 総 説

食品・飼料などのサルモネラ菌の放射線殺菌

川 嶋 浩 二*・佐 藤 友 太 郎**

Elimination of Salmonella from Foods and Feeds by Irradiation

KOJI KAWASIMA and TOMOTARO SATO

食品加工技術および食品流通技術の発展に伴い、われわれの食生活は急速に多様化しつつある。その反面サルモネラ菌に汚染された凍結肉、卵、飼料、肥料などが大量に輸出入され、これらのものが最終的にわれわれの食卓にのぼることになり、サルモネラ中毒の危険性はいまや世界的な規模で増大している。

今年4月の[暮らしの手帖]の調査によると、購入した市販畜肉品のうち、サルモネラ菌の汚染率はきわめて高く、豚4%、牛2%、ひき肉では14%の高きにのぼっている。ひき肉のうち、とり肉では40%、豚で30%を占めているという。

このようにサルモネラ菌の汚染は、すぐわれわれの身近かな問題になってきており、いまのうちに適当な手をうたないと近い将来たいへんなことになるのではないかと心配される。

そこで以下、サルモネラ菌の放射線殺菌効果、照射処理が食品に与える影響および健全性、照射装置、経済性などについてまとめた。

I. 食品の放射線処理

食品の放射線処理について簡単に述べる。通常線量によって3つに大別される。

(1) Radappertization

いわゆる完全殺菌処理で、ビールス以外のいかなる微生物も検出されない程度に殺菌するもの。radiationによるappertizationという意味である。(2.5~5 Mrad**)

(2) Radurization

放射線によって、腐敗微生物の数をへらし食品の貯蔵期間の延長をはかるもので、radiationにより、duration(耐久)をますという意味、従来はRadiopasteurizationといわれていた。(0.05~1 Mrad)

(3) Radicidation

サルモネラ菌、大腸菌のような特殊の病原菌を殺す(-cide)ことを目的としたもので、広義のRadurizationの中に入るが、病原菌を対象としてとくに分類をおこしたものの。(0.3~1 Mrad)

II. サルモネラ菌およびサルモネラ中毒

サルモネラ菌は、ニワトリ、七面鳥、ウシ、ブタ、ネズミなどの病原菌であるばかりでなく、腸チフスなど人の食中毒の原因菌としても特に注意しなければならないものである。

菌学的特徴は、グラム陰性の通性嫌気性桿菌で通常運動性がある。芽胞は作らず熱には弱い。乳糖や蔗糖は発酵できず、グルコースから酸を発生する。近縁種が多く、約4,000種にのぼるといふ。

毒素は、endotoxineであり、汚染食品を摂取後1~2日の潜伏期後、発熱、はき気、痛みを伴った症状が数週間近く続く。幸に死亡率は1~2%と低い。

サルモネラ中毒の発生状況は、国により食習慣が異なるので、かなり差がある。アメリカの例をみると1942年に年間約1,000件だったものが、1964年には21,000件にもおよび、届出のないものを含めると少なくとも実数はこの20倍(患者数で40~200万人)くらいあるだ

* 農林省食糧研究所(東京都江東区塩浜1)

National Food Research Institute, Ministry of Agriculture and Forestry. Koto-ku, Tokyo.

** 日本原子力研究所・高崎研究所(高崎市綿貫町1233)

Japan Atomic Energy Research Institute, Takasaki Radiation Chemistry Research Establishment. Takasaki, Gumma Prefecture.

*** radというのは、物質が放射線をどれだけ吸収したかを示す単位で、物質1gが100エルグの吸収エネルギーを電離放射線からうけたとき1radの線量という。Mは100万でメガという。

ろうといわれる。イギリスでは全食中毒の60%以上がサルモネラ菌によるものといわれ、アメリカ同様チフス菌による中毒がずばぬけて多い。わが国におけるサルモネラ中毒は、昭和35年までは食中毒30%のを占めていたものが、除々に下がり39年には5%にまでにさがった。しかしその後再び増大し最近では10%以上に増大している。とくに最近では、食生活の変化から魚介類に起因する中毒は減少し、肉類による例が増大している。これは輸入の食肉や飼料が多くなったためで、イギリスの例では、輸入飼料のほとんどがサルモネラ菌で汚染されているといわれている。今後輸入依存度はますます高くなると思われるので、サルモネラ菌の対策は重要問題となろう。

III. サルモネラ菌の放射線殺菌

(1) 放射線殺菌の特長

放射線殺菌は、加熱殺菌やガス殺菌にない独得の利点がある。たとえば凍結してあるもの、生のままの方が商品価値の高いもの、熱処理に耐えられないものなどには、放射線処理が有利である。また放射線では包装をとらず、そのまま殺菌できるので再汚染の危険がなく、処理工程も単純である。

FAO/IAEAの主催した1963年の食品照射に関する国際会議では、凍結食肉、飼料、肥料などで、加熱殺菌や化学的殺菌のうまくいかないものについては、放射線殺菌を行なうのが有望であると結論している。

第1表 一般微生物のD₁₀値

微生物	培地	D ₁₀ 値 Mrad
<i>Cl. botulinum type A</i>	Food	0.35
<i>Cl. botulinum type E</i>	Broth	0.20
<i>Cl. sporogenes</i>	Buffer	0.21
<i>Cl. tetani</i>	Buffer (anaerobic)	0.15
<i>B. pumilus</i>	Buffer (anaerobic)	0.30
<i>B. pumilus</i>	Buffer (aerobic)	0.17
<i>B. stearothermophilus</i>	Buffer (aerobic)	0.10
<i>S. typhimurium</i>	Frozen egg	0.07
<i>S. typhimurium</i>	Buffer (aerobic)	0.02
<i>S. faecalis</i>	Broth (aerobic)	0.05
<i>E. coli</i>	Broth (aerobic)	0.02
<i>Pseudomonas sp.</i>	Buffer (aerobic)	0.004

(2) サルモネラ菌の放射線抵抗性

サルモネラ菌の放射線抵抗性は、一般生物に比べかなり低い。微生物数を最初の1/10に減少させる線量をD₁₀値として表わし、この値の大小をもって、抵抗性を比較している。第1表¹⁾から *Clostridium botulinum* がもっとも抵抗性が高く、サルモネラ菌の約5倍である。また食肉から分離された *Micrococcus radiodurans*²⁾ は名の示すように非常に抵抗性が強いが、この菌はそうどこにでもいる菌ではない。

病原菌の中で比較すると、サルモネラ菌は *E. coli* よりは強く、*Staphylococci* よりは弱い。なおサルモネラ菌同志のなかでも放射線抵抗性に若干の差のあることは第2表³⁾のとおりである。

i) 放射線抵抗性に及ぼす諸条件

サルモネラ菌を殺す殺菌線量を把握することが第一に重要である。十分な線量を当てれば殺菌の点ではまちがいないが、線量が高くなると品質にわるい影響を及ぼすおそれがある。そこで適正線量を正確につかむことが必要である。ところが殺菌線量は照射時の条件やその他の条件によってかなりの差がみられるので厄介な問題となる。

まず照射時の温度や培地の影響であるが、LEYら⁴⁾は培地の影響について第1図に示すような結果をえている。すなわち、フィッシュミールや乾燥コナツツのような水分の少なく、脂肪の多い培地ではもっとも抵抗性が高く、一方緩衝液では最低のD₁₀値を示しており、最高、最低の開きは10倍にも達している。また凍結や嫌氣的状態では抵抗性が高くなる⁵⁾。(第3表)

照射時の温度もかなりの影響を与える⁶⁾。このような現象を利用すれば殺菌線量を下げることができる。また

第2表 凍結全卵中におけるサルモネラ菌の放射線抵抗性

種	10% 減少させる に要する線量		
<i>S. give</i>	540 krad	<i>S. canada</i>	420 krad
<i>S. manhattan</i>	530	<i>S. typhimurium</i>	420
<i>S. thompson</i>	510	<i>S. Pullorum</i>	420
<i>S. heidelberg</i>	510	<i>S. barenly</i>	410
<i>S. london</i>	510	<i>S. montevideo</i>	400
<i>S. blockley</i>	480	<i>S. oranienburg</i>	390
<i>S. tennessee</i>	470	<i>S. infantis</i>	390
<i>S. indiana</i>	470	<i>S. enteritidis</i>	370
<i>S. kentucky</i>	420	<i>S. senftenberg</i>	360

第1図 *S. typhimurium* の各種培地中における生存曲線

菌の生長段階によっても異なり、第3図のように一般に定常期の菌の方が抵抗性は高い⁷⁾。

さらに詳細な研究によると、前培養に用いる培地のいかにによっても放射線抵抗性が変わってくる。たとえばコーンビーフ中で前培養すると、他の培地で前培養したときの約2倍 D_{10} 値が高まるという^{9), 8)}。

第3表 サルモネラ菌の D_{10} 値に対する照射時の雰囲気及び温度の影響

タイプ	D_{10} 値 (krad)			D_{10} 比率	
	室温 通気	無酸素 無酸素	凍結 凍結	D_{10} 無酸素 D_{10} 通気	D_{10} 凍結 D_{10} 通気
<i>S. gallinarum</i>	13.2	36.3	21.1	2.7	1.6
<i>S. senftenberg</i>	13.0	38.9	29.9	2.9	2.3
<i>S. typhimurium</i>	20.8	61.9	31.9	2.9	1.5
<i>S. paratyphi B.</i>	19.0	65.9	49.4	3.4	2.6

第2図 *S. typhimurium* の照射温度と生存曲線 (全卵中で照射)

次に線量率効果の問題がある。すなわち、高い線量で短時間照射したときと、低線量で長時間照射して同一線量照射するとき効果に差があるかないかということである。若干の異説もあるが、一般的には微生物の殺菌には線量率の影響はないとされている⁹⁾⁻¹¹⁾。

ii) 適正殺菌線量

以上のようにサルモネラ菌の放射線抵抗性は、照射時の条件によってかなりちがってくる。実際に食品などを照射する場合には、もっとも抵抗性の高いサルモネラ菌が、もっとも抵抗性を示す条件下で示す D_{10} 値を基礎として殺菌線量を考えなければならない。

さてサルモネラ菌の D_{10} 値を知った上で、実際どれくらいの放射線を照射すればよいかについては、食品の汚

第3図 生長段階と放射線抵抗性
(*S. typhimurium*)

○ — 24時間培養
● - - 15時間培養
○ · · 7時間培養

染状況、安全率、食品の品質に与える影響、コストなどによって決めなければならない。

食品のサルモネラ菌による汚染の度合の目安として INGRAM ら¹²⁾ は一応 10^3 /g どまりであろうとしている。したがって 7D 照射すれば最悪の場合でも 10^{-4} /g となるわけ (10 kg 中に1匹の割合) で、これで十分安全であろう。一方 MOSSEL¹³⁾ は飼料中のサルモネラ菌は平均 1/g であるから 5D でよいとしている。

わが国のデータでは鈴木¹⁴⁾によれば、わが国に輸入された汚染馬肉の場合、ほとんどが 1/g 以下で平均 1.6/g にすぎず、最高でも 5/g であるという。

結局、サルモネラ菌の殺菌線量は、0.3~0.8 Mrad 程度であろうが、いずれにせよ、個々の対象について、実際に照射処理して、すべてのサルモネラ菌が殺菌されることをあらかじめ確認しておかねばならない。

iii) 放射線抵抗性の高いサルモネラ菌の出現

放射線処理が実用化されると、抗生物質の使用時に見られるような、放射線抵抗性の非常に高い菌株の出現が危惧される。事実、*E. coli* から紫外線処理によって放

射線抵抗性の高い B/r 株が分離されている¹⁵⁾。しかし実際上は、サルモネラ菌は完全に殺菌されるわけで、生き残るものはないはずである。またたとえ生き残ったとしても、同一の菌が繰り返し照射されることはまずありえないであろう。

しかし繰り返しの可能性を考慮して、繰り返し照射による影響について研究が行なわれている。

研究者によって結論はまちまちである。LEY ら⁵⁾ は、繰り返し照射によって D_{10} 値はかえって低下すると述べているに対し、LICCIADDELO ら¹⁶⁾ は照射回数が多いほど高くなるというわけではないが、一応高くなることをみている。また ERDMAN ら¹⁷⁾ は各種微生物について繰り返し照射の影響を調べ、微生物の種類によって程度はちがうが D_{10} 値が若干増加することを認めている。

要するにまだ明確な結論は出ていないが、繰り返し照射によってある程度 D_{10} 値は増大するとみるのが妥当のようである。

なお興味あることは、 D_{10} 値の変化だけではなく、サルモネラ菌がイノシールやラムノースの発酵能がなくなったり⁵⁾、*E. coli* の場合、インドール生成が全く陰性となり、ラクトース発酵能を欠くものも見出されることである¹⁷⁾。

IV. 食・飼料のサルモネラ菌の放射線殺菌

(1) 飼料の放射線殺菌

meat meal, bone meal, blood meal, feather meal, fish meal などの動物性飼料は、家畜や家禽の蛋白源としてきわめて重要で、わが国では昭和 42 年に約 8 万 7,000 トンが輸入されている。これらの輸入飼料および国産各種飼料からも広範囲にわたってサルモネラ菌が分

第4表 輸入飼料のサルモネラ菌による汚染率

試料		サルモネラ菌汚染	
種	類	No.	%
原 料			
Meat-and-bone meal	32	11	34.4
Bone meal	8	1	12.5
Fish meal	13	0	—
Vegetable products	77	5	6.5
Total	130	17	13.1
製 品			
Meals, mashes etc.	67	6	9.0
pellets, foods	296	5	1.7
Total	363	11	3.0
Grand total	493	28	5.7

離されている¹⁸⁾。(第4表)

これらの飼料は、通常加熱殺菌される。蒸気によって 80~83°C で殺菌すると、サルモネラ菌は 10⁶/g の殺菌が可能といわれる。デンマークでは輸入した飼料はすべて再殺菌することになっており、125°C で 45 分の加熱殺菌が行なわれる。しかしこのように加熱殺菌したものの、近代的な設備のととのった工場で製造されたものでも、再包装のさい、工場内のホコリや空気や包装機によりしばしば再汚染されるといわれている。

一方放射線殺菌では、包装したままの形で殺菌できるので再汚染の心配は全くない。

なおサルモネラ菌の殺菌線量については多くの知見がある。MosSEL¹⁹⁾ は 0.8~1.0 Mrad が必要とし、LEY⁴⁾ は bone meal は汚染が高いので、10⁶/g を殺菌する線量として 0.75~0.8 M rad が必要であろうとしている。(第5表)

(2) 肉の放射線殺菌

放射線殺菌の対象となる肉は、家禽類を別として、ほとんどが南米各国やオーストラリア産の凍結馬肉やカンガル肉である。

凍結肉の殺菌は、従来は、一たんとかしてから加熱殺菌し、そののち再び凍結しなければならない。したがって凍結状態のまま殺菌できる放射線処理の方が有利であることは明らかである。オランダ、イギリスでは年間約 12,000 トン、わが国では 22,000 トン (昭和 42 年度) の凍結馬肉を輸入している。この輸入肉はしばしば非常に高いサルモネラ汚染率を示す。たとえば 1961~1963 年にイギリスに輸入されたアルゼンチンの馬肉はが 40~60% サルモネラ陽性で、現在でも大差ないといわれる。また輸入牛肉には 15%, 仔牛には 19%, マトンには 10% が検出されている。

イギリスではこれらの輸入馬肉は、ほとんどが pet food 用で、生肉のまま犬や猫に与えている。生肉は台所を汚し、人の食物と接触して食中毒の原因となる。

第5表 自然の状態でサルモネラ菌に汚染された bone meal 飼料の放射線殺菌

線量 Mrad	試験した 10 g 試料の数	サルモネラ菌 が検出された 試料数	g 当りコロニー の全数 37°C
コントロール	9	6	13,000,000
0.1	9	6	675,000
0.25	9	6	130,000
0.5	9	1	7,500
0.75	9	0	2,750

わが国では、1965~1969 年の 5 カ年間にについてみると、輸入食肉のサルモネラ汚染は 1965 年が最高で 38%, 以後減少し、1969 年が 13%, 平均 19% となっている²⁰⁾。この間 15,701 株 (65 型) が分離されている。中でも *S. anatum* の検出頻度が高く、全体の約 30% を占め、欧米で食中毒としてもっとも注目される *S. typhimurium* は比較的少ない。またわが国の食肉からは、ほとんど分離されたことのない *S. minnesota*, *S. good* などが見出され、サルモネラ菌分布の国際化、多様化の一端がうかがわれる。

ひるがえって、国産食肉のサルモネラ汚染は、坂井²¹⁾によれば 1966 年~1968 年で、検体 1,085 のうち約 9% から検出され、菌型としては、*S. derby*, *S. typhimurium*, *S. infantis* の検出頻度が高い。また深沢²²⁾は屠場を中心に、サルモネラ菌の環境汚染状況を追跡している。芝浦、横浜；大宮の屠場から 25 種の菌型が分離され、*S. derby*, *S. meleagridis*, *S. typhimurium*, *S. livingstone* などの分離件数が多いとしている。また小売店での汚染率の高い点が注目される。また屠場からの汚染水が河川を汚し、これが元になってわれわれの生活をおびやかす危険性は十分にあり、この点も見逃しえないところである。

線量は、凍結馬肉の場合、0.65 M rad で 10⁶ の殺菌をすれば十分であろう。カンガル肉も同様に考えられている。

LEY⁴⁾ は 35 トンの凍結馬肉を用いて大規模な放射線殺菌試験を試みた。凍結状態を保つため、照射は 0.25 M rad にとどめたが処理肉は完全にサルモネラ菌が殺菌されていた。一方未処理肉は、60% が汚染されていた。この結果理論値の 0.65 M rad より実際はもっと低い線量で十分であるといえる。

(3) 家禽類の放射線殺菌

鶏、アヒル、七面鳥、ガチョウのような家禽も人のサルモネラ中毒の主要な媒体となる。坂井²¹⁾の報告では市販鶏肉の汚染度合は、19.5% で食肉中もっとも高い。アメリカでは七面鳥や鶏による中毒が圧倒的に多く、サルモネラ中毒の 30~50% がこれらに原因している。

家禽肉に対する線量は、凍結したもので 0.4~0.5 M rad であろう。家禽肉は、照射によって off flavor が出やすく、鶏は 0.1 M rad でも不快ではないが色や匂いの変化がみられる。しかし食前に焼けば 0.8 M rad までは非照射のものと差はない。

(4) 卵および卵製品の放射線殺菌

わが国の輸入冷凍・乾燥卵製品について、鈴木²³⁾の詳

第6表 液卵および凍結卵中においてサルモネラ菌を 10^7 /g減少させるのに要する線量

サルモネラ菌	菌数を 10^7 減少させるのに必要な線量	
	液状卵	凍結卵
<i>S. gallinarum</i>	0.280	0.378
<i>S. senftenberg</i>	0.350	0.350
<i>S. typhi-murium</i>	0.392	0.462

細な報告がある。1963～1968年の6年間についてみると、アメリカ、中共、オーストラリアなど10カ国からの卵製品597検体のうち約9%にサルモネラ菌が検出された。とくに一般生菌 $10,000$ /g数以上のものでは、70%までが汚染されていた。菌型では、*S. thompson*が35%でもっとも多く、*S. typhimurium* (24%)、*S. binza* (11%)、*S. anatum* (9%)がこれについている。

放射線により卵製品中のサルモネラ菌を除く研究は、アメリカで電子線照射によって始まった²⁴⁾。その目的は、乾燥前に液状全卵に照射し、サルモネラ菌のいない粉末卵を製造することであった。その結果0.28 M rad処理により、高濃度に汚染した卵でも十分殺菌でき、しかも噴霧乾燥した粉末卵のいり卵には、off flavorが感じられなかったという。オランダの例²⁵⁾では 10°C で 10^6 落とすのに0.2 M rad、 10^9 落とすのに0.5 M radを要している。また中共産の凍結卵について、 10^7 落とすのに0.5 M radで十分であるとしている²⁶⁾。(第6表)

さて照射による品質の変化であるが、KEMPEら²⁷⁾は液状卵の場合、0.01 M radでも明らかな品質変化がみられるのに、サルモネラ菌の除去には0.15 M rad必要なこと、また0.28 M radでは食用に耐えなくなることから非凍結卵製品の放射線殺菌は実際的ではないとしている。しかし凍結したものなら0.5 M radでほとんど非照射と差がないといわれているので、卵製品はすべて凍結温度($-12\sim-15^\circ\text{C}$)で照射すべきであろう。

V. 放射線照射した飼料の健全性

オランダ²⁸⁾で48頭のブタを用いて照射殺菌した飼料の健全性のテストを行なっている。すなわち、トウモロコシ(25%)、大麦(23%)、マイロ(15.5%)、オーツ(10%)、苧(10%)、フィッシュミール(7.5%)などからなる混合飼料を①未処理、②加熱殺菌($80-85^\circ\text{C}$, 30分間)、③照射殺菌(1 M rad)の3区に分け、ブタに与えその後の生育を比較した。100日後最初25 kgのブタが約100 kgになったが、そのときの成績は第7表のとおりである。体重増加割合が照射区の方がむしろすぐれている。

第7表 飼料とブタの体重増加割合との関係

処 理	体重増 g/日	飼料効率*
1. 未 処 理	767	2.85
2. 加 熱	770	2.81
3. 照 射	800	2.74

* (kg 飼料/kg 成長)

この場合混在する *Enterobacteriaceae* は未処理のものでは 10^5 /gである。これが殺菌後は、30例中、加熱殺菌したもので5例、照射殺菌したもので2例に検出されたが、サルモネラ菌はすべて殺菌されていた。デンマーク²⁹⁾でもブタを用いて同様の結果をえており、全く問題は出ていない。

このほかネズミを使った実験は非常にたくさんあるが、いずれも健全性に問題のないことを証明している。

MOSSEL³⁰⁾は、普通の飼料はよいとしても、不飽和脂質を多量に含むフィッシュミールの場合はどうかという考えから、ニシンのミールに0.8 M rad照射し、これを飼料の35% (乾物) 与えてラットの飼育試験を行なった。その結果1.5年間のテストでなんらの成長阻害を認めなかったという。

VI. 照射処理の検知法

サルモネラ菌の殺菌のため、放射線処理が許されたとしても、果してその処理が十分なされたかどうかを知るのは実際問題として重要なことである。たとえば凍結馬肉や家禽、飼料などで、輸出国側に放射線殺菌が義務づけられたとしても、輸入国で正しく照射されているかどうかを知ることが必要である。また放射線処理が許可されていない国では、照射された品物が国内に入るのを防ぐためには検知法が必要となろう。このような意味から検知法の確立は重要ではあるが、残念ながら現在のところ検知法は知られていない。

卵の加熱殺菌処理の有無なら、アミラーゼ活性を測定する³¹⁾ことによってわかるが、放射線殺菌ではこのような簡単な検知方法がない。酵素は一般に生体中で放射線に強く活性の変化がほとんどないので、照射の指標となるようなものは知られていない。蛋白、ビタミンなどの変化も有意差がなく、これも基準にならない³²⁾。

また食品中の放射能を測定しても照射による差は全く認められない³³⁾。

HILLSら³⁴⁾は0.5～5 M rad照射した凍結馬肉の雰囲気ガスクロにかけ、ある2つのピークの高さの比から、照射処理したものは明らかに区別できるとしている。

る。かれらは、また血液中のミオグロビンが照射処理によって *sulphmyoglobin* になることを利用して比色分析による検定を試みているが、まだうまくいっていない。結局現在のところ公認された照射処理の検討法はない。それで放射線で色が変わるラベルをはりつけるとか、照射したことを明記した標示をとりつけるとかするよりよい方法がない。

VII. 照射装置と経済性

照射装置は、サルモネラ菌に汚染される可能性の高い凍結馬肉、カンガル肉、凍結卵、飼料などを輸出する側に設ける方が、輸入国の港におくよりは大量の同一物に同一処理をくり返すだけであるから、効果的であると思われる。しかし放射線処理の実用化にさいしては、国により足並みが揃わぬため、国際的なとりきめができるまでは、照射が許可された輸入国で順次設置する方が実際のであろう。

サルモネラ菌殺用の照射装置は、線量が食品の種類を問わず、ほぼ $0.3 \sim 0.8 \text{ M rad}$ であるから、照射対象によって装置が基本的に異なることはない。

LEY¹²⁾ は凍結馬肉 および 凍結卵を処理するための装置を設計し、かつコスト計算を行なっている。装置は第4図のごとくである。 $70 \times 200 \text{ cm}$ の板状線源 ($50 \sim 60 \text{ 万 Ci}$) の周囲を品物を入れたカゴが片面 1.5 往復ずつ、合計3往復して -15°C で 0.5 M rad (卵)、または 0.65 M rad (肉) の照射を行なうことになっている。

カゴには凍結肉の場合、約 $91 \times 46 \times 46 \text{ cm}$ のブロックを2個、または約 $61 \times 46 \times 20 \text{ cm}$ のブロックを3個収容できる。凍結卵の場合は、 $96 \times 61 \times 36 \text{ cm}$ の缶 (12.7 kg 入り) が6缶入る。

処理コストを算出する場合、大ざっぱに投下資本と運

営費に分けて考えているが、LEY²⁾ はこの装置で冷凍肉を照射するとして、資本として (線源、建物など) 1億5,000万円。running cost (人件費、維持費など) は4,000万円。年間処理量 $12,000 \text{ ton}/8,000 \text{ 時間}$ 、線量 0.65 M rad 、線源コバルト 60, 50 万 Ci 線源効率 40% として、冷凍肉 1 kg 当りの処理費用は3.7円としている。この場合コバルト 60 の値段を 1 Ci 当り 200 円と計算しているが、現在では200円を割っており、また将来はかなり安くなると思われる。線源効率を 40% としているが、これはやや高すぎるようで、これが低くなるとコストは高くなるわけである。

冷凍馬肉の値段²⁾ は、アルゼンチンからイギリスに輸入されるとき、1 kg 130 円である。もしこれにサルモネラ菌が検出されると、肉は全部煮沸殺菌され、1 kg 150 円で缶詰用 pet food の原料とされる。一方検疫をパスすれば、220~270 円の高値で pet food 用生肉として売られる。このようにサルモネラ菌汚染の有無によって価格に大きな開きがあり、放射線処理費が LEY の値の倍であっても経済的效果は大きい。

凍結卵についても LEY¹²⁾ の報告がある。前述の plant での計算であるが、データはすこし古い。しかし当時 (1961 年) の計算によれば、投下資本2億3,500万円、running cost 6,400万円、年間処理量 $12,000 \text{ ton}/8,000 \text{ 時間}$ 、線量 0.5 M rad 、線源コバルト 60, 60 万 Ci、線源効率 25% 以上として、凍結卵 1 kg 当り5円としてある。ここにはコバルト 60 の値段を 1 Ci 当り270 円とみている。

参考までに加熱処理費をあげると、 52°C 、2.5 分処理で、液状卵の場合で 5~10 円、凍結卵で 60 円くらいであるから、放射線処理の方が有利であるといえよう。

以上はイギリスの例であるが、LITTLE³⁴⁾ がアメリカ原子力委員会のために計算した結果では、液状卵の加熱殺菌で 1 kg 当り 86 銭、放射線殺菌では 5.9~9.3 円としており、そのコストの開きはかなり大きい。

また URBAIN³⁵⁾ は投下資本の回収年数、コバルト 60 の値段、線源効率、処理量、照射線量など多くの要因を考慮しながら、詳細な処理コストの計算を行なっている。

投下資本6億4,000万円、running cost 1億5,000万円、コバルト 60 の線源効率 21%、 $1,800 \text{ M rad kg/hr}$ で年間 6,000 時間稼動したとして、 0.3 M rad で 1 kg 当り 8~12 円としている。この数字は少し高すぎるように思われる。

要するに放射線処理費の計算は、非常に多くの要因が

第4図 凍結馬肉および凍結卵照射用装置

あるので、研究者によって異なるデータが提案されている。しかし現に照射会社の責任者になっているLEYの計算がもっとも妥当ではないかと思われる。

おわりに

近年サルモネラ菌に汚染された食品や飼料などの輸出入により、世界的にサルモネラ菌がばらまかれている状態であり、わが国にとってもゆるがせにできない問題となっている。これを防止する方法として、加熱殺菌法の他に、放射線殺菌法が有効な方法であることを紹介した。

放射線殺菌が技術上すぐれているとしても、照射したものを人間が食用にする場合、その健全性について慎重な検討がなされねばならない。万全を期した健全性実験の結果放射線処理によるサルモネラ菌の殺菌が許可されるならば、われわれ国民にとって益するところきわめて大であろう。

文 献

- LEY F. J.: Sterilization with ionizing radiation U.K.AEA. Research Group. Wantage Research Laboratory (A.E.R.E.).
- LEY F. J.: U.K.A.E.R.E. Report HL 65/6159 (1965).
- Comer, A.G., ANDERSON, G.W., GARRARD, E.H.: *Can. J. Microbiol.*, **9**, 321 (1963).
- LEY, F. J., FREEMAN, B., HOBBS, B.: *J. Hyg. Camb.*, **61**, 515 (1963).
- LEY, F. J., KENNEDY, T. S., KAWASHIMA, K., ROBERTS, D., HOBBS, B.C.: *J. Hyg. Camb.*, **68**, 293 (1970).
- LICCIARDELLO, J.J.: *Food Sci.*, **63**, 469 (1963).
- KAN, B., GOLDBLITH, S. A., PROCTOR, B. E.: *Food Sci.*, **22**, 509 (1957).
- LICCIARDELLO, J. J.: *J. Food Sci.*, **19**, 469 (1964).
- TARPLEY, W., ILAWSKY, J., MANOWITZ, B., HORGAN, R.V., *J. Bact.*, **65**, 305 (1953).
- GOLDBLITH, S.A., PROCTOR, B.E., DANIDSON, S., KAN, B., BATES, C. J., OBERLE, F. M., KAREL, M., LAND, D.A.: *Food Research*, **18**, 659 (1953).
- BELLAMY, W.D., LAWTON, E.J.: *Nucleonics*, **12**, 54 (1954).
- INGRAM, M., RHODES, D.N., LEY, F.J.: U.K. A.E.R.E. Report R 3811 (1961).
- MOSSEL, D.A.A., DEGROOT, A.P.: Radiation Preservation of Foods, Publ. 1273. Nat. Acad. of Scie. NRC. Washington D.C. 233 (1965).
- 鈴木 昭: メディアサークル **14**, (8) 300 (1969).
- WITKIN, E.: *Proc. Natl. Acad. Sci.*: U.S., **32**, 59 (1946).
- LICCIARDELLO J.J., NICKERSON, T.T.R., GOLDBLITH, S.A.: Panel Meeting on Radiation of Harmful Organisms from Food and Feed. I.A.E.A. p. 12-16 June (1967).
- ERDMAN, I.E., THATCHER, F.S., MACQUEEN, K.F.: *Can. J. Microbiol.*, **7**, 207 (1961).
- 橋本秀夫: メディアサークル, **14**, (8) 346 (1969).
- MOSSEL, D. A. A.: *Food Irradiation*, p. 365 (1966).
- 鈴木 昭: メディアサークル, **15**, (10) 425 (1970).
- 坂井千三: メディアサークル, **14**, (8) 315 (1969).
- 深沢 平・増田敬三: メディアサークル, **14**, (8) 333 (1969).
- 鈴木 昭: メディアサークル, **16**, 49 (1971).
- PROCTOR, B.E., JOSLYN, R.P., NICKERSON, J.T.R., LOCKHART, E.E.: *Food Technol. Campaign* **7**, 291 (1953).
- MOSSEL, D.A.A.: *Int. J. Appl. Radiat. Isotopes*, **9**, 109 (1960).
- BROOKS, J., HANNAN, R.S., HOBBS, B.C.: 2nd U.N. Geneva Conf. Session D-22 P/64 p. 374 (1958).
- KEMPE, L.L., GRAIKOSKI, J.T., BONVENTRE, P.J.: *Appl. Microbiol.*, **7**, 131 (1959).
- DAMMERS, J., KAMPFELMACHER, E.H., EDEL, W., VAN SCHOTHORST, M.: *Food Irradiation*, p. 159 (1966).
- HANSEN, P.I.E.: *Food Irradiation*, 411 (1966).
- MOSSEL, D.A.A.: Microbiological Problems in Food Preservation by Irradiation p. 15 (1967).
- SHIRIMPTON, D.H., MONSEY, J.B., HOBBS, B.C., SMITH, M.E.: *J. Hyg. Camb.* **60**, 153 (1962).
- Report of the Working Party on Irradiation of Food: U.K. Ministry of Health (1964).
- HILLS, P.D., SMITH, A.H.: A.E.R.E.-R 5461 (1967).
- LITTLE, A.D.: U.S.A.E.C. Report NYO-3426-1 (1965).
- URBAIN, W.M.: *Food Irradiation* p. 397 (1966).