

X線照射された広東住血線虫第3期幼虫の ラットへの感染性及び発育

藤 生 好 則

(昭和63年11月8日掲載決定)

要 約

広東住血線虫第3期幼虫に10Krad以下のX線を照射して、好適終宿主であるラットへの感染性および感染後の体内での成長、生殖能などの生理に対する放射線照射の影響を検討した。その結果、照射の影響は無照射対照群に比べて照射群における虫体回収率の低下や回収虫体の長さの短縮、第1期幼虫産出数の減少として認められ、その影響は線量依存的であった。かつ、生殖能、成長、感染性の順に照射の影響を受けやすいことが明らかになった。分離した第3期幼虫への直接照射に加えて、中間宿主体内の幼虫への間接照射を行ない比較したところ、幼虫の受ける影響は同じ線量において直接照射より間接照射で弱まる結果が認められた。さらに、放射線照射の食品衛生への応用面についても考察を加えた。

Key words: *Angiostrongylus cantonensis*, nematode, infection, rat, X-irradiation, development

緒 言

寄生虫に対する放射線照射の研究としては、寄生虫の感染性、発育及び生殖能等に対する効果に関する報告や宿主側の再感染防御機構の研究等がある。例えば、原虫類ではマラリア (Waki *et al.*, 1983), 蠕虫類では *Dictyocaulus viviparus* (Jarrett *et al.*, 1960), 大平肺吸虫 (池田・谷, 1984) などがある。γ線・X線・紫外線などの照射により、感染性を失わせたり、たとえ感染しても、病害の主原因となる生殖作用が阻害されることなどが知られている。しかし、これらはいずれも照射線量が高い。

今回著者は放射線に対する寄生虫の感受性、特に殺虫限界と言われる10Krad (松山, 1969) 以下の放射線量の効果について詳細な検討を行なった。すなわち、モデルとして感染性などの基礎的資料が整っている広東住血線虫 (*Angiostrongylus cantonensis*) を用い、X線照射後のラットへの感染性、およびラット体内での成長・生殖能などの生理に対する影響を照射線量との関係において検討した。さらに、食品衛生への応用的側面から、分離した感染幼虫に対する直接的照射に加えて、中間宿主体内の幼虫に対する間接的照射による効果も併せて検討した。

材料と方法

実験に用いた広東住血線虫第3期幼虫は、第1期幼虫を感染後2週間以上経過した実験的中間宿主貝 (浜松医科大学寄生虫学教室)

Biomphalaria glabrata より Ishii *et al.* (1987) の方法で消化分離した。

X線照射は、ライナック LMR-15 (東芝) を用い、室温 (20℃) で行なった。直接照射では生理食塩水 1 ml を入れた直径12mmのプラスチック瓶に第3期幼虫を入れて照射した。また、間接照射の場合には殻径 8 mm~12 mm の感染貝を 15 ml の水を満たした直径30mm、高さ40mmのプラスチック容器に入れて照射した後、人工消化して第3期幼虫を分離し実験に供した。なお、照射前後における溶液の温度に変化は見られなかった。

実験的終宿主としては、いずれの実験においてもウィスター系ラット (雄, 4週令, 体重60-80gを用い、1頭あたり第3期幼虫40虫をカテーテルで経口的に投与し、10週後に剖検して虫体を回収した。

実験1

放射線の殺虫限界と思われる10Krad以下の低線量で、寄生虫の生理に影響を及ぼす線量の範囲を把握すると共に、照射方法の違いによる作用の違いを検討するため、次の実験を行なった。

各群10頭のラットにそれぞれ0, 1, 3, 10KradのX線を直接あるいは間接照射した第3期幼虫を投与し、感染前及び感染後1週間ごとに体重を測定した。麻酔死させたラットより心臓および肺臓を取り出し、湿重量を測定した後、虫体を回収した。また、各ラットについて肺組織内の第1期幼虫の有無を実体顕微鏡で確認した。

実験2

実験1の結果をもとにして寄生虫の生理、即ち感染性

や成長及び生殖能と線量との関係を検討するため、以下の実験を行なった。

第3期幼虫を7群に分け、それぞれ0.3, 1, 2, 3, 6, 10KradのX線を直接照射した。それぞれの被照射幼虫を1群13頭のラットに感染させ、さらに対照として、X線を照射していない幼虫を感染させた無照射群、および無感染群を設け、計8群について検討した。感染後9週目に、各群から無作為に5頭を選び、糞便を採取し、Ishii (1987)の方法により、グラム当り第1期幼虫数(LPG)を数え、回収された雌虫体数で割って雌当り幼虫産出数(LPGPF)を求め、生殖能の指標とした。ラットは感染後10週目に、体重を測定した後、心臓および肺臓を取り出し湿重量を測定した。回収した虫体はアルコール・ホルマリン・酢酸液で固定した後、グリセリン・アルコール液に浸漬して、ガラス板にはさんで写真撮影し、ビデオプラン(コントロール社)を用いて体長を計測し、成長量の指標とした。脳及び肺臓はホルマリン液で固定し、組織切片をヘマトキシリン・エオジン染色して、観察した。

測定値の統計処理については、*t*検定を用いた。また、感染性、成長及び生殖能に対して影響を与える線量域に差があるか否かを明らかにするため、線量-作用曲線を

作製し、図上より50%影響線量値を求めた。感染性の指標として用いた回収率の線量-作用曲線は、無照射群の〔平均回収虫体数〕に対する各照射群の〔平均回収虫体数〕の割合として表した。雌及び雄の成長量の曲線は、無照射群の〔平均体長〕×〔平均回収虫体数〕に対する各照射群の〔平均体長〕×〔平均回収虫体数〕の割合として表した。そして、生殖能の指標としての雌当たり幼虫産出数の曲線は、無照射群の〔平均産出数〕に対する各照射群の〔平均産出数〕の割合として表した。

結 果

実験 1

1. 寄生虫に対する影響

(1) 虫体回収数

ラットの心臓・肺臓から分離回収した虫体の平均回収数はTable 1のとおりである。無照射群 32.4 ± 2.19 に比べて、3Krad以上では、直接・間接照射共、線量依存的に回収数が低い値を示した。かつ、照射の影響は、直接照射が間接照射より強いことを示した。

(2) 第1期幼虫の有無

肺組織内の第1期幼虫の有無の結果はTable 1のとおりである。無照射群および直接・間接照射群共1Krad

Table 1. Effects of X-irradiation on *Angiostrongylus cantonensis* infection in rats (Experiment 1)

	Dose (Krad)	No. of rats surviving/No. used	Body weight (g)	Lungs and heart weight (g)	Recovery of worms		No. of rats LI ^a positive/No. examined
					No. of worms	Female worm ratio (%)	
Larva (direct) irradiation	0	9/10	260.9 ±29.0	7.59 ±2.45	32.4 ±2.19	52.2 ±6.1	9/9
	1	7/10	298.6 [†] ±18.7	4.80 [†] ±0.53	30.1 ±3.85	54.1 ±9.7	7/7
	3	10/10	305.6 [†] ±26.4	3.04 [†] ±0.20	22.4 [†] ±5.97	54.2 ±14.6	0/10
	10	10/10	304.6 [†] ±20.1	2.76 [†] ±0.18	1.5 [†] ±0.97	72.2 ±37.3	0/10
Snail (indirect) irradiation	1	8/10	260.4 ±27.8	6.23 ±1.69	30.9 ±3.91	53.9 ±12.2	8/8
	3	10/10	285.2* ±17.4	3.49 [†] ±0.34	26.1 [†] ±5.88	52.6 ±14.0	4/10
	10	10/10	291.2* ±12.2	2.59 [†] ±0.17	4.6 [†] ±2.46	64.9 ±35.5	0/10

Each rat received 40 third-stage larvae and killed 10 weeks post-infection.

Each value represents the group mean ± SD.

a First-stage larvae

* Significantly different from the non-irradiated group (0 krad) (Student's *t* test, $p < 0.05$).

† Significantly different from the non-irradiated group ($p < 0.01$).

では第1期幼虫が検査したすべてのラットに認められた。間接照射群3Kradでは、ラット10個体のうち4個体に第1期幼虫は認められたが、その他の照射線量ではすべての群で認められなかった。

2. ラットに対する影響

(1) 体重

感染後1週ごとのラットの体重の推移は、Fig. 1のとおりであり、感染後5週目から各群のラットの体重の増加量に差が生じ始めた。なお、実験期間中のラットの死亡は、無照射群1頭（感染後67日）、1Krad直接照射群3頭（35日、38日、42日）そして1Krad間接照射群2頭（38日、52日）であった。

各群ラットの10週目の平均体重はTable 1のとおりである。無照射群 260.9 ± 29.0 gに対して、直接照射では1Krad以上で、また、間接照射では3Krad以上で体重増加の抑制が軽減され、照射の影響は直接照射が間接照射より強いことを示した。

(2) 心臓・肺臓の湿重量

心臓・肺臓の重量はTable 1のとおりで、無照射群 2.16 ± 0.18 gに対して、1Krad以上で直接・間接照射

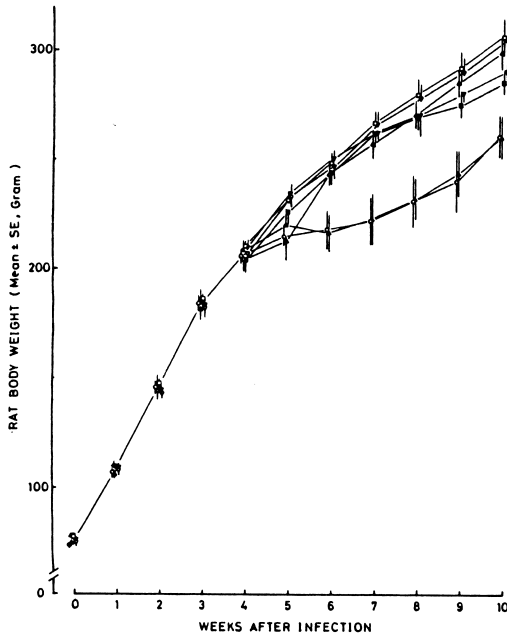


Fig. 1. Changes in the mean body weight of rats infected with the non-irradiated or irradiated third-stage larvae of *Angiostrongylus cantonensis*. Rats were given 40 third-stage larvae. ○-○ non-irradiated group; △-△ 1 Krad; □-□ 3 Krad, ▽-▽ 10 Krad; ▲-▲ 1 Krad in snails; ■-■ 3 Krad in snails; ▼-▼ 10 Krad in snails.

共、線量依存的に心臓・肺臓の重量の抑制が認められた。実験2

1. 寄生虫に対する影響

実験2の成績はTable 2のとおりである。

(2) 虫体回収数

ラットの心臓・肺臓から分離回収した虫体の平均回収数は、無照射群に対して、1Krad以上の照射量で線量依存的に有意に減少した。又、回収した虫体の性比は線量依存的に雌が多くなる傾向を示し、6Kradの照射量では、無照射群に対して有意差が認められた。

(2) 回収虫体の体長

雌及び雄虫体の平均体長は、無照射群に対して線量依存的に短い傾向を示し、形態的には、3Krad以下での線量では、異常が認められなかったが、特に、6Krad、10Kradの線量では糸くず状を示し、雌虫体ではその特徴である螺旋構造 (Alicata and Jindrak, 1970) の認められない虫体があった。

(3) 1雌当り第1期幼虫産出数

1雌当り第1期幼虫産出数の平均は、無照射群 9.39 ± 2.09 ($\times 10^3$) に対して、1Krad照射で約93%、2Krad照射で約97.5%そして3Krad照射では約98.5%の減少が見られた。6Krad、10Kradでは何れのラットからも第1期幼虫は検出されなかった。

2. ラットに対する影響

実験2の供試ラットの体重、心臓・肺臓重量並びに肺の肉眼・組織所見はTable 2及びFig. 2のとおりである。実験中のラットの死亡は無照射群で2頭（感染後48日、53日）、0.3Krad照射群で2頭（43日、50日）及び1Krad照射群で1頭（51日）あり、無感染群および2Krad以上の照射群ではラットの死亡はなかった。

(1) 体重

ラットの10週目の平均体重は無照射群に対して、1Krad以上の照射量で、線量依存的に体重の増加が認められた。

(2) 心臓・肺臓の湿重量

10週目のラットの心臓・肺臓の重量は、無感染群に対して無照射群は3倍の重量を示した。心臓・肺臓の重量は照射線量が増加するに従い重量の減少が認められた。照射群全群で、無感染群に対して有意な増加が認められたが、無照射群に対しても、有意な増加の抑制即ち照射群全群で低い心臓・肺臓の重量を示した。

(3) 肺の肉眼所見並びに組織所見

肉眼所見における肺病変の分類は、西村 (1966) の分類に従った。Fig. 2のとおり、病変は線量の増加に従い軽減された。無照射群および照射群のラットでは、病変は横隔葉、左葉および中隔葉にわたり見られた。1Krad、2Kradおよび3Krad照射群では横隔葉および左葉下部まで病変が見られた。6Krad、10Krad照射群で

Table 2. Effects of X-ray irradiation on *Angiostrongylus cantonensis* infection in rats (Experiment 2)

Dose (Krad)	Body weight ^a (g)	Lungs and heart weight ^a (g)	Recovery of worms ^b			Worm length (mm)			
			No. worms	Female worm ratio (%)	LPG/Female ^c ($\times 1,000$)	No. used	Female	No. used	Male
Non-infected	278.0 [†] ±16.1	2.16 [†] ±0.18	—	—	—	—	—	—	—
0	253.3 [‡] ±23.7	6.44 [‡] ±0.94	32.3 ±2.87	52.0 ±11.4	9.39 ±2.09	150	24.1 ±2.03	156	19.2 ±1.67
0.3	255.2 [‡] ±16.3	5.29* [‡] ±1.05	29.7 ±3.89	50.7 ±6.4	9.87 ±4.22	141	23.8 ±2.16	130	19.0 ±1.14
1.0	277.9 [†] ±17.4	4.40 ^{†‡} ±0.47	27.6 [†] ±3.47	46.3 ±8.9	0.67 [†] ±0.16	111	23.4 [†] ±2.06	118	18.6 [†] ±1.26
2.0	276.2 [†] ±15.4	3.64 ^{†‡} ±0.43	29.2* ±2.30	52.1 ±11.9	0.22 [†] ±0.20	139	24.3 ±3.07	132	18.0 [†] ±1.25
3.0	274.9* ±15.3	3.26 ^{†‡} ±0.32	25.3 [†] ±4.69	59.6 ±9.2	0.14 [†] ±0.23	139	23.6 ±2.65	106	18.2 [†] ±1.51
6.0	285.4 [†] ±13.3	2.78 ^{†‡} ±0.33	18.8 [†] ±4.16	63.0* ±11.0	0.00 [†] ±0.00	102	19.7 [†] ±2.66	51	14.2 [†] ±1.37
10.0	279.9 [†] ±14.1	2.59 ^{†‡} ±0.28	7.8 [†] ±2.54	61.7 ±20.5	0.00 [†] ±0.00	34	18.1 [†] ±2.28	23	11.4 [†] ±2.40
50% effective dose ^d	—	—	7.1	—	0.7	—	5.5	—	2.9

Thirteen rats were used in each group, and in the infected groups each rat received 40 third-stage larvae and killed 10 weeks post-infection. Each value represents the group mean \pm SD.

a Some rats died before killing (0 Krad, 2 rats; 0.3 Krad, 2; 1.0 Krad, 1).

b Ten rats were used.

c Five rats were used.

d Each of 50% effective doses was determined from the dose-response curve. See text for details of calculation.

* Significantly different from the non-irradiated group (0 Krad) (Student's *t* test, $p < 0.05$).

† Significantly different from the non-irradiated group ($p < 0.01$).

‡ Significantly different from the non-infected group ($p < 0.01$).

は横隔葉にのみ見られた。

肺の組織所見は、Fig. 3 に示すとおり無照射群および照射群では拡張した動脈内の各所に虫体が認められ、肺胞内には虫卵および第1期幼虫が巣状に群在し、肉芽及び細胞浸潤を伴った病巣を形成していた。6 Krad および10Krad 照射群では虫卵及び第1期幼虫は認められず、虫体周囲に僅かな肉芽の形成が認められた。

考 察

広東住血線虫第3期幼虫に対するX線照射の影響を評価するために、好適終宿主であるラットへの感染性、感染後の成長および成虫の生殖能を検討した。まず、感染性についてみると、指標としたラットの心臓および肺臓

からの虫体回収率は、照射線量の増加に伴い、線量依存的に減少した。同じ広東住血線虫について、Lee (1969) は、第3期幼虫に20Kradの γ 線を照射したところ、回収率が低下したことを報告し、また、Ishii *et al.* (1986, 1987) は、第1期幼虫に10Krad以下の γ 線を照射し、中間宿主に感染させ、その上で終宿主ラットに感染させると、回収率に影響が現われることを示した。こうした放射線照射による回収率低下の原因としては次のようなことが考えられる。すなわち、感染後肺へ到達する前に虫体が死亡したか、移行または発育が遅延したか、あるいは他臓器への迷入が起こったという可能性である。Lee (1969) は体内移行能の消失に伴い、回収率の低下が生じたのであろうと推論している。

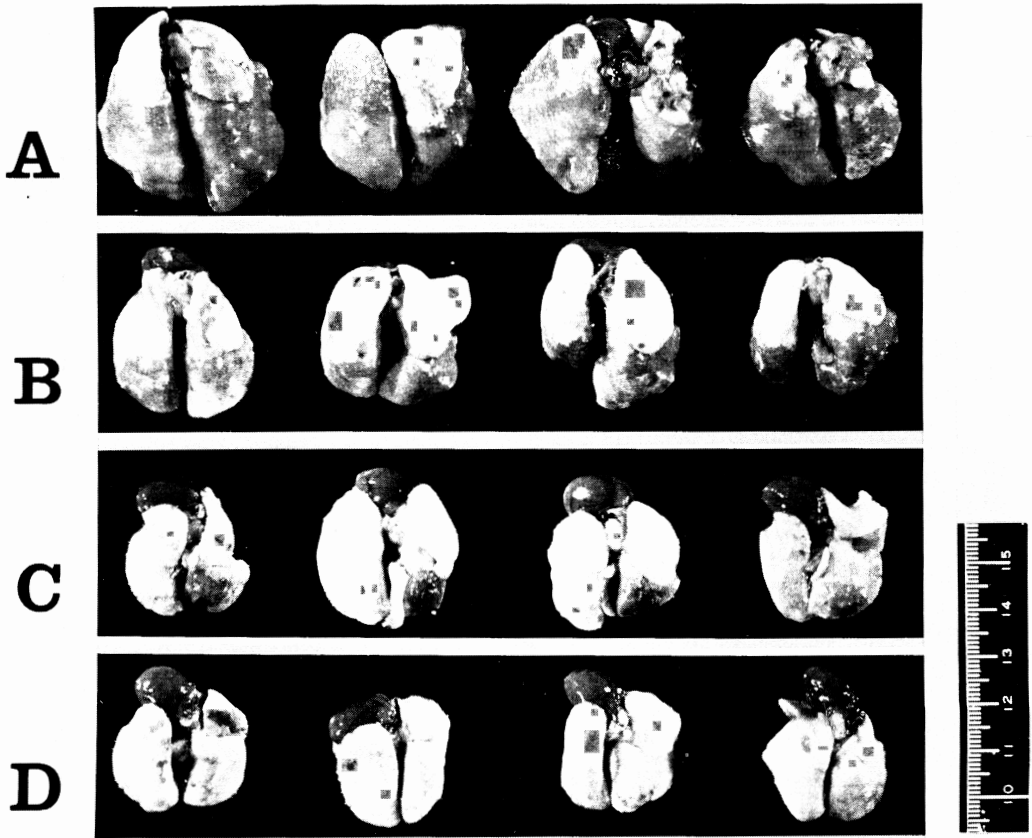
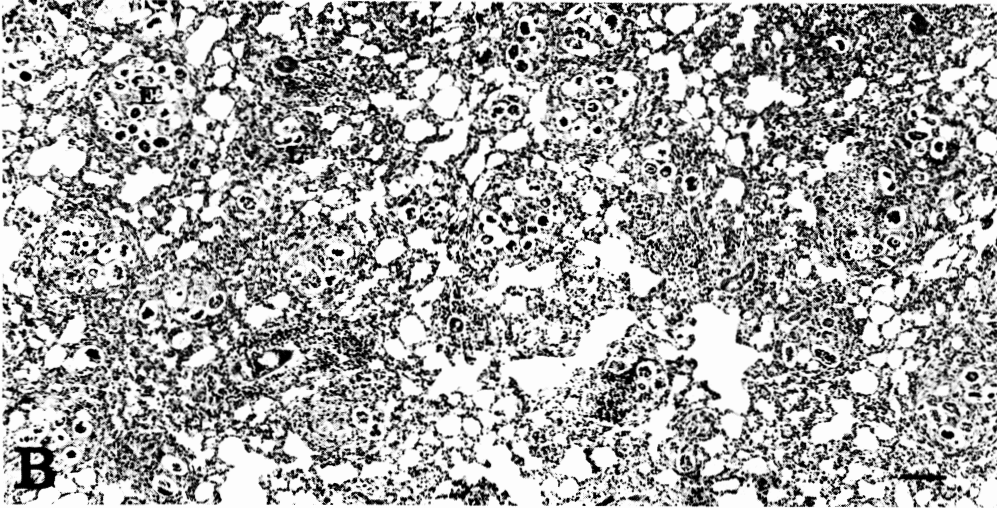
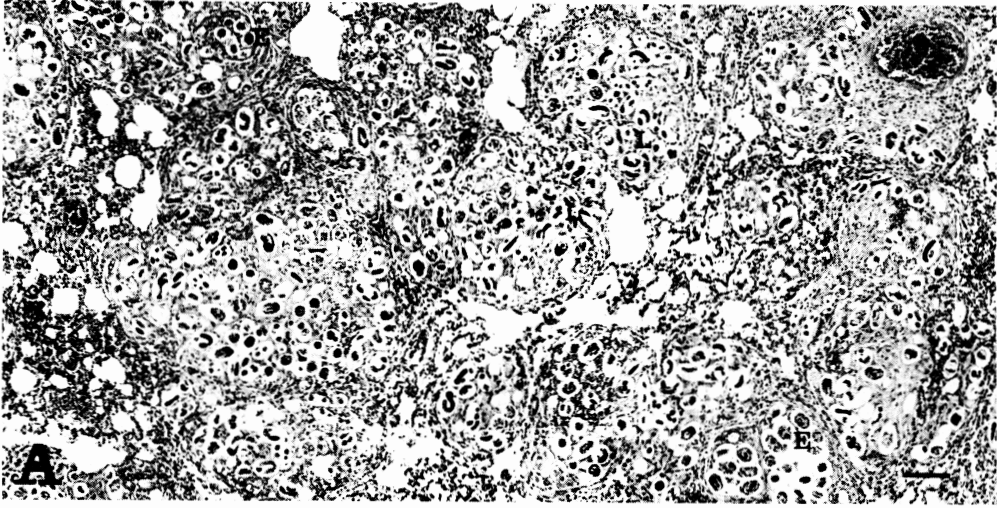


Fig. 2. Size and external appearance of lungs from rats infected with the non-irradiated or irradiated third-stage larvae of *Angiostrongylus cantonensis* 10 weeks post-infection. The rats in each group were inoculated with 40 third-stage larvae exposed to 0 Krad, 3 Krad or 10 Krad X-ray irradiation, respectively. A: 0 Krad, B: 3 Krad, C: 10 Krad, D: non-infected group.

寄生虫への放射線の影響に関する研究では、大石ら(1972)は、コバルト60(γ 線)の8.4Krad照射で、アニサキス幼虫の生死に直接的な影響はないと報告している。しかし、この事例では20日間にわたる *in vitro* における食塩水および卵白添加食塩水中での肉眼観察の結果であり、今回の実験結果との比較は困難である。ただ、今回の実験においても、短時間の肉眼的観察では、照射を受けた第3期幼虫は活発な運動性を示した。従って、今回のような低線量によっては短時間に起こる死亡はないと

考えられる。つまり、低線量の放射線照射は、寄生虫に機械的、あるいは生理的な障害を与えると、宿主の防御機構に対する抵抗力を減少させることで正常な寄生生活の達成を阻止するような、むしろ時間を経て出現する作用を持つものと思われる。さらに、回収率の低下が単なる移行の遅延によるものでないことは、次の諸点から推察される。実験1では、感染後1週ごとに体重の測定を行なったが、広東住血線虫をラットに感染させた場合に肺に移行し、産卵を開始する5週目から各群に変化を

Fig. 3. Light micrographs of lung tissues of rat given 40 third-stage larvae of *Angiostrongylus cantonensis* in the non-irradiated control (A), 3 Krad (B) and 10 Krad (C) irradiated groups 10 weeks post-infection. Note the apparent differences in development of eggs and in the number of eggs and larvae in the lung tissues in each of the non-irradiated and irradiated groups. In the 3 Krad group, the eggs and first-stage larvae were remarkably reduced in number. In the 10 Krad group, there were neither observable eggs nor first-stage larvae though the parasites were present. E, egg; L, first-stage larva; W, worm. Scale bar: 0.1 mm.



生じ、それ以降に特別の変化が認められなかった。これは回収された虫が正常な体内移行経路で、かつほとんど同じ時期に肺に到達したことを示唆している。また、実験1・2とも感染後10週目に剖検しており、脳の組織標本の検査では、虫は存在しなかった。それにもかかわらず10週を越えて突然肺に到達することは考えにくい。池田・谷(1984)は、X線照射による大平肺吸虫のラット寄生への影響について検討し、虫体の宿主内発育に顕著な影響を与える線量は1Kradからであり、成虫までの発育を阻害するのは2Krad以上であると報告し、さらに、途中剖検による追跡検査で2Kradでは虫体の変性または壊死を認めたと報告している。本実験では追跡検査等は行なわなかったが、回収率の低下が認められたのは同様に1Krad以上であり、回収されなかった虫体は体内移行を完成せず、移行途中で変性または壊死したことが強く示唆される。

成長への影響については、肺から回収された虫の体長をもって成長量の指標と考えた。放射線が虫の成長に影響する要因として、代謝異常や奇形(Robinson and Jones, 1971)に基づく栄養摂取の不良が考えられる。肺から回収された雌虫体の中には、照射線量の増加に伴い、特有の螺旋構造が消失した個体もあり、消化管・生殖器の発育不良が推察された。また、横断切片標本においても腸管腔内の摂取内容物の量の少ないものが認められた。特に、6Kradおよび10Krad照射群では回収された虫体が糸くず様の形態を示し、肉眼的にも異常が認められた。これらの所見からX線照射は、発育中の虫体に代謝異常や器官形成の障害を引き起こし、結果的に成長を抑制したものである。このことは成長の抑制および異常の程度が線量依存的であったことから支持される。

生殖能についてみると、指標としたラット糞便中の第1期幼虫は、6Kradおよび10Krad照射群では全く認められず、2Kradおよび3Krad照射群でも認められない個体があった。雌当たり幼虫産出数(LPGPF)を計算すると、1Kradで対照群の10%以下であった。これらのことから、X線照射が第1期幼虫の産生に著しく影響したことが明らかである。生殖能の阻害に関しては、成長の場合と同様な代謝異常に伴う生殖器の発育不良や、あるいは胚発生を阻害する作用があったものと考えられる。放射線の生物学的作用は、一般に細胞の再生能力に対するものが大きく、細胞分裂過程が長く、形態的・機能的に未分化な細胞ほど、放射線に対する感受性が大きいと言われ、これはBergonié-Tribondeauの法則として知られる(久田, 1969)。寄生虫に関しては、広東住血線虫第3期幼虫に γ 線を20Krad照射した場合、生殖細胞が破壊されること(Lee, 1969)、*Oesophagostomum radiatum*にX線を20Krad照射した場合に、大部分の卵は細胞分

裂が起こらず、発育しないこと(Riek and Keith, 1960)、また、*Ancylostoma duodenale*に16Kradから72KradのX線を照射すると、生殖系に異常な構造の分化があること(Robinson and Jones, 1971)などの報告がある。しかし、これらはいずれも、10Krad以上の線量が用いられており、低線量における作用は明らかでない。今回の実験ではLPGPFは、1あるいは2Kradでも著しく減少しているが、グリセリン・アルコール液浸漬虫体の観察では、生殖器官には形態的变化が認められないことから、胚発生が阻害されたことが考えられ、すなわちX線の生殖細胞の分裂への阻害が示唆される。

このように、広東住血線虫第3期幼虫に対するX線照射は、その感染性、成長、生殖能のいずれに対しても比較的低線量で、かつ線量依存的に影響を与えたが、それぞれに対して著しい影響を与えた線量域には違いがあるように思われた。そこで、これら3つの指標の線量-作用曲線から50%影響線量値を求め比較した(Table 2)。その結果、回収率では7.1Krad、虫の体長では、雌で5.5Krad、雄で2.9Krad、雌当たり産仔数では、0.7Kradとなり、生殖能、成長、感染性の順にX線に対する感受性が高いことが明らかになった。こうした傾向が一般的であるとすれば、虫の生殖活動により重篤な障害が引き起こされるような寄生虫症に対しては、低線量であっても放射線照射が十分な効果を持つことが予想される。例えば広東住血線虫の場合、Ishii(1987)は第1期幼虫に10Krad以下の γ 線を照射した実験から、宿主ラットの感染後期肺病変の主な原因は、雌虫より産出される虫卵ないし第1期幼虫であるとしている。本実験においても、こうした変化はLPGPFとよく対応して線量依存性を示しており、宿主ラットの病態は、虫の生殖活動に伴う二次的現象であると言える。従って、広東住血線虫とラットの場合、1Krad以上のX線照射でラットの病害を最小限に抑えることが可能である。

虫の体長については、50%影響線量値より、雌は雄よりX線に感受性が強いことが示された。また、回収数について性を調べると、3Krad以上で雌の割合が有意に大きく、また線量が増加するほど大きかった。西村(1966)は回収された広東住血線虫成虫の性を調べ、雌が約54%をしめると報告しているが、3Krad以上の照射では明らかにこの値を上回っていた。Riek and Keith(1960)は、*Oesophagostomum radiatum*に対しX線を20Krad照射すると、雄虫の感染率が極端に低下し、雌虫においても感染率が低下することを示している。こうした放射線照射による性比の変化は、かなり一般的な傾向と思われ、他にも種々の虫種で報告されている(Ciordia and Bizzell, 1960; Gregg *et al.*, 1976; Ansari and Singh, 1978)。

一方、国際交流の活発化と生活の多様化により、新た

な寄生虫症の発生が懸念されており、中でも食品を介して感染する寄生虫（食品寄生虫）は、これまでとは異なる形で人体に影響を及ぼすようになってきた（佐野，1984）。しかしながら，感染経路の複雑性や分布の広域性などから見て，これら食品寄生虫症の完全撲滅は困難と思われる。従って，感染予防には，摂食防止と喫食食品の安全化，無害化が重要であり，新しい調理加工技術や，放射線照射等をより有効にするための技術開発およびその導入が必要と考えられる。食品に対する放射線照射は，細菌等による汚染や変性などに対する食品衛生対策や品質管理対策として世界的に実用化されつつある。これは従来の加工貯蔵法との併用が可能であり，また，残留性が皆無であることから，食品添加物や調味料の還元化対策として，効果が期待されている（松山，1986）。食品衛生対策としての放射線の有用性は，かねてより指摘されているが（McKinney, 1966/67；松山，1969），特に低線量での効果が認められれば，その実用性は大いに高まるものと思われる。日本において認められている食品への放射線照射は，馬鈴薯へのコバルト60（ γ 線）15 Kradの照射のみである（食品衛生法，1947）。米国等では殺虫の目的で穀類，乾燥果実，水産物等に対し1.0 KGy（100Krad）以下の照射が法的に認められており，また，食肉に対しては米国で豚肉に0.3～1.0 KGyの照射が寄生虫対策として許可されている（松山，1986）。一般的には殺虫線量は0.01～0.1 Mradとされており（松山，1969），例えば，Kraybill and Whitehair（1967）は，*Trichnella spiralis*及び*Taenia saginata*の食肉内幼虫の処理可能線量は0.01～0.03 Mradとしている。今回の実験では10Kradでも一部の虫体が残存したが，生殖能はなく，必ずしも殺虫を必要としない場合の有用性が明らかとなった。

実際に生の食品に対して照射する場合を考慮して，感染具に照射した後に第3期幼虫を分離してラットに感染させた間接照射の実験では，第3期幼虫に対する直接照射に比べて，同じ線量でも影響が弱いという結果が認められた。これは，幼虫の存在する具体内の蛋白質等の成分中をX線が通過する際に，一部が吸収された結果と考えられる。このことから食品寄生虫の宿主内照射においては，食品の質及び量を考慮して線量を増強することが必要であることが示唆される。

謝 辞

本研究にあたり，御指導，御教示をいただいた浜松医科大学寄生虫学講座，佐野基人教授に深甚なる謝意を表し，終始直接御指導，御校閲をいただいた寺田護助教授，並びに記野秀人，石井明両博士に深謝致します。また，X線照射に便宜をはかっていただいた実験機器センターの宮田学氏と写真撮影に御協力いただいたフォトセ

ンターの野口庸司氏に感謝致します。

文 献

- 1) Alicata, J. E. and Jindrak, K. (1970) : Morphology of the adult Parasites and larval stages. In *Angiostrongylosis in the Pacific and Southeast Asia*, ed. by Anderson H. H., Charles C Thomas, Springfield, Illinois, 8-16.
- 2) Ansari, Z. and Singh, K. S (1978) : Effect of gamma-irradiation on the survival and development of the infective larvae of the hookworm, *Gaigeria pachyscelis*. *J. Helminthol.*, 52, 283-286.
- 3) Ciordia, H. and Bizzell, W. E. (1960) : Some effects of X-ray on the infective larvae of the cattle nematode *Trichostrongylus axei*. *Exp. Parasitol.*, 9, 37-41.
- 4) Gregg, P., Dineen, J.K. and Griffiths, D. A (1976) : The effect of γ radiation on the development of infective larvae of *Trichostrongylus colubriformis* in guinea pigs and sheep. *Vet. Parasitol.*, 2, 363-375.
- 5) 久田欣一（1969）：最新放射線科学—R I，高エネルギー放射線の基礎と応用—。第6章放射線生物学の基礎。第2版，119-144，金原出版，東京・京都。
- 6) 池田照明・谷荘吉（1984）：X線照射による大平肺吸虫メタセルカリアのラット寄生への影響について。寄生虫誌，33，377-384。
- 7) Ishii, A. I. (1987) : Pathogenic factors in the later pulmonary phase of *Angiostrongylus cantonensis*-infected rats. *Parasitol. Res.*, 73, 458-465.
- 8) Ishii, A. I., Honda, M. and Sano, M. (1986) : Infectivity and development of the gamma-irradiated first stage larvae of *Angiostrongylus cantonensis*. *Z. Parasitenkd.*, 72, 331-334.
- 9) Ishii, A. I., Honda, M. and Sano, M. (1987) : Late development and fertility of adult worms derived from gamma-irradiated first-stage larvae of *Angiostrongylus cantonensis*. *Parasitol. Res.*, 73, 159-164.
- 10) Jarrett, W. F. H., Jennings, F. W., McIntyre, W. I. M., Mulligan, W. and Urquhart, G. M. (1960) : Immunological studies on *Dictyocaulus viviparus* infection. Immunity produced by the administration of irradiated larvae. *Immunology*, 3, 145-151.
- 11) Kraybill, H. F. and Whitehair, L. A. (1967) : Toxicological safety of irradiated foods. *Ann. Rev. Pharmacol.*, 7, 357-380.
- 12) Lee, S. H. (1969) : The use of irradiated third-stage larvae of *Angiostrongylus cantonensis* as antigen to immunize albino rats against homologous infection. *Proc. Helminthol. Soc. Wash.*, 36, 95-97.
- 13) 松山 晃（1969）：放射線照射による食品の保存，貯蔵とその人体への影響—照射の微生物学的方面—。Radioisotopes, 18, 457-464.
- 14) 松山 晃（1986）：世界における食品照射の現状と課題。食品衛生研究，36，7-18。
- 15) McKinney, F. E. (1966/67) : Food irradiation. *Isotopes and Radiation Technol.*, 4, 125-136.
- 16) 西村謙一（1966）：カントンジュウケツセンチュウ

- (広東住血線虫)のダイコクネズミへの感染実験. 寄生虫誌, 15, 116-123.
- 17) 大石圭一. 岡 重美・平沖道治 (1972) : アニサキス幼虫の食品衛生学的研究—Ⅲ.放射線照射によるアニサキス幼虫の死滅効果について. 日本誌, 38, 133-136.
- 18) Riek, R. F. and Keith, R. K. (1960) : Effect of X-rays on the development of the infective larvae of *Oesophagostomum radiatum* (Rud. 1803)(Strongylidae : Nematoda). *Nature*, 186, 981-982.
- 19) Robinson, E. S. and Jones, A. W. (1971) : *Moniliformis dubius* : X-irradiation and temperature effects on morphogenesis in *Periplaneta americana*. *Exp. Parasitol.*, 29, 292-301.
- 20) 佐野基人 (1984) : 食品寄生虫. 第1版, 264頁, 南山堂, 東京.
- 21) 食品衛生法 (1947) : 食品, 添加物等の規格基準. 第1食品. B食品一般の製造, 加工および調理基準 (昭和47年改正), 1014.
- 22) Waki, S., Yonome, I. and Suzuki, M. (1983) : *Plasmodium falciparum* : Attenuation by irradiation. *Exp. Parasitol.*, 56, 339-345.

[*Jpn. J. Parasitol.*, Vol. 38, No. 1, 22—30, February, 1989]

Abstract

INFECTIVITY AND DEVELOPMENT OF X-IRRADIATED
THIRD-STAGE LARVAE OF *ANGIOSTRONGYLUS CANTONENSIS*
IN RATS

YOSHINORI FUJII

(Department of Parasitology, Hamamatsu University School of Medicine,
Hamamatsu 431-31, Japan)

Angiostrongylus cantonensis third-stage larvae were exposed to less than 10 Krad of X-radiation and then given orally to white rats to examine the effects of X-radiation on infectivity and development of the irradiated third-stage larvae and on fecundity of adults developing from the irradiated third-stage larvae. The deleterious effects of X-radiation were observed at relatively lower dosage in the above three parameters. A degree in susceptibility on X-radiation was shown to be radiation-dose-dependent. Comparing to the irradiation of larvae *in vitro*, the irradiation of larvae in snails caused less deleterious effects at the same dose of X-irradiation. Application of X-radiation to food hygiene was also discussed.