

論文の内容の要旨

論文題目 即席麺に関する食品科学および栄養学的研究

氏 名 田中 充

現在わが国では、単身や共働き世帯の増加を背景に、インスタント食品や冷凍食品、「中食」等の加工食品の利用が増えており、手軽で栄養バランスの良い食品の必要性が高まっている。一方、先進諸国では、エネルギーの過剰摂取によると考えられる肥満や糖尿病等の生活習慣病が問題となっている。これらのことから、食品に含まれるタンパク質 (P)・脂質 (F)・炭水化物 (C) のバランス (PFC バランス) の変化に伴う代謝変化や、簡便・保存性に優れ世界中に普及している即席麺に含まれる調味料・香辛料の複合的な生体調節機能を解明するとともに、嗜好性と栄養価を同時に満たせるような即席麺の加工方法の開発に取り組んだ。

序論に続く第 2 章では、これまでフライ麺の製造工程におけるグルテン形成と油脂含量との関係について明確にされていなかったことから、この点に着目して油脂含量の低いフライ麺の開発を行った。通常製法において、麺帯のロール複合およびロール圧延工程は、グルテンネットワークの形成を促進する。ロール複合と圧延回数を増やして圧延した、細密なグルテンネットワーク構造を持つ麺は、フライにより麺線が膨化し、麺線断面積及び空隙率が大きくなり、それに伴って、油脂含量が高くなった。一方、押し出し麺帯成形と少ない回数の圧延に変えることで、グルテンの形態 (ネットワークの構造) が大きく変化することを明らかにした。本研究で開発した作製方法による低油脂麺のグルテンネットワークは、粗く疎であった。低油脂麺では麺線の膨化が抑制され、麺線断面積及び空隙率が小さくなり、油脂含量が低くなった (通常製法麺 17.2%に対して、低油脂麺では 11.4%に低下)。

フライ前の麺では、グルテンネットワーク中に糊化した澱粉粒が分散している。糊化澱粉粒に含まれる水分は、フライ時の高温加熱によって蒸発し、それによって生じた空隙の一部が油と置換される。低油脂麺では、麺線断面積及び空隙率が小さいことから置換される油の量が少なくなり、麺の油脂含量が低くなったと考えられた。麺はグルテンと澱粉が複雑に絡み合うことで独特の食感が生じるが、押し出し成形と少ない回数の圧延を組み合わせることで、フライした際の残留油脂分が少なく、かつ澱粉の糊化度は変化しない新規フライ麺を創出することができた。

第 3 章では、食餌の CF 比 (カロリー比) を変化させた時の臓器での遺伝子発現変化を網羅的に解析した。マウスを 3 群に分け、CF 比の異なる飼料 (C:F=65:15(L 群), 60:20(M 群), 35:45(H 群)) で 9 週間飼育した。生化学的な事象として、H 群は L 群と比較して、血清トリアシルグリセロールが減少し、肝臓中のトリアシルグリセロール、総コレステロールおよび総胆汁酸が上昇した。肝臓の DNA マイクロアレイ解析を行ったところ、L 群・H 群間で 436 遺伝子が

発現変動した（発現上昇 206、発現低下 230）。このうち、L 群・M 群間では発現が変わらず、M 群・H 群間で変化した 375 遺伝子は、遺伝子オントロジー解析の結果、主として脂肪酸合成やサーカディアンリズムに関するものであり、H 群でコレステロール・胆汁酸合成が促進したことが示唆された。また、L→M→H 群での発現変化が直線的ではなく、谷型（M 群で最低）あるいは山型（M 群で最高）となった遺伝子（スイッチ遺伝子）として、糖新生に関与する *serine dehydratase* や β 酸化を負に制御する *acyl-CoA thioesterase 1* 等が見出された。このことから、M 群の食餌の付近が、エネルギー源として炭水化物から脂質を利用するために遺伝子発現がスイッチするターニングポイントであると考えられた。

さらに、肝臓トランスクリプトーム応答が、脂肪組織等の他のエネルギー代謝関連組織とどのように相互作用するのかを解析する目的で、白色脂肪組織および褐色脂肪組織においても同様に解析し、脂質代謝酵素遺伝子が H 群で特異的に発現低下したことを明らかにした。遺伝子変動の上流レギュレーター解析（Ingenuity Pathways Analysis, IPA）を行ったところ、白色・褐色脂肪組織に共通のレギュレーターとして、脂質生合成の調節因子である *sterol regulatory element-binding transcription factor 1* および *2*（SREBF-1, -2）や *insulin induced gene 1* および *2*、転写因子（PPAR α ）等が見出された。

以上のように、本章では、食餌の CF 比が、肝臓と脂肪組織において、エネルギー蓄積・移動の遺伝子発現に異なる影響を与えたことを明らかにした。

ところで、我々は食品を各種栄養成分ごとに独立して摂取するのではなく、味物質や加熱生成物とともに「食事」として摂取している。にもかかわらず、食事に含まれる多くの味物質やメイラード反応生成物が、動物の代謝にどのような影響を与えるのか殆ど解明されていない。そこで、第 4 章では、日常摂取する食品の例として即席麺（チキンラーメン）をラットに投与した時に生じる代謝変化および代謝産物の変動を解析した。30%のチキンラーメンを含み、脂質エネルギー比が 26%である食餌を 30 日間摂取した N 群（noodle 群）では、同質の栄養素を含む食事（C 群・対照群）と比較し、肝臓トリアシルグリセロールが低く、糞中コレステロールが高かった。視床下部一下垂体系、肝臓および白色脂肪組織におけるトランスクリプトーム解析を行ったところ、視床下部一下垂体系において *thyroid stimulating hormone*（甲状腺刺激ホルモン）- β を含む 9 種類の神経ペプチドの発現パターンが異なっていた。

ホルモンによる末梢組織の代謝制御が起こっている可能性が示唆されたことから、IPA ソフトウェアに搭載されている予測ツールを用いて、肝臓および白色脂肪組織の遺伝子発現を制御すると思われる上流分子の抽出を行った。その結果、脂質およびコレステロール代謝を調節する SREBF-1 および SREBF-2 が N 群で上昇する可能性が示された。また、白色脂肪組織における血管新生シグナルが N 群で亢進していることが予想された。

神経系および代謝系関連分子の発現パターンが、群間で異なることが示唆されたので、内分泌系の変化を検証するために尿中の副腎髄質ホルモン（カテコールアミン）を測定した。尿中ノルアドレナリンが N 群で高かったことから、肝臓および脂肪組織の代謝系が甲状腺ホルモンとノ

ルアドレナリンとによって制御されていることが考えられた。N 群の食餌にはグルタミン酸を含む遊離アミノ酸、香辛料（ショウガオール等）および他の物質（メーラード反応生成物等）が含まれている。これらの味物質が視床下部一下垂体系を介して脂質ホメオスタシスに影響を与えたことが示唆された。

以上のように、本研究は、PFC バランス変化に伴う代謝変化の解明のみならず、即席麺の製法および栄養的価値に関する学際的追究まで踏み込んで実施したものである。第 2 章で提示した油脂含量の低いフライ麺は、消費者の健康維持に具体的に貢献する。また、第 4 章の内容は、即席麺およびそれに含まれる味物質の機能性を科学的に証明した製品研究であり、食品科学研究ならびに食品産業の発展の一助となることが期待される。