

食肉の安全性と将来の課題

Linda Saucier (カナダ食品研究・開発センター)

1. はじめに

食肉の安全性は、化学物質残留（農薬、抗生物質など）や家畜疾病（伝染性海綿状脳症など）を含むいろいろな原因で脅かされる。実際には病原微生物やその産生毒素による汚染が重要であるが、微生物界は汚染・増殖の防止手段に対して適応能力を備える方向へ進化しており、食肉の安全性確保はいつの時代にも問題となろう。

新世紀における食肉の流通はさらに広域化するので、汚染事故も世界的規模になる恐れがある。このため、食品の新しい保存・輸送システムの確立とともに、食物系疾病 (food-borne disease) の予防技術をさらに高める必要がある。

現在、食物系疾病は世界中で起こっているが、疾病サーベイランス事業の充実に努力しているにもかかわらず、発生の半数以上は原因不明として報告されている。WHO統計によれば、食物系疾病の発生件数は、正式に発表される件数よりも300~350倍にも上るものと見積もられ、患者数は世界中で年間数億人に達するとも推定されている。食物系疾病の発生は発展途上国で多いが、最近では工業国においても増加する傾向にある。年間人口の5~10%ほどが食物系疾病の影響をうけ、大きな経済的損失となっている。

2. 基本食料としての食肉

古代の人達にとって、もっとも容易に調達できる食料は植物由来のものであったに違いない。木の実を集めたり草の芽を摘んだりすることは、狩

猟に代けて野生動物を捕らえるのに比べてはるかに安全であったであろう。それにもかかわらず、狩猟は負傷のリスクを上回る価値があり、動物性食料は活動の盛んな人類にとって高エネルギーで高質な基本食料として不可欠なものであった。

草食動物の家畜化は安定的な食肉資源として活用できるため、体力は一段と向上したに違いない。FAO資料によれば、世界中の食肉生産量は枝肉換算で年間20億t以上にも上る。食肉は基本食料であり、健康、価格、文化などの理由により食べるかどうか別として、その生産は経済的に重要な産業として位置付けられている。

食肉保存の挑戦

食肉は細菌、酵母、カビなどが増殖しやすい環境を整えており、きわめて腐敗しやすく、北米における食物系疾病の約1/3は食肉絡みで起こるとされる。この場合の高リスクの病原体はサルモネラ菌、カンピロバクター菌、ペロ毒素産生大腸菌、リステリア菌およびトキソプラズマである。

健康な家畜の食用部分は無菌状態か、微生物が存在してもごくわずかであるが、と殺・解体時に枝肉表面は皮膚や腸内容物、作業員の手、と畜場の環境に存在する微生物で汚染される。食肉は細菌にとって格好の培養器であり、食肉1g中に数十億個にまで増殖することができる。

微生物の進化と適応

微生物の進化と適応はある種の生存・増殖戦略であり、食肉の保存にも関係する。変異はDNA複製の過程や変異原性物質の暴露によって自然に

起こり、外来遺伝子は形質転換、接合、形質導入などにより細菌間を移動することができ、常に進化過程にあるようにみえる。このため、食肉の保存対策はイタチごっことなり、永遠に挑戦すべき課題として残されている。さらに、増殖防止の熱や酸処理に対しても適応し、耐性は徐々に上昇する。これは熱処理によって誘導されるストレスたん白質によるものであり、多くの細菌族において確認されている。熱ショック反応はエタノール、紫外線照射、DNAジャイレース阻害などの要因によっても認められ、ストレスにより誘導される種々のたん白質が同定されている。最近、ストレス誘導たん白質は抗菌システムとして食品工業で利用されている。

3. 細菌の増殖阻止因子

先祖たちにとって、肉や魚を焼いたりあぶったりすると、保存にもよいことを知るのにそう長い時間をとらなかつたようである。食物保存は生き延びるためばかりでなく、シェルフライフ（おいしく食べられる期間）を確保するのにも必要であった。今日でも食品は保存ばかりでなく、シェルフライフのための新たな技術開発に取り組む必要がある。

食物中の微生物増殖に影響する因子として、食物の構成成分による固有のpH、緩衝能、酸化還元電位などのほか、温度、防腐剤、湿度などがある。これらの因子の組み合わせによって、食肉やその加工品はシェルフライフを数日～数ヶ月も延ばすことができる。

低温保存

枝肉表面の汚染菌叢は、内臓除去や皮剥ぎ後に1 cm²当りの細菌数は通常1万個以上に達する。最

初は中温菌が優勢であるが、冷蔵中に低温菌叢が増殖し優勢となる。バシラス菌、リステリア菌、エロモナス菌、エルシニア菌、大腸菌O157:H7、ボツリヌス菌などの低温増殖性病原菌の汚染は衛生上の問題を引き起こす。

これらの病原菌は広範囲に分布して汚染しやすく、病原性も比較的強い。リステリア菌は家畜を含む自然界に広く分布しており、生肉への汚染は避けられない存在である。リステリア症は主として小児、老人、免疫能の低下した人などが罹りやすく、症状は髄膜炎のほか、胎児への感染は流産であるが、死亡率は30%にも及ぶことがある。バシラス菌はほとんどは土壌からの汚染である。エルシニア菌は豚が保有することが多く、汚染は流通や調理の段階で起こることがある。エロモナス菌も豚肉が主に汚染され、日和見菌として胃腸炎を起こすことがある。

加熱処理による保存

ボツリヌス菌の名はラテン語の「ソーセージ」に由来し、最初に発見された食中毒菌である。本菌は土壌菌で偏性嫌気性、芽胞形成性、耐熱性、毒素産生性などの性状を示す。食品のパッキング時に酸素が低濃度で十分な加熱処理が行わなければ発芽・増殖して毒素性食中毒を起こす。

大腸菌の大部分は人畜無害菌であるが、一部は病原性を有する。いわば糞便菌で、汚染の程度は衛生水準の指標として利用される。ペロ毒素産生性（腸管出血性）大腸菌O157:H7は特別の感染力を有し、わずか数個で胃腸炎を引き起こす。そのまま治療せずに放置すれば、とくに5歳以下の子供では重症の腎障害（血尿症候群、血栓性血小板減少性紫斑病）が起こる。この疾病は挽肉を介して感染する機会が多いことから「ハンバーグ病」

とも俗称されるが、醃酵肉、キャベツ、未殺菌乳、チーズ、アップルサイダー、水などを介しても感染する。病原大腸菌O157は牛の腸管に存在することがあるが、分離頻度はそれほど高くない。と殺・解体中に肉の表面が菌に汚染され、挽肉調整の段階で汚染が広がっていく。大腸菌は熱に弱く、加熱調理は最良の殺菌法である。例えば、挽肉では中心温度が71℃に達していれば殺菌されるので、台所段階における安全教育を推進すべきである。

家畜の飼育段階における大腸菌O157の低減方策として、ワクチン、健康動物の正常な腸内菌叢の投与による競合排除、プロバイオテックス（乳酸菌製剤）などが試みられている。生肉の殺菌にX線照射を利用する方法は、消費者の賛同は得難いものの、強力な殺菌力を発揮できるが、脂肪の酸化による肉質の劣化が予想される。

最近、枝肉の加熱処理による殺菌法を採用すると畜場が増加しているが、殺菌の理屈は牛乳の殺菌(pasteurization)と同じであり、牛乳ではジフテリア、猩(しょう)紅熱、結核、サルモネラ症などの発生防止に有効である。決定的な違いは殺菌後の扱い状況であり、牛乳はビン詰されて再汚染は防止されるが、枝肉の保管にはそうしたバリアはない。枝肉の殺菌処理は汚染菌数を減少させ病原体の汚染リスクを低めるものの、再汚染の細菌は他の細菌との競合を欠く環境を提供してしまうことになる。このため、悪玉菌叢のみを選択的に除去して善玉菌叢の形成を促進させる枝肉における制御技術の開発が求められている。

包装環境の改良

食肉工業では、真空環境とすることによりシェルフライフを延長するために使用されている。シュードモナス菌は好気性条件下でよく増殖し、肉表面

菌叢の50~90%を占める。また、腸内細菌は不備な冷蔵条件下(10℃)で優勢菌種となり、腐敗の原因となる。食肉を嫌気条件下で保存すると、シュードモナス菌や腸内細菌よりも炭酸ガスに対して寛容度が高い乳酸菌がよく増殖してくる。真空包装の食肉では、残存する酸素は筋肉細胞や微生物の呼吸により消費され、炭酸ガス濃度は最高30%に達する。微生物の増殖を抑制する炭酸ガス濃度は最低20%が必要である。嫌気性条件下では食肉の保存期間を延長させるが、乳酸菌の増殖により不快感は少ないものの酸敗化(souring)が起こる。乳酸菌の優勢は食物系病原菌の増殖阻止するのに有効に作用するが、嫌気性条件下の保存ではクロストリジウム菌やボツリヌス菌の増殖に注意しなければならない。

化学薬品の利用

食塩は古くから食肉の香辛料や保存料として使われてきたが、保存作用は水分活性の低下による。硝酸塩は中世時代から塩漬の過程で使用されてきた。亜硝酸塩や硝酸塩は自然界のいたるところ土壌、水、食品(塩漬肉、ベーキング製品、穀類、野菜など)に存在する。亜硝酸塩は抗菌活性を有しており、とくにボツリヌス菌の芽胞の形成を抑制するために添加するが、酸性条件下ではアミン類と反応して発ガン性や肝炎物質であるN-ニトロソアミン化合物を形成する可能性があり、公衆衛生面から問題提起されている。しかし、アスコルビン酸や α -トコフェロールなどの同時添加によりニトロソアミンの生成は阻害され、塩漬肉中のニトロソアミンの濃度は数億分の一まで減少させられる。

消費者は自然のままの無添加食品をしばしば要求するが、亜硝酸に代わる食肉の塩漬剤は存在し

ない。亜硝酸という低分子物質は比較的低濃度で発色作用があり、うまみを引き出し、肉質を維持し、酸化防止剤や保存剤としての役目を果たしている。さらに、ボツリヌス中毒の発生を防止する観点から一定濃度の添加が必要である。こうした見解について、亜硝酸無添加の場合と比較するリスク・ベネフィット分析を行うが必要である。一方、食肉業界は新たな解決策に努力しており、酵素（リゾチームなど）、植物精油（ワサビなど）、バクテリオシンなどのような生物学的保存剤の開発が行われ、ある物質は商業化されている。

4. 非微生物病原体の脅威

牛海綿状脳症（BSE）、いわゆる狂牛病は脳損傷と死の結末を招く伝染病である。類似疾病には人のクールーやクロイツフェルト・ヤコブ病（CJD）、また羊のスクレイピーがある。英国におけるBSEの流行は1986年に初発例が確認されたが、1997年までに約16万8千頭の発症例が報告され、実際には100万頭が感染したと推定される。さらに、英国ではBSEの流行が始まった概ね10年後に特異なCJDの発生があり、BSEとの関連性が指摘されるに至った。現在、この疾病は種特異性がなく、CJDとBSEは共通の病原因子によって起こる。牛は汚染された羊の骨肉ミールの給与を通して病原因子が移入されたとみられ、1998年以来、英国では反芻獣の骨肉粉の牛への給与は禁止された。感染因子はレンダリング過程の加熱処理で失活せず、レンダリング工程の変更が病原因子の不活化に不十分となったことが流行の発端とみられる。

BSEの流行当初は感染因子として二つの仮説があった。その一つは正常なプリオンたん白質が感染性のある構造へ変化した異常プリオンたん白質

が原因とする仮説である。核酸のないプリオンたん白質の増殖機構は異常プリオンが体内に入り、正常たん白質と次々と接触して立体構造が異性の異常プリオンたん白質へ変性し、それが多量に蓄積されて発病するという理論（ダイマー説）であり、多様な病態を矛盾なく説明できる。他の一つは未知ウイルス説であり、プリオンたん白質はウイルスのレセプターとしての役目を果たすにすぎないという理論であるが、肝心のウイルスは未だに分離されていない。

プリオンたん白質は1997年にノーベル医学賞を受けたプルシナー博士の命名によるもので、プリオン病（BSE, CJD, スクレイピー）の病原体である。この病気は長い潜伏期間（2～5年）を経て発病し、抗体産生もないので生前診断するのに有効な手だてはない。

5. 化学物質残留と成長促進剤

消費者の食品安全面での関心ごととして病原体汚染のほか、化学物質残留がある。食肉などに残留する物質は、農薬、成長促進剤、抗菌性物質、重金属、工業用化学物質、薫煙や加熱によって生じる熱分解産物（芳香物質やアミン類）である。しかし、このような残留物質は一般に痕跡程度であり、健康に影響を与えない許容限度以下である。

家畜における抗菌性物質の使用目的は疾病予防と成長促進であり、農場生産性の向上が期待される。家畜生産は一般に集約的で密飼い傾向にあり、こうした飼育環境では疾病が多発しやすくなるため、抗生物質の多用を招きやすくなる。一方、成長促進のために飼料に添加する抗菌性物質の濃度は治療目的で使用する場合の1/10～100程度であり、低濃度での使用は健康への直接的な影響は

少ないと考えられる。しかし、畜産における抗菌性物質の使用は、腸内細菌が使用抗菌性物質に対して耐性を獲得するほか、異なった抗菌剤との交叉耐性を示す危険がある。実際に飼料に添加で使用するアボパルシンと、人の感染症の治療に使用しているバンコマイシンとの間で交叉耐性が認められる。とくにプラスミドやトランスポゾンによる耐性菌は正常腸内細菌叢に耐性遺伝子を広げる恐れがある。サルモネラ菌の一種であるネズミチフス菌DT104のようなバンコマイシン耐性菌に家畜や食肉が汚染されるようになると、人の感染症の治療に重大な影響がでてくる恐れがある。

6. おわりに

食肉の安全に対する主要な危険因子は微生物汚染であり、食事性疾病の大半は細菌によって引き起こされる。殺菌処理による汚染菌の低減は食中毒の発生防止につながるが、処理後の再汚染菌は

他の細菌との競合関係がなくなるため、シェルフライフに影響する。食肉における菌叢管理(flora management)は微生物の進化や適応を考えあわせると、永遠の課題のようにみえる。

HACCP方式は食肉工業にとってそれぞれの処理工程を管理する新たなツールである。食肉や食肉加工品はもはや世界的に流通する時代となっており、汚染の問題が起これば、広範囲の人々に影響を与え、原因の究明も困難となることを併せ持つことになる。安全な食肉や食肉加工品を消費者に届けるために、製造、研究、行政の関係者は一体となって多くの課題へ挑戦し続けなければならない。

本文は、Saucier, L. (1999) Meat safety : challenges for the future Pig News and Information, 20, 77-80の抄訳です。

(訳者：農林漁業金融公庫 技術参与 柏崎 守)