

平成 25 年度 厚生労働科学研究費 食品の安全確保推進研究事業
畜産食品の安全性確保に関する研究（H25-食品-一般-011）

総括研究報告書

研究代表者 岡田由美子 国立医薬品食品衛生研究所 食品衛生管理部

研究要旨

現在わが国の畜産食品は、これまで生食されなかったものが生食されるなど、食文化が多様化してきている。しかしながら、畜産物の生食は腸管内の微生物や寄生虫等による食中毒の危険性が高く、近年、食中毒事例が頻発していることから、畜産物の生食による食中毒を未然に防止するための畜産物中の食中毒菌の検査手法や除去方法を提供する必要がある。本研究では、腸管出血性大腸菌などの細菌と生食でしばしば問題となる寄生虫を主な危害の対象として、動物の食肉や内臓肉を生で食することのリスクについて、牛、馬、豚等について検討した。

まず、動物の食肉や内臓肉を生で食する実態について、情報収集を行い、これらを生食することのリスクについて危害分析を行った。現在生食が禁止されている牛の肝臓については、腸管出血性大腸菌や腸内細菌科細菌がどのように汚染するかについて明らかにした。また、我が国における畜産食品を原因とする寄生虫性食中毒の発生実態について調査を行い、馬肉による寄生虫性食中毒の実態を明らかにした。

次に本研究班では、畜産食品中の病原微生物を生食の可能なレベルまで削減する方法について3つの手法を用いて検討した。第一に、海外で食肉に用いられている放射線殺菌法が牛肝臓に対しても有効であるかの検証を開始し、有効性が認められる条件を明らかにすると共に、処理によって発生する臭気の原因物質について解析した。第二に、人工的に注入した O157 の塩素系消毒薬と凍結融解による殺菌法の検討を行った。また、高圧処理による殺菌方法についても検討し、微生物削減に有効な処理条件を明らかにすると共に、処理による牛肝臓実質の変化についても解析を行った。

分担研究者：
等々力 節子 独）農研機構 食品総合研
究所

山崎 伸二 大阪府立大学大学院
鎌田 洋一 岩手大学

五十君静信 国立医薬品食品衛生研究所

研究協力者：

川崎 晋 独）農研機構 食品総合研
究所

都築和香子 独)農研機構 食品総合研究所

日根野谷淳 大阪府立大学大学院

白藤由紀子 岩手大学

荻原 博和 日本大学

鈴木 穂高 国立医薬品食品衛生研究所

A. 研究目的

平成 23 年に我が国で起きた食肉の生食による腸管出血性大腸菌による集団食中毒事件をきっかけに、畜産食品を生食することの危険性が広く再認識され、食の安全を確保するため、生食用牛肉の加工基準の設定及び牛肝臓の生食禁止という行政措置が実施された。一方で、豚肝臓の生食の増加、ジビエと呼ばれる野生鳥獣肉の喫食が増加しつつあり、これまでとは異なる健康被害の可能性が高まっている。また、牛肝臓の生食の安全性を確保することにより、規制の解除を求める声も高まっている。本研究では、食肉及び内臓肉を生で食することによるリスクを明らかにすることを目的として、諸外国における食肉の生食実態の調査や、国内での牛の消化管部位における毒素産生性大腸菌による汚染実態調査、畜産食品を原因とする寄生虫性食中毒の発生実態に関する調査等を行った。更に、畜産食品を汚染する食中毒菌を低減することを目的として、放射線照射、消毒薬による殺菌及び高圧殺菌の3つの手法を用い、その効果及び問題点について科学的に検討した。

B. 研究方法

(1) 諸外国における食肉の生食実態調査

海外においてどのような種類の食肉が生食されているか、また、それらによる健康被害の発生状況について、株式会社三菱総合研究所への委託調査を実施した。調査は、インターネットを通じて生食料理実態及びそれらによる健康被害実態について行うと共に、PubMed 等による文献調査、更に各国大使館への電話及び書面送付を通じて実施した。

(2) 牛の各種消化管部位における志賀毒素産生性大腸菌 (STEC) 汚染実態調査及び牛胆汁、肝臓内の細菌汚染実態調査

屠畜解体直後に採取した舌、第一胃内容物、十二指腸、十二指腸内容物、盲腸、盲腸内容物、肛門、肛門内容物、胆嚢、肝臓、唾液及び胆汁を 37°C、18 時間、浸透培養し、100°C、10 分間の加熱処理後、10、000 g、5 分間の遠心分離で得られた上清を鋳型 DNA として、*stx* 遺伝子の検出を PCR 法により行った。胆汁と肝臓内の腸内細菌科細菌数については、ストマッカー処理した肝臓検体及び胆汁をそれぞれ滅菌 PBS で 10⁸ 倍まで 10 倍段階希釈し、マッコンキー寒天培地で 37°C、18 時間培養して細菌数を算出した。牛肝臓内の細菌汚染部位の同定は、ホルマリン固定した牛肝臓をパラフィンで包埋後、切片を作製し、ヘマトキシリン・エオジン (HE) 染色後、顕微鏡による観察で実施した。

(3) 畜産食品を原因とする寄生虫性食中毒の発生実態調査

厚生労働省監視安全課食中毒被害情報管理室より、「その他」が原因物質となっている食中毒事例について情報の提供を受け、それらの原因物質について、2003年からの10年間を解析した。

(4)放射線照射による牛肝臓からの微生物除去及び副生成物の検討

牛肝臓及び牛挽肉試料に、人工的に *Escherichia coli* O157 DT66 株 (*stx-1*, 2 陰性) 及び *Salmonella* Enteritidis (IFO3313) を接種し、線照射による殺菌効果について、照射温度(冷蔵・冷凍)及び包装条件を変えて検証を行った。また、照射による牛肝臓における脂肪酸組成の変化を GC で、2 - アルキルシクロブタノンの生成を GC-MS で、臭気成分の探索を臭い嗅ぎ GC 及び GC-MS を用いて実施した。

(5)人工的に注入した O157 の塩素系消毒薬と凍結融解による殺菌法の検討

調整した腸管出血性大腸菌 O157:H7 菌液 50 mL を 50 mL のプラスチックシリンジを用いて左肝管から肝臓内に注入した。注入後 37°C で約 30 分間静置した後、2000 ppm の塩素系消毒薬、約 500 mL を注入し胆管内を洗浄した。処理後の肝臓を無菌的に切り出し、液体窒素で急速冷凍後、-30°C で約 24 時間放置した。凍結した肝臓を氷水に浸し融解後、ストマック処理を行い、セフィキシムとテルライトを含むソルビトールマッコンキー (CT-SMAC) 寒天培地に植菌し O157 の菌数を調べた。

(6)高圧処理による牛肝臓中の *E. coli* の不活化に関する検討及び高圧処理による牛肝臓の変質に関する検討

牛肝臓に *E. coli* ATCC25922 株を人工的に接種し、HPV-80C20-S (スギノマシン社製)を用いて、処理圧力 200、300、400、500MPa で 10 分間の高圧処理を行った。処理後、PCA 培地による生残菌数の計測と *E. coli* の選択培地である XMG 培地を用いて発育した青色の集落を計測した。処理を行った肝臓については色調計で色調の変化を測定すると共に、硬度の確認を行った。更に、ホルマリン固定及びパラフィン包埋後、病理切片を作成し、HE 染色により光学顕微鏡による肝臓の構造変化について解析した。

C. 研究結果

(1)諸外国における食肉の生食実態及び健康被害調査

インターネットを通じた調査の結果、牛肉の生食料理はタイ、韓国、トルコ、フランス、イタリア、チェコ、エチオピアに存在していることが明らかとなった。豚肉の生食料理はドイツ、羊の生食料理はレバノン、馬はフランスで生食されていた。それらによる健康被害は、フランス(牛及び馬)、ドイツ(豚)、オランダ(牛)、トルコ(牛)、韓国(牛)で報告されていた。これらのほとんどは、レストラン及び家庭での調理・喫食によるものであったが、ドイツにおける豚の生食料理メットは、容器包装されスーパーマーケット等で市販されていた。食肉の生食による健康被害はフランス及び

ドイツで報告されており、原因物質は病原性大腸菌、サルモネラ、旋毛虫等であった。

(2) 牛の各種消化管部位における STEC 汚染実態調査及び牛胆汁、肝臓内の細菌汚染実態

胆汁と肝臓内の細菌数についてそれぞれ 29 検体について調べたところ、24 検体の胆汁から腸内細菌科細菌は検出されなかったが、2 検体で $10^1 \sim 10^2$ CFU /g、 10^5 、 10^6 、 10^7 CFU /g がそれぞれ 1 検体で検出された。一方、肝臓内の菌数については、胆汁から検出されなかった 9 検体については肝臓からも検出されなかったが、胆汁から検出されなかった 15 検体と同じ個体の牛の肝臓から $10^1 \sim 10^6$ CFU /g の細菌が検出された。胆汁で細菌が検出された 5 検体と同じ個体の肝臓からも $10^3 \sim 10^6$ CFU /g の細菌が検出された。以上の結果より胆汁内と肝臓内の細菌数について相関性が見られる場合と見られない場合があることが明らかとなった。牛肝臓内から腸内細菌科細菌が検出されたことから、肝臓内における細菌の汚染部位を調べた。27 検体の肝臓を調べた結果、4 検体から胆管内に、8 検体で類洞内に細菌が検出された。しかしながら、類洞内に細菌が検出された場合、通常廃棄される部位がほとんどであるが、まれに 1、2 の可食部位からも検出された。細菌が検出された周辺部位にマクロファージの集積や炎症が認められなかったことから屠畜解体後に何らかの理由で肝臓内が汚染された可能性が考えられた。牛消化管内における STEC の分布を調べる

ことを目的に、各種消化管部位を 8 個体からそれぞれ 1 検体採取し、*stx1* と *stx2* 遺伝子を PCR 法で検出した。*stx1* 遺伝子はほとんど検出されず、検出されたそのほとんどは *stx2* 遺伝子であった。唾液で 3 検体検出されたが、検出されたそのほとんどは盲腸と肛門であり、肛門では 100% であった。一方、胆汁で 1 検体陽性となったが、同様に肝臓、十二指腸でも陽性となった。

尚、胆嚢については 4 検体について調べたが *stx1*、*stx2* 遺伝子とも全てで陰性であった。

(3) 畜産食品を原因とする寄生虫性食中毒の発生実態

我が国における食中毒の中の、「その他」に分類される食中毒の位置づけ

2003 年から 2012 年までの食中毒事件数の推移をみると、全体の食中毒は年間 1000 件強から 1600 件強の事例数が報告されている。寄生虫性食中毒が包有される「その他」に分類される食中毒は、2007 年までは年間で一桁の発生件数を示し、2008 および 2009 年は 17 件と、いずれも少ない発生数になっている。2010 年に 28 件と増加傾向を示し、2011 年は 68、2011 年に至っては 100 件を超える事件数を示した。2010 から 2011 年を境に、急激な「その他」の食中毒が増加している。

患者数については、過去 10 年間で年間 20000 人から 40000 人の患者の報告がある。寄生虫性食中毒が包有される「その他」に分類される食中毒は、2010 年までは 1 名から 50 名に満たない患者数の変動を示した。2011 年には患者数は 500 名の

報告となり、急激な増加を示した。2012 年は、患者数は 2011 年とほぼ同様の人数となっている。

「その他」に分類される食中毒の、原因物質の分析

厚生労働省への届け出原簿中から、「その他」に分類される食中毒の原因物質を分析した。文言の重複がある、原因の混合、寄生虫・細菌・ウイルス・毒素以外が原因であることなど、直接的な集計が出来ないため、項目を整理し、「その他」の食中毒の原因を集計した。10 年間で 266 件の発生がみられているが、そのうち、寄生虫が原因となっているのは 258 件あった。

寄生虫性食中毒に関する解析

「その他」の食中毒に包有される寄生虫性食中毒について焦点を当て、解析した。過去 10 年間に、「行政的に食中毒」として認知された寄生虫性疾患の原因寄生虫は、5 種類（属）しかない。それらのうち、畜産食品あるいは家畜肉が関与する寄生虫性食中毒はサルコシスティスの 1 種にとどまる。最も発生事件数の多いアニサキス属、クドア、旋尾線虫は魚が宿主となり、生の魚肉が原因食となる。ウエステルマン肺吸虫も過去に 2 事例、発生しているが、淡水性の甲殻類が原因食となっている。食中毒統計という観点から、「畜肉由来の危害性寄生虫」とはサルコシスティスで、馬肉が原因食と結論される。

過去 10 年間の寄生虫性食中毒発生事件数の推移では、2010 年を境に、アニサキス属とクドアによる食中毒発生が急激に増加している。アニサキス属とクドアに

よる食中毒事例発生は、すでに記述したように、「その他」を原因とする食中毒と同じ発生状況をしめす。この事実、「その他」が原因の食中毒の増加が、アニサキス属およびクドアが原因の食中毒が増加したことに起因することを示している。

過去 10 年間の、寄生虫性食中毒の原因は、その 70%がアニサキス属で、残りの大半がクドアと考えてよい。これを、2010 年を区切りとして集計をすると、2003 年からの 8 年間は、事件数の 97%が、アニサキス属が原因となっている。すなわち、2008 年までは、我が国の寄生虫性食中毒はアニサキス属を考えればよいものであった。2011 年と 2012 年は、アニサキス属による食中毒は、事件数は横ばい、あるいは倍増しているものの、発生割合としては 56%に減少している。発生が増加してきたのはクドアである。2010 年を境に、寄生虫性食中毒事例の発生状況は急変し、クドアが原因の食中毒が急増している。我が国の寄生虫性食中毒は、クドアを食中毒原因物質として同定したことが、その変貌の大きな契機になっていると考えることができる。

過去 10 年間の寄生虫性食中毒患者数の推移は、事件数の推移と同様の傾向を示した。2010 年までは年間 30 名に満たない患者数であったのが、2010 年を境に、クドアによる食中毒患者が多数報告されている。

サルコシスティスが原因の食中毒は 2011 年と 2012 年の合計で 3 事例、14 名の患者が発生している。

(4) 放射線照射による牛肝臓からの微生物除去及び副生成物の検討

牛肝臓中の腸管出血性大腸菌の殺菌効果
前年度研究結果から、最も線照射に対する抵抗性が高い傾向が得られていたDT66株を被検菌として、より詳細なデータ取得を試みた。牛肝臓および牛挽肉中においてDT66株を接種し、線照射を行った際の殺菌効果、冷蔵・冷凍もしくは含気・真空包装いずれの試験区においても、牛肝臓における線殺菌では牛挽肉と比較して高い線量を必要とする結果となった。特に冷凍下では挽肉と比較してD₁₀値が高く算出された。また、冷蔵区と冷凍区を比較した場合、冷凍区のD₁₀値の方が高く観測された。さらに含気包装区と真空包装区においても比較したところ、殺菌のためには真空包装区の方が含気包装区と比較して高い線量が必要であった。

サルモネラの線感受性

サルモネラ供試菌8株に対し、線の感受性について比較したところ、1kGy照射後の生残率は*S. Enteritidis* IFO3313株が供試菌株の中で最も高かった。そこで、この株を被検菌として選択し、以降の実験に用いた。

牛肝臓中のサルモネラの殺菌効果

S. Enteritidis IFO3313株を被検菌として、牛肝臓および牛挽肉中に接種し、線照射を行った際のD₁₀値を示した。サルモネラの場合では大腸菌O157の結果と比較して、より高い線量が殺菌に必要となった。また、大腸菌O157と同様、牛肝臓における線殺菌では牛挽肉と比較して高い線量を必要とする結果となった。しかし、サルモネラにおいては、含気包装区と真空包

装区を比較しても、D₁₀値はほぼ変わらない、もしくは含気包装がやや高めに観測された。今回、D₁₀値は便宜的に指数関数的に死滅したと仮定して求めたが、いずれにせよ、牛肝臓内のサルモネラを5桁死滅させるには、凍結(-80℃)照射の場合でおおよそ7kGy前後の照射線量が必要となると考えられ、上記試験の追試ならびに、決定した目標線量に曝露した際に、期待される程度の殺菌効果が認められるかの繰り返し確認試験を、今後行う必要がある。

線照射による牛肝臓脂質の変化

[1] 脂肪酸組成とトランス異性化

非照射および3kGy(0℃)、5kGy(-80℃)で照射した牛肝臓の脂質含量はそれぞれ、 4.83 ± 0.06 、 4.67 ± 0.11 、 4.77 ± 0.06 (%FW)であった。主な構成脂肪酸の含量、及び不飽和脂肪酸の総量やトランス脂肪酸の含量をまとめた。

3kGy(0℃)および5kGy(-80℃)の線照射によって、トランス異性体がわずかに増加し、18:2のトランス酸の総量や炭素数18のトランス酸の総量、炭素数16のトランス酸も加えた総トランス脂肪酸量については、非照射試料と比較して統計的な有意差が認められた。国際機関の推奨するトランス脂肪酸摂取量(総摂取エネルギーの1%未満、1800kcal摂取する人のトランス脂肪酸摂取推奨量は2g未満)を考慮すると、照射による牛肝臓のトランス脂肪酸量の増加は、一日のトランス脂肪酸摂取量に大きな影響を与えないと考えられる。

[2] 2-アルキルシクロブタノン類(2-ACBs)の生成

非照射の肝臓試料に、2-dDCBおよび2-tDCBを2ng/gFW、スパイクして行った

添加回収試験の回収率は、 88.7 ± 2.1 、および $82.3 \pm 3.1\%$ であった。

3 kGy(0)及び、5kGy (-80)の照射試料では、標準試料の 2-ABCs の $\pm 0.02\text{min}$ 以内の保持時間に 2-ACBs の同定条件を満たす、 m/z 98 および m/z 112 の面積比のピークが観測され、目的とする 2-ACBs を検出することができた。2 種の 2-ACBs の定量結果では、同一線量あたりに換算した 2-dDCB 及び 2-tDCB 生成量は、0 照射の方が、-80 における照射に比べて高かった。

臭気成分の探索

牛肝臓試料から減圧蒸留により抽出した臭気成分をにおい嗅ぎ GC で分析した結果、照射試料(0 3 kGy、および-80 6 kGy)では、保持時間 8.5min 付近に硫黄系の甘い臭気を感じられたが、コントロールである非照射試料からはこの臭気は感じられなかった。この臭気の特徴から、臭気物質としてベンジルメルカプタンが、1 つの候補と考えられた。

減圧蒸留による肝臓臭気成分の GC-MS の分析結果は、ベンジルメルカプタンの特徴的なフラグメントイオンである、 m/z : 91 のマスクロマトグラムにおいて、ベンジルメルカプタン標準品の保持時間と、照射品に特有の臭気を持つピークの保持時間とが一致した。このピークの相対強度比は、非照射 : 3kGy(0) : 6kGy(-80) = 1.0 : 3.0 : 2.0 となり、照射品の中では 3kGy (0)の試料の方が 6kGy(-80)に比べて大きかった。また、 m/z : 91 のマスクロマトグラムにおいては、臭気化合物であるフェニルエチルアルコールと同定されるピークについても、非照射と照射試料の間にピーク強度の差が認められ、その相対強度は、

非照射 : 3kGy(0) : 6kGy(-80) = 1.0 : 4.7 : 5.8 であった。さらに、スカトールの特徴的フラグメントイオンである m/z 130 のマスクロマトグラムにおいても、対応するピーク強度が、3kGy(0)で非照射試料の 1.8 倍、6 kGy(-80)で 1.4 倍に増加しており、これら 2 つの化合物も照射による臭気の変化に影響している可能性が考えられた。

ただし、ここで候補とした化合物の照射による臭気変化への寄与を明確にするためには、より定量性のある分析法を確立した上で、非照射試料におけるこれらの化合物の変動範囲と線量や照射温度に対する生成量の依存性とをさらに詳細に検討する必要がある。

(5) 人工的に注入した O157 の塩素系消毒薬と凍結融解による殺菌法の検討

O157 を人工的に注入した牛肝臓を塩素系消毒薬、急速冷凍、チルド融解処理を行った。未処理の場合、菌数は $10^4 \sim 10^5$ CFU /g であったが、処理を行った場合、数 CFU /g ~ 数 10 CFU /g まで減少した。しかしながら、数 10 CFU /g ~ 数 100 CFU /g までしか減少しない場合もあり、個体間のばらつきがあった。

(6) 高圧処理による牛肝臓中の *E. coli* の不活化に関する検討及び高圧処理による牛肝臓の変質に関する検討

リン酸緩衝液に懸濁した *E. coli* の高圧処理による不活化効果

リン酸緩衝液に懸濁した *E. coli* の高圧処理前の未処理での菌数は対数値で 9 log CFU/ml であった。これらの菌液の高圧

処理を行うと、200MPa・10分処理では未処理とほぼ同様の菌数を示し、高圧処理による菌数の減少は認められなかった。さらに高圧処理の時間を延長した20分処理では、死滅する現象が観察され、30分処理で1オ・ダ・の減少が認められた。300MPaでは、200MPaに比べて急激な菌数の減少が観察され、10分処理で4.4 log CFU/ml、20分処理で3.3 log CFU/ml、30分処理で2.9 log CFU/mlに減少した。400MPaでは10分処理で3.0 log CFU/ml、20分処理で2.6 log CFU/ml、30分処理で2.9 log CFU/mlに減少した。最も圧力の高い500MPaでは、10分処理で1.9 log CFU/ml、20分処理と30分処理では検出限界以下であった。

以上の結果、高圧処理により5 log CFU/mlの有効な殺菌効果が認められた圧力は400MPaと500MPaであった。さらに高圧処理時間を延長するにつれて、緩やかではあるものの殺菌効果が高まる傾向が認められた。

高圧処理による肝臓中の*E. coli*の不活化効果とその外観に及ぼす影響

牛肝臓に接種した*E. coli*の高圧処理による不活化効果を非選択培地のPCA培地を用いて生残菌数を測定した。予備実験により高圧処理が*E. coli*に対して有効な死滅効果が認められたことから、牛の肝臓に*E. coli*を接種して高圧処理条件を200MPa、300MPa、400MPa、500MPaそして処理時間10分で行った。その結果、肝臓中の未処理菌数は7.1 log CFU/gを示した。200MPa処理ではほとんど菌数の減少が観察されなかった。300MPaから菌数の減少が観察され1.5 log CFU/g

の減少が認められた。さらに400MPaでは3.0 log CFU/gの減少、最も高い圧力の500MPaでは5 log CFU/gの菌数減少が認められ、5D程度の殺菌効果が得られた。実際に有効な5D程度の殺菌効果が認められた圧力は500MPaのみであった。

次に、同様に処理した試料を大腸菌の選択培地であるXMG培地を用いて検出測定した結果、検出培地である非選択培地のPCA培地を用いた場合と顕著な差は観察されなかった。

以上のことから、選択培地に使用される選択剤による損傷菌による影響は少ないものと推察された。

また、高圧処理による肝臓色の变化を測定した。肝臓の外観は圧力が高まるにつれて肝臓の色彩は、赤みが減少し肌色に変化する傾向が認められた。色彩色差計では、未処理の肝臓数値はL値が 36.7 ± 1.3 、a値が 6.5 ± 0.6 、b値が 2.2 ± 0.3 を示した。圧力が高くなるにつれて、L値は200MPaより数値が増加し、300MPaで 44.3 ± 1.1 、500MPaで 50.4 ± 0.4 に増加した。a値では300MPaに 10.1 ± 1.0 に数値の増加が認められたものの400MPaと500MPaでは顕著な変化は認められなかった。さらにb値では300MPaまで大きな数値の変動は見られなかったものの、500MPaでは 8.0 ± 0.6 にまで増加した。高圧処理における肝臓の色と硬さの変化を観察したところ、肉色は処理前では鮮明な赤褐色を示したものの、200MPaでは赤みが少なくなるものの肝臓色を維持していたが、300MPa以降、400MPaと500MPaと圧力が高く

なるにつれて、赤みが退色し、白っぽくなり加熱したような色合いとなった。

硬さについては、300MPa 以上で、当初の肝臓の柔らかさではなく、明らかに硬さが認められ、400MPa と 500MPa では弾力も感じられるようになった。特に未処理の肝臓とは肉質がかなり異なっていた。

以上の結果から、*E.coli* に対する効果は 500MPa・10min 処理で、5D の殺菌効果が得られ、有効な不活化効果が認められた。しかし、肝臓の状態は生の状態の色彩とテクスチャ - は失われ、別物の感触となった。

高圧処理による牛肝臓の形態学的変化

高圧処理により、牛肝臓検体の体積は外見的にはほとんど変化がなかった。肝臓の色は高い圧で処理した検体ほど、暗赤褐色から淡褐色へと退色が顕著であった。牛肝臓の断面を作る際にナイフで切った際の感触では、より高圧で処理した検体ほど弾力が強く、硬くなっている傾向が認められた。また、0MPa では暗赤褐色で一様な断面を示しているが、200MPa ではやや色合いが薄くなり、300、400、500MPa では断面が淡赤褐色～淡褐色の斑状を呈していた。

形態学的には、高圧処理をした肝臓においても、肝細胞の索状配列や小葉構造などに形態的な変化はほとんど認められなかった。しかし、強拡大像では、肝細胞の細胞質内に好酸性の小顆粒が認められるようになる一方、肝細胞細胞質の染色性は全体的に低下しており、また、血管内に好酸性の顆粒状構造物が認められるなどの変化が観察された。

