電子線照射によるウインナーソーセージの表面殺菌

渡辺 宏*・久米民和*・伊藤 均*・青木章平*・佐藤友太郎*

Shallow Irradiation of Vienna Sausage by Electron Beams in Prevention of the Slime Production

HIROSHI WATANABE, TAMIKAZU KUME, HITOSHI ITO,
SHOHEI AOKI and TOMOTARO SATO

Vienna sausages get spoiled by slime production or putrefaction due to the propagation of microorganisms when stored only for 3 to 5 days at 10°C. The radiation pasteurization of vienna sausages has mainly been studied with gamma irradiation. The slime of sausages is believed to be microorganisms themselves growing on the surface of sausages. Pasteurization of the surface of vienna sausages with electron irradiation was thus investigated. The results obtained are as follows:

The vienna sausages irradiated with a dose of 0.8~1.0 Mrad by 0.5 MeV electrons could be stored without slime production or putrefaction for more than a week at 11°C. The effect of pasteurization increased with energy and dose of electrons. However, the changes in the organoleptic qualities of vienna sausages were detected when irradiated with a dose of over 0.7 Mrad by 2.0 MeV electrons. Consequently, the irradiation with a dose of 1.0 Mrad by 1.0 MeV electrons was effectual in lengthening their shelf-life without deterioration of the organoleptic qualities.

(Received July 2, 1974)

ウインナーソーセージ (以下 VS と略す) は通常 10°C 以下で貯蔵, 流通されているが, 製造してから 3 日から 5 日でネットが発生し, 特に夏期においてはメーカーから小売店への配送中は低温輸送されるべきであるが, 不十分な場合に鮮度, 品質の低下をきたしている。VS に発生するネットの構成物質についてはいくつかの報告^{1)~4)}があるが, 一般にネットの主要な構成物質は表面に繁殖してきた微生物体そのものと, 微生物による VS の分解生産物との集合体であるといわれている。VS の表面からどの程度の深さまでに存在する微生物がネットの発生に関与しているかは明らかではないが, 西田ら⁵⁾によれば外表面菌の増殖がネットを形成し, 内部菌の増加はネットに関与しないといわれている。したがって, VS 内に存在する微生物のうち比較的表面近く, すなわち, 羊腸の表面や羊腸と内部練肉との間, あるいは, 内部練肉の表面近くなどに分布している微生物がおもにネットを形成するものと思われる。それゆえ, 電子線による表面殺菌によってネットの発生を抑制できる可能性があり, かつ, ネットの

抑制に必要な線量を照射しても, VS の表面部分だけが照射されるため, γ 線で照射した場合よりも VS の品質に与える影響は少ないことが期待される。そこで電子線照射による VS の貯蔵性の延長と, 照射が VS の品質におよぼす影響について検討したので報告する。

実験方法

1. 供試試料

試料としては高崎ハム製の無着色市販品の VS (以下市販品 VS という) と特定総合研究用に合成保存料や合成殺菌剤などを添加しないで特別製造した VS (以下特注品 VS という) とを使用した。1 袋中の VS の重量は市販品 VS で 150 g であり, 特注品 VS では 200 g であるが各袋により微生物の汚染度は異なると思われるので, なるべく試料間の汚染度の差をなくすため, 実験に使用する前に 5~10 袋を開封し, その中から無作為に 4~5 本ずつポリセロ袋またはナイロン-12 袋に入れ, 常陸電気工業製の真空包装機により真空包装を行なった。VS は製

* 日本原子力研究所高崎研究所食品照射開発試験室 (高崎市綿貫町 1233)

Food Irradiation Development Laboratory, Takasaki Radiation Chemistry Research Establishment,
Japan Atomic Energy Research Institute, Watanuki-machi, Takasaki, Gunma.

造日から2日以内に照射を行ない、実験に供試した。また実験に使用するまでの間は5°Cに貯蔵した。

2. 照射方法及び吸収線量の測定

電子線の照射はコッククロフト型電子線加速器(1~3 MeV)を使用し、照射用コンベアを用いて移動照射を行なった。また、吸収線量の均一を図るため、反転することにより試料を両面から同線量照射した。1.0 MeV以下のエネルギーで照射する場合にはスキャンナーとコンベアの間(25 cm)に200 μ ×77 cm×40 cmのアルミニウム板を2枚、4枚、6枚と入れることにより電子線のエネルギーを下げた。アルミニウム板はスキャンナーの下約7 cmの位置に設置した。

深部線量分布の測定はcellulosediacetate(以下CDAと略す)フィルムを線量計として使用し、8~20枚重ねて照射したのち、各フィルムの280 nmの吸光度の変化を測定した。なお、CDAの厚さは398 μ であり、密度は1.29 g/cm³のものを使用した。したがって、CDA1枚の厚さを面積密度で表わすと0.051 g/cm²である。深部線量分布は物質の原子番号に依存して変化するが、VSの場合にはCDAに対する分布が近似的に一致するものと考えられる。

コンベアを用いて移動照射を行なった場合の吸収線量は次式より計算した。

$$D = \frac{f(x)EQ}{x} \times 10^5$$

D: 吸収線量 (rad)

f(x): 移動照射の場合の深部線量分布曲線より得られる試料厚を関数とする電子線利用効率

E: 試料面における電子線エネルギー (MeV)

Q: 1 cm²の試料が移動照射されたとき受ける全電荷量 (μ C/cm²)

x: 試料の厚さ (g/cm³)

各エネルギーの電子線で照射したときの線量は表面における吸収線量で表わした。また、吸収線量を変化させるには、適当な吸収電荷量Qが得られるようにコンベアスピードを変化させた。たとえば、1.0 MeV, 1 mAで照射して表面1.0 Mradの吸収線量を得る場合には、各項はf(x)/xが0.2 g/cm³までほぼ一定で3.3となり、Eはチタン製スキャンナー窓によるエネルギーの損失を考慮すると0.93 MeVとなるから3.23 μ C/cm²の電荷量Qが必要となり、ビームコレクターによる電荷量の測定結果から、コンベアスピードは2.57 m/minとなった。

γ 線照射は7万 Ci コバルト 60 を使用し、5×10⁵ rad/

hrの線量率で照射した。なお、線量の測定はフリッケの鉄線量計⁶⁾によって行なった。

3. 密度の測定

100 mlのメスシリンダーに一定量の水を入れ、VSに重りをつけて沈め、その体積増をホールビペットとメスビペットにより計量した。測定時の水温は20°Cであった。測定は7試料について各々体積の測定を行ない、各測定値は鉄製の標準球(8.58 ml)を同じ操作で測定した時の値から補正した。体積を測定する前に試料の重量を測定しておき、求められた体積値で割ることにより、VSの密度を求めた。

4. ネットの検出

真空包装した場合には貯蔵中のVSの表面に現われる粘性物質を検出することが困難であった。しかし、予備実験で貯蔵中にVSからの浸出液が次第に濁り、長期間貯蔵したものでは浸出液が完全に白濁することを確かめたので、真空包装におけるネットの検出は浸出液の濁りから判定する肉眼的観察によって行なった。すなわち、判定は(−): 濁りなし, (±): 少し濁る, (+): 明らかに濁る, (++) : 著しく濁る, これら4段階の基準によって行ない、(±)以上をネットが発生したものとして計数処理した。

5. 官能検査法

官能検査は当研究所職員より無作為に選んだ男女13名(Table 6)または14名(Table 7)をパネルとして行なった。試料としては、特注品VSをナイロン-12で真空包装し、室温(22~23°C)で照射したものを使用した。種々のエネルギーや線量で照射したVS3点と非照射VS1点の合計4点を検査試料として、ラテン方格により試食順序を定めてパネルに呈示し、対照として別に呈示した非照射VSとの相対的評価を11点法で採点した。テストは1日1回行ない、本実験においては特に外観、香り、味の3項目に限定して官能検査を行なった。また、検査結果は分散分析法⁷⁾により解析して、有意差の検定を行なった。

6. テクスチャーの測定

テクスチュロメーター(K.K. 全研)によりVSのテクスチャーを測定し、硬さ、凝集性、弾力性、脆さ、咀嚼性の5項目について調べた。テクスチャーの測定は2種類の方法で行なった。すなわち、1つは羊腸詰めVSをそのまま横から測定する方法であり、もう1つは羊腸を取り除いたのち、幅13 mm(約0.5 inch)に輪切りにしたものを切口方向から測定する方法である。羊腸を除いたVSの測定においては高さ10 mm、穴の直径

22 mm の枠を使用してテクスチャーを測定した。測定条件を次に示す。プランジャー；ルサイト 18 mm，カップ；アルミニウム合金平皿，クリアランス；2 mm，電圧；0.5 V，チャートスピード；750 mm/min，咀嚼回数；12/min。測定試料は各袋から無作為に選び，各測定区 5 試料について測定したのち，その平均値を求めた。

実験結果

1. 電子線のエネルギーと透過距離

電子線で VS を殺菌する場合，どの程度深部まで照射する必要があるかという問題がある。電子線のエネルギーを変えると VS 中での電子の飛程が変化するから，種々のエネルギーの電子線で照射することにより，VS の殺菌に必要なエネルギーを求めることができると考えられる。今回使用した加速器の最小加速電圧は 1 MV であるため，それ以下のエネルギーの電子線を得る目的で吸収板としてアルミニウム板を使用した。

1.0 MeV，1 mA で照射した場合のアルミニウム板透過後の物質中における深部線量分布を CDA について求め，Fig. 1 に示した。縦軸はアルミニウム板を使用しないで測定した深部線量分布曲線において，最大ピークを 1 としたときの相対線量を示しており，横軸は CDA の

Fig. 1. Dose Distribution in Cellulosediacetate Irradiated by Electrons of Different Initial Energies

Curve A: 2.0 MeV, Curve B: 1.0 MeV, Curve C: 1.0 MeV (A1-2)*, Curve D: 1.0 MeV (A1-4)*, Curve E: 1.0 MeV (A1-6)*.

* Numerals in parentheses show number of aluminium plates. Initial energy (1.0 MeV) of electrons was reduced by passing the electrons through the aluminium plates of different thickness.

厚さを面積密度で表わしたものである。この深部線量分布曲線から KATZ, L. と PENFOLD, A.S. の式⁸⁾ ($R_p = 412E_0^{1.265-0.0054 \ln E_0}$) を用いてアルミニウム板を使用した場合の電子線のエネルギーを推定した。KATZ らの式はアルミニウム中での電子線の透過曲線より得られる飛程と，エネルギーに関して求められた実験式であるが，ここでは，透過曲線から得られる飛程と，深部線量分布曲線より得られる飛程とが近似的に一致するものと考え，また，アルミニウム中の飛程と CDA 中の飛程は同じであると仮定して，アルミニウム板を各枚数使用したときのおおよその電子線エネルギーを計算し，Table 1 に示した。吸収体を使用することによって電子線のエネルギーを下げた場合，LONERGAN⁹⁾ らが示すようにエネルギー分布が広がっており，ここで算出したエネルギーはこの分布の最大値に近いエネルギーを与えると思われる。また，1 MeV の電子に対する質量阻止能についてみると，アルミニウムが 1.47 MeV/g/cm² であるのに対し，炭素は 1.63 MeV/g/cm² であるから，アルミニウム中の飛程の方が CDA 中よりも約 10% ほど大きなものと思われる。したがって，Table 1 におけるエネルギーの計算値は実際よりもいくらか小さな値を示しているものと考えられるが，以後の実験において，アルミニウム板を使用した場合のエネルギーはこの計算値で表現した。

実験方法で述べたように，本研究における線量は表面の吸収線量として表現したが，照射効果を検討するために，Fig. 1 に示した深部線量分布曲線を用いて最大飛程までの平均吸収線量を計算した。すなわち，深部線量分布曲線の総面積から吸収された全エネルギーを計算し，それが最大飛程までの距離に平均に吸収されるものと仮定して平均吸収線量を計算すると，表面吸収線量 1.0 Mrad 照射した場合の平均吸収線量は 0.5 MeV で 0.39 Mrad，1.0 MeV で 0.79 Mrad，2.0 MeV で 0.99

Table 1. Changes in Practical Range and Energy of Electrons by Aluminium Absorber

Number of plates	Thickness of absorber (μ)	Practical range (g/cm ²)	Energy (MeV)
0	0	0.38	0.9
2	400	0.27	0.7
4	800	0.16	0.5
6	1200	0.06	0.3

An aluminium plate of 200 μ×77 cm×40 cm was used as absorber of electrons. The energies of electrons were calculated by the empirical equation of KATZ, L. and PENFOLD, A.S.

Table 2. Maximum Penetration of Electron Beams of Different Initial Energies in Vienna Sausage

Energy (MeV)	Maximum penetration (cm)	
	Specially made vienna sausage (0.967±0.009)*	Commercial vienna sausage (0.962±0.020)*
0.5	0.21	0.21
1.0	0.43	0.44
2.0	1.09	1.09

The diameter of vienna sausage was in the range of 1.57 to 1.98 cm. The average of twenty-eight determinations was 1.75 cm.

* Numerals in parentheses show the density (g/cm³) of the sausages.

Table 3. Effect of Electron Irradiation on Storage of Specially Made Vienna Sausage

Energy (MeV)	Dose* (Mrad)	Number of slimy vienna sausages				
		Storage (days)				
		0	4	8	11	14
non-irradiated		0	2	24	30	30
0.5	0.3 (0.12)	0	0	18	30	30
	0.5 (0.20)	0	0	15	20	30
	0.8 (0.31)	0	0	0	5	30
	1.0 (0.39)	0	0	0	6	30
1.0	0.3 (0.24)	0	0	3	13	30
	0.5 (0.39)	0	0	0	12	24
	0.8 (0.63)	0	0	0	2	15
	1.0 (0.79)	0	0	0	0	9
2.0	0.3 (0.30)	0	0	0	12	30
	0.5 (0.49)	0	0	0	10	21
	0.8 (0.79)	0	0	0	0	12
	1.0 (0.99)	0	0	0	0	15

The slime was detected by turbidity of an exudate from sausage. Thirty sausages were used, and packed in vacuum, and stored at 11°C.

* Dose means the surface dose, and numerals in parentheses show the mean dose of up to maximum range.

Mrad となった。

次に種々のエネルギーで照射した VS 中での電子線の最大透過距離を検討するため、VS の密度を測定した結果、特注品 VS では 0.967 ± 0.009 (g/cm³) であり、市販品 VS では 0.962 ± 0.020 (g/cm³) であった。そこで、各エネルギーでの最大透過距離を Table 2 に示した。特注品および市販品の VS とともに密度にあまり差がないため、最大透過距離はほぼ同じであり、0.5 MeV の場合で約 0.2 cm、1.0 MeV では約 0.4 cm、2.0 MeV では約 1.1 cm となった。VS の直径は約 1.6~2.0 cm までの範囲で大きなバラツキがあるが、平均すると大体 1.8 cm

であった。したがって、2.0 MeV の場合には VS の中心部まで電子線が透過していることになるが、1.0 MeV 以下では表面部分だけが照射される。

2. 照射によるネット抑制効果

特注品 VS を各区 30 本使用し、ポリセロで真空包装したものを照射後 11°C に貯蔵して浸出液の濁りからネットの発生を判定した。その結果を Table 3 に示した。非照射試料ではすでに 4 日貯蔵後で濁りが検出されはじめ、8~11 日の間にすべての VS にネットの発生がみられたのに対し、照射した VS では 0.5 MeV で 0.8 Mrad 照射したものでも 8 日間は微生物の生育を抑制できた。また、照射した VS では濁りが検出されても全般に非照射のものに比べて濁りの程度は低く、微生物の生育はかなり抑えられているものと思われる。1.0 MeV や 2.0 MeV で照射した VS ではネットの発生は、貯蔵日数が経過するにしたがってゆるやかに増加するが、0.5 MeV の場合には 0.8 Mrad および 1.0 Mrad 照射したもので明らかなように 11 日から 14 日の間に著しい微生物の増加がみられた。平均吸収線量で比較した場合、0.5 MeV、0.8 Mrad と 2.0 MeV、0.3 Mrad、および 0.5 MeV、1.0 Mrad と 1.0 MeV、0.5 Mrad との間でみると、平均吸収線量は同じであっても、0.5 MeV のほうが貯蔵初期においては殺菌効果が高く、これは表面吸収線量が大きいことによるものと考えられる。しかし、1.0 MeV、1.0 Mrad と 2.0 MeV、0.8 Mrad では平均吸収線量は同じであるが殺菌効果における差はあまり著しくなかった。これは両者とも表面吸収線量が 1.0 Mrad や 0.8 Mrad というようになり大きかったため、殺菌効果における差があまりみられなかったものと思われる。

ナイロン-12 で真空包装した特注品 VS について、電子線と γ 線で各々 0.5 Mrad 照射したのち、11°C に 14

Table 4. Occurrence of Slime on Specially Made Vienna Sausage Irradiated with a Dose of 0.5 Mrad by Electrons of Different Energies and Gamma Rays

Radiation	Energy (MeV)	Number of sausages used	Number of slimy vienna sausages
non-irradiated		14	14
electron	0.5	14	9
	0.7	14	7
	1.0	14	4
	2.0	14	2
γ-ray	1.25	14	2

Vienna sausages were packed in vacuum and stored at 11°C for two weeks

Table 5. Effect of Electron Irradiation on Storage of Commercial Vienna Sausage

Energy (MeV)	Dose (Mrad)	Number of sausages used	Number of slimy vienna sausages				
			Storage (days)				
			0	4	7	14	20
non-irradiated			0	0	10	15	15
1.0	0.5 (0.39)	15	0	0	0	6	15
	0.7 (0.55)	14	0	0	0	3	14
	1.0 (0.79)	14	0	0	0	0	11
2.0	0.5 (0.49)	14	0	0	0	2	11
	0.7 (0.69)	14	0	0	0	0	8
	1.0 (0.99)	14	0	0	0	0	6

Vienna sausages were stored at 9°C. Growth of microorganisms was determined by turbidity of an exudate from sausage. Dose means the same as that of Table 3.

日間貯蔵した場合のネットの発生を調べ、Table 4 に示した。ポリセロ包装の場合には伊藤¹⁰⁾らの実験結果から好気性菌の増殖もみられるが、ナイロン-12 で包装した場合には貯蔵中のネットの原因菌としては嫌気性菌が主体となる。したがって、照射による殺菌効果は VS 表面や内部練肉中に存在する嫌気性菌に対する効果とみられる。この結果から、ネットの発生はエネルギーに依存しており、エネルギーが高いほどネットの発生が抑制された。2.0 MeV と γ 線とは同じ効果を示したが、2.0 MeV では最大飛程近くの線量は殺菌効果を示すほど高くないから、VS の殺菌には γ 線のように中心部まで照射する必要はないと考えられる。

次に市販品 VS を各区 14~15 本使用し、ナイロン-12 で真空包装したのち、9°C に貯蔵してネットの発生を調べ、20 日間の貯蔵結果を Table 5 に示した。特注品 VS の場合と同じくエネルギーが高いほど、また線量が大いほどネットの発生は抑制され、1.0 MeV、1.0 Mrad および 2.0 MeV、0.7 Mrad の照射で、14 日間は微生物の生育が検出されなかった。Table 4 と Table 5 を比較すると、市販品 VS には合成殺菌剤や合成保存料が添加されているが、無添加の特注品 VS でもナイロン-12 のような包装材を使用すれば、市販品 VS とほぼ同程度の貯蔵性が得られるものと考えられる。

3. 品質におよぼす照射の影響

特注品 VS をナイロン-12 により真空包装し、室温で照射した試料を 13 名のパネルにより検査した。その結果は Table 6 に示すとおりである。0.5~2.0 MeV までの種々のエネルギーの電子線で 0.5 Mrad 照射しても、このエネルギー範囲においては外観、香り、味とも照射しない VS に対して有意差は認められなかった。そこで、さらに高い線量を照射した場合について 14 名の

Table 6. Organoleptic Evaluation of Specially Made Vienna Sausage Irradiated with a Dose of 0.5 Mrad by Electrons of Different Energies

Energy (MeV)	Hedonic score		
	Appearance	Odor	Taste
non-irradiated	5.46	5.77	5.31
0.5	5.38	5.85	5.46
1.0	5.15	5.61	5.15
2.0	5.08	5.08	4.77

Samples were judged by thirteen persons using the elevenpoint scale.

Table 7. Organoleptic Evaluation of Specially Made Vienna Sausage Irradiated by Electrons of Different Energies

Energy (MeV)	Dose* (Mrad)	Hedonic score		
		Appearance	Odor	Taste
non-irradiated		5.50	5.43	5.64
1.0	1.0 (0.79)	4.96	4.64	4.71
2.0	0.7 (0.69)	4.71	4.57	4.50*
	1.0 (0.99)	4.71	4.21*	4.07**

Samples were judged by fourteen persons using the elevenpoint scale.

*) Dose means the surface dose, and numerals in parentheses show the mean dose of up to maximum range.

* Significance from non-irradiated vienna sausage by 95% of probability.

** Significance from non-irradiated vienna sausage by 99% of probability.

パネルで検査し、その結果を Table 7 に示した。2.0 MeV で 0.7 Mrad 照射した VS では外観、香りとも照

Table 8. Texture Evaluation of Specially Made Vienna Sausage Irradiated by Electrons of Different Energies

Energy (MeV)	Dose (Mrad)	Mechanical parameter (texturometer unit)				
		Har	Coh	Spr	Bri	Che
Sausages with sheep casing						
non-irradiated		5.3	0.362	1.0	2.9	1.919
1.0	{ 0.5	5.9	0.264	0.9	3.2	1.402
		1.0	5.0	0.237	0.9	2.4
2.0	{ 0.5	5.1	0.343	0.9	2.3	1.574
		1.0	4.9	0.356	0.9	2.2
Sausages without sheep casing						
non-irradiated		5.0	0.444	0.9	2.4	1.938
1.0	{ 0.5	4.9	0.459	1.0	2.0	2.249
		1.0	4.6	0.452	0.8	1.9
2.0	{ 0.5	4.7	0.482	1.0	1.9	2.265
		1.0	5.1	0.463	0.9	2.4
Har; Hardness Bri; Brittleness		Coh; Cohesiveness Che; Chewiness		Spr; Springiness		

Har; Hardness Coh; Cohesiveness Spr; Springiness
Bri; Brittleness Che; Chewiness

射しない VS と区別できないが、味については 95% の信頼度で有意差が認められ、味の低下を示した。さらに、2.0 MeV, 1.0 Mrad 照射したものでは香りについて 95%, 味については 99% の信頼度で有意差が認められ、非照射試料に比べてかなり品質の低下があることが明らかとなった。しかし、1.0 MeV で 1.0 Mrad 照射した場合には照射しない VS と比べて有意差は認められなかった。したがって、1.0 MeV で 1.0 Mrad, 2.0 MeV で 0.5 Mrad までは VS の風味に変化を与えることなく電子線で照射できる。

次に、照射した VS のテクスチャーの変化を調べ、結果を Table 8 に示した。羊腸のついたままの VS でも、羊腸を取り除いた場合の VS でも、硬さ、凝集性、弾力性、脆さ、咀嚼性の各項目とも、2.0 MeV, 1.0 Mrad までの照射で非照射とほとんど変わらず、照射による影響はみられなかった。したがって、電子線を 2.0 MeV, 1.0 Mrad までのエネルギーと線量の範囲で照射しても VS のテクスチャーには影響を与えないものと思われる。

考 察

電子線照射においてエネルギーが高いほど殺菌効果は大きくなるが、0.5 MeV の電子線で照射しても 1 週間以上微生物の増殖を抑えることができた。0.5 MeV の深部線量分布曲線は、極大ピークをもたないなめらかな減衰曲線を示すが、表面 0.8 Mrad 照射した場合に殺

菌に必要な線量を 0.5 Mrad と仮定すると、VS 表面から約 0.5 mm までが効果的に殺菌されており、羊腸の厚さが約 0.3 mm であるから、大体羊腸の部分だけが殺菌されていることになる。ポリセロで包装した特注品 VS における主要なフローラは乳酸菌、Yeast, *Micrococcus*, および *Acinetobacter* などであるといわれている¹⁰⁾が、これらのうちの好気性菌はおもに羊腸に分布しているものと考えられるから、電子線による羊腸部分の表面殺菌だけでもかなりネットの発生を抑制できることが明らかである。

特注品 VS の γ 線照射の結果から、0.5 Mrad の照射では乳酸菌は貯蔵中にほとんど増殖してこないが、*Acinetobacter* は貯蔵 9 日目から増殖し始めることがわかっている¹⁰⁾。しかし、この *Acinetobacter* の増殖も 0.8~1.0 Mrad 照射した場合には、さらに抑制されると考えられる。したがって、ポリセロ包装した特注品 VS において 0.5 MeV で 0.8~1.0 Mrad 表面殺菌した場合に、貯蔵 11~14 日の間に急激な微生物の増加を示したのは 0.8~1.0 Mrad の照射により殺菌されずに生き残った表皮に分布していた微生物が増殖してきたと考えられるよりも、羊腸よりさらに深部に存在し、0.5 MeV の照射ではほとんど影響を受けなかった微生物が増殖してきたためと思われる。内部に存在する微生物のネットへの寄与については、表面吸収線量が同じ場合には電子線のエネルギーの高いほうが殺菌効果が大きくなることから理解される。

そこで、次にどのくらいの深さまで照射する必要があるかについて検討してみたい。ナイロン-12 で包装した場合には嫌気性菌が主体となるものと考えられるが、嫌気性菌は VS 表面からかなり深部まで分布しているものと思われる。Table 4 の結果からも表面吸収線量を一定にした場合にはエネルギーが高いほうが殺菌効果は大きかった。そこで、効果的な殺菌線量を 0.5 Mrad と仮定すると、2.0 MeV では表面から 6.6 mm まで、また 1.0 MeV では 2.1 mm の深さまでが殺菌されていることになるが、2.0 MeV のほうが 1.0 MeV よりも殺菌効果が大きかった。これは 2.1 mm 以上深部に分布する微生物もネットの発生に関与しているためであると考えられる。いっぽう、ポリセロ包装で貯蔵した場合について検討すると、1.0 MeV と 2.0 MeV での照射の間で殺菌効果においてあまり大きな差が認められなかった。表面吸収線量 0.5 Mrad 照射した場合に、殺菌に必要な線量を 0.5 Mrad とすると、1.0 MeV では VS 表面から 2.1 mm, 2.0 MeV では 6.6 mm くらいまでが効果的

に殺菌されていることになる。したがって、2.0 MeV のほうが約3倍深部まで照射されているにもかかわらず、殺菌効果においてはあまり差が認められなかった。また、1.0 MeV で表面 1.0 Mrad 照射した場合には表面から 3.1 mm, 2.0 MeV で 0.5 Mrad 照射したときには 6.6 mm までが殺菌されていることになるが、殺菌効果としては 1.0 MeV のほうが大きかった。したがって、ネットの発生に関与する微生物はおおよそ VS 表面から深さ 2~3 mm 程度までの範囲に存在しているものと思われ、1.0 MeV 程度の飛程があればかなり効果的に殺菌できるものと考えられる。それゆえ VS のネットに関与する微生物の殺菌には、1.0 MeV のエネルギーで線量を増大させる方法が効果的である。

VS の官能的品質への照射の影響については、WATANABE, W.¹¹⁾らの報告があるが、 γ 線照射により 0.6 Mrad までは風味への影響はないといわれている。また高坂¹²⁾らは 0.5 Mrad 照射した場合には照射後 2~3 日までは off-flavor がわずかに残るが、VS の嗜好性を根本的に変化させるほどではないとしている。電子線で照射した場合には 2.0 MeV で 0.5 Mrad 照射しても風味には全く影響を与えなかったし、1.0 MeV では 1.0 Mrad 照射しても照射しない VS と区別することはできなかった。しかし、2.0 MeV で 0.7 Mrad 以上照射すると風味が悪くなり、1.0 Mrad の照射では味、香りとも照射しないものに比べて明らかに低下した。2.0 MeV で照射した場合、表面吸収線量 0.7 Mrad では平均吸収線量は 0.69 Mrad であり、1.0 MeV で表面 1.0 Mrad 照射した場合の平均吸収線量 0.79 Mrad よりも低い線量を照射されているにもかかわらず、2.0 MeV では味に有意差が認められるなど全体に 1.0 MeV での照射よりも悪い評価を示した。これは電子線の透過性が VS の品質に非常に大きく影響しているものと考えられる。事実、 γ 線で照射した場合には 0.5 Mrad の照射で off-flavor が生じることもあるが、2.0 MeV では 0.5 Mrad 照射しても生じないし、1.0 MeV ではさらに 1.0 Mrad 照射しても off-flavor の発生は認められなかった。このことから明かなように、官能的品質への影響はエネルギーが高いほど大きく、風味をそこなわないで比較的高い線量を照射できる条件としては、1.0 MeV 程度のエネルギーが適しているものと考えられる。

要 約

電子線照射による VS のネット抑制効果を、おもに特注品 VS を使用して検討した。

(1) 電子線のエネルギーが高くなるほど、また、線量が大きくなるほどネット抑制効果は大きく、0.5 MeV で 0.8 Mrad 以上、1.0 MeV で 0.5 Mrad 以上、2.0 MeV で 0.3 Mrad 以上照射することにより、11°C 貯蔵で 1 週間はネットの発生を抑制することができた。

(2) 電子線と γ 線とを比較すると、電子線で 2.0 MeV, 0.5 Mrad 照射した場合と、 γ 線で 0.5 Mrad 照射した場合とで、11°C, 2 週間貯蔵後のネット抑制効果はほぼ同じであった。

(3) 1.0 MeV で 1.0 Mrad 以下照射した場合、または 2.0 MeV で 0.5 Mrad 照射した場合には、VS の官能的品質に変化はみられなかった。しかし、2.0 MeV で 1.0 Mrad 照射すると、香りと味の低下が認められた。

(4) 2.0 MeV までのエネルギーと 1.0 Mrad までの線量範囲では、照射 VS のテクスチャーに変化はみられなかった。

本研究を進めるにあたり、線量測定について御協力いただいた当研究所の須永博美、田中隆一、四本圭一の諸氏に、またテクスチャーの測定に関して有益な御助言をいただいた食肉加工協会の高坂和久氏に感謝いたします。

文 献

- 1) 中川雅郎・新井敏子・今泉 清・松村宏通：日獣会誌, 17, 267 (1964).
- 2) 西田 博：肉の科学, 7, 81 (1966).
- 3) 高坂和久：食品と科学, 12, 32 (1965).
- 4) 森 一雄・山本泰男・沢田玄道・赤羽義章・泡淵美夫：New Food Industry, 8, (8), 29 (1966).
- 5) 西田 博・山口東十・川出光生・富士川明彦・坂本舞子：New Food Industry, 14, (8), 56 (1972).
- 6) 寺川 彰：線量測定講習会テキスト, (東京), p. 66 (1960).
- 7) 吉川誠次：食品の官能検査法, (光琳全書), p. 107 (1965).
- 8) KATZ, L. and PENFOLD, A.S.: Rev. Mod. Phys., 24, 28 (1952).
- 9) LONERGAN, J.A., JUPITER, C.P. and MERKEL, G.: J. Appl. Phys., 41, 678 (1970).
- 10) Ito, H. and SATO, T.: Agr. Biol. Chem., 37, 233 (1973).
- 11) WATANABE, W., TAPE, N.W. and LARMOND, E.: Can. Inst. Food Technol. J., 2, (4), 181 (1969).
- 12) 高坂和久・小沢総一郎・壇原 宏：食品工誌, 20, (12), 559 (1973). (昭和49年7月2日受理)