

氏名(本籍)	こう 高	さか 坂	かず 和	ひさ 久(東京都)
学位の種類	農	学	博	士
学位記番号	農	第	117	号
学位授与年月日	昭和50年 1月16日			
学位授与の要件	学位規則第5条第2項該当			
最終学歴	昭和25年3月 東京農業大学農学部卒業			
学位論文題目	肉製品の γ 線照射に関する基礎的 研究			

	(主 査)			
論文審査委員	教授	中西武雄	教授	松本達郎
			教授	高橋 甫

論文内容要旨

1 緒言 (第1章)

最近20年間、電離放射線の食品の殺菌への利用は、急速に研究が進み、一部は実用化されるに至った。食品照射に利用される電離放射線は、誘導放射能、飛程、透過性、経済性などから ^{60}Co (ときに ^{137}Cs)を線源とする γ 線、電子線加速器を線源とする電子線が主として用いられ、 α 線、 β 線、X線などは用いられていない。

食品照射は、その照射目的によって、完全殺菌 (Radappertization)、部分殺菌 (Radurization) および衛生殺菌 (Radicidation) に分けられるが、現在、肉製品の1部に許可されているソビエト、オランダでは、Radurizationとして許可されている。

肉製品は200種以上もあり、その保存性は数日から数ヶ月までであるが、とくに保存性の劣るものは、天然ケーシング、通気性人造ケーシング詰め、あるいはスキンレスの小型ドメスチックソーセージである。この種の肉製品は、夏季になると生産調整されるのが通例で、その調整分は3000余も、金額にして約30億円にのぼる。従って、もし、Radurizationによってこの問題を解決することが出来るならば、その益する所はきわめて大である。

また、ベーコン、ラックスハムのような加熱工程 (Cooking) の行われな肉製品 (Uncooked meat products) のRadicidationを兼ねたRadurizationも重要である。

本研究は、以上に述べた肉製品の γ 線照射処理について検討することを目的とした。

2 肉製品における微生物汚染 (第2章)

肉製品の微生物は、原料肉に由来するものと二次汚染が主であるが、原材料のmicro-floraは製造条件によって変化し、最終製品に至る。製造工程中でmicro-floraを左右するのは、cookingとsmoking (くん煙) であり、とくにcooking条件は、食品衛生法で規定されている。この規定をや、上廻る条件でcookingするのが産業界の通例であるが、その場合の生残率は $10^{-3} \sim 10^{-4}$ 程度 (第1表) であった。

また、smokingは、熱くん ($50 \sim 80^\circ\text{C}$) ではcoliform bacteria陽性率を0%に出来るが、温くん ($30 \sim 50^\circ\text{C}$) では陽性率は40%、冷くん (30°C 以下) では14%であった。従って、衛生的には熱くんが好ましいが、品質的には、cooked productsになるため、Uncooked productsから逸脱し、好ましくない。従来からUncooked productsに冷くんが用いられてきたのは、以上のような意義がある。しかし、衛生上、若干問題が残ることも明ら

かである。

3 照射装置および線量分布（第3章）

食品照射を行うには、実際に試料が吸収する線量を、予め測定しておく必要がある。

本実験で用いた照射装置は、放射線総合医学研究所（放医研）と日本原子力高崎研究所（高崎原研）で、線源線量は、前者が ^{60}Co 、 $3 \times 10^3 \text{ Ci}$ 、後者が ^{60}Co 、 $1 \times 10^5 \text{ Ci}$ である。

線量の測定は、主にFricke線量計を用い、color dosimeterを補助に用いた。

放医研は試料容器に対して、周囲から照射されるので線量分布はきわめて均一であった。

（第1図）ただし、容積は小さい。

高崎原研（第2図）は、大量の試料を一時に照射出来るが、線源からの距離が1 m以内の近接照射では、容器の奥行（15 cm）の1/2以下に試料を結めるか、照射中に容器を反転させる必要が認められた。なお、2 m以上の照射であればその必要は認められなかった。（第3図）

また、同装置で極低温照射を行う場合、その試料容器は、内径20 cm×高さ35 cmのステンレス製Dewar's vesselを用いたが、ほぼ理論値に近い実測値が得られたのは、線源に最も近い底部であった。

従って、以後の照射実験は、すべて上記の実験結果に基づいた照射条件を適用した。

4 肉製品のRadurization（第4章）

肉製品をcookingの有無で2つに大別し、それぞれのグループで、保存性や衛生上問題のあるものとして、ウィンナーソーセージ（W. S.）とベーコンを試料に選び、これらのRadurizationの基本的条件を検討した。

1) Cooked meat products

W. S. は製造後1週間位は風味が良いので、1週間ネト（slime）を発生させないために、必要にして十分な最低線量を適正線量として求めた。

その結果、W. S. の微生物学的品質が良好（生菌数 $10^3/\text{g}$ 以下）なときは、0.25 Mrad、不良（ $10^6/\text{g}$ 以上）なときは、0.50 Mradが適正線量（第4図）であった。

0.5 Mrad照射では、照射臭（off-flavor）も肉色の変化も僅少で、嗜好性にほとんど影響を与えなかった。（第5図）

僅かに検知出来るoff-flavorは、照射後経日的に弱くなるが、照射2日後でも、湯煮すれば、全く分らなくなった。（第2表）

W. S. をネット構成菌で汚染させた実験では、非照射W. S. の主な flora は *Lactobacillus* で、1 部に *Leuconostoc* がみられ、冷蔵1 週間後にはネットを生じ、*Lactobacillus* が主であった。これに対し、0.5 Mrad 照射W. S. は、照射直後は *Achromobacter* が主で冷蔵1 週間以降は *Lactobacillus* が主になった。(第3表)

また *Staphylococcus aureus* は *Tryptosoy bouillon* 培地では、0.5 Mrad で死滅したが、W. S. を培地とした時は同一線量で死滅しなかった。従って、Radurization を行う場合、製品の保管、包装における微生物の再汚染を防止することが必要である。

上記の条件を付ければ、フランクフルト ポーク、ボロニアソーセージなど、他の cooked meat products も 0.5 Mrad が Radurization としての適正線量と考えられる。

2) Uncooked meat products

ベーコンは通常、常温で保存されているので、製造後(15~20°C)で1ヶ月間、品質を保証出来る必要にして十分な最低線量を適正線量として検討した。

その結果、微生物的品質の良好(生菌数 10^3 /g 以下)なベーコンは 1 Mrad , 不良 (10^7 /g 以上)なベーコンは 3 Mrad が適正線量であった。(第6図)しかし、10°C 以下で保存すれば、1 Mrad で十分 Radurization の目的を達成し得ると考えられる。

また、5 Mrad は Radappertization を意味し、off-flavor を生じ嗜好性を劣化させた。

3 Mrad も off-flavor を生じたが、36日後にはかなり弱くなり、さらに油でいためて食すると、ほとんど感じない程度になった。なお、36日後の生菌数は 10^2 /g 以下で、増菌は認められなかった。もちろん coliform bacteria は陰性であった。

3 Mrad 照射ベーコンをスライス、油いため、ポタージュの3通りの方法で食味した結果、off-flavor がもっとも緩和されたのは、ポタージュにする方法であった。(第4表)

微生物学的には、3 Mrad 以上の線量ではほとんど生菌がみられず、1 Mrad は *Lactobacillus*, *Leuconostoc* が主に生き残り coliform bacteria 試験は、照射直後陰性を示すが、その後、機能を修復して陽性を示すことがある。

さらに、肉製品に上限頻度の高い19種の細菌の放射線感受性を検討した結果、0.5 Mrad 照射で生き残ったのは、*Flavobacterium S-1*, *Achromobacter lacticum*, *Bacillus subtilis*, *Paracolobacterium aerogeroides* の4種の細菌であった。しかし、これらはいずれも Psychrophiles ではないので、照射後の低温保存の有効なことが推察される。(第5表)

以上のことから Uncooked meat products の Radurization は常温保存では 3 Mrad を必要とするが 10℃以下の保存では 1 Mrad が適正線量と考えられる。

肉製品の副材料中、羊腸は中近東諸国から輸入されているが、防疫上 NaOCl 殺菌処理が実施されている。しかし、この方法は、経費も労力も莫大にかゝるので、羊腸の Radurization を検討した結果、1 Mrad で現行法に匹敵する殺菌効果があり、強度にも影響をもたさないことが判明し、十分に実用化し得る見通しを得た。(第6表)

5 凍結照射による off-flavor への抑制 (Radappertization の可能性) (第5章)

肉製品の Radappertization への手がかりを得るため、肉製品より off-flavor を生じ易い生肉を試料に、極低温下 (-130℃) で、5 Mrad 照射して、その off-flavor を検討した。

off-flavor は、照射後試料を解凍し、ローストして食味した。この実験を2回くり返したところ、2回とも off-flavor を生じなかったものはなく、off-flavor の強いものは、鶏肉、馬肉、比較的弱いものは牛肉、両者の中間が豚肉、羊肉であった。(第7表)

2回のテストの違いは、肉の化学的性質が鮮度、部位などで変化すること、-130℃では放射線による肉中の二次的化學変化を抑制し得ないことによると考えられる。

次に、包装材料が高線量照射によって off-flavor を発生するのではないかと考えられるので検討した結果、ポリエチレン系は、off-flavor を生じ易いことが判った。また、照射による強度の劣化がセロハンに認められた。off-flavor を生ぜず、強度も劣化しない包装材料は、パラフィンとナイロンである。

以上の結果をまとめると次の通りである。

1) 肉製品汚染微生物を明らかにし、それらの照射殺菌のための適正線量を求め、それが風味に及ぼす影響をしらべた。

2) Cooked meat products 中、保存性の劣る Domestic sausage の Radurization は、0.5 Mrad (⁶⁰Co) が適正線量であった。すなわち、嗜好性にほとんど影響が無く、残存菌種が限定され、生存菌数も激減し、低温保存(10℃以下)との組み合わせにより、1週間、ネトの発生を抑制し得た。なお、衛生的(生菌数 10⁵/g 以下)に製造されたソーセージでは、

0.25 Mrad で目的を達成し得ることを明らかにした。

3) Uncooked meat products は、smoking の条件にもよるが、coliform bacteria が生き残り得る。これらの Radurization には、低温保存を条件にすれば 1 Mrad 常温保存 (15 ~ 20 °C) であれば 3 Mrad が適正線量であった。

3 Mrad 照射ベーコンの照射臭 (off-flavor) は調理法によって緩和することが認められた。

4) 副資材中、羊腸は 1 Mrad で現行の NaOCl 処理に代る殺菌効果が認められた。又、包装材料では、パラフィン、ナイロンが適している。

5) 肉製品の Radappertization への手がかりを得るため、生肉を試料とし、off-flavor を防ぐ条件として -130 °C で 5 Mrad 照射試験をしたが、さらに温度を下げなければ、off-flavor の発生を抑制し得ないことが判明した。

Table 1 Cooking condition and pasteurized effect.

step	survival ratio	cooking condition
1	$2.6 \sim 2.4 \times 10^{-3}$	60°C-20, 30. 70°C-15minutes
2	$1.5 \sim 1.1 \times 10^{-3}$	60°C-40. 70°C-20, 25. 80°C-5minutes
3	$9.0 \sim 6.7 \times 10^{-4}$	70°C-30. 75°C-10, 15minutes
4	$3.9 \sim 2.8 \times 10^{-4}$	75°C-20, 25. 80°C-10minutes
5	1.5×10^{-4}	80°C-15minutes
6	8.6×10^{-5}	80°C-20minutes

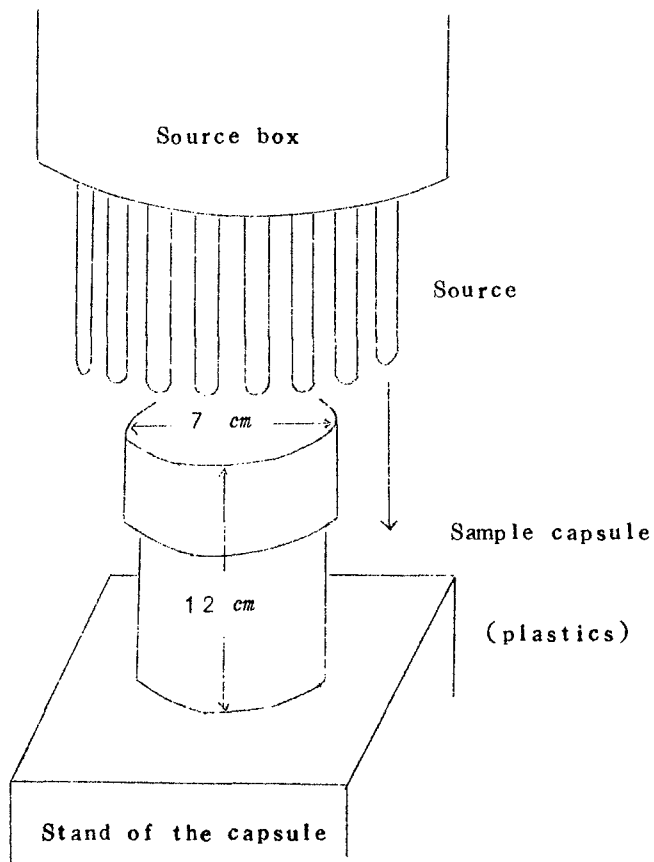


Fig. 1 The source of irradiation facility for small sample.

Source (set in bottom of water pool shelter)

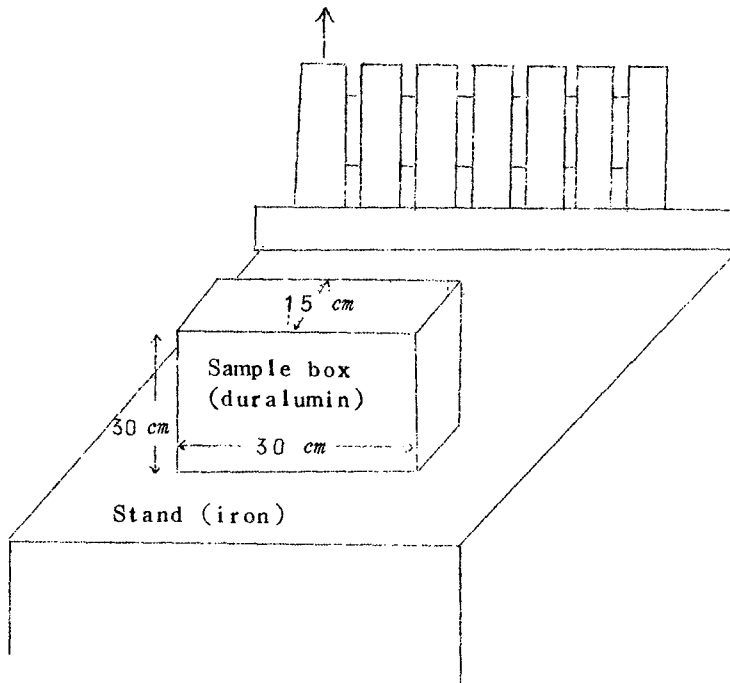


Fig. 2 The source of irradiation facility for large sample.

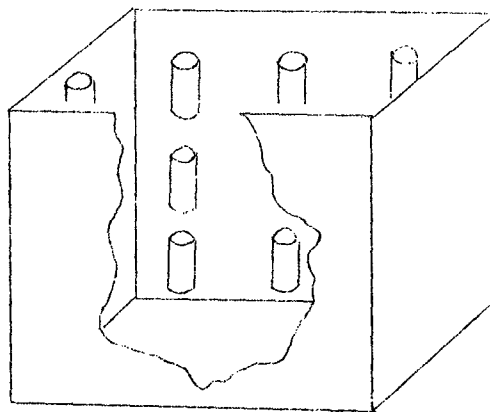


Fig. 3-1 The setting position of dosimeter in the box of large sample.

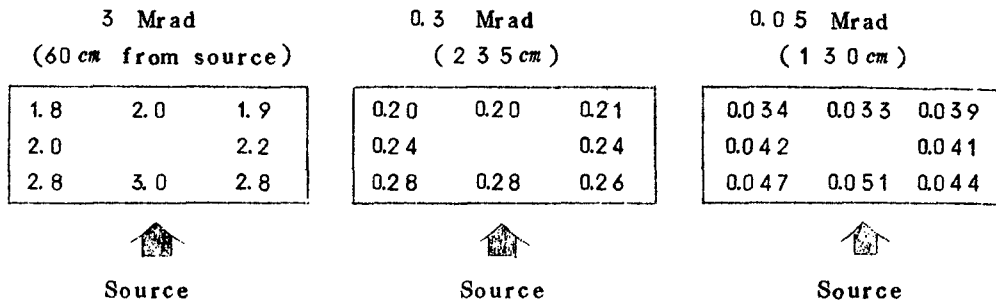


Fig. 3-2 The distribution of dose in the boxes for large sample.

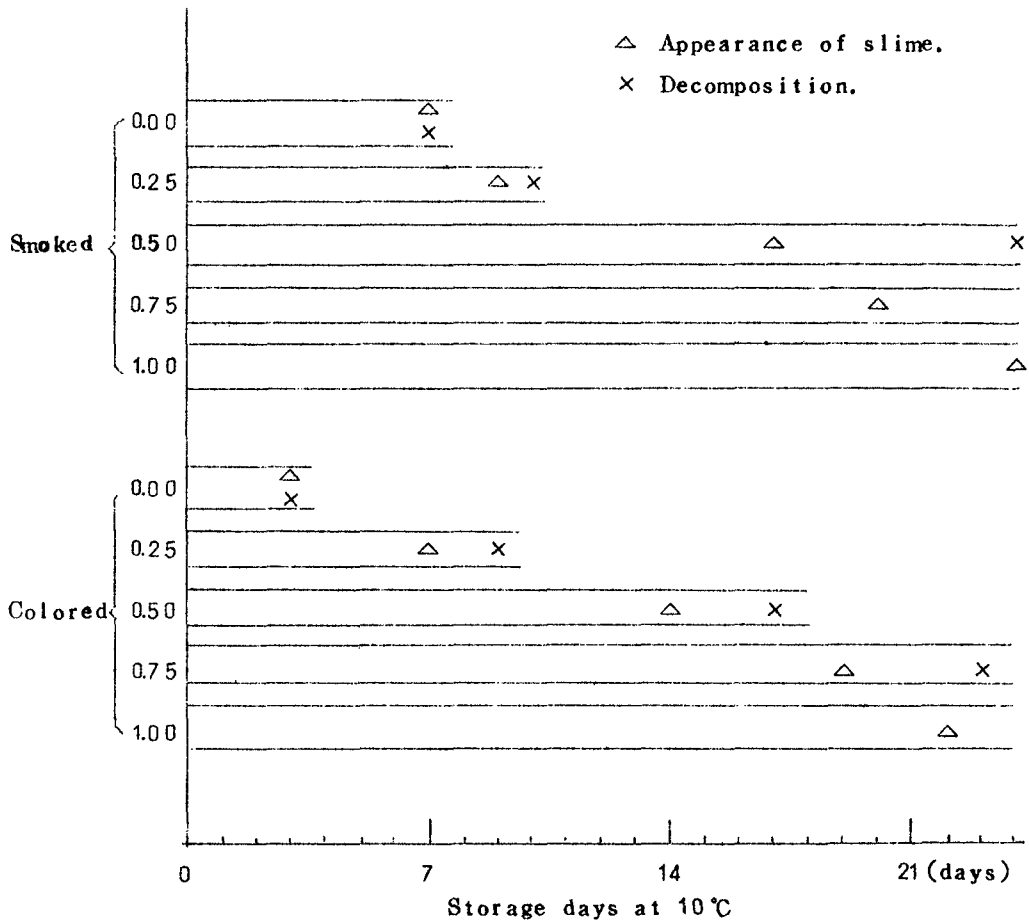


Fig. 4 The relation between the preservation and the irradiated dose on the wiener sausage.

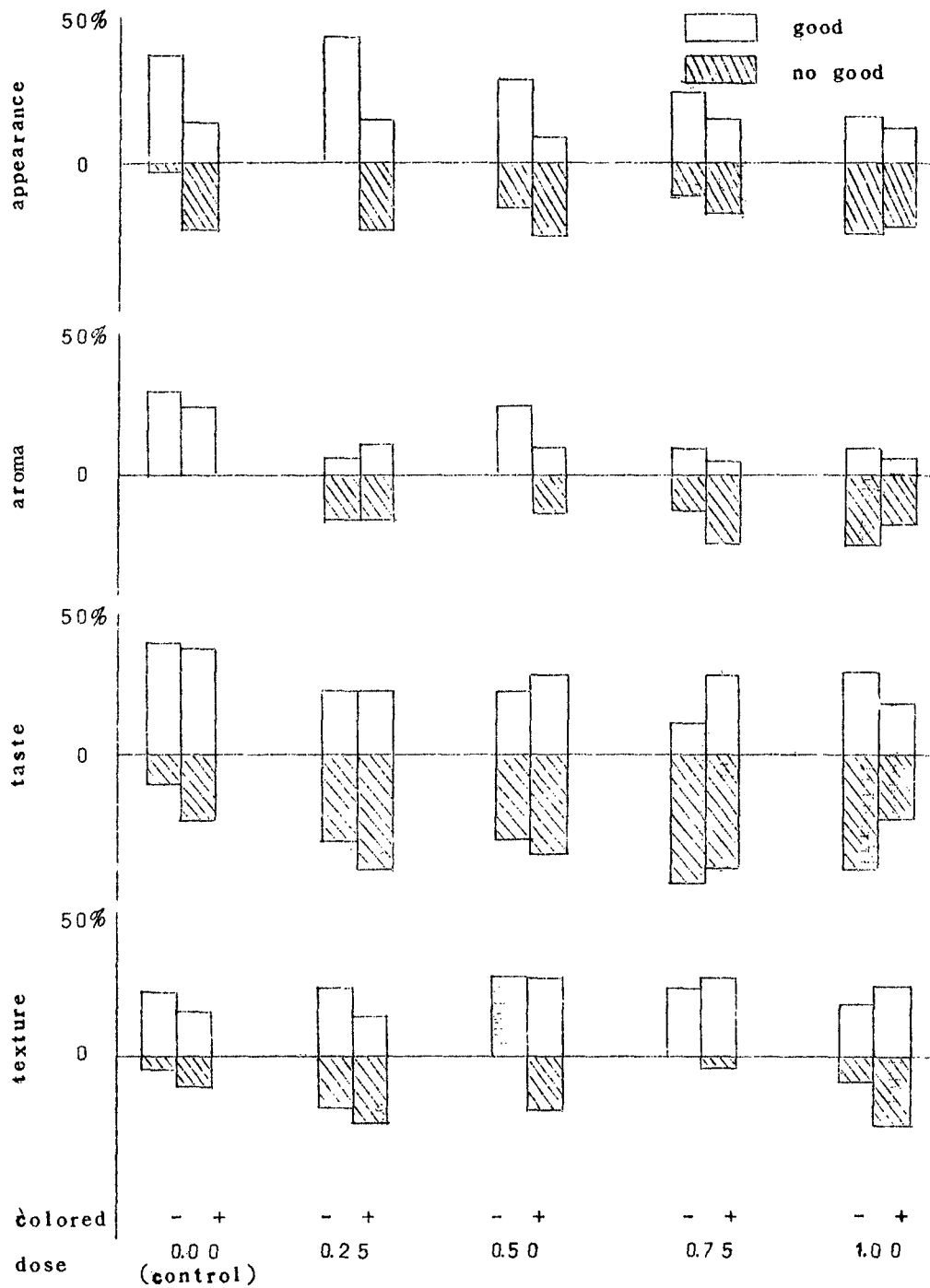


Fig. 5 The factor judging the quality of food value on wiener sausage irradiated with gamma ray (0.00, 0.25, 0.50, 0.75, and 1.00 Mrad)

Table 2 Effects of cookery on the degrees of liking of wiener sausage irradiated with 0.5 Mrad gamma ray (boiled)

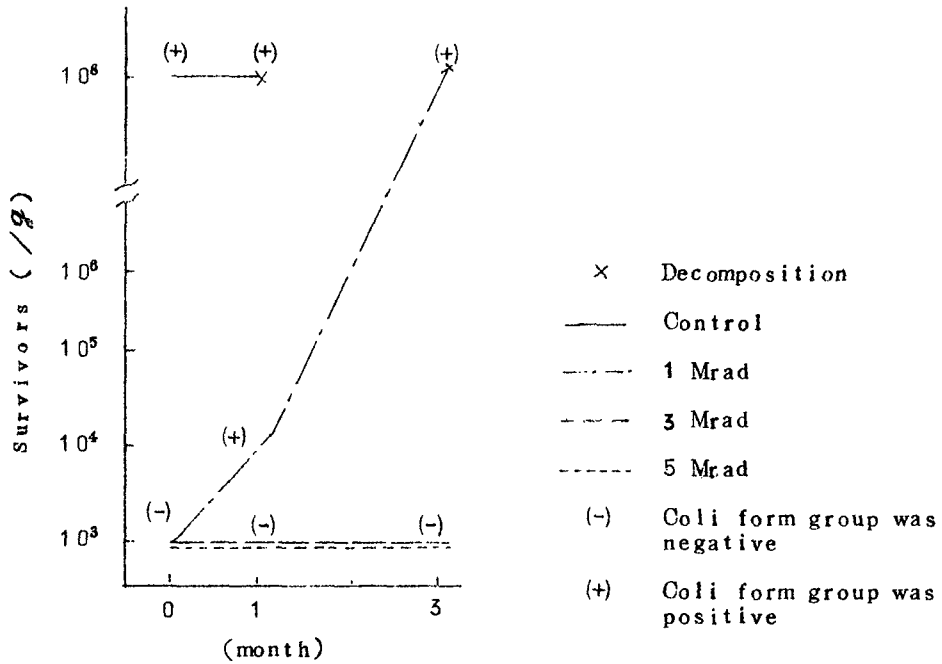
Replication	Preference			Off flavor	
	Non-irradiated good	Irradiated good	Test	Distinguishable	Indistinguishable
1	Aroma	6	4	—	—
	Meat color	4	6	—	—
	Texture	6	4	—	8
	Flavor	7	3	—	2
	Overall estimate	5	5	—	—
2	Aroma	3	7	—	—
	Meat color	5	5	—	—
	Texture	7	3	—	6
	Flavor	7	3	—	4
	Overall estimate	5	5	—	—
Total	Aroma	9	11	—	—
	Meat color	9	11	—	—
	Texture	13	7	—	14
	Flavor	14	6	—	6
	Overall estimate	10	10	—	—

* Significance (5% level)

— Non significance

Table 3 Change of micro-flora after irradiation.

Storage days	Dose(Mrad)	0			7			14
		slime	0.00	0.25	0.50	0.00	0.25	0.50
Pseudomonas	12	0	1	0	0	0	0	0
Achromobacter	8	0	6	10	0	0	0	0
Micrococcus	0	1	0	0	0	0	0	0
Lactobacillus	1	7	3	0	8	4	7	9
Leuconostoc	1	1	1	0	2	6	3	1
Yeast	1	0	0	0	0	0	0	0
unknow	1	0	0	0	0	0	0	0
Total	24	9	11	10	10	10	10	10



Storage time
 Fig. 6 The survivors No.
 of bacon in storage.

Table 4 Effect of cookery on the degrees of liking of bacon irradiated with 3 Mrad gamma ray and cooled for 1st month. (Cooked pottage with bacon, salad oil and flour)

Replication	Item	Preference			Off flavor		
		Non-irradiated good	Irradiated good	Test	Distinctly guishable	Indistinctly guishable	Test
1	Arom	9	3	—			
	Flavor	9	3	—	6	6	—
	Overall estimate	9	3	—			
2	Aroma	7	5	—			
	Flavor	8	4	—	8	4	—
	Overall estimate	7	5	—			
Total	Aroma	16	8	—			
	Flavor	17	7	—	14	10	—
	Overall estimate	16	8	—			

* Significance (5% level)

- Non significance

Table 5 Radiosensitivity of microorganisms be connected with spoilage on meat products.

Strain	Irradiation Dose(Mrad)	before	after			
			0.25	0.50	0.75	1.00
Flavobacterium 10-F		1.4×10^{10}	0	0	0	0
	S-4	6.0×10^9	2.6×10^9	6.0×10^3	2.0×10^3	5.0×10^2
Achromobacter	lacticum	1.1×10^{10}	7.2×10^5	2.3×10^5	2.0×10^3	1.0×10^3
	butyri	1.6×10^{10}	2.8×10^5	0	0	0
	viscosum	1.5×10^{10}	0	0	0	0
Alcaligenes	viscosus	3.8×10^5	5.0×10^3	0	0	0
	faecalis	4.6×10^9	0	0	0	0
Bacillus	subtilis	1.7×10^{10}	1.2×10^5	1.5×10^4	1.0×10^3	3.0×10^2
	firmus	2.0×10^7	9.0×10^2	0	0	0
Aerobacter	cloacae	8.2×10^9	0	0	0	0
Paracolibacterium	aerogeroides	2.0×10^8	4.2×10^4	4.0×10^3	0	0
Proteus vulgaris		1.0×10^{10}	0	0	0	0
	morganii	2.8×10^8	1.0×10^4	0	0	0
Micrococcus	caseolyticus	2.8×10^5	4.0×10^3	0	0	0
Sarcina flava		4.0×10^8	4.0×10^3	0	0	0
	lutea	3.0×10^8	3.6×10^5	0	0	0
Aeromonas	liquefaciens	3.4×10^5	0	0	0	0
Pseudomonas	fluorescens	1.4×10^{10}	0	0	0	0
	aeruginosa	7.3×10^9	0	0	0	0

Table 6 Survivors in sheep casing (19) after pasteurized treatment.

Dose (Mrad)	NaCl % in medium	Incubation time (day)		0		10	
		Country	2	4	7	2	4
0	India	3,200	48,000	10 ⁷ <	<10	184,000	10 ⁷ <
	Pakistan	1,700	46,000	L, A,	<10	125,000	10 ⁷ <
	China	<10	2,800	142,000	<10	<10	<10
0.5	India	<10	500	1,700	<10	<10	<10
	Pakistan	<10	120	5,200	<10	<10	500
	China	<10	100	3,700	<10	<10	300
1.0	India	<10	<10	<10	<10	<10	<10
	Pakistan	<10	400*	2,000	<10	<10	<10
	China	<10	<10	<10	<10	<10	<10
NaOCl	India	<10	100*	2,600*	<10	<10	<10
	Pakistan	<10	200*	L, A,	<10	<10	<10
	China	<10	<10	<10	<10	<10	<10

Note : Survivors were not detected at all section that added 20% NaCl in medium,

5 Mrad gamma ray treatment.

* Mold included.

Table 7 Results of organoleptic test of irradiated meat. (5 Mrad)

Sest No.	Kind of meat	Fresh	Cooked (roasting)	Note
1	Beef	-	-	retired beef smell
	Mutton	+	+	negrigible (if treated with spices)
	Pork	++	+	
	Chicken	+++	+++	not accepted
2	Beef	+++	++	acceptable (if treated with spices and seasonings)
	Mutton	+++	++	
	Pork	++	++	
	Horse meat	+++	+++	not accepted
	Chicken	+++	+++	

審査結果の要旨

本研究は肉製品の γ 線照射処理について基礎的検討を行なったものである。

著者はまず、肉製品の微生物は原料肉に由来するものと、二次汚染が主であるが、製造工程で細菌叢を左右するのはクッキングとくん煙であり、通例のクッキングでは生残率は $10^{-3} \sim 10^{-4}$ であることを明らかにした。照射試験には放射総合医学研究所と日本原子力高崎研究所の施設を用い、線源線量はそれぞれ ^{60}Co , $3 \times 10^3 \text{ Ci}$, ^{60}Co , $1 \times 10^5 \text{ Ci}$ であり、その照射条件を検討して決定した。

上記の照射条件によって、肉製品の部分殺菌のための適正線量を検討したが、クッキングの有無で2つに大別し、Cooked meat products の代表をウインナーソーセージ、uncooked meat products の代表をベーコンとして選び、それらの部分殺菌の基本的条件を検討した。(1)ウインナーソーセージは製造後1週間ネットを生じないために必要で、十分な最低線量を適正線量として求めた。その結果、微生物学的に良好なものでは、0.25 Mrad、不良なものでは0.5 Mrad が適正線量であり、0.50 Mrad 照射では、照射臭も肉色の変化もわずかで、嗜好性にはほとんど影響がなかった。また、ウインナーソーセージをネット構成菌で汚染させた実験では、非照射ウインナーソーセージの主な菌はLactobacillusで、一部にLeuconostocがみられ、冷蔵1週間にはネットを生じ、Lactobacillusが主であったが、0.5 Mrad 照射ウインナーソーセージでは、照射直後はAchromobacterが主で、冷蔵1週間以降はLactobacillusが主になった。以上の結果から、cooked meat products の部分殺菌の適正線量は0.5 Mrad であるとした。(2)ベーコンは通常常温で保存されるので、製造後15~20℃で1カ月間、品質保証に必要で、十分な照射線量について検討した。その結果、微生物学的に品質良好なベーコンは1 Mrad、不良なベーコンは3 Mrad が適正線量であった。5 Mrad では完全に殺菌できたが、照射臭を生じ、嗜好性を劣化させた。また、肉製品に出現頻度の高い19種の細菌の放射線感受性を検討した結果、0.5 Mrad 照射で生残したのは、Flavobacterium S-1, Achromobacter lacticum, Bacillus subtilis, Paracolobacterium aerogenoidesの4種であり、いずれも低温菌ではない。この結果から、uncooked meat products の部分殺菌は常温保存で3 Mrad、10℃以下の保存では1 Mrad が適正線量であるとした。また羊腸の部分殺菌は1 Mrad で現行NaCl 処理同様の効果があり、十分実用化しうることを明らかにした。

最後に、肉製品の完全殺菌への手がかりをうるため、生肉を試料として、-130℃で5 Mrad照射して、照射線を検討したが、すべて照射臭を発生し、-130℃では放射線による2次的化学変化を抑制しえないものと推定した。また、包装材料についても検討した。

以上要するに、著者は肉製品の部分殺菌のための γ 線照射の適正線量を実験により明らかにして、肉製品製造ならびに肉科学に貢献するところ大である。よって、審査員一同は著者が農学博士の学位を授与される資格を有するものと判定した。