物を添加し、モデル火入れ醤油を調製した。三点識別法でモデル火入れ醤油のおいとしと火入れ醤油のおいとしを評価した。パネルは23名。

(5) モデル系による2FMの加熱による生成機構の解明: 醤油の香気成分として特に重要な2FMの加熱による生成機構に焦点化し、モデル系を用い、各種加熱条件による同化合物の生成を確認し、定量した。

①モデル溶液の調製: 2FMの前駆物質となるグルコースとシステインをpH5.0、0.5Mリン酸緩衝液に溶解させた。グルコース濃度は5%、10%、20%、システイン濃度は10mMとした。加熱はオートクレーブを用い、121℃または130℃で20分とし、表3に示したようにA~Eの5種類のモデル溶液を調製した。

表3 モデル溶液の組成と加熱時間

	A	B	C	D	E
グルコース%	5	10	10	10	20
加熱温度℃	121	121	121	130	130
溶液の全量L	0.5	0.5	0.4	0.4	0.4

システイン濃度 A~E 10mM

②香気濃縮物の調製と分析条件: モデル溶液は加熱後、常温まで冷却して用いた。香気濃縮物の調製方法と分析条件は3(1)(2)に示した通りである。

(6) 醤油の試醸

①実験材料と仕込み条件: 醤油麹は脱脂大豆と小麦を1:1の割合で14.4kg(2.4kg X6組)調製した。食塩水は21.6L(22.5% NaCl 水溶液 3.6L X6組)である。仕込みには、麹酵素としてプロテアーゼA「天野」G、グルタミンナーゼ、ペクチナーゼPL「天野」、グルク100G(α-アミラーゼとグルコアミラーゼ)を購入した。主発酵酵母 *Zygosaccharomyces rouxii*、後熟酵母 *Candida versatilis*、乳酸菌 *Tetragenococcus halophilus* は岩手県工業技術センターから提供していただいた。麹の殺菌及び醤油の仕込みは図1に示した順序で行った。

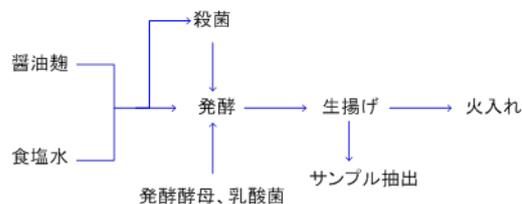


図1 仕込み過程

初めに醤油麹2.4kgを計量し、食塩水3.6Lと混合した。0区は醤油麹と食塩水を混合した後、混合物をタンクに移動し、発酵酵母や酵素は添加しなかった。

1~5区では醤油麹と食塩水混合した後、混合物を加熱殺菌した。殺菌の手順は食塩水を加熱し、沸騰後、醤油麹2.4kgと混合して、さらに80℃まで加熱を続けた。加熱停止後、水で50℃まで冷却した。その後、混合物は室温で自然冷却した。各混合物は完全に冷却後、下記に示したように酵素や酵母を添加した。酵母と乳酸菌は10¹⁰cells/mlレベルで添加した。

- 0区: 酵素も酵母も添加しないコントロール。
- 1区: すべての酵素と主発酵酵母、後熟酵母と乳酸菌を添加。
- 2区: すべての酵素と主発酵酵母のみを添加。
- 3区: すべての酵素と後熟酵母のみを添加。

- 4区：すべての酵素と乳酸菌のみを添加。
 5区：すべての酵素を添加し、微生物は無添加。

仕込み後、すべての試験区は室温にて、19週間自然発酵させた。

- ②一般成分(pH、色度、窒素含量とグルコース濃度)の分析：基準の分析方法に従った。
 ③一般香気成分の分析：チオール化合物以外の香気成分はポーラスポリマーを用いたカラム濃縮法で香気濃縮物を調製し、測定した。
 ④チオール化合物の定量：香気濃縮物の調製方法と分析条件は3(1)(2)に示した通りである。

4. 研究成果

(1) 濃口醤油から新規揮発性含硫化合物として3種類のチオール化合物を同定

得られた香気濃縮物をGC-FPDで分析し、図2にFPDによるガスクロマトグラムを示した。化合物はそれぞれ標準物質のリテンションタイムとマススペクトルと一致により、ピーク1は2-furanmethanethiol(2FM)、ピーク2はethyl 2-mercaptopropionate(ET2MP)、ピーク3はmethionol、ピーク4はbenzenemethanethiol(BM)と同定した。

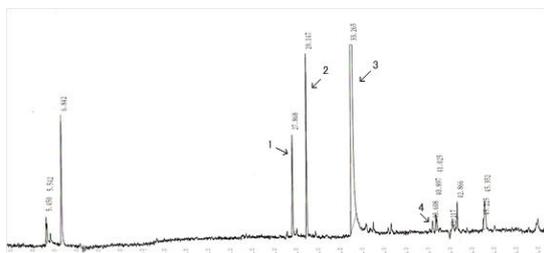


図2 FPDによるガスクロマトグラム

これら三成分が効果的に抽出できる方法の確立を目指した。

(2) 最適な抽出条件と検量線の作成

チオール化合物は非常に不安定な揮発性香気成分であり、醤油中には極微量しか存在しない。そこで、正確に同定、定量するために、希釈条件と抽出時間等の抽出条件を検討した。その結果、2FM、ET2MPとBMの最適抽出条件は同じではないことが判明したが、総合的に判断し、最適化された抽出条件を以下のように決定した。(ジクロロメタン抽出方法による最適化された実験条件：醤油溶液濃度40%、回転子2cm、攪拌速度1000rpm、抽出時間5min)

(3) 4種類の市販濃口醤油とその生揚げ醤油

中におけるチオール化合物の定量

上述の方法で、2FM、ET2MP、BMの検量線を作成し、四種類の市販濃口醤油中のチオール化合物を定量した。表4に、その結果とOAV(odor active values)を示した。OAVは定量した化合物の含量と識別閾値の比であり、OAV値が大きければ大きいほど、香りが強いことを示している。

表4 市販濃口醤油中のチオール化合物の濃度範囲とOAV

濃度 $\mu\text{g/L}$	2FM	ET2MP	BM
生揚げ	0.27 ~ 1.35	1.30 ~ 5.70	0.06 ~ 0.17
OAV	$7 \times 10^2 \sim 3 \times 10^3$	2 ~ 11	$2 \times 10^2 \sim 6 \times 10^2$
火入れ	2.93 ~ 13.58	16.47 ~ 88.14	0.73 ~ 2.59
OAV	$7 \times 10^3 \sim 3 \times 10^4$	$3 \times 10^2 \sim 2 \times 10^2$	$2 \times 10^3 \sim 9 \times 10^3$

表4より、製品の濃口醤油中に2FM、BMとET2MPは共通する香気成分として存在することが明らかとなった。生揚げ醤油中では2FMは $0.27 \sim 1.35 \mu\text{g/L}$ 、BMは $0.06 \sim 0.17 \mu\text{g/L}$ 、ET2MPの平均含量は $1.30 \sim 5.70 \mu\text{g/L}$ である。しかし、チオール化合物の閾値は非常に低いため、OAVの数値は高い。また、3成分の濃度は生揚げ醤油の火入れ後にかなり上昇した。2FMは $2.93 \sim 13.58 \mu\text{g/L}$ に、BMは $0.73 \sim 2.59 \mu\text{g/L}$ に、ET2MPは $16.47 \sim 88.14 \mu\text{g/L}$ になり、火入れ後、三種のチオール化合物濃度は生揚げ醤油中の10~15倍になった。これは、加熱過程でのアミノカルボニル反応により大量に生成されたと考えられる。以上より、2FM、ET2MP、BMは火入れ前の醤油の香りに貢献するとともに、特に火入れ香の重要な香気成分であると推測された。

(4) 官能検査による濃口醤油の香りへのチオール化合物の貢献度

①パネルが生揚げ醤油と火入れ醤油のにおいの識別ができるかを確認した。計25名のパネル中に正確に識別できた者は20名で、0.1%の危険率で生揚げ醤油と火入れ醤油のにおいは識別可能であることが判明した。

②同定された2FM、BM、ET2MPを単独でそれぞれ生揚げ醤油に添加し、火入れ醤油のにおいに近い順に点数をつける順位法で評価した。全サンプルの得点は5%有意水準の検定範囲値外であった。従って、生揚げ醤油へのチオール化合物の単独添加では、火入れ醤油のにおいに近づかないことが判明した。次に、生揚げ醤油にチオール化合物を組み合わせで添加した場合の評価を実施した。その結果、2FMとBMの組み合わせで添加した生揚げ醤油

が、5%の危険率で他のサンプルより火入れ醤油と似ていることが示された。

③第三段階目として、第二段階で得られた結果を用い、2FM と BM を添加した生揚げ醤油と火入れ醤油の識別が可能かを検査した。その結果、パネル 23 名中正解者は 10 名で 5%有意水準検定範囲外であり、サンプルの識別はできなかった。従って、2FM と BM を同時に添加された生揚げ醤油においては、火入れ醤油のにおいと近くなり、識別が不能になることが判明した。以上より、濃口醤油の火入れ香への 2FM と BM の貢献度の高いことが証明された。

(5) 2FM のモデル系での加熱による生成機構の解明

表 3 に示されたモデル溶液 A~E を加熱し、調製された香気濃縮物を、GC-MS の SIM モードで分析した。I. S 分子量のイオン強度と、2FM の分子量のイオン強度比を表 5 に示す。

表 5 モデル溶液中の 2FM のイオン強度比

	A	B	C	D	E
イオン強度比	0.14	0.24	0.06	0.86	2.33

表 5 から、イオン強度比はグルコース濃度と加熱時間に依存し、特にモデル E で高くなることが明らかになった。グルコース濃度が高くなり、加熱温度が高くなるにつれ、2FM がより多く生成した。2FM の前駆物質はグルコース由来であり、グルコースの加熱によって生じるフルフラールの生成量に影響されると考えられた。

(6) 醤油の試醸による発酵熟成中のチオール化合物の生成機構の解明

①一般成分の変動

仕込み直後から発酵熟成終了時まで、1 か月ごとに、pH、色度 Y 値、グルコース含量、窒素含量を測定した。その変動を評価した結果、仕込み直後から 4 週目までは主発酵期、4 週から 15 週までは諸味の後熟期で、15 週から 19 週までは後熟調整期と判断され、発酵熟成はほぼ順調に進行していることが明らかとなった。ただし、4 区と 5 区は熟成後期に雑菌の混入があったと推測された。

②FM の発酵熟成中の変動

仕込み直後の 1~5 区中に 2FM が約 50ng/L 検出された。これは、醤油麹の殺菌加熱時に、メイラード反応によって生成されたと考えられる。

5 区は麹殺菌後、微生物が無添加の試験区であり、5 区中の 2FM は発酵熟成期間中の緩

慢なメイラード反応によって生成されたと考えられる。0~4 区中にも同様のメイラード反応が発生していると考えられる。そこで、発酵熟成過程中 2FM 生成と酵母の関係を考察するため、0~4 区の 2FM の含量から 5 区の 2FM 生成量を差し引き、図 3 を作成した。図 4 は 19 週目のサンプルの火入れ前後 2FM の濃度の変動を示した。全ての試験区で火入れ後 2FM が大量に生成されることが示された。

発酵熟成期間に各試験区中の 2FM 生成量と火入れ前後の濃度比較により、以下のことが判明した。

- 1) 醤油発酵中の 2FM の生成量は主発酵酵母との関連が強い。
- 2) 後熟酵母は 2FM の生成へ関与しているが、作用が弱い。
- 3) 発酵熟成中、乳酸菌は 2FM の生成へ直接参加しない。
- 4) 発酵熟成の終了時に、2FM の生成量は最大値になる。
- 5) 生揚げ醤油を火入れすると、メイラード反応によって 2FM が大量に生成する。
- 6) メイラード反応と酵母発酵の二つの要因によって醤油中の 2FM が生成する。

2FM の生成において、フルフラールとシステインが前駆物質として報告されている。糖類由来のフルフラールはメイラード反応の中間産物であり、酵母の代謝によるシステイン由来の-SH と結合し、2FM が生成されると推測される。

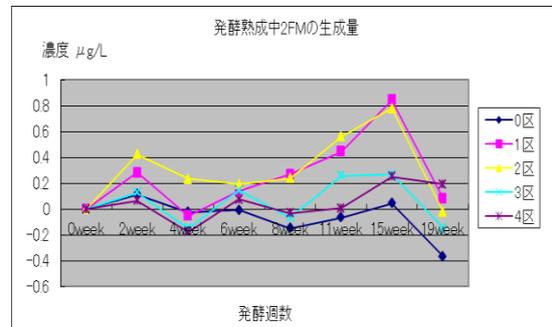


図 3 発酵熟成中の 2FM 生成と酵母の関係

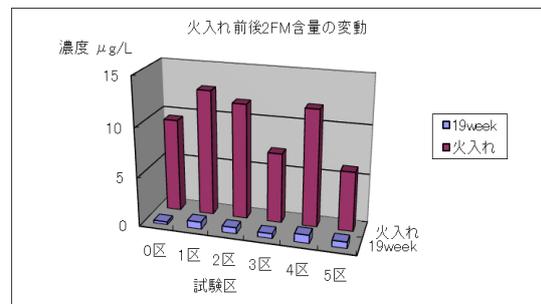


図 4 発酵終了後の加熱による 2FM 生成

③ET2MP の発酵熟成中の変動

同様に、発酵熟成期間に各試験区の ET2MP 生成量の比較により、以下のことが明らかとなった。図は省略する。

- 1) メイラード反応と酵母発酵によって ET2MP が生成する。
- 2) 醤油発酵中の ET2MP 生成量には、メイラード反応より酵母作用の影響が大きい。
- 3) ET2MP の生成には、後熟酵母より主発酵酵母の影響が大きい。
- 4) 発酵熟成中の乳酸菌の ET2MP 生成への作用は不明である。
- 5) 発酵熟成の終了時に、ET2MP の生成量は最大値になる。
- 6) 生揚げ醤油を火入れすると、メイラード反応によって ET2MP が大量に生成する。

④BM の発酵熟成中の変動

発酵熟成期間に各試験区中の BM 生成量の比較により、以下のことを明らかにした。図は省略する。

- 1) 醤油発酵中の BM 生成量には、酵母が関与している。
- 2) 醤油の発酵期間に主発酵酵母の発酵によって、BM と BM の前駆物質が生成する。
- 3) 主発酵酵母による BM の生成量は後熟酵母による生成量より多い。
- 4) 発酵熟成中、乳酸菌は BM の生成へ直接関与しない。
- 5) 発酵熟成終了時に、BM の生成量は最大値になる。
- 6) 生揚げ醤油を火入れすると、メイラード反応によって BM が大量に生成する。

BM の生成において、ベンズアルデヒドが前駆物質として推測されている。植物の細胞壁由来のフェルラ酸が酵母の関与で、ベンズアルデヒドとなり、システイン由来の-SH と結合し、BM が生成されると推測される。

(7) 2FM のモデル培地を用いた発酵熟成中の酵母による生成機構の解明

2FM の前駆物質と考えられるフルフラールとシステインの培地中の濃度を変化させ、醤油の主発酵酵母を培養した。培養後菌体を除去し、3 (1) (2) の方法で生成量を測定した。フルフラール濃度に依存して生成量が増加する傾向を確認したが、さらに再現性を高めるため、現在実験を継続している。

(8) 加熱による生醤油の香りの変化に対するチオール化合物の貢献

新しい加熱用調味料のとして開発された生醤油 (なましょうゆ) を用いて、実際の調理を想定し、火入れとは異なる加熱条件でのチオール化合物の生成や、みりんなどの調味料等の同化合物生成への影響を明らかにすることを試みた。その結果、以下のようなこと

が明らかとなった。

- 1) 生揚げ醤油は火入れ加熱によりチオール化合物である 2FM、BM 及び ET2MP が大量に生成することが判明しており、これらが生醤油の加熱後における重要な調理香に貢献すると推測した。しかし、生醤油の加熱前後で、2FM と ET2MP の含量に大きな変化はなかった。
- 2) BM は加熱により多少増加したため、生醤油の加熱前後における香りの変化に対し貢献度が高いことを官能検査で確認した。
- 3) 加熱条件を種々変更し、チオール化合物の生成量を検討したところ、2FM、BM、ET2MP は、急激な高温短期間の調理加熱では生成量の少ないことが明らかとなった。
- 4) 加熱により、多くの香気成分の FDF が減少した。一方、チオール化合物の 2FM、BM、ET2MP の濃度はほとんど変化しなかった。これにより、加熱後には、これらチオール化合物の貢献度が相対的に高くなると考えられた。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 1 件)

① Qi Meng, Tomoka Kakuda, and Etsuko Sugawara' Quantification and Odor Contribution of Volatile Thiols in Japanese Soy sauce, Food Science and Technology Research, vol18(3), 2012, [学会発表] (計 3 件)

① 孟琦・熊丸陽奈・菅原悦子, 醤油の香気成分 Ethyl 2-mercaptopropionate の光学異性体の分離と香りの特徴, 日本食品科学工学会第 58 回大会 2011.9.11. 東北大学 (仙台)

② 孟琦・角田朋香・畑山誠・菅原悦子, 醤油醸造中のチオール化合物の変動, 日本食品科学工学会第 57 回大会, 2010.9.3, 東京農業大学 (東京都)

③ 孟琦・角田朋香・畑山誠・富永敬俊・菅原悦子, 醤油火入れ香へ貢献する揮発性含硫化合物の同定と定量, 日本食品科学工学会第 56 回大会, 2009.9.11, 名城大学 (名古屋)

[図書] (計 1 件)

① E. Sugawara (J. P. Tamang & K. Kailasapathy eds.), Fermented Soybean Pastes Miso and Syoyu with to Reference to Aroma (Fermented Foods and Beverages of the World), CRC Press, Taylor & Francis Group, New York, pp225-pp245, 2010

6. 研究組織

(1) 研究代表者

菅原 悦子 (SUGAWARA ETSUKO)

岩手大学・教育学部・教授

研究者番号: 70122918

(3) 連携研究者

大畑 素子 (OHATA MOTOKO)

北里大学・獣医畜産学部・助教

研究者番号: 60453510