

資 料

食糧醱酵の分野に於ける Ionizing Radiation の応用

(I) 基礎問題及び装置

芝 崎 勳・田 口 久 治 (大阪大学工学部醱酵工学教室)

緒 論

1904年に PRESCOTT 等が ラジウム 線を用いて *diphtheria* 菌等に及ぼす影響を研究し、COOLIDGE が1926年に90000evの電子に依つて *S. aureus* 等の細菌を死滅せしめる事が出来るのを知つて以来 Ionizing radiation に依る殺菌の研究が行われて、特にアイソトープ並に強力なβ線発生装置の出現に依り原子力の産業への応用が注目せられ食品・薬品・化粧品等に対して電子ビーム、X線、原子崩壊産物 (Fission product) を資源とするγ線等の放射線を照射する所謂 Cold sterilization の研究が近時米国を中心として盛んに行われている。照射に依つて僅か4℃程度の温度上昇しか行わない Ionizing radiation は加熱に依つて品質の変化を蒙り易い食品・薬品に対しては大きな武器であり貯蔵法に新しい可能性を示している。例えば GOMBERG¹⁾ 等は豚肉に発生するセンモウ虫病の除害に Cesium 137 源のγ線を利用し工業化の可能性を示し、BROWNELL²⁾ 等は Cobalt 60 源のγ線を穀類製品の昆虫除害に応用し、JARPLAY³⁾ 等は同じく Cobalt 60 を使用した Cortisone acetate の殺菌に於いて物理化学的試験の結果に影響を与えずに目的を達して居り SCHWEIGERT⁴⁾ は肉製品の品質に関してγ線の影響を研究している。

本稿に於いては Ionizing radiation の基礎的諸問題と装置の概要並びに企画資料に就いて述べる。

1) 放射線の諸性質

Ionizing radiation には紫外線、X線、γ線、β線、α線、Neutron, Proton 等が含まれるが之等の中で食品工業に使用可能なものは資源不足・浸透能微弱等の缺点を有しないβ線(陰極線)、γ線に限定される。β線は放射性同位元素の原子崩壊に伴つて放出される電子で其の運動エネルギーはα線と異り連続的分布をして居る。之等の電子は原子核の構成粒子として核内に存在したものでなく核内の中性子が陽子に変わった時に放出されたものである。放射性同位元素で原子核内

の中性子の数が安定同位元素に比して不足しているものに於いては原子核内の陽子が中性子に変わり、此の時には Positron が放出される。之等を区別してβ⁻、β⁺線で示す時があり速度の大なるβ線は空気中で直線的に進行するが磁場の中では彎曲し、β⁻とβ⁺では其の方向が反対になる。一方γ線はX線と同じ電磁波で一般に波長は之より短く、α線、β線の放射に伴つて出る。即ち之等の崩壊に依つて生じた原子核が励起状態にあつて更に低いエネルギーの状態に移る時にγ線が放出される。一般に之等原子核の種々の状態間のエネルギーの差異は原子の電子の場合に比し遙に大であるからγ線のエネルギーは大きく且つ波長は短い事になる。γ線の資源として最も良く使用される Co⁶⁰ では1.17と1.33Mevのγ線が階段的に放出している。此処にev (electron volt) と云うのは放射線のエネルギーを示す単位で電子が1ボルトの電場を通つた時に得る運動エネルギーを1evとする。(1 ev = 1.602 × 10⁻¹² erg, 1 Mev = 10⁶ ev) 尚放射性物質の量を示す単位にはキュリー (curie) が用いられ1キュリーは1gの純粋なラジウムと同じ崩壊速度を示す物質の量であつて約3.7 × 10¹⁰ 崩壊/秒に相当する。又放射線量の単位としては1レントゲン (roentgen) r 即ち0.001293g (0℃, 760 mmで1 cc) の空気の中に陰陽合わせて1静電単位 of 電荷を持つたイオン対を生成せしめるX線またはγ線の量を用うるか、放射線が組織1gについて93 erg of エネルギーを失う線量を1レブ (rep., roentgen equivalent physical) とするものを使用する。

扱之等の Ionizing radiation が微生物に対する作用機構としては次の2つの説が考えられている。i) Target theory: LEA 等に依つて主張されたものでβ線の如き素粒子流に依る殺菌の場合光速の約9/10にも近い速度の電子が通過する時微生物の生活細胞中の核に衝突したとすると其の大きなエネルギーの全部又は一部を核に与え核の機能を破壊し死滅させるか又は増殖能力を停止せしめると云う説で、n/n₀で照射量Dに於ける微生物の生存比を示し D₀を微生物の37%を生

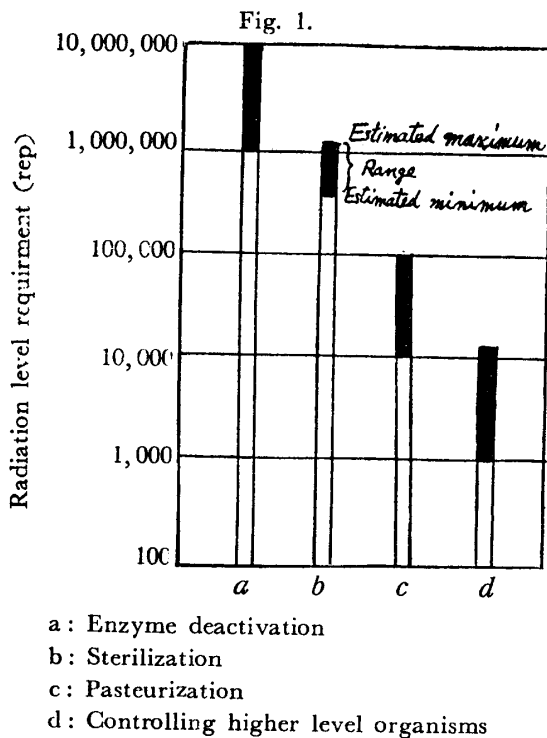
(354)

存せしめる照射量で示す時

$$n/n_0 = e^{-D/D_0}$$

なる関係式で示されている。ii) Indirect effect: PROCTOR⁵⁾ 等が提称しているもので電子が培地の分子に衝突しイオン化或いは活性化を行い、之等の結果培地中の遊離基が殺菌作用を及ぼすと云う説である。

食品の殺菌に於いて微生物の栄養細胞は容易に死滅せしめる事が出来るが胞子は栄養細胞の破壊に要する照射量の3~4倍を必要とする。殺菌に要する照射量は菌の種類によつても大いに異なり、乾燥鶏卵製造に於いて屢々汚染する *S. paratyphi* 及び *S. typhimurium* は β 線 300,000rep で死滅し、*S. senftenberg* では125,000 rep で充分である。又 Stanford Research Institute の報告に依ると原子崩壊産物を資源として殺菌を行う場合約2,000,000rep の照射で完全である。一方酵素の破壊に対しては約其の5倍の量を必要とする。URBAIN⁶⁾ 等の殺菌に要する照射量の実験結果を Fig. 1 に掲示した。



食品の殺菌に Ionizing radiation を用うる時間問題となるのは放射線の透過能である。之が一定の場合には透過範囲は照射される物質の密度に依り決定される。 β 線については其の最大値を R_{max} で示し、 ρ を物質の密度、 E を電子を加速するに用いた電圧とする時次の関係式に依つて表わされる。

$$R_{max} = \frac{0.542E - 0.13}{\rho}$$

尚 γ 線は β 線に比して強い浸透力を有している。例えば水に対しての半価層 (放射線の強度を最初の強度の $\frac{1}{2}$ に減ずるに必要な物質の厚さ) は Co^{60} 源に依る 1.1 及び 1.3 Mev の γ 線に対して約 4" であり Cs^{137} 源による 0.67 Mev の γ 線では約 3" である。之に比して β 線の場合は 1 Mev のエネルギーを有する場合で $\frac{1}{2}$ ", 2 Mev の場合で $\frac{1}{4}$ " である又 Van der Graaff 加速装置を操作して 3 Mev の β 線を生卵に照射した時浸透限界は 1 cm であつた。斯様に浸透力に関する限りでは γ 線の方が優れているが、 β 線の加速装置に依る生産効率は高く且つ電子ビームの 75% のエネルギーを利用する事が出来る等照射量的には β 線の方が優れている。Table 1 は γ 線吸収の半価層の値である。

Table 1.

Energy of γ rays (Mev)	Half thickness (cm)			
	H ₂ O	Al	Fe	Pb
0.5	7.2	3.0	1.1	0.46
1.0	9.9	4.2	1.5	0.96
2.0	14.2	5.8	3.0	1.39
3.0	17.8	7.7	3.6	1.51

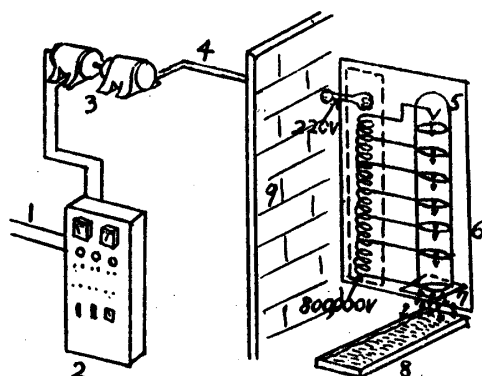
2) β 線発生装置

現在機械的の β 線発生装置として使用されている型は 4 種ある。之等の型の相違点は電子を加速する為の高電圧の発生及び其の使用方法にあり i) Resonant transformer (Fig 2, 3), ii) Van de Graaff accelerator (Fig 4, 5) iii) Capacitron (Fig 6) iv) Linear accelerator に大別される。

i) の Resonant transformer はもとは General Electric 製の X 線発生装置から発達したものであり重金属製の Target を取除き適当に接地せしめた金属窓から電子を放出せしめる様にあり、特殊な変圧器で得られた高電圧は Filament と其の窓の間に於て電子の加速に利用される。又 β 線が照射される食品上を均一に走査出来る為に必要な振動磁界を備えている。

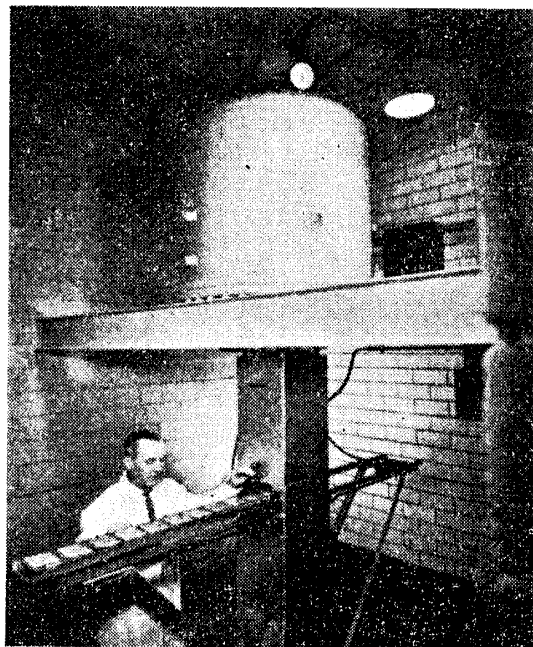
此の装置は $\frac{1}{2}$ ~ $\frac{1}{2}$ microamp の電流変化に依つて電子の持つエネルギーが $\frac{1}{2}$ ~1 Mev の範囲に変更出来る様調整されて居り、良好な運転状況に於いて 50~70lb の食品に 1 時間 2 mega rep の照射を与え得る。又 4, 10, 17KW の電力で夫々 1, 2, 4 Mev の電子を生じ得る様設計され最新型のもので 1 時間に 2,000lb の食品が殺菌し得る。

Fig. 2. Resonant transformer



1. 60-cycle a-c line
2. Control panel
3. Motor generator
4. High frequency a-c
5. Vacuum tube
6. Housing
7. Window
8. Food
9. Shield

Fig. 3. Resonant transformer showing pressure tank and enclosed accelerating column



ii) のVan de Graaff accelerator は High Voltage Eng. Co. に依つて製作されて居り、静電的機械の原理によつて操作される即ち円筒基底の数千ボルトの高電圧線より電荷が非伝導性の Endless belt に放出され此の Belt に依つて絶縁された球表面に引き上げられて最後に加速管に沿つて放電される。此の加速管には長い円管状の真空管が用いられる、本装置について

は 1, 2, 3, 6 Mev の電子を生産し得る様種々製作されて居る。Endless belt 装置は照射される食品が電子

Fig. 4. Principle of Van de Graaff generator

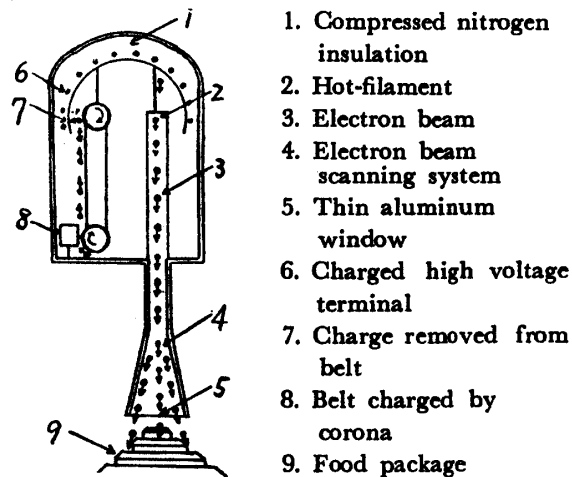
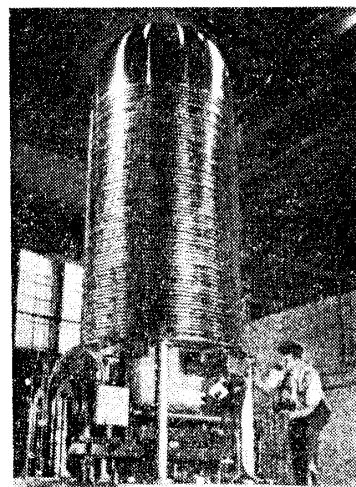


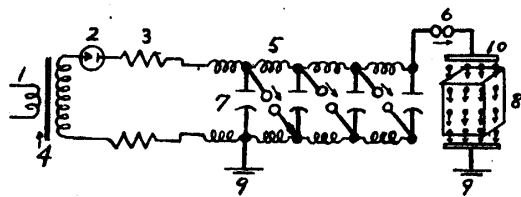
Fig. 5. Van de Graaff generator of 3 Mev



ビーム下に連続的な操作が行われる為のものであり、電子ビームは照射の均一性を保つ為 200cps. の速度で食品と直角の面で振動している。1/2KWの電力で 2 Mev の電子を生ぜしめる事が出来、此の条件で 1 時間 140lb の食品を殺菌する事が出来る。iii) のCapacitron は充電された並列に設置されている Condenser を急に直列に回路を切換える事に依つて得る高電圧を電子発生部と窓を有する加速管に加える装置である。此の際生ずる 2 Mev の電子の急激な流は僅か 1/1000秒程度の間しか続かないが、電子ビームの照射量は 5,000 ~400,000rep の範囲にある。本装置に依つて生ずる電子ビームは不安定で且つ間歇的であるが実用的な型が Electronized Chem. Co. に依つて製作されつつある、

(356)

Fig. 6. Capacitron



- | | |
|----------------------|-----------------|
| 1. AC-line | 6. Spark gap |
| 2. Rectifier tube | 7. Condenser |
| 3. Resistance | 8. Food package |
| 4. Power transformer | 9. Ground |
| 5. Inductance | 10. Electrode |

iv) の Linear accelerator⁷⁾ は電子が同軸の円筒型電極管 (Drift tube) を通過する際その電極管の長さの増加に従ってエネルギーが増加して行く装置で、レーダー単位の高周波磁界に依つて電極を通じて電子にエネルギーを加え加速する原理のものである。理論的には電子の獲得するエネルギーに対する制限は無いが実際には電極管の長さの制限に依つてエネルギー増加も限定される。普通電極管の長さ 1ft に対して 1 Mev のエネルギー増加を示す事が判明して居り、Applied Radiation Co. 製の本装置は 6 Mev の電子を 4KW の電力で生産し 1 時間 800lb の食品を殺菌する事が出来る。

3) 原子崩壊産物によるγ線照射

1000curie の Co^{60} がγ線の資源として初めてMichigan 大学の原子工学研究所に 1951年6月に設置され、更に 10kilocurie の Co^{60} が 1952年に設置され放射線の応用の研究が本格的に開始された。此の10kilocurie の Co^{60} は 100 本の棒状のもので $\frac{3}{4}"\phi \times 10"$ の寸法を有している。而して各 Co^{60} は $\frac{3}{8}"\phi$ のアルミニウムの管に入れられて Phenolic plastic 製の Holder に 2 つの同心円上に出来るだけ接近した位置に設置される。照射作業を行わない時には放射線が人体に及ぼす危険性を考慮して Co^{60} 資源を遮蔽する為に Well を設け水を満たして置く。此の水深と放射量との関係は Fig 7 に示す。之は BROWNELL⁸⁾ 等の行った実験結果で人体に危険性を及ぼさない放射量 1.0mrep/hr 迄減少せしめるに要する水深は 10~11ft である事が判明した。

Fig. 8 は Stanford Research Institute に設置されている 4200curie の Co^{60} 資源をプール式の Well に沈めた写真で水深は 10ft であり、アルミニウ窓に依

つてプールと照射室を分離出来得る様になっている。

Fig. 7. Predicted dosage rate as a function of distance from source with shiele thickness (for water)

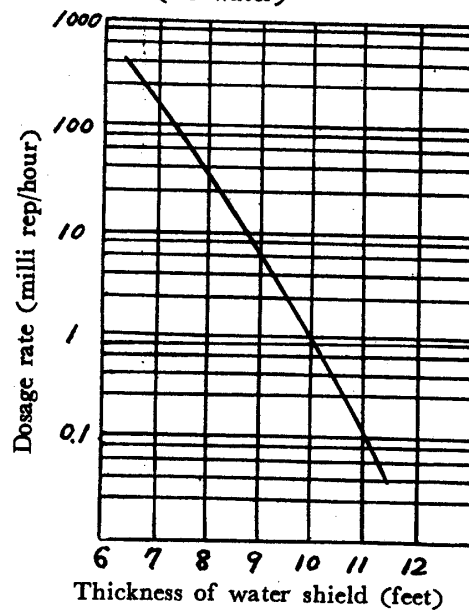
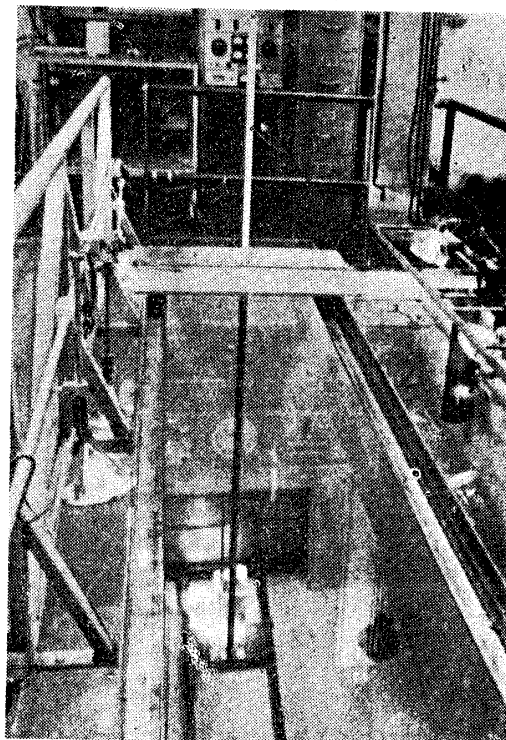


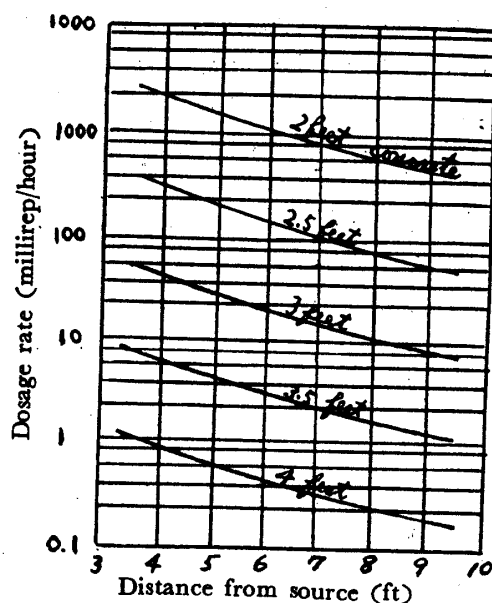
Fig. 8. The 4200curie cobalt source located at Stanford Research Institute



尚 Well と同様に放射に依る危険性を除外する為に照射室に必要な遮蔽壁の厚さを考える必要がある、一

般に遮蔽にはコンクリート壁が使用される。Fig. 9は遮蔽壁のコンクリート厚みを因子として放射線資源の種々の位置と遮蔽壁外面の放射量との関係を示したものである。之に依れば資源を遮蔽壁から4 ft 離れた位置に設置する時には4 ft 厚さのコンクリート遮蔽壁が必要である。

Fig. 9. Predicted dosage rate as a function of distance from source with various shield thicknesses



COMBERG 等が行った豚肉処理に於いてセンモウ虫除害の為に Cs^{137} を資源として照射した場合の照射室設計の一例を示す (Fig. 10, Fig. 11 参照)。装置の設計は2000頭の豚を24時間以内に照射する事を基礎にしている。放射線資源の形状は棒状にすると取扱いには便利であるが本数が多くなり面積をとるので6ft×5ft×0.4in の寸法の平板型を使用し照射室内に於いてコンベヤーが此の平板の両側を通過し得る様にされて居る。21in の距離に於いて照射量は約 13,500rep/min と計算され従つて豚肉が殺菌されるに要する 30,000rep の照射量を得る為には照射室に 2.1min. 存在する事が必要で豚肉は 6.67ft/min の速度で運ばれる事になる。

要求されて居る放射活性量は 1.5 megacurie と計算されているので遮蔽壁のコンクリート厚みは 3ft.4in が必要である。照射室を床土又は地下に設置するに就ては一長一短があるが設計としては Well が一階にあり照射室を二階に設置するのが望ましい事である。之等コンクリート壁の建設費は cubic yard 当り \$30~\$50 と評価されているので照射室の建設費は \$58,000

Fig. 10. Chamber for irradiation of pork carcasses by radioactive fission products, at rate of 2000 hogs daily (plan view)

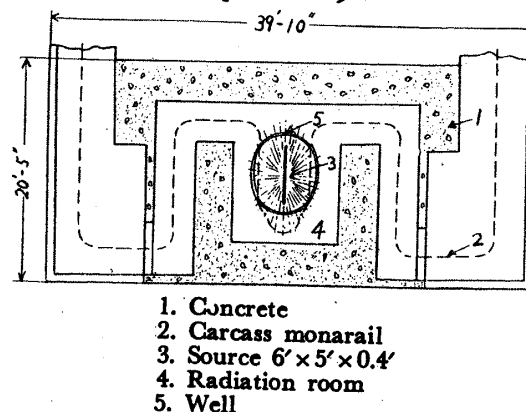
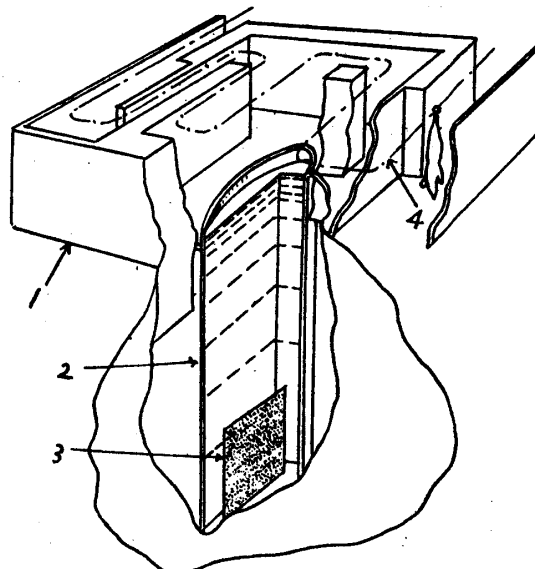


Fig. 11. Perspective view of chamber showing well for radioactive plaque



1. Radiation chamber (concrete walls)
2. Stainless steel elliptical well (9'×4½'×24')
3. Radioactive plaque
4. Carcass conveyor

Table 2 Cost estimates for radiation chamber for pork (Designed to handle 2,000 hogs per day).

Excavation for footings and shoring.....	\$ 600
Stainless-steel well (elliptical: 16ga. × 9 ft. 6 in. × 24 ft. 6 in. × 24 ft.	2,500
Forms for concrete walls of radiation chamber (9,000 bd. ft. at \$100/M).....	900
Concrete for walls (320yd. at \$20/yd.).....	6,400
Labor for forming and pouring walls.....	6,200
Forms and reinforcing for roof.....	150
Concrete for roof (5yd. at \$20/yd.).....	1,000
Labor for forming and pouring roof.	800
Concrete for floor (5yd. at \$20/yd.).....	100

(358)

Reinforcing and labor for floor.....	200
Use of crane to raise concrete to second floor.....	600
Elevator mechanism.....	2,500
Ion exchange for well water.....	3,000
Monitoring equipment.....	4,000
Wiring.....	200
Water lines and labor for pipe fitting.....	800
Access doors (with safety interlock).....	1,200
Ventilation system.....	2,000
Refrigeration lines.....	4,000
Backgrading.....	200
Painting.....	250
Conveyor mechanism in radiation chamber.....	3,200
Conveyor mechanism to and from refrigerator room.....	3,200
Subtotal for labor and materials.....	44,000
Miscellaneous contingencies (10% of subtotal).....	4,400
Engineering costs (5% of labor and materials).....	4,400
Contractor's fee (10% of costs).....	5,200
Total.....	\$ 58,000

となる。一方原子崩壊産物の γ 線照射資源としての値段を確実に示す Data がないが、輸送費等を含んだ Co^{60} の 1000curie 当りの値が約 \$6000 である事を基

準にして普通化学装置の Scale up の際採用する 0.6 指数式を用いて計算すれば \$483,000 である。2000 頭の豚を 1 日に処理し得る照射に対する詳細な経費は Table 2 に掲示した。又賃金・俸給・経常費・税・減価償却・補償費等を含めて 1 年間 260 日作業としての操業全経費は \$149,700 となり lb 当り 1.87mills~2.13mills の原価となる。斯様な廉価で豚肉処理におけるセンモウ虫病を除去し得る結果が出ている。(以下次号)

文 献

- 1) GOMBERG, H.J. GOULD, S.E. NEHMIA J.V. and BROWNELL, E.: Food. Eng. 26, No.9-78(1954).
- 2) BROWNELL, L.E. HARLIN, H.A. and NEHEMIAS, J.V.: Food. Tech., 9, 620 (1955).
- 3) JAPLEY, W. YUDS, M. MANOWITG, B.: In.Eng. Chem. 46, 1458 (1954).
- 4) SCHWEIGERT, B.S.: Food. Eng. 26, No.9-70 (1954).
- 5) PROCTOR, B.E., and GOLDBLITH, S.A.: Food. Tech. 5, 376 (1951).
- 6) URBAIN W.M.: Food. Eng. 25, No.2-45 (1953).
- 7) COL. L.T. BELMONT, S. EVANS JR., CMLC: Food. Tech., 9, 615 (1955).
- 8) BROWNELL E. et al: Chem. Eng. Prog. 43, 569 (1953).

雑 報

国際酵素化学会議

道般の閣議で明年10月日本学術会議主催で首題の会が開催さるゝ事となり、同会組織委員及び実行委員が設けられ着々準備が進捗されて居て現在決定した事項は次の通りである。

日時 昭和32年10月16日~23日

場所 東京及び京都

研究討論題目

1. 転移酵素の作用機作
2. 酸化還元酵素系
3. 蛋白質および酵素の生成機構
4. 酵素と産業

参加会費 3,000円 (内1,000円は申込みと同時に支払うこと)

備考 ◎参加希望者は、国際酵素化学会議組織委員会(東京都台東区上野公園 日本学術会議事務局内)より登録カードを郵送してもらい、之に所要事項を記入し申込金1,000円を添えて本年9月末日までに委員

会に申込みこと。

◎この会議での日本側講演者については、明年1月頃組織委員会主催で同じ題目の国内講演会を行い、その講演者の中から決定する予定で、この国内講演会への申込み〆切りは10月頃の予定で、詳細は決定次第関係学会へ通知せらるゝ事になつてゐる。

日本酒造組合中央会第3回総会開催

既報の如く首題の会が全国の酒造家代表2,000余参加し、6月6日午前9時より仙台市公会堂で開催された。先ず9時半木下副会長の開会の辞池田会長の挨拶があり、次いで大蔵大臣(代理)を始め9氏の来賓祝辞ありて後、池田会長議長席に着き議案の審議に入る。

第1号 昭和30年度事業報告(承認)

第2号 " 経費決算報告(")

第3号 昭和31年度事業計画案(原案通り可決)

第4号 " 経費収支予算案並びに役員報酬、総額案(")

第5号 " 会費の分担及び徴収方法案(")