



微生物や機能性食品素材を活用した食肉加工品に関する研究

帯広畜産大学グローバルアグロメディシン研究センター 三上 奈々

はじめに

食肉は優れたタンパク質性食品であり、鉄をはじめとするミネラル、ビタミンなども多く含むことから、我々にとって重要な栄養供給源とされている。一方で、水分が多いため、きわめて腐敗や劣化のしやすい食品でもある。大昔の狩猟時代(安定的に食肉が手に入らない時代)から、ヒトは少しでも長く肉を保存する必要があり、古代メソポタミア人は肉を塩で処理することが長持ちするだけでなく、風味や食感もよくすることを知り得てきた。時代は流れ、近世でもヨーロッパや中国を中心に、その土地の気候や風土を生かし保蔵性に優れた伝統的な食肉加工品が数多く生み出されている。このように、食肉の加工技術は歴史とともに発達を遂げ、美味しさや保蔵性が高められてきた。しかし、その中には経験的に習得され結果として定着しているが、科学的根拠がまだ十分に蓄積されていない加工法も多い。演者らは、食肉を美味しくなるべく長い間安全に食べられるように加工することを目的とし、それに関わる微生物や食品由来の機能性素材の特徴や肉へのふるまいを研究してきた。上述のように、食肉には様々な栄養素が含まれることから、微生物や機能性素材との相互作用は非常に複雑である。その中で、美味しさや保蔵性の向上について体系的に語るにはまだまだ膨大な研究を要するが、食肉の研究を始めて6年間で得ることができたきっかけとなる知見をいくつか紹介したい。

1. 微生物を活用した発酵食肉製品の品質特性

1-1. ドライ熟成肉

ドライ熟成肉(Dry-aged beef: DAB)は、温度・湿度を一定に保った低温熟成庫内で肉表面に風を当て数週間貯蔵した牛肉である。肉自身が持つ酵素に加え、乾燥した肉の表面(クラスト)に生育する真菌類の酵素もタンパク質や脂質を分解し、DABに独特の熟成香(ナッツ香)や旨味、軟らかさをもたらすと考えられている。一方で、このようなDABの特徴は外食産業を中心に一般的に言われていることであり、クラスト上の真菌類の菌種やそれらの作用を裏付けるデータはほとんどなかった。演者らは共同研究者である北一ミート(株)の熟成庫にて35日間のドライ熟成を行ったDABのクラストから、フワフワ

とした毛足の長い好冷性の接合菌(*Mucor flavus*, *Helicostylum pulchrum*)や子囊菌(*Penicillium* series *Camembertiorum*)を分離・同定した¹⁾。*M. flavus*はHanagasaki & Asato (2018)によってDABに利用したと報告されているが²⁾、*H. pulchrum*が見出されたのは本研究が初めてであった。また、*M. flavus*と*H. pulchrum*がクラスト上に共に生育していることも新規の知見であった。これらのDABに総アフラトキシンやゼアラレノン等のマイコトキシンは検出されなかったため、分離した真菌類によるカビ毒産生の可能性は低く、安全性が高いことを示唆した。肉内部の細菌数に関して、真空包装して保存したウェット熟成肉(WAB)と比べDABの一般生菌数は多かったものの、乳酸菌数や大腸菌群数は低かった¹⁾。そのため、ドライ熟成処理は一部の細菌に対して増殖抑制作用を持つことが示唆された。

DABは従来、熟成庫内を浮遊する蔵付菌が自然と肉に付着するのを待つ方法で製造されていた。しかし、この方法では、菌の生育が不安定で製品の品質が不均一になりやすい、浮遊する菌がわずかだと菌の生育や熟成完了に長期間を要する、といった課題がある。そこで、元々DABであった肉のクラストをランプブロック表面全体に擦過して強制的に菌叢を付着させ、26日間ドライ熟成を行った。同じ熟成庫内で従来法(擦過なし)によって製造したDABと比較すると、擦過ありのDABでは7日頃から切断面に白色の菌糸が出現し、20日にはほぼ全面が白く覆われた³⁾。一方、擦過なしではほとんど生育がみられなかった。そのため、クラスト菌叢の擦過処理は目的の真菌類を短期間に増殖させ優占種とし、他の菌の増殖を防ぐ可能性を示唆した。擦過あり・なしのDABの香気成分をGC-MSで分析したところ、擦過ありのDABの1-hexanolのシグナルが擦過なしよりも16倍以上強かった³⁾。1-Hexanolはアルコールに分類され、ナッツ様・ポップコーン様の香りと表現される⁴⁾。また、ベンズアルデヒドもアーモンド様、焦げた砂糖のような香りと言われるが、擦過ありのDABで擦過なしよりも有意に強かった⁵⁾。そのため、擦過による真菌類の生育がこれらの化合物の生成を著しく増加させることを示した。ナッツ香はDABを特徴付ける香りとしても知られており、クラスト菌叢で同定された優占種の真菌類がこれらの香りの増強に関わっている可能性を示唆した。

1-2. 発酵ソーセージ

発酵ソーセージは、ヨーロッパを中心に食される伝統的な食肉製品であり、乾燥工程で水分含量を下げることにより保存性を高めたソーセージである。スターター細菌由来の酵素はタンパク質を分解し、ペプチドやアミノ酸等の呈味成分を増加させる。一方で、主要なスターターである乳酸産生菌はpHを低下させることで病原菌の増殖を抑制するが、酸味も強くすること



図1. ドライ熟成肉のブロック
クラストに生育した真菌(左)とトリミングした可食部(右)

から一部の人には好まれない。そのため、コウジカビ・酵母等の微生物やそれらが産生する酵素・フルーティな風味を含む酒粕が、発酵ソーセージの旨味の増強や酸味のマスキングに作用するか検討した。塩漬した豚ひき肉に酒粕を添加し、35日間乾燥・熟成した結果、酒粕の添加は熟成中のソーセージのタンパク質分解を促進し、ペプチドや遊離アミノ酸量を増加させることが明らかになった⁶⁾。また、酒粕の添加は無添加と比べソーセージのpHを低下させるものの、酸味や香りに対する嗜好性は有意に向上することを示した⁶⁾。これらのデータより、酒粕に含まれる様々な微生物がつくる酵素や化合物が、発酵ソーセージの美味しさの改善に役立つことを示唆した。

2. 機能性食品素材を活用した食肉加工品の品質特性

食肉加工品は栄養価の高い優れた食品である一方、変質が起りやすいという弱点もある。演者はヒトに対して健康機能を有する食品素材を食品加工の品質保持や変質防止に活用することで、より受け入れられやすい食肉加工ができないかと考えた。特に脂溶性のカロテノイド色素を中心に、食肉加工品の脂質酸化抑制効果を評価した。

2-1. トマト調味料

トマトは世界中の人々に食される農産物であり、赤色を呈するカロテノイド色素のリコペンやビタミンCなど抗酸化物質を豊富に含む食品である。演者らは日本人にもなじみのある複数のトマト調味料(ペースト、パウダー、あらごし)が、保存中の加熱ソーセージに与える抗酸化作用を検討した。豚ひき肉にリコペン含量が等しくなるようにペースト、パウダー、あらごしのトマト調味料をそれぞれ添加して加熱ソーセージを製造した。その後、無添加ソーセージと合わせて計4種類のソーセージのチオバルビツール酸(TBA)価を測定した。37℃の照光下(0・1・3・5日間)、4℃の冷暗条件下(0・5・10・15・20日間)の保存中、両条件下で無添加群と比べトマト調味料添加群のTBAは低くなり、脂質酸化抑制効果が示された⁷⁾。トマト調味料間では効果に差がなかったため、リコペンが保存中の加熱ソーセージの酸化安定性を改善することが示唆された。

2-2. アスタキサンチン

アスタキサンチン(Ax)はエビ・カニ等の甲殻類やヘマトコッカス藻に含まれる強力な抗酸化物質である。上記同様、加熱ソーセージでのAxの抗酸化性を評価するために、Axを含む製剤(Axオイル(AO)又はAx水溶液(AW))をAx含量が0.01%になるように豚ひき肉に各々添加し、AO・AWソーセージを製造した。4℃条件下で0~8日間保存したソーセージの過酸化価(POV)及びTBA価を測定したところ、AO・AWソーセージともに無添加のものと比較して概ね低い値であり、Axが脂質酸化抑制効果をもたらすことを示した⁸⁾。特に、TBAの抑制効果は、AO群と比較してAW群で高い傾向が見られた⁸⁾。AO・AW群のAx含量は等量であることから、製剤中におけるAxの形態の違いが酸化抑制効果に影響する可能性が示唆された。

おわりに

食肉加工品の品質は数多くの要因に影響を受けるため、それらを制御するためのアプローチも無数に存在する。本研究では、微生物や機能性食品素材が食肉の風味や脂質安定性にもたらす作用を評価し一定の効果が得られたが、他にも多くの指標に目を向け、さらには食肉成分と微生物・機能性食品素材の相

互作用も考慮しながら、食肉加工品の美味しさや保蔵性を総合的に明らかにしていく必要がある。

(引用文献)

- 1) Mikami N., Toyotome T., Yamashiro Y., Sugo K., Yoshitomi K., Takaya M., Han K. H., Fukushima M., Shimada K. Dry-aged beef manufactured in Japan: Microbiota identification and their effects on product characteristics. *Food Res. Int.*, **140**, 110020, (2021)
- 2) Hanagasaki T., Asato N. Changes in free amino acid content and hardness of beef while dry-aging with *Mucor flavus*: Changes in the quality of beef while dry-aging with *Mucor flavus*. *J. Anim. Sci. Technol.*, **60**, 19, (2018)
- 3) Mikami N., Toyotome T., Takaya M., Tamura K. Direct rub inoculation of fungal flora changes fatty acid composition and volatile flavors in dry-aged beef: A preliminary study. *Animals*, **12**, 1391, (2022)
- 4) Migita K., Iiduka T., Tsukamoto K., Sugiura S., Tanaka G., Sakamaki G., Yamamoto Y., Takeshige Y., Miyazawa T., Kojima A., Nakatake T., Okitani A., Matsui M. Retort beef aroma that gives preferable properties to canned beef products and its aroma components. *Anim. Sci. J.*, **88**, 2050-2056, (2017)
- 5) Yu H., Xie T., Xie J., Ai L., Tian H. Characterization of key aroma compounds in Chinese rice wine using gas chromatography mass spectrometry and gas chromatography-olfactometry. *Food Chem.*, **293**, 8-14, (2019)
- 6) Mikami N., Tsukada Y., Pelpolage S. W., Han K. H., Fukushima M., Shimada K. Effects of Sake lees (Sake-kasu) supplementation on the quality characteristics of fermented dry sausages. *Heliyon*, **6**, e03379, (2020)
- 7) Mikami N., Yamashiro Y., Nagaoka S., Akamatsu Y., Maeda H., Shimada K. Effects of different tomato products on the lipid oxidation, color, and texture of uncured cooked pork sausages. *Food Sci. Technol. Res.*, **29**, 433-440, (2023)
- 8) 渡嘉敷 祐, 三上 奈々, 高田 謙一郎. アスタキサンチン製剤が加熱ソーセージの脂質酸化に与える影響. 日本農芸化学会 2021年度大会講演要旨集, p 770, (2021)

謝辞 本研究は、帯広畜産大学生命・食料科学研究部門にて実施されました。本賞に推薦下さいました帯広畜産大学福島道広先生にこの場を借りて厚く御礼申し上げます。また、ドライ熟成肉の研究開始時からいつも二人三脚で歩みを進め、真菌の世界を教えて下さった帯広畜産大学獣医学研究部門の豊留孝仁先生、そばで優しくサポートして下さいました研究補助員の小玉香澄さんに心より感謝いたします。さらに、発酵食肉製品や食肉加工品の肉質研究に多大なるご協力を下さいました北一ミート株式会社田村健一社長、とちか財団高谷政宏研究主査、弘前大学農学生命科学部前多隼人先生、帯広畜産大学島田謙一郎先生、福田健二先生、富士フィルム株式会社に深く感謝いたします。今思えば、私のこれまでの歩みは、北海道大学大学院水産科学院機能性物質化学研究室で院生時代を過ごしたことに大きな影響を受けています。研究室を主宰する宮下和夫先生や細川雅史先生の背中を見て育ち、自分も同じ世界に身を置きたいと研究者を目指しました。ひよっこだった私を温かく応援して下さいました山口県立大学看護栄養学部栄養学科の先生方、厳しく鍛え研究者として生きる力を授けて下さった元札幌医科大学小海康夫先生、一緒に研究してくれた畜肉保蔵学研究室の卒業生・在学生諸氏のおかげで、今こうして研究者をすることができています。心より深く御礼申し上げます。最後に、私の進みたい道に進ませてくれた両親、いつも応援してくれる家族、そばで温かく見守ってくれる夫に心から感謝します。