

高圧処理による食肉タンパク質の改質と物性改善

誌名	応用糖質科学：日本応用糖質科学会誌 = Bulletin of applied glycoscience
ISSN	21856427
著者名	西海,理之
発行元	日本応用糖質科学会
巻/号	7巻4号
巻号補足	
掲載ページ	p. 197-203
発行年月	2017年11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





食品高压加工
の基礎および
応用

高压処理による食肉タンパク質の 改質と物性改善

西海理之 (にしうみ ただゆき)
新潟大学大学院自然科学研究科教授



1. はじめに

加熱処理は、食品の保存・調理・加工のために太古から広く用いられてきた方法である。一方、食品への高压処理は1987年に初めて日本で提唱されたもので¹⁾、加工技術としてはまだ30年しかたっていない。しかしながら、非加熱的な食品加工 (non-thermal food processing) 技術の1つとして、数千気圧 (数百 MPa) の静水圧を利用する高压処理技術が注目されている。

高压処理の一番の特徴は、食品の大きさ、形状、成分などに依存せず、食品の中心にまで瞬時に圧力の効果が伝えられることである。また、加熱に比べて高圧力のエネルギーはとても低く、同等効果を期待した場合で加熱の約1/10以下のエネルギー消費と考えられ、しかも圧力保持中にはエネルギーがかからない²⁾。高压処理は、まだ一般にはなじみの少ない加工技術であるが、上記に加え、微生物の生育抑制・殺菌に役立つことに注目されて研究開発が進められ、さらには栄養分の損失や異臭・異常物質の発生がないことなどから、近年では保存料などの食品添加物をできるだけ減らしつつ賞味期限の延長を図るようなナチュラル志向食品への利用が進み、世界中で様々な高压加工食品が市販されている³⁾。また高压処理は、加熱と同様に、食品中のタンパク質や澱粉などの生体高分子の立体構造を変化させ、変性を誘導する。しかし、高压処理に伴う生体高分子の変性挙動は、分子運動の激化による変性を導く加熱処理とは異なる。食品素材を構成する生体成分、特に生体高分子といわれるタンパク質や多糖や脂質や核酸などは、水などの溶媒とともに非共有結合を使って立体的な全体構造を作っている。このような生体高分子に静水圧を施すと、系全体の体積を減らす方向に変化が起きるため、その立体構造が変化し、さらに圧力を増すと不可逆的に変性する⁴⁾。この原理はあらゆる食品・食品素材の物性や機能性に影響を及ぼし、例えば、澱粉の糊化・老化、食品の保水性・結着性・ゲル強度といった食感や物性の改良、さらには酵素反応の制御などに適用できるが、市販されている高压加工食品への利用例はまだ少ないのが現状である。

本稿では、食品加工への高压処理技術のさらなる利用性の発展を鑑み、高压処理によるタンパク質の変性・改質ならびにこれを応用した食品開発 (食品の高品質化) に関して、高タンパク質食品である食肉での成果を例に挙げて紹介する。

2. 高压処理による筋肉タンパク質の構造変化と食肉の軟化

2.1. 食肉の硬さ

私達が食べているお肉 (食肉) は、もとは牛や豚などの家畜の筋肉である。筋肉の約20%がタンパク質であり (赤身肉の場合、タンパク質以外のほとんどが水分)、タンパク質の大半はアクチンやミオシンなどの筋原線維タンパク質ならびにコラーゲンやエラスチンなどの結合組織タンパク質で、これらは生体内の条件では不溶性の構造物、すなわち筋線維と筋肉内結合組織を構築している。筋線維は筋肉の収縮装置そのもので、結合組織は筋線維を取り囲んで包むことで筋肉がばらけないように支持する組織である。したがって、生体内では不溶性の構造物を形成しているこれらの筋原線維タンパク質と結合組織タンパク質が食肉のテクスチャー (特に硬さ) を決定する因子であり、筋原線維に起因する硬さをアクトミオシンタフネス (actomyosin toughness)、結合組織に起因する硬さをバックグラウンドタフネス (background toughness) と呼ぶ。

食肉の硬さは様々な要因によって変化する。例えば、牛肉は硬く、鶏肉は軟らかいなど、家畜種によって食肉の硬さは異なる。また、同じ家畜種でも性別、年齢、餌や運動などの飼育方法などによっても食肉の硬さが異なってくる。さらに、食肉部位によっても硬さは異なり、ヒレ肉やロース肉は軟らかく、外モモ肉やスネ肉が硬いことは皆様もご存知であろう。これらにはアクトミオシンタフネスとバックグラウンドタフネスの両方が、程度の差はあるにせよ関わっており、筋線維が太く多い筋肉や結合組織が多いまたはコラーゲンの構造安定性が高い筋肉ほど、食肉が硬くなる傾向がある。

また、歳をとった家畜の食肉 (産卵能力が落ちてから食肉に回される産卵廃鶏とか、乳量が落ちたので食肉に回される乳廃牛肉など) や、放牧されて牧草などで飼育されたグラスフェッド牛 (輸入牛肉に多い) はとても硬くなるし、さらには、ロース肉やヒレ肉に比べて外モモ肉は硬いので、そのような硬い肉は日本の消費者にあまり好まれないために利用価値は低く、したがって価格も低く、利用されないで廃棄されることもある。このような硬い食肉を軟らかくするために、昔から様々な調理法、加工法が考えられてきた。調理前の食肉のスジ切りや肉叩きなどの物理的処理、果物の果汁や味噌などに予め肉を漬けて肉を軟らかくする方法などは、一般にもよく用いられている。後者の方法は、果物に含まれるまたは微生物が生産する様々なタ

ンパク質分解酵素 (プロテアーゼ) の利用であるが、軟化程度を制御することや選択的軟化が非常に難しく、したがって、うまくいかないと食肉がボロボロになってしまったりする。この他、化学的処理として食塩、ベーキングパウダー (重曹) やリン酸塩を用いて筋肉タンパク質の溶解性を高める方法や筋肉内在性プロテアーゼであるカルパインの活性化を誘導するカルシウム溶液の利用などもある。高圧処理も食肉軟化法の1つである。

一方、死後の経過時間に伴っても食肉の硬さは変化する。と畜直後の食肉は軟らかいが、死後数～十数時間経つと死後硬直に入って肉質は硬くなり、保水性も低下する。死後硬直を経た食肉をさらに低温で一定期間貯蔵すると肉質は軟らかくなり、加えて味や香りに寄与する成分が生成されるので、食肉としてのおいしが増す。アクトミオシンタフネスに関して言えば、筋原線維のアクチンフィラメントとミオシンフィラメントが強く結合することで筋線維が収縮すると、食肉は硬くなる。生きていたときの筋肉ではアクチンフィラメントとミオシンフィラメントの結合はすぐに解除されるので、筋肉は弛緩状態で軟らかい状態にある。しかし、と畜後数時間で筋肉中のATPが消費されてしまうと、アクチンフィラメントとミオシンフィラメントは強く結合したまま解離することはできず (硬直結合)、強く収縮する (死後硬直)。その後さらに時間が経過すると、ゆっくりと硬直が解けてきて (解硬) 軟らかくなる。このままではまだ風味に乏しいので、その後1°C前後で数日から数週間、熟成する。私達が食べている肉は、この熟成した食肉である。解硬ならびに熟成には筋肉内在性プロテアーゼによる筋原線維タンパク質構造の破壊によるところが大きい。牛肉ではおおむね1～2週間程度 (豚肉では約5～7日間) かかるこの熟成期間を、高圧処理技術で短縮することが可能である。

2.2. 高圧処理による食肉の熟成促進と軟化

通常の、食肉の熟成に伴う軟化は、(1) Z線の脆弱化、(2) アクチンフィラメントとミオシンフィラメントの解離、(3) ミオシンフィラメントとZ線をつなぎ止めているコネクチンの分解といった筋原線維構造の脆弱化に加え、(4) 筋肉内結合組織の脆弱化に起因している。一方、圧力はタンパク質の構造を変化させ、さらに高圧で処理すると、多量体構造の解離やタンパク質分子の変性を誘導する。高圧処理による筋肉タンパク質の構造変化とそれに伴う軟化機構 (食肉の熟成促進) については、鈴木と池内らのグループなどにより説明され、詳しい総説⁹⁶⁾もあるので、ここでは簡単に述べる。

高圧処理による食肉の軟化機構は、厳密には熟成軟化機構とは異なるが、基本的には熟成中の変化と同様な変化、すなわちZ線の脆弱化、アクチンフィラメントとミオシンフィラメントの解離、コネクチンの分解などの筋原線維構造の脆弱化、ならびに結合組織の脆弱化が認められる。この中で、アクチンフィラメントとミオシンフィラメント

の解離に及ぼす高圧力の影響は、熟成機構とは大きく異なり、重合してフィラメントを形成しているアクチン (F-アクチン) が、高圧処理でアクチン分子の立体構造が変わり、アクチンモノマー (G-アクチン) へと脱重合し、アクチンフィラメントが崩壊することによる⁷⁾。また、カルパイン、カテプシン、プロテアソームといった筋肉内在性プロテアーゼは高圧処理で失活することではなく、むしろ適切な圧力条件下では酵素活性が上昇すると共に、基質となる筋肉タンパク質が高圧処理で変性するので、筋肉タンパク質の分解が促進される⁸⁻¹⁰⁾。さらには、細胞小器官であるリソソームや筋小胞体の膜組織が100～150 MPa以上の高圧力で脆弱化・破壊される。その結果、リソソーム内に格納されていた各種分解酵素、特に酸性プロテアーゼであるカテプシンがリソソームから細胞質内さらには細胞質外へと移動する。また、筋小胞体膜の破壊によって筋小胞体内に蓄えられていたカルシウムイオンが漏出して細胞質内のカルシウムイオン濃度が上昇し、カルパイン (カルシウムイオンで活性化されるプロテアーゼ) が活性化される⁹⁾。以上のように、高圧処理によって筋肉構成タンパク質の構造変化、膜構造の破壊、筋肉内在性プロテアーゼの活性化などが複雑に絡まり合って筋原線維が断片化しやすくなり、筋線維も破断しやすくなる (すなわち、食肉は軟らかくなる) と考えられている。

2.3. 高圧処理による筋肉内結合組織の脆弱化

筋肉内結合組織は、食肉の熟成中では非常にゆっくりと脆弱化する¹²⁾が、高圧では5～10分間の処理で脆弱化する¹³⁾。結合組織は、主としてコラーゲン線維や弾性線維などで作り上げられている非常に強固な組織で、筋肉中では筋内膜 (1本の筋線維を取り囲む薄い膜)、筋周膜 (筋線維の束を束ねるやや厚い膜)、そして筋上膜 (筋肉全体を覆う非常に厚い膜) を構築する。コラーゲン線維は加齢とともに強靱になるので、特に歳をとった家畜の肉が硬い原因となる。また、スネ肉やモモ肉が硬いのも、スジ (=結合組織) が多いためである。結合組織のタンパク質は物理的にも化学的にも安定な構造体を作り上げていて、また、コラーゲン線維は加熱すると急激に収縮してさらに硬くなってしまうので、スジが多くて硬い肉を軟らかくするには、刃物でスジ切りをするか、有機酸や強力な酵素液で長時間漬け込んだ後に調理するか、または圧力鍋のような調理器具で100°C以上に沸点を上げて煮込むくらいしか方法がなく、したがって、コストに見合った簡便な加工技術の発展が望まれている。

硬い牛肉に高圧処理を施すと、300～400 MPa、5～10分間 (室温) の処理で牛肉は軟化する。牛肉から結合組織だけを単離して高圧処理をしても同様の条件で軟化した¹³⁾。また、豚肉でも同様の条件で軟化した。では、高圧処理に伴う筋肉内結合組織の脆弱化には何が起因しているのだろうか? 前述したように、筋肉内結合組織の主要成分はコラーゲンで、コラーゲンはコラーゲン線維を形成して硬さ

の原因となる。コラーゲンの加熱溶解性を調べると、高压処理に伴って確かに熱安定性が低下していた。電気泳動で調べたところ、高压処理に伴うコラーゲン分子の分解は認められず、また、筋肉内在性プロテアーゼによるコラーゲンの分解を示す結果も得られなかった。一方、筋内膜や筋周膜のコラーゲン線維網の構造を電子顕微鏡で観察すると、蜂の巣状をした筋内膜構造にやや脆弱化が認められること、ならびに筋周膜のコラーゲン線維シートの崩壊が著しかった(図1)。以上の結果に加え、コラーゲン分子構造の解析や様々な生化学分析結果から考えると、高压処理による筋肉内結合組織の軟化機構は、食肉の熟成による軟化機構とは異なることが推測された。すなわち、高压処理は筋肉内コラーゲンの分解や分子の不可逆的変性を引き起こすのではなく、コラーゲン会合体を解離する方向に働き、コラーゲン線維のほぐれやコラーゲン線維ネットワーク構造の脆弱化によるものであることが示唆された。

コラーゲン線維の表面にはデコリンというプロテオグリカンが存在する。デコリンはコラーゲン線維表面のコラーゲン分子に結合し、隣接するコラーゲン線維と相互作用することでコラーゲン線維構造の安定化に寄与する¹⁴⁻¹⁷⁾。したがって、高压処理によってデコリンコアタンパク質の立体構造が変化もしくは変性してデコリン分子がコラーゲン線維から遊離することが、上述のようなコラーゲン線維のほぐれやコラーゲン線維ネットワーク構造の脆弱化を引き起こすことが予想され、その解明に向けて研究を進めているところである。現在のところ、デコリン分子の立体構造は300~400 MPaの高压処理で変化し、特にコラーゲン分子との結合領域の1つであるデコリンコアタンパク質のC末端領域での三次構造の変化が大きいことなどを見出し^{18,19)}、今後はさらに詳細なデコリン分子の構造変化とデコリン-コラーゲン相互作用の変化について検討する予定

である。

3. 重曹・高压併用処理を用いた食肉加工品の物性改善技術の開発

これまでに述べてきたように、通常10~14日間の低温貯蔵(熟成)で軟化しておいしくなる牛肉は、高压処理ではわずか5~10分間の処理で大きな軟化を達成できる。しかし食肉は、通常、食べるときに加熱調理されるので、そのときに筋線維などが大きく収縮・凝固するため硬くなり、高压力の効果が低下してしまう。高压処理肉は加熱後も有意に軟らかいが、その程度は大きくても30%程度で、比較対照品なしで食べても軟らかいと感じてもらうためには、半分以下まで軟らかくすることが必要となる。一方、中華料理における食肉の調理法の1つに、ベーキングパウダーを水に溶解したものに食肉を浸漬して軟化効果を与えることも知られている。これは、ベーキングパウダーに含まれる重曹が水に溶解してアルカリ性を示し、タンパク質の水和が増加することで起こると考えられている。実際、重曹濃度が高くなるにつれて牛肉や豚肉の軟化が促進されるという報告がある²⁰⁾が、加熱すると食肉内に空隙ができて組織が荒くなり、食感や風味が悪くなる。そこで、高压処理と重曹処理の併用によってこれらの欠点を克服し、硬くて利用性の低い豚外モモ肉を、加熱後も軟らかく組織が緻密で、保水性が高くてしっとりした食肉に改善する技術を開発した²¹⁻²³⁾。以下に、本技術を非常に硬いグラスフェド輸入牛肉の品質向上に適用し、レトルトビーフへの応用を検討した例を紹介する。

3.1. グラスフェド輸入牛肉の品質向上

牛肉の日本国内の消費は国産牛肉(和牛肉も含む)と輸入牛肉に大別され、肉質、価格、ニーズそれぞれに差異が見られる。現在、日本国内で消費される牛肉の約60%が輸入牛肉であり、豪州産、次いで米国産が最も多い。国産牛は穀物主体の餌で肥育されるので軟らかく、長期間肥育すると食肉中にサシ(霜降り)が入りやすい。一方、輸入牛肉は赤身が多くヘルシーさを売りにしており、穀物主体で肥育されチルドで輸入される牛肉(USビーフの大半とオーギービーフの一部)の品質は悪くはないが、粗飼料主体で肥育され冷凍で輸入される牛肉(グラスフェド輸入牛肉)の肉質は極めて硬く、特にその外モモ肉は硬すぎて精肉としての利用価値は非常に低い。また、グラスフェド輸入牛肉の色調も暗赤色と極めて悪いことが、その利用価値を低めている。畜産物の有効利用を考える上でも、また、安価で赤身の多い牛肉の有効利用を図る上でも、グラスフェド輸入牛肉の品質向上技術(軟化および色調の改善)の開発が強く望まれている。したがって、このような利用価値の低い輸入牛肉に対しても物性改善効果があるかどうかを確認するため、豪州産グラスフェド牛外モモ肉に重曹・高压併用処理を施し、テクスチャーなどの物性、官能

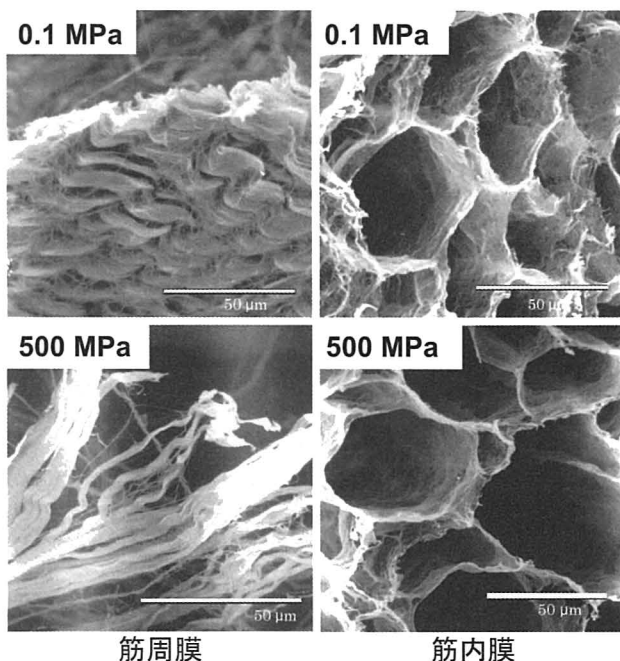


図1. 高压処理に伴う筋肉内結合組織の構造変化

特性、色調、ならびに保存性について検討した。

物性に関する検討の結果、輸入牛肉でも、豚外モモ肉に対する効果と同様に、重曹・高圧併用処理によって、水分含量の増加、重量減少の抑制と50%以上の高い軟化効果が得られた(図2)²⁴⁾。特に最も効果が認められた条件は、0.4 M 重曹処理後、300~400 MPa で10分間の高圧処理であった。

輸入牛肉は国産牛肉に比べて生肉の色調がとても暗いことが欠点となっている。加熱後はどちらも褐色になって差異はないが、牛肉は精肉として販売されることが大半であるので、生の肉の色調は消費者の購入・消費意識に極めて大事になってくる。図3に輸入牛の生肉の外観写真を掲載したが、重曹処理のみでは色調がさらに暗くなった一方で、重曹・高圧併用処理によって輸入牛肉の色調が改善され、特に300 MPa の高圧処理では輸入牛肉でも国産牛肉と同程度の好ましい色調にまで改善された。また、色彩差計を用いて牛肉表面の明度、赤色度、黄色度を測定したところ、重曹処理は牛肉表面の明度および黄色度を低下させる結果、肉色は暗くなった。対して高圧処理は、300 MPa 以上で明度と黄色度の上昇と赤色度の低下をもたらした、肉色の白色化を引き起こした。しかしながら、重曹処理と300 MPa 程度の高圧処理とを併用することでこの白色化が抑えられ、輸入牛肉の色調を国産牛肉と同様にまで改善することができ、且つ低温貯蔵中も長くその色調を保つことができた^{24,25)}。したがって、重曹・高圧併用処理技術は、硬くて利用性の低いグラスフェド輸入牛肉に対しても品質改善効果が期待でき、低利用牛肉の消費拡大とコスト効果の向上に結びつくと思われる。

3.2. レトルトビーフへの応用にむけて

レトルト食品は、わが国の市場には1968年に登場してから、軽量で取り扱いやすく、容器の廃棄処理も容易であることなど、手軽に利用しやすい特徴が現代の日本の食生

活ニーズにマッチしたことから、生産量が急激に増加し、現在では約37万トンに達している。世界最大の生産・流通国となっている。しかしながらレトルト処理は、長期室温保存のために徹底的殺菌を主目的にしているため、過加熱(通常は120~140℃, 5~30分間の加熱)処理による食品や食品成分へのダメージが大きく、例えば食材の煮崩れや煮溶け、テクスチャーの劣化、風味の損失、レトルト臭の付加、栄養素の損失などの欠点も有する。レトルトビーフにおいても、過加熱によって肉塊がばらばらになり、残った肉塊も筋線維が収縮して通常よりも硬くパサパサとした食感になってしまう。この過酷なレトルト処理後においても重曹・高圧併用処理肉がその特長を維持できるかを検討するため、極めて硬い輸入牛肉を用いたレトルトビーフカレーへの応用を目指し、レトルト牛肉の品質改善に及ぼす高圧処理ならびに重曹処理の影響を検討した^{26,27)}。

ビーフカレー調製後にレトルト処理することを想定し、各種条件を予備検討した結果、0.4 M 重曹・300 MPa 高圧処理が最適条件であった。そこで、豪州産グラスフェド牛外モモ肉を用い、未処理肉(Co)、0.4 M 重曹処理肉(Ct)、300 MPa 高圧処理肉(Po)、0.4 M 重曹・300 MPa 高圧併用処理肉(Pt)の4種の試料肉のレトルト処理後の物性等を検討した。物性測定には、山電社製のクリープメーター(RE 2-33005 B)を用いた破断応力、剪断応力および圧縮応力測定のほか、水分含量およびクッキングロスの測定、ならびにテクスチャーおよび嗜好性官能評価を行い、また長期保存後の物性ならびに一般生菌数も検討した。なお、破断応力の測定はユニバーサルデザインフードの規格²⁸⁾に準じ、剪断応力は筋線維の硬さ、圧縮応力は肉塊のほぐれやすさの指標とした。

レトルト処理後の4種の試料肉の破断応力(硬さ)とクッキングロス(歩留り)との間には相関関係が認められ、未処理肉(Co)に比べて各処理肉はレトルト処理後も

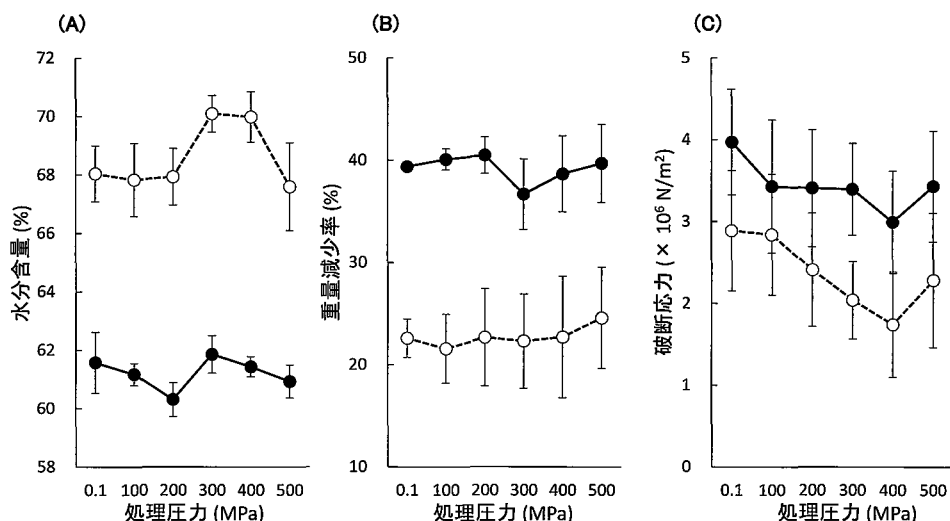


図2. 輸入牛肉の水分含量 (A), 重量減少率 (B), および破断応力 (C) に及ぼす重曹処理ならびに高圧処理の影響

●, 未処理加熱牛肉; ○, 重曹処理加熱牛肉。

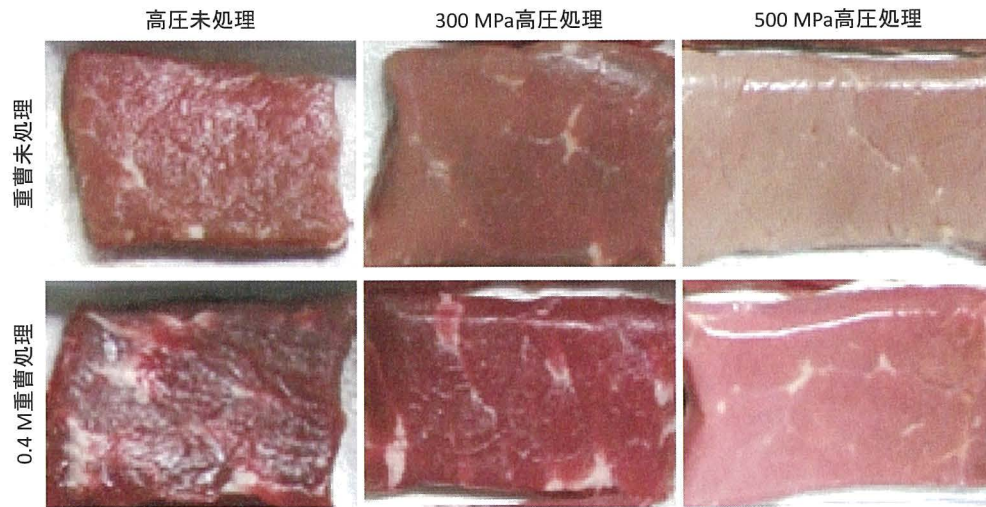


図3. 輸入牛肉の表面色に及ぼす重曹処理ならびに高圧処理の影響

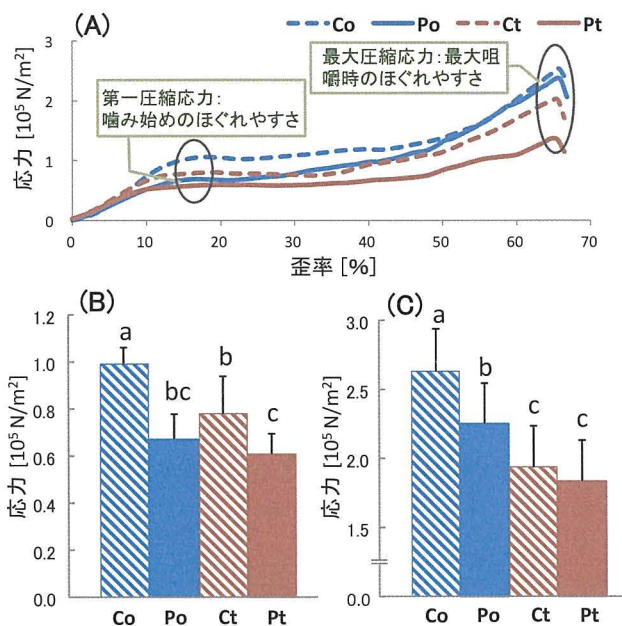


図4. 重曹・高圧併用処理によるレトルト牛肉のほぐれやすさの向上

(A) 応力-歪み曲線. 第一圧縮応力を噛み始めのほぐれやすさ, 最大圧縮応力を最大咀嚼時のほぐれやすさとした. (B) 第一圧縮応力. (C) 最大圧縮応力. Co, 未処理; Po, 高圧処理のみ; Ct, 重曹処理のみ; Pt, 重曹・高圧併用処理. ^{a,b,c} $P < 0.05$.

良い物性値を示したが、特に重曹高圧肉 (Pt) は、レトルト処理を行った後でも充分軟らかく、レトルト処理に伴うクッキングロスも極めて低かった²⁶⁾。水分含量およびクッキングロスの詳細な検討から、重曹処理は加熱時の牛肉からの肉汁の流出を抑制し、一方高圧処理はレトルト処理による過加熱時の肉汁の流出を抑制することが示された²⁷⁾。剪断応力および破断応力測定から、重曹処理よりも高圧処理で筋線維の脆弱化効果が大きい一方で、結合組織あるいは筋線維の変性・癒着は重曹処理の方でより大きかった。また、圧縮応力の測定 (図4) から、噛み始めのほぐれやすさ (第一圧縮応力) には高圧処理の影響が大きく、最大咀嚼時の食肉のほぐれやすさには重曹処理、高圧処理が共に影響し、重曹・高圧併用処理牛肉はレトルト後でも最も咀嚼しやすい物性を有することが示された²⁷⁾。レトルト

ビーフの官能評価においても、重曹・高圧併用処理牛肉から調製したレトルトビーフは軟らかくジューシーであり、口の中に肉の残渣が残らず (残留感がなく) 飲み込みやすいと評価された。また、咀嚼から嚥下までの筋電位測定からも、重曹・高圧併用処理牛肉から調製されたレトルトビーフは、軟らかくてしかも口中でのまとまりが良く、咀嚼・嚥下しやすい牛肉であることが示された (図5)。一方、長期保存性の検討から、重曹・高圧併用処理レトルトビーフは2年間の保存後も水分の損失が全くなく、軟化効果も大きかった。さらに、レトルト処理後の長期保存による微生物の増殖や汚染・変敗も全く認められなかった。

以上のことから、レトルト処理の前処理として重曹・高圧併用処理技術を用いると、レトルトビーフの軟化や保水性の向上が達成され、その結果として食感の向上に繋がることが期待される。

4. おわりに

高圧食品加工技術は、様々な食品加工技術の中ではまだほんの駆け出しではあるが、加熱をせず瞬時・均一的に食品にその効果を伝えることができるので、多くの可能性を秘めている加工技術だといえよう。高圧処理はタンパク質の構造変化を引き起こし、それがタンパク質間相互作用や酵素活性などを変化させ、最終的には食品の物性を変化させる (高圧物性変換技術)。この物性変換技術は、ゲル化や軟化をはじめタンパク質食品の物性改善と食品の高付加価値化に資する技術となる。また、高圧力単独では不十分でも、他の技術と複合すれば (本稿の場合、重曹と高圧力の併用処理)、食品の高付加価値化に繋がる可能性は高い。

世界の高圧加工食品の売り上げは2016年で110億米ドルにも上り、続々と (特に海外で) 新たな商品販売が展開していることから、2026年までには430億米ドルに増えると予想されている²⁸⁾。食肉製品関係はそのうちの約1/3を占めているが、ほぼ全てが加熱製品の包装後の二次殺菌 (加工調理済製品の非熱的殺菌) 目的であり、保存料

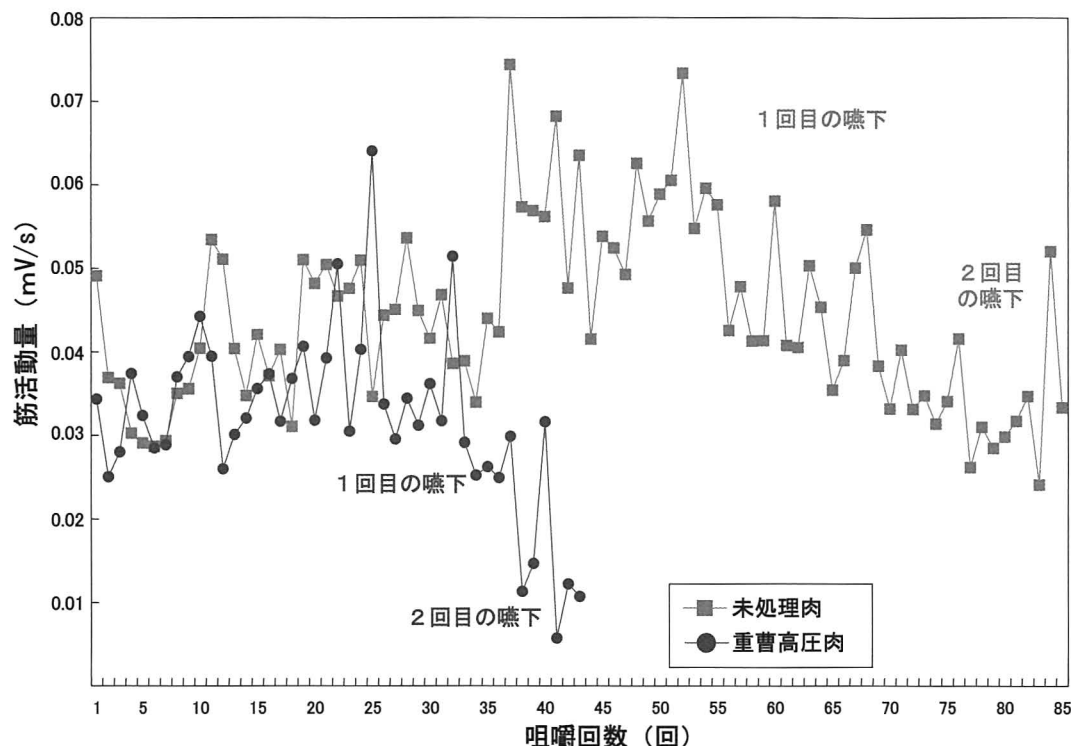


図5. レトルト牛肉の咀嚼・嚥下までの筋活動量の変化

無添加で賞味期限を延ばす目的で利用されている。食品包装機器メーカー大手の MULTIVAC 社は、包装工程の後ろに 600 MPa 高压装置を組み込んだ HPP パッケージライン装置を販売し始め、高压処理で二次殺菌した食肉製品の流通がこれからの欧米諸国では当たり前になるのかもしれない。一方で、本稿で述べたような高压物性変換技術を用いた高压加工食肉製品は未だ市場で注目されていないようなので、日本発の高压食品加工技術の新たな実用化展開の1つとしてさらに磨きをかけ、世界へ発信してゆく必要がある。

重曹・高压併用処理技術は、食肉の食感や物性の改善(特に軟化と保水性の向上)には肉種を選ばずに効果が認められ、さらには高压処理時の圧力強度ならびに重曹濃度や重曹インジェクション量により任意に物性値を調節できる技術である。また、冷凍保存やレトルト処理などの食品にとって過酷な条件でもその効果は失われないので、様々な商品形態や業種に対応できる技術だと思われる。食肉は栄養機能的に重要な食品であると共に、もとは家畜の筋肉であり、私達は「いのち」をいただいている。そのため、家畜から生産される畜産物を有効に利用していくことを考えなくてはならない。また、低塩化・低脂肪化・低添加剤化や栄養・機能性の付加など、消費者の健康志向や安全安心に応えるような食品の開発が可能技術を考えなくてはならない。重曹・高压併用処理技術もその技術の1つの柱として、今後は、食品企業等との共同研究などを通して本技術の普及を図ることに加え、本技術の学術的な裏付けやメカニズム解明にもさらに取り組んでいきたい。

なお、本研究の成果の一部(特に実用化研究成果)は、2008年から2012年にかけて実施された(独)科学技術振興

機構の補助による新潟県地域結集型研究開発プログラム「食の高付加価値化に資する基盤技術の開発」の1つの分野として行った研究の成果である。この地域結集型研究開発プログラムにより、高压食品加工技術の開発が加速的に進み、この他にも数多くの技術が開発された。本プログラム成果の一部は、2013年発行の「進化する食品高压加工技術—基礎から最新の応用事例まで—」や2015年発行の「高压バイオサイエンスとバイオテクノロジー」などにも記載されているので、興味ある方は参照して欲しい。

文献

- 1) 林 力丸：調理・加工・殺菌・保蔵への高压利用の可能性。食品と開発, **22**, 55-62 (1987)。
- 2) 笹川秋彦：食品と高压科学。高压力の科学と技術, **17**, 230-237 (2007)。
- 3) 山本和貴：食品高压加工の最新動向(第1回)食品高压加工の動向—関連科学技術の進展—。食品と容器, **56**, 540-549 (2015)。
- 4) 谷口吉弘：タンパク質と高压力。「新しい高压力の科学」, 毛利信男編, 講談社サイエンティフィク, 東京, pp. 244-264 (2003)。
- 5) 鈴木敦士：筋肉から食肉への変換および超高压によるその制御。日食科工誌, **49**, 749-756 (2002)。
- 6) 池内義秀, 吉岡慶子, 鈴木敦士：食肉加工分野への高压利用をめぐる最近の情勢。高压力の科学と技術, **16**, 17-25 (2006)。
- 7) Y. Ikeuchi, A. Suzuki, T. Oota, K. Hagiwara, R. Tatsumi, T. Ito, and C. Balny: Fluorescence study of the high pressure-induced denaturation of skeletal muscle actin. *Eur. J. Biochem.*, **269**, 364-371 (2002)。
- 8) K. Kim, Y. Homma, Y. Ikeuchi, and A. Suzuki: Effect of high hydrostatic pressure on the conversion of α -connectin to β -connectin. *J. Biochem.*, **114**, 463-467 (1993)。
- 9) N. Homma, Y. Ikeuchi, and A. Suzuki: Effects of high pressure treatment on the proteolytic enzymes in meat. *Meat Sci.*, **38**, 219-228 (1994)。
- 10) S. Jung, M. de Lamballerie-Anton, R.G. Taylor, and M. Ghoul:

- High-pressure effects on lysosome integrity and lysosomal enzyme activity in bovine muscle. *J. Agric. Food Chem.*, **48**, 2467–2471 (2000).
- 11) S. Yamamoto, Y. Otsuka, G. Borjigin, K. Masuda, Y. Ikeuchi, T. Nishiumi, and A. Suzuki: Effects of a high-pressure treatment on the activity and structure of rabbit muscle proteasome. *Biosci. Biotechnol. Biochem.*, **69**, 1239–1247 (2005).
 - 12) T. Nishiumi: Intramuscular connective tissue: its relation to meat texture and postmortem alterations. *Recent Res. Dev. Agric. Food Chem.*, **3**, 159–179 (1999).
 - 13) S. Ichinoseki, T. Nishiumi, and A. Suzuki: Tenderizing effect of high hydrostatic pressure on bovine intramuscular connective tissue. *J. Food Sci.*, **71**, E 276–E 281 (2006).
 - 14) I.T. Weber, W.R. Harrison, and R.V. Iozzo: Model structure of decorin and implications for collagen fibrillogenesis. *J. Biol. Chem.*, **271**, 31767–31770 (1996).
 - 15) G.D. Pins, D.L. Christiansen, R. Patel, and F.H. Silver: Self-assembly of collagen fibers. Influence of fibrillar alignment and decorin on mechanical properties. *Biophys. J.*, **73**, 2164–2172 (1997).
 - 16) K. Kuwaba, M. Kobayashi, Y. Nomura, S. Irie, and Y. Koyama: Size control of decorin dermatan sulfate during remodeling of collagen fibrils in healing skin. *J. Dermatol. Sci.*, **29**, 185–194 (2002).
 - 17) D.M. Elliott, P.S. Robinson, J.A. Gimbel, J.J. Sarver, J.A. Abboud, R.V. Iozzo, and L.J. Soslowsky: Effect of altered matrix proteins on quasilinear viscoelastic properties in transgenic mouse tail tendons. *Ann. Biomed. Eng.*, **31**, 599–605 (2003).
 - 18) T. Komoda, Y.-J. Kim, A. Suzuki, and T. Nishiumi: A scanning fluorescence spectroscopy of decorin under high pressure. *High Pressure Res.*, **33**, 336–341 (2013).
 - 19) T. Hosono, Y. Otake, T. Komoda, T. Sugiyama, and T. Nishiumi: Isolation and purification of decorin from bovine skeletal muscle and its structural changes under high pressure. *Bull. Fac. Agric. Niigata Univ.*, **67**, 43–49 (2014).
 - 20) 高橋智子, 齋藤あゆみ, 川野亜紀, 朝賀一美, 和田佳子, 大越ひろ: 牛肉, 豚肉の硬さおよび官能評価におよぼす重曹浸漬の影響. 家政誌, **53**, 347–354 (2002).
 - 21) 金 娟廷: 食肉の加工方法並びに加工食品. 特開 2011–83228, 2011–04–28.
 - 22) 金 娟廷, 西海理之, 森岡 豊, 小齊喜一, 小林 篤, 山崎 彬, 大越ひろ, 鈴木敦士: 重曹・高圧併用処理豚そともも肉から調製した「とんかつ」の物性およびおいしさの検討. 食肉の科学, **53**, 150–154 (2012).
 - 23) Y.-J. Kim, T. Nishiumi, S. Fujimura, H. Ogoshi, and A. Suzuki: Combined effects of high pressure and sodium hydrogen carbonate treatment on pork ham: improvement of texture and palatability. *High Pressure Res.*, **33**, 354–361 (2013).
 - 24) S. Ohnuma, Y.-J. Kim, A. Suzuki, and T. Nishiumi: Combined effects of high pressure and sodium hydrogen carbonate treatment on beef: improvement of texture and color. *High Pressure Res.*, **33**, 342–347 (2013).
 - 25) 渡邊ゆい, 大沼 俊, 金 娟廷, 鈴木敦士, 西海理之: 低温貯蔵中の牛肉の色調の安定性に及ぼす重曹および高圧処理の影響. 「高圧バイオサイエンスとバイオテクノロジー」, 野村一樹, 藤澤哲郎, 岩橋 均編, 三恵社, 名古屋, pp. 31–37 (2015).
 - 26) 金 娟廷, 西海理之: 肉の軟化技術. 「進化する食品高圧加工技術—基礎から最新の応用事例まで—」, 重松 亨, 西海理之監修, エヌ・ティー・エス, 東京, pp. 119–131 (2013).
 - 27) 筒木啓悟, 後藤美咲, 渡邊ゆい, 西海理之: 高圧処理ならびに重曹処理がレトルト牛そともも肉の物性と嗜好性に与える影響. 高圧力の科学と技術, **24 Suppl.**, 252 (2014).
 - 28) 藤崎 享: 3 物性規格 (ユニバーサルデザインフード). 「高齢者用食品の開発と展望」, 大越ひろ, 渡邊 昌, 白澤卓二監修, シーエムシー出版, 東京, pp. 109–114 (2012).
 - 29) E. Raghubeer (山本和貴訳): 食品高圧加工の最新動向 (第18回) 食品・飲料業界で伸びゆくニーズに応える高圧加工システム. 食品と容器, **58**, 214–218 (2017).