

# 放射線 被曝域을 달리하여 分離한 細菌의 放射線感受性 比較

金淇洙 · 閔鳳熙 · 李康淳

(韓國原子力研究所, 放射線生物學研究)

## Comparison of Radiosensitivity of Bacteria Isolated from Given Radiation Exposure History

KIM, Ki Soo, Bong Hee MIN, and Kang Soon RHEE

(Radiation Biology Division, Korea Atomic Energy Research Institute)

### ABSTRACT

This experiment was carried out to identify and to compare the radiosensitivities of bacteria isolated from the sources of different radiation exposure histories.

Among 10 strains isolated in this investigation, 4 strains of bacteria, *Bacillus firmus*, *Bacillus brevis*, *Bacillus subtilis* and *Bacillus sphaericus* were isolated from high- and low-radioactive sites simultaneously.

Bacterial strains isolated from radioactive sources such as reactor and isotope production rooms were more resistant to irradiation than the microorganisms from medical products and laboratories, however, there was no significance in radiosensitivity in the same species of bacteria, even if they were isolated from different radiation exposure histories.

### 緒 論

變異의 誘發方法으로는 化學的 또는 物理的 的 여러가지 方法이 있으나 最近에는 紫外線, X-線,  $\gamma$ -線 및 그밖의 여러가지 放射線을 利用한 突然變異 誘發에 對한 研究가 活潑히 進行되고 있으며 微生物에 있어서의 變異株 形成에 關한 報告도 많다.

近來에 이르러 放射線의 利用度가 漸次 增加함에 따라 放射線 抵抗性 變異株의 生成頻度가 增加하고 있으며 特히 放射線 抵抗性 細菌의 生成은 放射線滅菌 分野 및 放射線照射에 依한 食品保存 分野에 커다란 問題點이 되고있다.

細菌에 있어서의 放射線 抵抗性 形成에 關한 研究로는 Witkin(1947) 이 *Escherichia coli* B 株에 紫外線을 照射하여 放射線 抵抗

性 變異性 B/r 株을 分離 報告함으로써 이에 對한 研究가 始作 되었으며 그後 Luckiesh 및 Knowles(1948) 등도 *Escherichia coli*에 紫外線을 1回 照射하여 2倍의 抵抗性이 있는 變異株의 形成을 實驗하여 紫外線 照射가 抵抗性 形成의 誘發源이 될 수 있음을 報告한 바 있다.

또한 Koh(1956) 등은 같은 *Escherichia coli*에  $\gamma$ -線을 2回 照射한 結果 抵抗性의 形成이 없었음을 報告한 바 있으나 Erdman (1961) 등은 *Staphylococcus aureus*, *Streptococcus faecalis*, *Escherichia coli* 및 *Clostridium botulinum* Type A에  $\gamma$ -線을 6~21回 反復 照射하여 放射線 抵抗 變異株의 形成을 報告한 바 있다.

이와같이 放射線 抵抗性의 形成에 關해서는 放射線의 種類 및 菌株에 따라 報告成

績을 달리하고 있다.

著者들은 background 線량이 서로 다른地域에 分布하는 細菌은 放射線 感受性에 差異가 있으리라 생각되어 放射線 被曝域을 달리하여 數種 細菌을 分離 同定하고 이들 細菌의 放射線 感受性を 各各 比較 實驗하였던 바 若干의 成績을 얻었기에 報告하고자 한다.

## 材料 및 方法

### 1. 細菌의 分離 및 同定 實驗

Background 線량이 높은 地域으로는 韓國原子力研究所 所在 TRIGA MARK II 原子爐 周圍(5~7mR/hr) 및 同位元素 製造室(10~800mR/hr)로부터 그리고 낮은 地域으로는 一般 研究室(0.01~0.03mR/hr) 및 市販 醫療製品으로부터 細菌을 採取하여 減菌 nutrient broth 및 TGY (Tryptone Glucose Yeast extract) broth에 接種한 後 37°C에서 18時間 增殖培養하였다.

增殖培養한 細菌液을 nutrient agar 平板培地에 接種한 後 24時間 培養하여 集落의 狀態가 다른 數種 細菌을 純粹 分離하였다.

純粹 分離한 細菌의 形態的 生理的 特性을 實驗하여 Bergey's manual(1957) 記載에 準하여 同定하였다.

### 2. 細菌의 放射線 感受性 實驗

#### 가. 照射試料

Nutrient broth에서 18時間 增殖 培養한 細菌을 0.02M phosphate buffered saline (pH 7.4)을 使用하여 10,000×g에서 15分間 遠心分離(International centrifuge PR-2)하여 3回 反復 洗滌한 後 Lechat *et al.* (1963) 變法에 따라 細菌濃도가  $10^8$  cells/ml 되도록 稀釋 調製하여 照射試料로 使用하였다.

#### 나. 放射線 照射

韓國原子力研究所 所在 放射線 照射裝置(BNL Shipboard Irradiator, 25,000 Ci  $^{60}\text{Co}$   $\gamma$ -ray source)를 利用하여 280rad/sec dose rate로 室温 大氣壓下에서 照射하였다.

#### 다. 放射線 感受性 實驗

放射線 線량을 달리하여 照射한 細菌液을 10倍 稀釋法에 依하여 稀釋하여 寒天平板培地上에서 生菌數를 測定한 後 semi-log paper에 plot 하여 細菌의 放射線 感受性を 各各 比較하였다.

## 結果 및 考察

### 1. 細菌의 分離相

Background 線량을 달리하는 環境에 棲息하는 細菌을 分離 同定하기 위하여 一般的으로 background 線량이 높은(20~200mR) TRIGA MARK II 原子爐 周圍 및 同位元素 製造室과 研究室 및 醫療製品으로부터 各各 細菌을 分離하여 이들 細菌의 形態學的 및 生理學的 特性 등을 實驗한 成績은 Table 1 및 2에서 보는 바와 같다.

Table 1에서 보는 바와 같이 background 線량이 낮은 研究室 및 醫療製品으로부터 10種의 細菌을 分離할 수 있었다.

그중 *Bacillus sphaericus*, *Bacillus subtilis*, *Bacillus macerans*, *Bacillus firmus* 및 *Bacillus brevis* 등 5種類의 桿菌은 同定할 수 있었으며 形態學的으로 2種의 球菌 및 3種의 桿菌은 同定 實驗을 進行中에 있다.

또한 Table 2에서 볼 수 있는 바와 같이 background 線량이 높은 原子爐 周圍 및 同位元素 製造室에서도 10種의 桿菌이 分離되었으며 이중 *Bacillus pumilus* 외 8種은 同定할 수 있었으나 1種의 桿菌은 同定 實驗을 進行中에 있다.

Table 1 및 2에서 보는 바와 같이 background 線량이 낮은 地域으로 부터는 2種의 球菌이 分離 되었으나 background 線량이 높은 地域에서는 芽胞形成 桿菌만이 分離 되었으며 球菌을 分離하지 못하였다. 이는 一般的으로 芽胞形成 細菌은 非芽胞形成 細菌에 比하여 放射線에 對한 抵抗성이 높으며(Darmady *et al.*, 1961) 따라서 原子爐 및 同位元素 製造室과 같이 background 線량이 높은 地域에 分布하는 細菌들은 微量의 放射能을 數年 繼續 照射 받음으로써 放

Table 1-1. Characteristics of the bacteria isolated from low radioactive sites

Strain No.	Morphological characteristics				Cultural characteristics								Others
	Size (μ)	Shape	Gram staining	Spore staining	Motility	Nutrient agar		Nutrient broth			Gelatin liq.	Form on agar stroke	
						Form	Surface	Elevation	Margin	Surface			
L-1	0.4-0.8×1.5-3.0	rod	+	+	++	Rhi	Ro, Tr, Sp	Fla	Ero	F	+	Fili	Pale orange
L-2	0.6-1.0×1.0-7.0	rod	+	+	++	Irr	Sm, Tr, Sp	Rai	Und	F, M	+	Bead	Gray brown
L-4	0.7-1.0×2.0-5.0	rod	+	+	++	Rhi	Sm, Mo, Sp	Rai	Und	P	+	Fili	Creamy pink
L-5	0.6-1.0	sph	+	+	++	Irr	Sm, Mo, Sp	Fla	Ent	F	+	Effu	Scant growth
L-8	0.5-0.8	sph	+	+	++	Irr	Sm, Mo, Sp	Rai	Ero	F	+	Echi	Scant growth
L-9	0.6-0.9×1.5-4.0	rod	+	+	++	Rhi	Ro, Mo, Sp	Rai	Und	P	+	Echi	Pale orange
M-2	0.7-0.8×2.0-3.0	rod	+	+	++	Rhi	Ro, Dr, Sp	Rai	Und	P	+	Echi	Yellowish pink
M-3	0.5-0.7×2.5-5.0	rod	+	+	++	Irr	Ro, Tr, Sp	Fla	Ero	F	+	Echi	Scant growth
M-4	0.6-0.9×1.5-4.0	rod	+	+	++	Rhi	Sm, Op, Sp	Fla	Ero	F	+	Echi	—
M-6	0.6-0.9×1.5-4.0	rod	+	+	++	Rhi	Sm, Mo, Sp	Fla	Ero	P	+	Fili	Sm-Ro, Bead

Remarks; +: Presence or positive, -: Absence or negative, Irr: Irregular, Rhi: Rhizoid, Sm: Smooth, Ro: Rough, Ru: Rugose, Tr: Translucent, Sp: Spread, Dr: Dry, Mo: Moist, Rai: Raised, Con: Convex, Fla: Flat, Und: Undulate, Ent: Entire, Ero: Erose, Lob: Lobate, Wr: Wrinkled, Bead: Beaded, Echi: Echinulate, Fili: Filiform, Effu: Effusc.

Table 1-2. Characteristics of the bacteria isolated from low radioactive sites

Strain No.	Physiological characteristics											Identified species					
	Nitrite from nitrate	Methyl red test	Voges-Proskauer test	Starch hydrolysis	Indol production	Urease production	Catalase production	Peptonization of milk	Growth in 7% NaCl broth	Growth in 10% NaCl broth	Free oxygen		Phenol red broth				
													Lactose	Sucrose	Glucose	Arabinose	Sorbitol
L-1	+	+	+	-	-	+	+	+	+	+	A	R	R	R	R	R	Unidentified sp.
L-2	+	+	+	-	-	+	+	+	+	+	A	R	R	R	R	R	<i>Bacillus sphaericus</i>
L-4	+	+	+	-	-	+	+	+	+	+	F, A	R	R	R	Y	Y	Unidentified sp.
L-5	+	+	+	-	-	+	+	+	+	+	A	Y, G	R	R	R	R	Unidentified sp.
L-8	+	+	+	-	-	+	+	+	+	+	A	Y, G	R	R	R	R	Unidentified sp.
L-9	+	+	+	-	-	+	+	+	+	+	A	Y, G	R	R	R	R	Unidentified sp.
M-2	+	+	+	-	-	+	+	+	+	+	A	Y, G	R	R	R	R	<i>Bacillus macerans</i>
M-3	+	+	+	-	-	+	+	+	+	+	A	Y, G	R	R	R	R	<i>Bacillus subtilis</i>
M-4	+	+	+	-	-	+	+	+	+	+	A	Y, G	R	R	R	R	<i>Bacillus firmus</i>
M-6	+	+	+	-	-	+	+	+	+	+	A	Y, G	R	R	R	R	<i>Bacillus brevis</i>

Remarks: +: Positive or growth, -: Negative or no growth, A: Aerobic, F: Facultative aerobic, R: Red, Y: Yellow, G: Gas, NC: No change.

Table 2-1. Characteristics of the bacteria isolated from high radioactive sites

Strain No.	Morphological characteristics				Cultural characteristics						Others					
	Size (μ)	Shape	Gram staining	Spore staining	Motility	Nutrient agar			Nutrient broth							
						Form	Surface	Elevation	Margin	Surface		Clouding	Sediment	Gelatin liq.	Form on agar stroke	
R-1	0.6-0.7×2.0-3.0	rod	+	+	+	Irr	Sm, Mo, Sp	Fla	Lob	F, P	+	+	+	+	+	Yellow to brown
R-2	1.0-1.2×3.0-5.0	rod	+	+	+	Rhi	Mo, Sp	Con	Ero	F	+	+	+	+	+	Creamy white
R-5	0.6-0.9×1.5-4.0	rod	+	+	+	Rhi	Mo, Sp	Fla	Ero	F	+	+	+	+	+	Sm-Ro, Bead
R-7	1.2-1.5×2.0-4.0	rod	+	+	+	Rhi	Mo, Sp	Con	Ent	F	+	+	+	+	+	Ro, Wr, Yellow
R-9	0.6-0.9×1.5-4.0	rod	+	+	+	Rhi	Mo, Sp	Fla	Ero	F	+	+	+	+	+	—
R-10	0.5-0.7×2.0-5.0	rod	+	+	+	Rhi	Mo, Sp	Fla	Ero	F	+	+	+	+	+	Gummy yellow
R-12	0.6-1.0×1.0-7.0	rod	+	+	+	Irr	Sm, Tr, Sp	Rai	Und	F, M	+	+	+	+	+	Gray brown
R-13	0.7-0.8×2.0-3.0	rod	+	+	+	Rhi	Mo, Dr, Sp	Rai	Und	P	+	+	+	+	+	Yellowish white
R-18	0.7-1.0×2.0-5.0	rod	+	+	+	Rhi	Mo, Dr, Sp	Rai	Und	P	+	+	+	+	+	Ro, Sp
R-22	0.6-0.8×1.5-3.0	rod	+	+	+	Rhi	Mo, Ru, Sp	Rai	Und	P	+	+	+	+	+	Wr, Sp, Pink, White

Remarks; Same as table 1-1

Table 2-2. Characteristics of the bacteria isolated from high radioactive sites

Strain No.	Physiological characteristics											Identified species										
	Nitrite from nitrate	Methyl red test	Voges-Proskauer test	Starch hydrolysis	Indol production	Urease production	Catalase production	Peptonization of milk	Growth in 7% NaCl broth	Growth in 10% NaCl broth	Free oxygen		Phenol red broth									
													Lactose	Sucrose	Glucose	Arabinose	Sorbitol					
R-1	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	A, F, V	R	Y	Y	R	R	R	R	R	R	R	<i>Bacillus pumilus</i>
R-2	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	A	R	Y	Y	Y	R	R	R	R	R	R	<i>Bacillus cereus</i>
R-5	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	A	R	Y	Y	Y	R	R	R	R	R	R	<i>Bacillus brevis</i>
R-7	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	A	R	Y	Y	Y	R	R	R	R	R	R	<i>Bacillus megaterium</i>
R-9	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	A	R	Y	Y	Y	R	R	R	R	R	R	<i>Bacillus firmus</i>
R-10	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	A	R	Y	Y	Y	R	R	R	R	R	R	<i>Bacillus circulans</i>
R-12	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	A	R	Y	Y	Y	R	R	R	R	R	R	<i>Bacillus sphaericus</i>
R-13	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	A	R	Y	Y	Y	R	R	R	R	R	R	<i>Bacillus subtilis</i>
R-18	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	A	R	Y	Y	Y	R	R	R	R	R	R	Unidentified sp.
R-22	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	A	R	Y	Y	Y	R	R	R	R	R	R	<i>Bacillus ticheniformis</i>

Remarks; Same as table 1-1

**Table 3.** Microorganism strains and their sources of isolation

Micro-organism	Low radioactive sites	High radioactive sites
<i>Bacillus subtilis</i>	M-2	R-13
<i>Bacillus macerans</i>	M-3	
<i>Bacillus firmus</i>	M-4, M-5	R-9
<i>Bacillus brevis</i>	L-11, M-6	R-5, R-6, R-8, R-16, R-17
<i>Bacillus sphaericus</i>	L-2	R-12
<i>Bacillus pumilus</i>		R-1
<i>Bacillus cereus</i>		R-2, R-20
<i>Bacillus megaterium</i>		R-7, R-15
<i>Bacillus circulans</i>		R-10
<i>Bacillus licheniformis</i>		R-22

射線感受성이 높은 球菌의 生育이 困難한 것으로 解析된다.

Background 線量이 높은 地域 및 낮은 地域에서 各各 分離 同定한 細菌에 菌株 保存上 著者들이 任意로 記號를 붙여 整理한 成績은 Table 3에서 보는 바와 같이 background 線量이 낮은 研究室 및 醫療製品으로 부터는 *Bacillus subtilis* 外 4種의 桿菌이 分離되었으며 background 線量이 높은 原子爐 周圍 및 同位元素 製造室에서는 *Bacillus subtilis* 外 9種의 桿菌이 分離되었다.

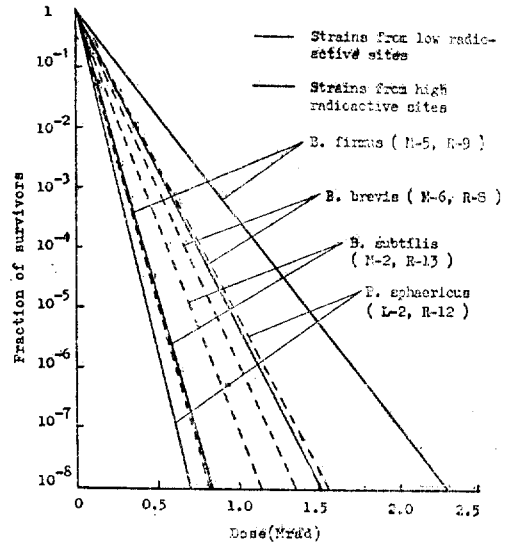
이들 分離 同定된 細菌中 *Bacillus subtilis*, *Bacillus firmus*, *Bacillus brevis* 및 *Bacillus sphaericus*의 4種은 background 線量이 높은 地域과 낮은 地域에서 各各 分離 되었으며 *Bacillus macerans*를 除外한 나머지 5種의 細菌은 background 線量이 높은 地域에서 分離되었으나 background 線量과의 有緣 關係는 糾明하지 못하였다.

그러나 原子爐 周圍 및 同位元素 製造室에 相當數의 細菌이 分布하고 있음을 알 수 있었고 分離된 細菌 全部가 *Bacillus* 屬에 屬하는 芽胞形成 桿菌들이었다.

2. 分離 細菌의 放射線 感受性

Background 線量이 낮은 地域과 높은 地域으로 부터 同時에 分離 同定된 *Bacillus subtilis*, *Bacillus firmus*, *Bacillus brevis*

및 *Bacillus sphaericus* 等 4種 細菌의 放射線 感受性을 比較 實驗 하였던 바 그 成績은 Fig. 1에서 보는 바와 같다.



**Fig. 1** Comparison of radiosensitivities in microorganism strains isolated from given radiation exposure history.

Fig. 1에서 보여 주고 있는 放射線 感受性 曲線에서  $D_{10}$  value를 算出 하였던바 *Bacillus brevis*, R-8 ( $D_{10}=0.192$  Mrad) 및 *Bacillus firmus*, R-9 ( $D_{10}=0.295$  Mrad) 은 *Bacillus brevis*, M-6 ( $D_{10}=0.173$  Mrad) 및 *Bacillus firmus*, M-5 ( $D_{10}=0.104$  Mrad)에 比하여 各各 1.1倍 및 2.83倍의 放射線 抵抗性을 나타내어 background 線量이 높은 地域에서 分離된 細菌이 낮은 地域에서 分離된 細菌보다 放射線 抵抗性을 나타내고 있었으나 *Bacillus subtilis*, M-2 ( $D_{10}=0.146$  Mrad) 및 *Bacillus sphaericus*, L-2 ( $D_{10}=0.198$  Mrad)는 *Bacillus subtilis*, R-13 ( $D_{10}=0.106$  Mrad) 및 *Bacillus sphaericus*, R-12 ( $D_{10}=0.083$  Mrad)에 比하여 오히려 background 線量이 낮은 地域에서 分離된 細菌에 比해 各各 1.4倍 및 2.38倍의 放射線 抵抗性을 나타내었다.

細菌이 致死線量 以下の 放射線量을 數回 反復照射 받았을때 放射線에 對한 抵抗性이 形成되는 境遇가 있는데 이같은 變異株의 生成은 *Escherichia coli* B株 및 B/γ株

(Gaden & Henley, 1953) *Streptococcus faecalis*, *Staphylococcus aureus* 및 *Clostridium botulinum* Type A (Erdman *et al.*, 1961) 등에서觀察된報告가 있다.

그러나 *Salmonella gallinarum* 및 *Clostridium botulinum* Type E (Erdman *et al.*, 1961) 그리고 *Salmonella typhi* Ty 2 株(Rhee *et al.*, 1973) 等에서는放射線抵抗性變異株의形成이 없었다고 하며 *Escherichia coli* 15株는 오히려放射線抵抗性이低下(Gaden & Henley, 1953)하였다는報告가 있다.

이와같이放射線抵抗性變異株의形成與否는細菌의種類에 따라差異가 있으며同一種 일지라도菌株에 따라서 그成績을달리하고 있음을알 수 있다.

細菌의放射線抵抗性에 미치는影響은여러가지가 있다.

即凍結狀態(Commer *et al.*, 1963; Denny *et al.*, 1958) 乾燥狀態(Christensen *et al.*, 1967) 等の環境條件 酸素의濃度(Matsuyama *et al.*, 1967) 및 保護物質(Bruce, 1964)의存在等 여러가지要因들에影響을 받는 것으로報告되고 있다.

특히放射線照射에依한細菌의抵抗性形成에關한 Goldblish(1959; Uri, 1959)의報告에依하면放射線照射時生體에形成되는 free radical의 toxic effect에對한抵抗性이結果적으로放射線의間接的인效果에對하여抵抗的으로表現된다고 한다.

그러나放射線抵抗性이라 할지라도凍結狀態에서放射線被爆時는生體에生成되는 free radical의 mobility가低下됨으로써放射線에抵抗的으로表現이되나放射線에對해抵抗性變異株는放射線의直接效果에對하여直接保護作用을 나타내는 것이라는報告(Erdman *et al.*, 1961)도 있다. 著者들의成績에서 볼 수 있는 바와같이本實驗에使用한 4種細菌의放射線感受性이同一菌種이라도菌株에 따라差異가 있었다.

이같은放射線感受性의差異와 back-

ground線量과의有緣關係는糾明하지 못하였으나前述한報告者들의成績을綜合해보면放射線에被爆됨으로써放射線에對한感受性의增加乃至低下는菌種或은菌株特有性에歸因하는 것으로解析된다.

醫療製品 및 研究室과 原子爐 및 同位元素製造室等 background線量を달리하는場所에서分離한各細菌을分離場所別로放射線感受性을比較한成績은 Fig. 2에서 보는 바와 같다.

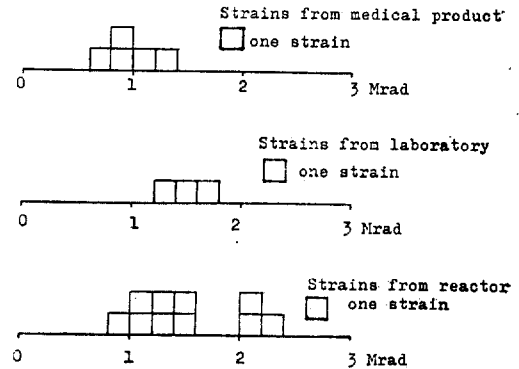


Fig. 2. Dose required for an inactivation factor of  $10^8$  for various microorganisms isolated from given radiation exposure history.

Fig. 2에서 보는 바와 같이醫療製品으로부터分離된細菌들은大部分 1 Mrad 內外の放射線照射로서 그리고放射能이若干汚染되었다고 생각되는研究室에서分離된細菌들은 1.5 Mrad 內外の放射線照射로서  $10^8$  cells/ml이不活性化되었으나 background가 높은原子爐와同位元素製造室로부터分離한細菌들中에는不活性化에必要한放射線量이 2.0~2.3 Mrad 所要되는細菌도 있었다.

著者들이分離實驗한細菌은種類 및數가 적은感은 있으나大體的인傾向으로 보아 background線量과分離된細菌間에는有緣關係가 있는 것으로 생각되며 background線量이 높은地域에는放射線感受性이 높은細菌의棲息이 어려우放射線抵抗性細菌이主로分布하게 되는 것으로解析된다.

## 摘 要

放射線 被爆域을 달리 하는 地域에서 細菌을 分離 同定하고 그 細菌의 放射線에 對한 感受性을 比較 實驗하였던 바 分離 同定된 20種의 細菌中 background 線量이 높은 地域과 낮은 地域으로 부터 分離된 同種屬의 細菌은 *Bacillus firmus*, *Bacillus brevis*, *Bacillus subtilis*, 및 *Bacillus sphaericus* 等 4種 이었고 background 線量이 높은 地域에서 分離된 細菌은 放射線 感受性이 조금 낮은 傾向을 나타냈으나 同一種屬間의 放射線 感受性은 background 線量과 有意性이 없었다.

## 引 用 文 獻

- Anderson, A.W., Nordan, H.C., and Cain, R.F., 1956. Studies on a radioresistant *Micrococcus*, 1. Isolation, morphology, cultural characteristics and resistance to gamma radiation. *Food Technology*, **10**, 575-578.
- Auda, H., and Emborg, C., 1973. Studies on post-irradiation DNA degradation in *Micrococcus radiodurans*, strain R<sub>115</sub>. *Rad. Res.*, **53**, 273-280.
- Akira Matsuyama, Mitsuo Namiki, and Yoshishige Okazawa, 1967. Alkali halides as agents enhancing the lethal effect of ionizing radiations on microorganisms. *Rad. Res.*, **30**, 687-701.
- Bruce, A.K., 1964. Extraction of the radioresistant factor of *Micrococcus radiodurans*. *Rad. Res.*, **22**, 155-164.
- Butler, J.A.V., and Robins, A.B., 1962. Effects of oxygen on the inactivation of enzymes by ionizing radiations. *Rad. Res.*, **17**, 63-73.
- Christensen, E.A., Holm, N.W., and Juul, F.A., 1961. Radiosterilization of medical devices and supplies. I.A.E.A., Vienna.
- Christensen, E.A., and Holm, N.W., 1964. Inactivation of dried bacteria and bacterial spores by means of ionizing radiation. *Acta. Path. Microbiol. Scand.*, **60**, 253.
- Cleve, B. Denny, and C. Wallace Bohrer, 1958. Destruction of *Clostridium botulinum* by ionizing radiation. *Food Technology*, **2**, 44.
- Comer, A. G., Anderson, G.W., and Gerrard, E. H., 1963. Gamma irradiation of *Salmonella* species in frozen whole egg. *Can. J. Microbiol.*, **9**, 231.
- Darmady, E.M., Hughes, K.E.A., Margaret M. Burt, Barbara M. Freeman, and Powell, D.B., 1961. Radiation sterilization. *J. Clin. Path.*, **14**, 55-58.
- Erdman, I.E., Thatcher, F.S., Macqueen, K.F., 1961. Studies on the irradiation of microorganisms in relation to food preservation. *Can. J. Microbiol.*, **7**, 199-205.
- Erdman, I.E., Thatcher, F.S., Macqueen, K.F., 1961. Studies on the irradiation of microorganisms in relation to food preservation. *Can. J. Microbiol.*, **7**, 207-215.
- Gaden, E.L. Jr., and Henley, E.J., 1953. Induced resistance to gamma radiation in *Escherichia coli*. *J. Bacteriol.*, **65**, 727-732.
- Goldlith, S.A., 1959. Direct and indirect effects of radiations. In "Proceedings of the International Conference on the Preservation of Foods by Ionizing Radiations. July 27-30.
- Howard-Flanders, P., and Alper, T., 1957. The sensitivity of microorganisms to irradiation under controlled gas condition. *Rad. Res.*, **7**, 518.
- Koh, W.Y., Morehouse, C.T., and Chandler, U.L., 1956. Incidence and characteristics of beta radiation survivors (*Escherichia coli*). *Appl. Microbiol.*, **4**, 153-155.
- Lechat, M.F., and Hanks, J.H., 1963. The concentration of *M. leprae* in lepromins in currently available lepromins. *Internat. J. Leprosy*, **21**, 348.
- Licciardello, J.J., Ribich, C.A., and Goldlith, S.A., 1969. Effect of irradiation temperature on inactivation of *Clostridium botul-*

- inum* toxin type E by gamma rays. *J. Appl. Bact.*, **32**, 476—480.
19. Luckiesh, M., and Knowles, T., 1948. Resistivity of *Escherichia coli* to ultraviolet energy as affected by irradiation of proceeding culture. *J. Bacteriol.*, **55**, 369—372.
20. Suhadi, S. Kitayama, Okazawa, Y., and Matsuyama, A., 1971. Isolation of radiosensitive mutants of *Micrococcus radiodurans*. *Agr. Biol. Chem.*, **35**, 1644—1647.
21. Rhee, K.S., Min, B.H., and Chang, C.S., 1972. Effect of <sup>60</sup>Co-ray on *Salmonella typhi* Ty 2 cell. *Kor. J. Microbiol.*, **11**, 79—88.
22. Uri, N., 1959. Some aspects of radiation-induced free radical reactions and the significance of free radical acceptors. *Intern. J. Appl. Radiation and Isotopes*, **6**, 59—68.
23. Witkin, E., 1946. Inherited differences in sensitivity to irradiation in *Escherichia coli*. *Proc. Natl. Acad. Sci., U.S.* **32**, 59.