

蛔虫의 C¹⁴-葡萄糖代謝에 관한 研究

Metabolism of C¹⁴-glucose by *Ascaris lumbricoides*

서울大學校 醫科大學 寄生蟲學敎室 및 風土病研究所

<指導 徐 丙 高 副敎授>

林 漢 鍾

一般的으로 寄生性蠕蟲類에 多量의 糖源質이 含有되어 있다 함은 周知의 事實이다. 이러한 糖源質은 他生體에서와 마찬가지로 蠕蟲에 있어서도 相當히 重要한 에너지源으로 생각된다^{1,2,3}. 그러나 모든 蠕蟲類가 다 같이 糖源質을 에너지源으로 利用할 수 있으리라는 證據는 없고 따라서 蠕蟲의 各種類에 있어서 含水炭素代謝에 相當한 差異를 나타내는 것이다⁴.

蛔蟲에 있어서는 그 筋肉에 糖源質이 多量 含有되어 있음을 Fairbairn 및 Passey(1957)⁵가 報告하였으며 그 糖源質의 含量이 雄蟲과 雌蟲의 筋肉에서 各各 그 무게의 13.6%와 15.4% 이라고 한다. Cavier 및 Savel(1952, 1953)^{5,6}은 이런 糖源質形成에 glucose, fructose, sorbose, maltose 및 saccharose가 關與함을 指摘하였고 一方 葡萄糖으로부터 糖源質合成에 關與하는 酵素 phosphorylase를 發見하였다.

近來에 와서 蛔蟲에 依한 含水炭素代謝에 關한 많은 研究가 있었으며⁷⁻¹⁶ 蛔蟲의 葡萄糖代謝過程이 他生體에서와 같이 Embden-Meyerhof scheme의 葡萄糖分解 經路에 依據할 것이라는 것을 Rathbone 및 Rees(1954)¹³ 등이 主張한 바 있다. 또한 이들은 直接 蛔蟲에서 hexokinase를 發見하였다. Bueding, Entner 및 Farber(1955)¹⁷는 蛔蟲筋肉에서 succinic dehydrogenase를, Saz 및 Hubbard(1957)¹⁸는 malic dehydrogenase를 各各 證明함으로써 蛔蟲의 酸化過程이 Krebs cycle의 經路를 밟아 進行될 것이라는 것을 指摘한 바 있다. Entner(1957)¹⁹는 蛔蟲筋肉에서 pentose-phosphate pathway의 酵素를 發見하고 Rathbone(1955)²⁰은 oxydative phosphorylation을 證明한 바 있으며 A.T.P.도 蛔蟲組織內에 널리 分布되어 있음이 Chin 및 Bueding¹²에 依하여 알려졌다.

이와같이 蛔蟲에 있어서 他生體에서와 마찬가지로 葡萄糖代謝過程이 一般的으로 알려져 있는 經路를 取할 것이라는 것을 斟酌할 수 있으며 또한 蛔蟲筋肉組織의 大部分이 糖源質이라는 點으로 보아^{21,22} 葡萄糖이 重要한 에너지源으로 作用할 것이라고 생각된다.

最近에 와서 同位元素를 利用한 追跡試驗이 廣範圍하게 代謝過程研究에 應用됨에 따라 C¹⁴-葡萄糖을 使用하

여 葡萄糖酸化와 糖源質合成의 定量的인 微量測定이 可能하게 되었다^{23,24,25}.

本實驗에서 C¹⁴-葡萄糖을 利用하여 長時間 C¹⁴-葡萄糖含有培地에 培養한 後呼吸 CO₂ 및 糖源質을 얻어 이의 放射能을 測定함으로써 宿主에서와 같이 가장 重要한 에너지源으로 알려져 있는 葡萄糖이 蛔蟲代謝에 있어서 차지하는 比重을 檢討하기 위하여 다음과 같은 實驗을 實施하였다.

實驗 方法

I. 實驗材料

豚蛔蟲(*Ascaris lumbricoides suum*)을 屠殺場에서 採取하여 直時 保溫된 飼育液에 넣어 實驗室까지 運搬하였다. 이때 飼育液으로는 200 mg% 葡萄糖含有 Krebs-Ringer phosphate 液(pH. 7.4)을 使用하였다. 實驗에 使用된 蛔蟲은 損傷이 있는것 褪色된 것은 除外하고 運動性이 活潑하고 健全한 것을 選擇하여 雌蟲(2.9~6.2g) 15마리, 雄蟲(1.7~2.6g) 5마리를 本實驗에서 使用하였다.

每實驗時 蛔蟲을 滅菌生理的食鹽水로 充分히 洗滌한 後 抗生物質(penicilline 1,000 units/cc+streptomycin 1.5mg/cc)을 混合한 200mg% 葡萄糖含有 Krebs-Ringer phosphate 液에다 約 1時間 38°C의 恒溫器內에 保存하였다.

II. C¹⁴-葡萄糖含有培地(C¹⁴-glucose medium)

C¹⁴-葡萄糖貯藏液은 C¹⁴-U-葡萄糖 100μC에 non-radioactive carrier glucose를 넣어 100 cc로 稀釋하여 40 mg/cc와 50 mg/cc의 葡萄糖濃度로 만드려 졌다.

每實驗時 蛔蟲 한마리에 對해서 2~2.5 cc의 貯藏液을 Krebs-Ringer phosphate 液에 稀釋하여 50 cc를 만들어 200 mg% C¹⁴-葡萄糖含有 Krebs-Ringer phosphate 液(pH. 7.4)으로서 本實驗의 培地로 使用하였다. 培地內에는 細菌醱酵로 因한 實驗成績의 誤謬를 除去하기 위하여 抗生物質을 少量 넣었다.

III. 實驗操作

蛔蟲 培養에는 250 cc 容積의 Erlenmyer flask內 中央에 直徑 1.5 cm, 높이 5 cm의 유리管을 flask 底面에

附着시킨 特殊한 培養器(incubation flask)를 使用하였고 呼吸 CO₂를 採取하기 위하여 培養器中心管에 CO₂-free 2N. NaOH 溶液 5 cc를 넣고 50 cc의 培地를 中心管 周圍에 넣은 다음 한時間 恒溫保存하였던 蛔虫을 한마리씩 培地에 넣어 고무마개로 培養器를 密閉한 다음 38°C 恒溫器에 6時間 培養하였다. 每 30 分마다 1分間씩 呼吸 CO₂ 吸收를 促進시키기 위하여 흔들어 주었다.

15 마리의 雌雄蛔虫에 對하여 實驗 6 時間直後에 各培養器內의 中心管內의 CO₂ absorber 에서 CO₂를 吸收한 Na₂CO₃ sample 을 注射器로 빼내어 總呼吸 CO₂ 生産率 및 呼吸 CO₂의 放射能을 測定하였다.

한편 蛔虫全體를 切斷하여 直時 各各 煮沸 30% KOH 溶液에 넣은 다음 3 時間동안 煮沸水槽에 넣어 KOH 로 消化시켜 糖源質을 分離하고 그 糖源質의 放射能 및 組織濃度를 測定하였다. 糖源質測定에 있어서 6 마리의 雌虫에 對해서는 生殖器(子宮 및 卵巢)와 남여지 部分(大部分이 筋肉)을 分離하여 各各 따로 測定하여 比較觀察하였다. 葡萄糖의 吸收率(uptake rate)를 測定하기 위하여 實驗前後의 培地의 葡萄糖濃度를 測定하였다.

蛔虫과 培地間의 酸化過程의 平衡時間을 觀察하기 위하여 따로 5 마리의 雌虫을 培養하는 途中에 各各 每 3 時間에 새로운 培地 및 CO₂ absorber 를 交替하여 주면서 9 時間 동안 觀察하였다. 交替할 때 얻은 既存培地 및 中心管의 呼吸 CO₂ sample 을 分析하여 時間에 따르는 代謝率의 變動過程을 觀察하였다.

IV. 化學操作 및 放射能測定法

培地의 葡萄糖定量에는 Somogyi(1945)²⁶⁾와 Nelson(1944)²⁷⁾의 方法을 使用하였다. 培養器의 中心管內의 2N. NaOH 溶液에 呼吸 CO₂가 吸收된 Na₂CO₃를 BaCl₂로 Whatman filter paper (No. 542)에 BaCO₃로 沈澱시켜 BaCO₃의 무게를 測定하여 이를 BaCO₃의 分子量으로 除하여 總 CO₂ 發生率을 計算하였다.

呼吸 CO₂의 specific activity(S.A)는 BaCO₃ sample 을 直接 endwindow Geiger-Müller counter 로 測定하였다.

糖源質의 組織濃度測定에는 Good, Kramer 및 Somogyi(1933)²⁸⁾의 方法을 使用하였고 蛔虫全體 또는 雌虫의 生殖器組織과 筋肉에서의 糖源質은 Stetten 및 Boxer(1944)²⁹⁾의 方法으로 分離하였다. 分離된 糖源質과 培地의 S.A.測定에는 van Slyke 및 Folch(1940)³⁰⁾의 總 CO₂ 分解裝置를 使用하여 모두 CO₂로 完全酸化시킨 다음 이를 다시 BaCO₃로 沈澱시켜 放射能을 endwindow Geiger-Müller counter 로 計測하였다. endwindow Geiger-Müller counter 로 計測한 값은 모두 selfabsorption 에 對한 校正을 하여 比較觀察하였다.

V. 計算方法

1) 葡萄糖吸收率(Glucose uptake rate).

培養前後의 培地의 葡萄糖濃度를 測定하여 여기서 얻은 濃度差에 C¹⁴-葡萄糖培地의 容積을 곱하고 이를 다시 虫體의 무게 및 實驗時間으로 除하여 mg/hr/g 또는 μM/hr/g 로 表示하였다.

2) 總 CO₂ 發生率(Total CO₂ production rate.)

培養器內의 中心管에 吸收시킨 Na₂CO₃ sample 을 BaCO₃로 沈澱시켜 이것의 무게를 測定하고 이를 BaCO₃의 分子量으로 除하여 μM/hr/g 로 表示하였다.

3) 呼吸 CO₂의 relative specific activity (R.S.A. co₂). 이것은 發生한 全 CO₂ 內에 있는 培地에서 由來된 CO₂의 分率(fraction)을 表示한다. 呼吸 CO₂ 및 培地의 S.A. 와의 比로 計算된다.

4) 糖源質의 交替率(Turnover rate)

a. 糖源質의 relative specific activity (R.S.A. gly). 培地에서 由來된 糖源質의 分率을 表示한다. 即 糖源質의 S.A.와 培地의 S.A.와의 比로 計算된다.

b. 交替率(Turnover rate)

糖源質의 交替率은 다음 式에 依하여 K₁ 및 K₂를 求하며

$$K_1 = \frac{\text{R.S.A. gly.}}{\text{incubation period}}$$

$$K_2 = \frac{\text{glycogen pool of Ascaris} \times \text{R.S.A. gly.} \cdot 1}{\text{incubation period} \cdot \text{body wt.}}$$

K₁은 每時間 培地의 C¹⁴-葡萄糖과 交替되는 glycogen pool의 分率을 나타내고 K₂는 每時間 蛔虫의 wet weight g 當 培地의 C¹⁴-葡萄糖과 交替되는 糖源質의 量을 表示한다.

c. glycogen pool 交替에 있어서의 半週期(t_{1/2})

蛔虫의 glycogen pool의 1/2이 培地內의 C¹⁴-葡萄糖과 交替하는데 必要한 時間 即 半週期(t_{1/2})는 一次反應 公式를 利用하여 다음과 같이 計算하였다.

$$t_{1/2} = \frac{0.693}{K_1}$$

5) 呼吸 CO₂ 로의 比較葡萄糖消失率

(Relative glucose disappearance rate into CO₂; R.G.D.co₂)

培地에서 蛔虫이 吸收한 C¹⁴-葡萄糖의 呼吸 CO₂로 完全酸化된 分率을 表示하며 다음과 같이 計算된다.

$$\text{R.G.D. co}_2 = \frac{\text{total CO}_2 \text{ production rate} \times \text{R.S.A. co}_2}{\text{glucose uptake rate} \times 6}$$

윗式의 分子는 培地內의 C¹⁴-葡萄糖에서 由來하는 CO₂의 發生率을 보이며 1 分子의 葡萄糖이 CO₂로 完全酸化하면 6 分子의 CO₂를 發生하므로 C¹⁴-葡萄糖에서 起因된 CO₂의 發生率을 6으로 除하면 CO₂로 完全酸化된 葡萄糖의 量을 計算할 수 있다. 이 값과 葡萄糖吸收率과의 比를 求하면 培地에서 吸收된 C¹⁴-葡萄糖

이 CO₂ 로 完全酸化된 分率을 表示한다.

6) 糖源質로의 比較葡萄糖消失率

(Relative glucose disappearance rate into glycogen; R.G.D.gly)

培地內에서 蛔虫이 吸收한 C¹⁴-葡萄糖이 糖源質로 合成되는 分率을 表示하며 다음과 같이 計算된다.

$$R.G.D.gly = \frac{\text{glycogen pool} \times R.S.A.gly \times \frac{180}{162}}{\text{glucose uptake rate}}$$

윗式의 分子는 培地 C¹⁴ 葡萄糖에서 由來하는 糖源質內의 葡萄糖의 量을 나타내며 이 값과 葡萄糖吸收率과의 比를 求하면 培地에서 吸收된 C¹⁴-葡萄糖이 糖源質로 合成된 分率을 表示한다.

實驗 成績

雌蛔虫 5 마리를 各各 한마리씩 培養器에 넣어 3 時間마다 새로운 培地와 呼吸 CO₂ absorber 인 2N. NaOH 溶液을 3 回 갈아 쓸 때 얻은 CO₂ sampl 의 S.A.를 測定하여 R.S.A.co₂를 計算하였다. 時間에 따르는 R.S.A.co₂를 보면 第 1 圖와 같다. 5 例에 있어서 各 個體마다

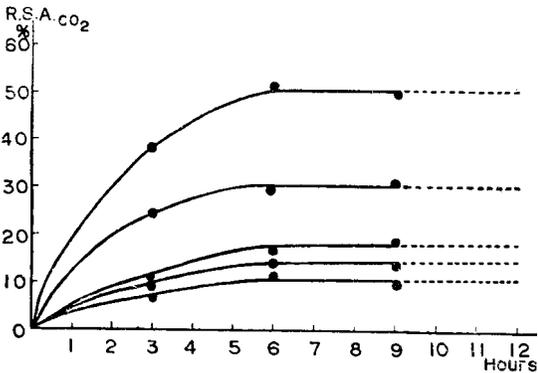


Fig. 1 R.S.A.co₂—time curve

R.S.A.co₂ increases gradually during the first 6 hours of incubation period and reaches plateau value in each *Ascaris lumbricoides* (5 cases).

그 R.S.A. co₂의 差異가 있지만 처음 6 時間동안은 時間에 따라 增加하고 6 時間後에는 比較의 一定한 plateau 값을 보였다. 故로 蛔虫의 呼吸 CO₂ 로의 完全酸化過程에 있어서 培地內의 C¹⁴ 葡萄糖이 6 時間後에 비로소 蛔虫酵素系와 平衡狀態를 이루며 恒定狀態(steady state) 酸化代謝率을 보였다. 이와같이 같은 濃度의 培地에 長時間 培養할 때 C¹⁴-葡萄糖의 酸化代謝過程에 있어서 一定한 代謝率을 보이기까지는 적어도 6 時間이 必要하였다. 그러므로 本實驗에서는 6 時間以後 蛔虫과 培地內의 C¹⁴-葡萄糖이 平衡이 되어 一定한 代謝率을 보일 때의 實驗成績을 取하여 蛔虫에 依한 C¹⁴-葡萄糖의 代謝過程을 觀察하였다.

15마리의 蛔虫에서 培地內의 C¹⁴-葡萄糖의 吸收率과

呼吸 CO₂ 로의 酸化代謝過程에 관한 實驗成績은 第 1 表와 같다.

蛔虫에 依한 培地內의 葡萄糖吸收率을 보면 平均 1.14±0.19 mg/hr/g 또는 平均 6.32±1.07 μM/hr/g 이었다. 總 CO₂ 發生率은 平均 6.58±0.61 μM/hr/g 였으며 發生한 全 CO₂ 中에 培地內의 C¹⁴-葡萄糖에서 由來된 CO₂ 의 分率 即 R.S.A co₂ 는 差異가 甚하여 10.3% ~73.7% 로 平均 33.9±4.7% 이었다. 그러므로 培地內의 C¹⁴-葡萄糖으로부터 由來하는 CO₂ 의 發生率은 蛔虫에 있어서 總 CO₂ 發生率의 33.9% 인 平均 2.42±0.41 μM/hr/g 의 값을 보였다.

蛔虫이 培地에서 吸收한 C¹⁴ 葡萄糖이 呼吸 CO₂ 로 完全酸化된 分率 即 R.G.D.co₂ 는 平均 6.82±0.96% 이었다.

같은 15마리의 蛔虫에 對하여 糖源質의 組織濃度와 培地內의 C¹⁴-葡萄糖이 糖源質로 交替되는 glycogen pool 의 交替率을 觀察하였다.

第 2 表에서 보는 바와 같이 蛔虫의 糖源質組織濃度는 平均 59.5±5.0 mg/g 이며 이것은 蛔虫의 wet weight 의 平均6%에 該當한다. 糖源質의 R.S.A.gly 은 平均 2.57±0.49%이며 即 glycogen pool 의 平均 2.57%가 實驗期間 동안에 培地內의 C¹⁴-葡萄糖과 交替되었으며 C¹⁴-葡萄糖이 蛔虫組織內 糖源質과 交替되는 率(turn over rate)은 glycogen pool 의 平均 0.43±0.08%/hr (K₁) 또는 平均 0.27±0.07 mg/hr/g(k₂)로 計算되었다. 即 蛔虫의 wet weight g 當 每時間 平均 0.27mg 의 培地內 C¹⁴ 葡萄糖이 蛔虫組織內糖源質과 交替됨을 보였다.

또한 蛔虫의 glycogen pool 의 1/2 이 培地內의 C¹⁴-葡萄糖과 交替하는데 要하는 時間 即 glycogen pool 의 半週期(t_{1/2})는 平均 11.95±2.37日이었다. 蛔虫이 培地에서 吸收한 C¹⁴ 葡萄糖中에서 糖源質로 合成된 部分 即 R.G.D.gly 은 葡萄糖吸收率의 平均 24.4±3.2% 이었다.

上記 15마리의 蛔虫中 6마리의 雌虫에 對하여 筋肉과 生殖器組織과의 糖源質의 交替率을 比較觀察한 바 第3表에서와 같은 成績을 얻었다. 筋肉에 있어서 glycogen pool 은 平均 221±34 mg, 組織濃度는 平均 83.2±13.9 mg/g 이고 生殖器組織에서는 glycogen pool 이 平均 18±4 mg, 組織濃度는 平均 18.2±4.3 mg/g 이었다. 大部分의 糖源質은 蛔虫의 筋肉內에 包含되어 있다고 본다. 그러나 그 交替率(k₁)을 比較하여 보면 筋肉에서 平均 0.43±0.07%/hr 인데 生殖器組織에서는 平均 0.79±0.23 即 生殖器組織에 있어서 交替率이 筋肉內에서 보다 若干의 높은 값을 보인다. 生殖器組織에 있어서 組織內糖源質의 含量이 筋肉에 比해서 훨씬 적으나 組織 무게에 依한 交替率(K₂)은 平均 0.14±0.06 mg/hr/g

Conversion of C¹⁴-glucose into respiratory CO₂

Table 1.

No. of Ascaris	Wt. of Ascaris g [♂]	S	Glucose uptake rate			Radioactivities of respiratory CO ₂					Total CO ₂ Production rate μ M/hr/g	R.S.A.co ₂ %	CO ₂ production rate from medium C ¹⁴ glucose μ M/hr/g	Glucose equivalent amount of CO ₂ production μ M/hr/g	R.G.D.co ₂ %	
			mg	mg/hr/g	μ M/hr/g	Wt. of BaCO ₄ mg	C.P.M.	C-factor	mgC in BaCO ₃	S.A. of medium						
										cpm/mgC						cpm/mgC
A-1	3.0	♀	16.0	0.89	4.94	16.8	534	1.75	1.03	6.318	907	4.74	14.4	0.68	0.11	2.23
A-2	2.9	♀	17.0	0.98	5.44	17.4	2,374	1.79	1.06	//	4,009	5.08	63.5	3.23	0.54	9.93
A-3	5.0	♀	10.0	0.33	1.83	25.7	606	2.34	1.57	//	903	4.35	14.3	0.62	0.10	5.46
A-4	4.7	♀	8.0	0.28	1.56	19.7	511	1.95	1.20	//	830	3.55	13.1	0.47	0.08	5.13
A-5	2.6	♂	16.0	1.03	5.72	32.3	1,154	2.82	1.97	4.834	1,652	10.51	34.2	3.59	0.60	10.49
A-6	2.0	♂	26.5	2.21	12.28	21.3	1,443	2.06	1.30	//	2,287	9.01	47.3	4.26	0.71	5.78
A-7	2.4	♂	23.5	1.63	9.06	20.5	945	2.00	1.25	//	1,512	7.23	31.3	2.26	0.38	4.19
A-8	2.1	♂	10.0	0.80	4.44	27.8	1,339	2.48	1.70	//	1,953	11.20	40.4	4.53	0.76	17.12
A-9	1.7	♂	22.5	2.21	12.28	18.5	1,356	1.86	1.13	//	2,232	9.21	46.2	4.26	0.71	5.78
A-10	4.0	♀	66.0	2.75	15.28	33.0	2,485	2.88	2.01	//	3,561	6.98	73.7	5.14	0.86	5.63
A-11	4.9	♀	13.0	0.44	2.44	35.9	604	3.09	2.19	//	852	6.20	17.6	1.09	0.18	7.38
A-12	4.5	♀	20.0	0.74	4.11	29.3	1,241	2.56	1.79	//	1,775	5.51	36.7	2.02	0.34	8.27
A-13	6.2	♀	18.0	0.48	2.67	37.5	975	3.20	2.29	//	1,362	5.12	28.2	1.44	0.24	8.99
A-14	4.3	♀	17.0	0.66	3.67	18.1	299	1.84	1.11	//	496	3.56	10.3	0.37	0.06	1.64
A-15	4.7	♀	46.0	1.63	9.06	35.9	1,249	3.09	2.19	//	1,762	6.46	36.5	2.36	0.39	4.31
Mean	3.7		22.0	1.14	6.32							6.58	33.9	2.42	0.40	6.82
S.E.	± 0.3		± 3.8	± 0.19	± 1.07							± 0.61	± 4.7	± 0.41	± 0.07	± 0.96

C.P.M.: counts per minutes., C-factor: selfabsorption correction factor., S.A.: specific activity., R.S.A co₂: relative specific activity of CO₂., R.G.D. co₂: relative glucose disappearance rate into CO₂.

Table 2. Conversion of C¹⁴ glucose into glycogen.

No. of Ascaris	Wt. of Ascaris		S	Amount of glucose uptake		Radioactivities of glycogen					Glycogen pool			Turnover rate ^a (k)			Half time $t_{1/2}$	R.G.D. _{gly}
	g	x		mg	mg	Wt. of BaCO ₃	C.P.M	C-factor	mgC in BaCO ₃	S.A. of medium	S.A	mg	mg/g	%/wet weight	R.S.A. _{gly}	%		
A-1	3.0	♀	16.0	26.4	24	2.38	1.61	6.318	36	213	71.0	7.10	0.57	0.10	0.07	24.70	8.4	
A-2	2.9	♀	17.0	14.5	134	1.59	0.88	//	242	203	70.0	7.00	3.83	0.64	0.45	4.51	50.8	
A-3	5.0	♀	10.0	26.0	43	2.36	1.59	//	64	233	46.6	4.66	1.01	0.17	0.08	16.99	26.1	
A-4	4.7	♀	8.0	18.7	18	1.88	1.14	//	30	177	37.7	3.77	0.48	0.08	0.03	36.09	11.8	
A-5	2.6	♂	16.0	41.6	48	3.49	2.53	4.834	66	210	80.8	8.08	1.37	0.23	0.19	12.55	20.0	
A-6	2.0	♂	26.5	28.9	51	2.54	1.76	//	74	143	71.5	7.15	1.53	0.26	0.19	11.11	9.2	
A-7	2.4	♂	23.5	28.8	136	2.53	1.76	//	196	123	51.3	5.13	4.06	0.68	0.35	4.25	23.6	
A-8	2.1	♂	10.0	34.0	38	2.95	2.07	//	54	143	68.1	6.81	1.12	0.19	0.13	15.20	17.8	
A-9	1.7	♂	22.5	32.6	265	2.85	1.98	//	381	135	79.4	7.94	7.88	1.31	1.04	2.20	52.5	
A-10	4.0	♀	66.0	—	—	—	—	//	204	343	85.8	8.58	4.22	0.70	0.60	4.13	24.3	
A-11	4.9	♀	13.0	—	—	—	—	//	76	190	38.8	3.88	1.57	0.26	0.10	11.11	25.5	
A-12	4.5	♀	20.0	—	—	—	—	//	161	137	30.4	3.04	3.33	0.56	0.17	5.17	25.3	
A-13	6.2	♀	18.0	—	—	—	—	//	142	141	22.7	2.27	2.94	0.49	0.11	5.89	25.6	
A-14	4.3	♀	17.0	—	—	—	—	//	41	302	70.2	7.02	0.85	0.14	0.10	20.63	16.8	
A-15	4.7	♀	46.0	—	—	—	—	//	180	320	68.1	6.81	3.72	0.62	0.42	4.66	28.7	
Mean	3.7		22.0							201	59.5	5.95	2.57	0.43	0.27	11.95	24.4	
S.E.	±0.3		±3.8							±18	±5.0	±0.50	±0.49	±0.08	±0.07	±2.37	±3.2	

R.S.A. gly: relative specific activity of glycogen., R.G.D. gly: relative glucose disappearance rate into glycogen.,

Table 3. The turnover rate of glycogen in carcass and sexual organs of female worms.

Parts of female Ascaris	No. of parts	Glycogen pool		Radioactivities of glycogen						Turnover rate (K)		
		mg	mg/g	Wt. of BaCO ₃	C.P.M	C-factor	mgC in BaCO ₃		S.A. of medium		R.S.A.gly	K ₁
							mg	%/wet weight	c.p.m./mgC.	c.p.m./mgC.		
Carcass	A-10	335	134.0	32.7	139	2.86	1.99	4,834	200	4.14	0.69	0.93
	A-11	175	70.0	22.3	51	2.12	1.36	80	80	1.66	0.28	0.20
	A-12	125	52.1	30.0	107	2.66	1.83	156	156	3.23	0.54	0.28
	A-13	128	34.6	33.2	96	2.89	2.03	137	137	2.83	0.47	0.16
	A-14	27	103.7	23.0	26	2.17	1.40	40	40	0.83	0.14	0.14
A-15	283	104.8	27.0	95	2.42	1.65	139	139	2.88	0.48	0.50	
Mean S.E.	2.75 ±0.18	221 ±34	83.2 ±13.9	8.32 ±1.39						2.60 ±0.44	0.43 ±0.07	0.37 ±0.11
Sexual organs	A-10	8	8.9	36.3	265	3.11	2.21	4,834	373	7.72	1.29	0.11
	A-11	15	12.5	13.5	18	1.52	0.82	212	33	0.68	0.11	0.01
	A-12	12	12.0	23.6	138	2.21	1.44	190	212	4.39	0.73	0.09
	A-13	13	10.8	27.5	130	2.46	1.68	72	72	3.93	0.66	0.07
	A-14	22	36.7	18.6	44	1.87	1.14	493	493	10.20	1.49	0.25
A-15	37	28.5	23.4	322	2.19	1.43				1.70	0.48	
Mean S.E.	1.03 ±0.10	18 ±4	18.2 ±4.3	1.82 ±0.43						4.74 ±1.36	0.79 ±0.23	0.14 ±0.06

Table 4. Fate of C¹⁴-glucose.

No. of cases	Glucose uptake rate		Total CO ₂ production rate		R.S.A.co ₂		CO ₂ production rate from medium C ¹⁴ -glucose		Tissue concentration of glycogen		R.G.D.co ₂		R.G.D.gly	
	μM/hr/g	μM/hr/g	μM/hr/g	μM/hr/g	%	%	μM/hr/g	μM/hr/g	mg/g	mg/g	%	%	%	%
15*	6.32	6.58	6.58	2.42	33.9	59.5	2.42	59.5	6.82	24.4	6.82	24.4	±3.2	±3.2
Mean ±S.E.	±1.07	±0.61	±0.61	±0.41	±4.7	±5.0	±0.41	±5.0	±0.96	±3.2	±0.96	±3.2		

*Differences between males and females were statistically not significant (p>0.1)

인테 筋肉에서는 平均 0.37±0.11 mg/hr/g 의 값을 얻었다.

以上과 같은 實驗에서 蛔虫에 依하여 培地에서 吸收된 C¹⁴ 葡萄糖의 運命을 보면(第4表) 蛔虫이 平均 6.32±1.07 μM/hr/g 의 C¹⁴-葡萄糖을 吸收하여 이것의 平均 6.82±0.96% 가 呼吸 CO₂ 로 完全酸化를 하였고 平均 24.4±3.2% 가 蛔虫組織內糖源質로 合成하였으므로 本實驗에서 蛔虫에 依한 C¹⁴ 葡萄糖의 代謝에 있어서 적어도 蛔虫이 吸收한 C¹⁴ 葡萄糖의 31.2% 에 該當하는 것이 葡萄糖의 呼吸 CO₂ 로의 酸化過程 및 糖源質合成過程에 關與하였다고 說明할 수 있었다.

考 察

寄生性蠕虫類의 含水炭素代謝에 關한 몇사슴의^{31,32)} 報告에 依하면 含水炭素의 代謝率은 外部環境의 酸素의 組成如何에 따라 若干의 影響을 받는다고 하였다.

Read(1956)³³⁾는 *Hymenolepis diminuta* 에 있어서 含水炭素代謝率이 酸素存在下에서나 無酸素下에서 큰 差異는 볼 수 없으나 葡萄糖의 分解過程에 있어서 酸素存在下에서 보다 無酸素下에서 葡萄糖의 嫌氣性代謝가 더活潑히 進行된다고 한다. 그러나 蛔虫에 있어서 酸素存在下에서나 無酸素下에서 生存하는데 아무런 影響은 받지 않으나 無酸素下에서는 蛔虫의 運動이 減退된다고 한다³⁴⁾. 또한 Davenport(1949)³⁵⁾는 無酸素下에서 運動이 減退된 蛔虫의 「體壁에서 oxyhemoglobin 의 減少를 보았다고 한다. 이러한 實驗結果로 미루어 보아 蛔虫에 있어서 含水炭素의 好氣性代謝過程을 否認할 수는 없다. 그러나 蛔虫을 100% 酸素下에 두면 그 呼吸率이 空氣中에서 보다 3 배나 더 빨으나 H₂O₂ 의 中毒으로 곧 죽게 됨으로³⁶⁾ 本實驗에서는 長時間 觀察하기 爲하여 培養器內에 外部空氣를 넣고 C¹⁴-葡萄糖을 利用하여 葡萄糖의 呼吸 CO₂ 로의 酸化代謝過程 및 糖源質로의 合成過程을 觀察하였다. 그러나 實際에 있어서 豚蛔虫의 宿主인 돼지의 腸內酸素分壓은 平均 30 mmHg(酸素含量約 4%) 이라고 하며³⁷⁾ 外部空氣의 酸素分壓은 160 mmHg(酸素含量 21%)임으로 本實驗에서는 돼지의 腸內보다 約 5 배나 더 높은 酸素分壓에서 培養한 것으로 되어있다.

本實驗에서 蛔虫의 C¹⁴-葡萄糖代謝過程을 觀察하는데 있어서 實驗期間中 培地의 濃度 및 S.A.를 一定하게 維持하므로써 蛔虫의 C¹⁴-葡萄糖의 恒定狀態代謝過程을 定量的으로 測定하였다.

實驗成績에서 보는 바와 같이 培地에서 吸收한 C¹⁴-葡萄糖이 酸化하는데 있어서 蛔虫組織의 酵素系와 培地內의 C¹⁴-葡萄糖間이 6時間前後해서 平衡狀態를 이루어 一定한 代謝率을 보임은 培養初期에서는 蛔虫組織細胞內의 酵素系에 既存하고 있던 여러 代謝物質이 優先적으로 利用되어 이들 物質이 酵素系에서 "wash out" 되

는 過程이 蛔虫에 있어서 6時間이 要했다 함을 意味한다. Lee(1961)³⁸⁾에 依하면 흰쥐의 肝臟切片에 있어서 培地 C¹⁴-葡萄糖과 肝臟切片의 代謝過程에서 平衡狀態를 이루는데 必要한 時間이 3~4時間이었다. 그러나 蛔虫에 있어서는 이것과 嚴密한 面에서 比較할 수 없으나 大體로 蛔虫의 C¹⁴-葡萄糖代謝率이 흰쥐의 肝臟切片보다 活潑치 못하다는 것으로 생각된다.

蛔虫에 있어서 葡萄糖吸收는 條虫類나 吸虫類의 어떤 種類에 있어서와 같이 體表面에서 吸收^{39,40)}하는 것이 아니고 Cavier 및 Savel(1952)⁵⁾와 Rogers 및 Lazarus(1949)⁸⁾가 指摘한바와 같이 口腔을 通하여 腸으로 吸收한다고 본다. 本實驗에서 蛔虫이 培地에서 吸收한 葡萄糖吸收率을 보면 平均 6.32±1.07 μM/hr/g 이었다. 이러한 값은 飢餓狀態의 蛔虫에 있어서 24時間에 體重當 1%의 糖源質이 利用되므로 이를 換算하여 2.5 μM/hr/g 의 葡萄糖消失率에 該當된다는 Cavier 및 Savel(1952)⁵⁾의 實驗成績을 參酌하여 考察할 때 比較的 不足되지 않을만한 葡萄糖을 本實驗에서 蛔虫이 吸收하였다고 본다. 이와같이 吸收한 葡萄糖이 蛔虫組織內에서 酸化過程에 依하여 呼吸 CO₂ 로 排出되는데 있어서 本實驗에서는 總 CO₂ 發生率이 平均 6.58±0.61 μM/hr/g 이었고 R.S.A.co₂ 即 發生한 全 CO₂ 中에 培地內의 C¹⁴-葡萄糖에서 由來된 CO₂ 는 平均 33.9±4.7% 이었다. 이 값은 正常흰쥐의 肝臟切片의 R.S.A.co₂ 70%³⁸⁾에 比하여 적은 값을 보인다. 이와같이 蛔虫에 있어서 C¹⁴-葡萄糖이 呼吸 CO₂ 로의 酸化過程에 흰쥐의 肝臟切片보다는 적게 關與하였다고 보며 나머지 66% 內외의 CO₂ 發生은 C¹⁴-葡萄糖 以外의 蛔虫組織細胞內에 存在하는 다른 基質에서 由來되는 것으로 생각된다.

蛔虫의 糖源質組織濃度を 보면 平均 59.5±5.0 mg/g 이며 蛔虫의 wet weight 에 對해서 6%에 該當된다. 蛔虫의 糖源質 含量은 그 宿主의 個體에 따라 다르다하며⁴¹⁾ 또한 蛔虫이 *in vitro* 로 있을 때 그 糖源質의 含量이 急速히 減少된다고 한다⁴²⁾. 그러나 大體로 蛔虫의 糖源質 含量은 그 wet weight 의 5.3~8.7%¹⁾程度이다. 이것과 哺乳動物의 筋肉內糖源質量 0.5~1%라는 값과 比較할 때 蛔虫은 哺乳動物보다도 몇 배나 더 많은 糖源質을 그 筋肉組織內에 含有하고 있다. 이렇게 많은 糖源質組織濃度を 가지고 있는 蛔虫의 交替率은 오히려 낮은 값을 보여 平均 0.43±0.08%/hr 이었다.

Rhee 및 Nam(1960)⁴³⁾의 개의 組織에서 C¹⁴-葡萄糖稀釋法(C¹⁴ glucose dilution method)에 依하여 얻은 交替率을 보면 개의 肝臟에 있어서 12.6%/hr, 心臟에서 5.8%/hr, 橫紋筋에서 2.9%/hr의 값을 보였다. 이것을 볼 때 蛔虫의 交替率이 훨씬 低率을 나타낸은 C¹⁴-葡萄糖의 代謝過程이 개의 어떤 組織에서 보다도 活潑치 못함을 示唆한다. 그러나 雌虫의 生殖器組織과 筋肉

의 交替率을 比較觀察한바 筋肉에서는 平均 0.43 ± 0.07 %인데 生殖器組織에서는 平均 0.79 ± 0.23 %이었다. 卽 生殖器組織은 筋肉보다 그 交替率이 若干 높은 傾向을 보였다. Kelly 및 Smith (1956)⁴⁾의 報告에 依하면 豚糞에서 雌蛔虫 한마리의 1日 排出하는 虫卵이 平均 1.6×10^6 이라 하였고 또 Fairbairn 및 Passey(1957)⁵⁾는 蛔虫子宮內容物 1g에 虫卵이 3.3×10^6 임으로 各雌蛔虫이 1日 0.49g을 排出하는 것으로 計算된다³⁾. 이와같은 實驗結果로 미루어 볼 때 雌虫의 生殖器組織에서의 含水炭素代謝는 筋肉보다도 더 活潑하게 일어나리라는 것으로 推知된다.

蛔虫에 依하여 培地에서 吸收된 C^{14} -葡萄糖의 運命을 보면 蛔虫의 組織細胞內的 酵素系에서 酸化代謝過程을 밟아 吸收한 C^{14} -葡萄糖의 平均 6.82%가 呼吸 CO_2 로 完全酸化되었으며 平均 24.4%가 糖源質로 合成되었다. 그 나머지 68.8%의 C^{14} -葡萄糖의 行方を 本實驗에서는 說明할 수 없었다.

Entner 및 Gonzalez(1959)¹⁶⁾는 蛔虫을 培地內에 24時間 培養한 後 標識된 炭素의 運命에 對해서 實驗한바 蛔虫이 吸收한 C^{14} -葡萄糖의 約 半이 糖源質로 合成했고 다음에 pyruvate, lactate와 같은 有機酸으로 比較的 많이 蓄積되며 나머지 部分이 各各 CO_2 , 蛋白質, 脂質, 核酸 등으로 여러 fraction에 들어 갔다고 한다. 이와같은 그의 實驗成績은 本實驗成績과 多少 符合됨을 보았다.

以上과 같이 蛔虫의 C^{14} -葡萄糖의 代謝는 他生體에서와 비슷한 經路를 取하지만 酸化代謝率이 哺乳動物의 組織보다도 活潑치 못한 것으로 생각되나 많은 量의 C^{14} -葡萄糖이 糖源質로 合成하게 될을 알았다. 이와 같이 蛔虫의 代謝過程에 있어서 酸化代謝過程 或은 에너지 遊離反應보다 必要 以上の 에너지源을 貯藏하는 方向으로 進行되고 있음을 알 수 있다. 이것은 蛔虫이 宿主에서 營養物을 依存하고 있는 寄生性腸內蠕虫의 一種으로써 興味있는 事實이며 今後의 더 많은 實驗이 要望된다.

結 論

15마리의 雌雄蛔虫을 C^{14} -葡萄糖含有培地에 6時間 培養하여 C^{14} -葡萄糖의 恒定狀態代謝過程을 定量的으로 測定하여 얻은 成績은 다음과 같다.

1) 培地에서 蛔虫의 C^{14} 葡萄糖吸收率은 平均 $6.32 \pm 1.07 \mu M/hr/g$ 이고 總 CO_2 發生率은 平均 $6.58 \pm 0.61 \mu M/hr/g$, R.S.A. CO_2 는 平均 $33.9 \pm 4.7\%$ 였으며 培地에서 由來된 CO_2 發生率은 平均 $2.42 \pm 0.41 \mu M/hr/g$ 이었다.

2) 蛔虫의 糖源質組織濃度は 平均 $59.5 \pm 5.0 mg/g$ 이며 培地內의 C^{14} -葡萄糖의 糖源質과의 交替率은 平均

$0.43 \pm 0.08\%/hr$ 이고 蛔虫의 glycogen pool의 半週期($t_{1/2}$)는 平均 11.95 ± 2.37 日이었다. 雌蛔虫의 生殖器組織과 筋肉과의 交替率을 比較하면 筋肉에 있어서는 平均 $0.43 \pm 0.07\%/hr$ 인데 生殖器組織에서는 平均 $0.79 \pm 0.23\%/hr$ 이어서 生殖器組織에 있어서 筋肉보다 若干 높은 傾向을 보였다.

3) 蛔虫에 있어서 培地에서 吸收한 C^{14} -葡萄糖이 酸化過程에 依하여 呼吸 CO_2 로 平均 $6.82 \pm 0.96\%$ (R.G.D. CO_2)가 排出되었으며 平均 $24.4 \pm 3.2\%$ (R.G.D. gly)는 糖源質로 合成하였다.

以上과 같은 實驗成績을 볼 때 蛔虫에 있어서 葡萄糖의 代謝過程은 他生體와 달리 酸化代謝過程보다 糖源質로의 合成過程이 더 活潑하게 이루어짐을 보였다.

(本研究에 있어서 始終 指導鞭撻하여 주시고 論文을 校閲하여 주신 恩師 徐丙高副教授, 南基鏞教授, 李相敦助教授에게 深甚한 感謝를 드립니다.)

ABSTRACT

Metabolism of C^{14} -glucose by *Ascaris lumbricoides*.

Han Jong Rim

Department of Parasitology, and Institute of Endemic Diseases,

College of Medicine, Seoul National University.

Adult forms of *Ascaris lumbricoides suum* employed in this experiment were obtained from a local abattoir. The worms were selected and washed several times in normal sterilized saline solution. These selected fifteen worms were then placed in special incubation flasks containing each 50 cc. of Krebs-Ringer phosphate buffer (pH, 7.4). This medium was added by uniformly labeled C^{14} -glucose so as to contain glucose concentration of 200 mg. per cent and 2~2.5 μC of radioactivities. The worms were allowed to incubate for 6 hours in the incubator at 38°C.

After incubation period, respiratory CO_2 samples from central well of incubation flask were analyzed for total CO_2 production rate and their specific activity of respiratory CO_2 . Glycogen samples isolated from worms were analyzed for the tissue concentration and their radioactivities in order to determine the turnover rate of glycogen pool. The glucose uptake rate was determined by analyzing the difference of the glucose concentration in a medium before and after incubation period. Radioactivities of these series of

experiments were counted by an endwindow Geiger-Müller counter asan infinitively thin samples.

The quantitative analysis of C¹⁴-glucose utilized by *Ascaris lumbricoides* were summerized as the following.

1. The glucose uptake rate by *Ascaris lumbricoides* was a mean value of $6.32 \pm 1.07 \mu\text{M/hr/g.}$, and total CO₂ production rates by the worms averaged $6.58 \pm 0.61 \mu\text{M/hr/gm.}$ The relative specific activity of respiratory CO₂ (R.S.A.CO₂) varied from 10.3 to 73.7 per cent showing a mean value of 33.9 ± 4.7 per cent. Thus, a mean of 33.9 per cent of total CO₂ production rates was originated from C¹⁴-glucose in a medium, therefore the rate of CO₂ production derived from medium C¹⁴-glucose was a mean of $2.42 \pm 0.41 \mu\text{M/hr/g.}$ in the 15 cases of *Ascaris*.

2. The tissue concentration of glycogen in *Ascaris* was a mean of $59.5 \pm 5.0 \text{ mg/g.}$, and the turnover rate of glycogen pool yielded values ranging from 0.10 to 0.70%/hr. with a mean of $0.43 \pm 0.08\%$ /hr. in 15 cases of experiments. The half time ($t_{\frac{1}{2}}$) of glycogen turnover, which is the time interval required to replace the half of glycogen pool with medium C¹⁴-glucose, gave value of a mean of 11.95 ± 2.37 days. In comaprison with the turnover rate of glycogen in carcass and sexual organs of female worms, the turnover rate of sexual organs seems like to be slightly higher value than that of carcass.

3. The average value of 6.82 ± 0.96 per cent (R.G.D. CO₂) of glucose utilized by the worms from the medium C¹⁴-glucose was oxidized to respiratory CO₂ and a mean value of 24.4 ± 3.2 per cent (R.G.D.gly) of glucose was incorporated to the glycogen. These data account for that at least 31.2 per cent of the utilized glucose by the worms participated in furnishing the oxidation into respiratory CO₂ and the synthetic process into glycogen. According to the above data of the experiement, it is suggested in the metabolic process of glucose by the *Ascaris* that the synthetic process into the glycogen is more active than the oxidative process into the respiratory CO₂.

REFERENCES

1. von Brand, T.: *Chemical physiology of endoparasitic animals.* Academic Press, N.Y., 339pp., 1952.
2. von Brand, T.: *Recent advances in carbohydrate biochemistry of helminths.* *Helminthological Abstracts*, 29(2):97-111, 1960.
3. Fairbairn, D.: *The biochemistry of Ascaris.* *Exper. Parasit.*, 6:491-554, 1957
4. Fairbairn, D. and Passey, R.F.: *Occurrence and distribution of trehalose and glycogen in the eggs and tissues of Ascaris lumbricoides.* *Exper. Parasit.*, 6: 566-574, 1957
5. Cavier, R., and Savel, J.: *La synthèse du glycogène à partir de quelques glucides et de certains de leur dérivés, par l'ascaris du porc. Ascaris lumbricoides, Linne 1758.* *C.R. Acad. Sci., Paris*, 234:2562-2564, 1952.
6. Cavier, R., and Savel, J.: *Sur la présence d'une phosphorylase chez l'ascaris du porc. Ascaris lumbricoides, Linné 1758.* *C.R. Acad. Sci., Paris*, 237: 99-101, 1953.
7. von Brand, T.: *Der Stoffwechsel von Ascaris lumbricoides bei Oxibiose und Anoxybiose.* *Z. vergleich. physiol*, 21: 220-235, 1934.
8. Rogers, W.R., and Lazarus, M.: *Glycolysis and related phosphorus metabolism in parasitic nematodes.* *Parasitology*, 39:302-314, 1949
9. Epps, W., Weiner, M., and Bueding, E.: *Production of steam volatile acids by bacteria-free Ascaris lumbricoides.* *J. Infectious Diseases*, 87:149-151, 1950
10. Bueding, E., and Yale, H.W.: *Production of α-methylbutyric acid by bacteria-free Ascaris lumbricoides.* *J. Biol. Chem.* 193:411-423, 1951.
11. Bueding, E.: *Formation of tiglic and n-valeric acids by bacteria-free Ascaris lumbricoides.* *J. Biol. Chem*, 202:505-512, 1953.
12. Chin, C.H., and Bueding, E.: *Occurrence of oxidative phosphorylations in the muscles of Ascaris lumbricoides.* *Biochem. et Biophys. Acta.*, 13: 331-337 1954
13. Rathbone, L., and Rees, K.R.: *Glycolysis in Ascaris lumbricoides from the pig.* *Biochem. et Biophys. Acta.*, 15: 126-133, 1954
14. Saz, H.J., Vidrine, Jr. A., and Hubbard, J.A.: *The formation of α-acetolactic acid and acetylmethylcarbinol by Accaris lumbricoides.* *Exper. Parasit.* 7:477-490, 1958.
15. Saz, H.J., and Viridine, Jr. A.: *The mechanism of formation of succinate and propionate by Ascaris lumbricoides muscle.* *J. Biol. Chem.* 234:

- 2001-2005, 1959.
16. Entner, N., and Gonzalez, C.: *Fate of glucose in Ascaris lumbricoides*. *Exper. Parasit.* 8:471-479, 1959.
 17. Bueding, E., Entner, N., and Farber, E.: *Dissociation of the succinoxidase systems of Ascaris lumbricoides and of rat kidney*. *Biochem. et Biophys. Acta.* 18:305-306, 1955.
 18. Saz, H.J. and Hubbard, J. A.: *The oxidative decarboxylation of malate by Ascaris lumbricoides*. *J. Biol. Chem.* 225:921-923, 1957.
 19. Entner, N.: *The occurrence of the pentose-phosphate pathway in Ascaris lumbricoides*. *Arch. Biochem. Biophys.*, 17(1):52-61, 1957
 20. Rathbone, L.: *Oxidative metabolism in Ascaris lumbricoides from the pig*. *Biochem. J.*, 61:574-579, 1955.
 21. von Kemnitz, G.: *Die morphologie des Stoffwechsels bei Ascaris lumbricoides*. *Arch. Zellforsch.*, 7: 463-603, 1912. (cited from Fairbairn, 1957)
 22. Toryu, Y.: *Contributions to the physiology of the Ascaris*. 1. *Glycogen content of the Ascaris, Ascaris megalcephala* *Cloq. Sci.Rept. Tohoku Univ.*, 4:65-74, 1933
 23. Wood, H.C.: *Significance of alternate pathways in the metabolism of glucose*. *Physiol. Reviews.* 35(4):841-859, 1955.
 24. Searle, G.L., Strisower, E.H., and Chaikoff, I.L.: *Determination of rate of glucose oxidation in normal and diabetic dogs by a technique involving continuous injection of C¹⁴-glucose*. *Am. J. Physiol.*, 185: 589-594, 1956.
 25. Rhee, S.D.: *Studies on turnover rate of cardiac glycogens in vivo and in vitro by single injection of C¹⁴-glucose*. *Seoul Jour. Med.*, 1(3): 109-118 1961.
 29. Somogyi, N.: *A new reagent for the determination of sugar*. *J. Biol. Chem.* 160: 61, 1945,
 27. Nelson, N.: *A photometric adaptation of the Somogyi method for determination of glucose*. *J. Biol. Chem.* 153: 375, 1944
 28. Good, C.A., Kramer, H. and Somogyi, M.: *The determination of glycogen*. *J. Biol. Chem.* 100:485, 1933
 29. Stetten, D. and Boxer, C.E.: 1. *The rate of turnover of liver and carcass glycogen studied with the acid of deuterium*. *J. Biol. Chem.* 155:231, 1944
 30. van Slyke, D.D. and Folch, J.: *Manometric carbon determination*. *J. Biol. Chem.* 136:509, 1940
 31. Hopkins, C.A.: *Studies on cestode metabolism. II. The utilization of glycogen by Schistocephalus solidus in vitro*. *Exper. Parasit.*, 1:196-213, 1952
 32. Agosin, M.: *Studies on the metabolism of Echinococcus granulosus. II. Some observations on the carbohydrate metabolism of hydatid cyst scolices*. *Exper. Parasit.* 6:586-593, 1957
 33. Read, C.P.: *Carbohydrate metabolism of Hymenolepis diminuta*. *Exper. Parasit.* 5:325-344, 1956
 34. Toryu, Y.: *Contribution to the physiology of the Ascaris*. 3. *Survival and glycogen content of the Ascaris, Ascaris megalcephala* *Cloq. Sci. Repts. Tohoku Univ.* 4:361-375, 1935
 35. Davenport, H.E.: *The hemoglobins of Ascaris lumbricoides*. *Proc. Roy. Soc. London, B.* 136: 255-270, 1949
 36. Laser, H.: *The oxidative metabolism of Ascaris suis*. *Biochem. J.* 38:333-338, 1944
 37. Hobson, A.D.: *The physiology and cultivation in artificial media of nematodes parasitic in the alimentary tract of animals*. *Parasitology*, 38:183-227, 1948
 38. Lee, U.S.: *Kinetic study of oxidative metabolism of C¹⁴ labeled glucose in liver slices of normal and Alloxan diabetic rats*. (Korean text) *Seoul Jour. Med.* 2(3):289-295, 1961
 39. Stephenson, W.: *Physiological and histochemical observations on the adult liver fluke, Fasciola hepatica L. I. Survival in vitro*. *Parasitology*, 38: 116-122, 1947
 40. Hahn, S.S., Hahn, H.J., and Seo, B.S.: *Autoradiography of Clonorchis sinensis labeled with C¹⁴ glucose*. (Korean text) *Korean Jour. Int. Med.*, 5 (5):73-77, 1961
 41. Inasaka, T.: *Glycogen of Ascaris suilla. I. Investigation of the glycogen content*. (Japanese text.) *Folia Pharmacol. Japan*, 50:291-296, 1954
 42. von Brand, T.: *The anaerobic glycogen consumption in Ascaris female and males*. *J. parasitol.* 23: 68-72, 1937
 43. Rhee, S.D. and Nam, K.Y.: *Determination of glycogen turnover rate of the liver, cardiac muscle and skeletal muscle of the dog by "C¹⁴-glucose dilution method"*. *Seoul Jour. Med.* 1(1):81-85, 1960
 44. Kelly G.W. and Smith, L.J.: *The daily egg production of Ascaris suum and the inability of low levels of aureomycin to affect egg production and embryonation*. *J. parasitol.*, 42:587, 1956