

Artemia salinaによるトリチウム水の取込みとその生物学的影響

誌名	日本プランクトン学会報
ISSN	03878961
著者名	百足, 彰子 樋口, 昌孝
発行元	日本プランクトン学会
巻/号	21巻1号
掲載ページ	p. 32-40
発行年月	1974年11月

農林水産省 農林水産技術会議事務局筑波産学連携支援センター
Tsukuba Business-Academia Cooperation Support Center, Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council
Secretariat



Artemia salina によるトリチウム水の

取込みとその生物学的影響

百足 彰子・樋口 昌孝

東北大学農学部・東北大学医学部

Tritium Incorporation into the Cellular Materials and its Biological Effects to *Artemia salina* reared in Tritiated Seawater

Akiko MUKADE¹ and Masataka HIGUCHI²

Laboratory of Oceanography, Faculty of Agriculture, Tohoku University, Sendai¹

Laboratory for Radioisotopic Research, School of Medicine, Tohoku University, Sendai²

Abstract

The brine shrimp, *Artemia salina*, was reared in seawater that contained in various concentrations of tritiated water (THO) between 100 $\mu\text{Ci/ml}$ and 7.5 mCi/ml. The animals were fed on diatom cells cultured in tritium (T)-free seawater.

The T content of body water obtained by lyophilization from the animals that were transferred into THO increased rapidly during the first 8 to 30 hours and arrived at a constant level practically the same as that of the external medium. The lyophilized component of the animals increased with a similar kinetic pattern and the specific activity of T at the constant level corresponded to 33-48% of that in the medium. The ratio of specific activity was not affected by the T concentration in the medium used, and no significant variation of the ratio was found in the successive generations of the animals continuously reared in the THO seawater.

The release of the internal T of the animals occurred immediately after transferring them into T-free seawater and the rate of release reduced gradually with time. However, even after 80 to 120 hours rearing the T content in lyophilized component remained at almost the same level as that of the equilibrium obtained in the experiment of incorporation.

The T concentration up to 7.5 mCi/ml in the media did not affected the hatchability of encysted dry eggs of *A. salina*. With the concentration lower than 3.5 mCi/ml, THO seawater had no effect upon the growth rate of the animals. The animals reared in the medium with a T concentration of 7.5 mCi/ml, however, could not mature and all died within 24 days.

The significant reduction in life span of the animals were observed in the groups reared in the media with T concentration higher than 500 $\mu\text{Ci/ml}$. The rearing in 100 $\mu\text{Ci/ml}$ and 500 $\mu\text{Ci/ml}$ media caused significant reductions in the number of broods per female, the reproductive span and nauplius numbers per brood, resulting in a remarkable decrease in the total nauplius numbers per female. The animals did not reproduce at the concentrations of 750 $\mu\text{Ci/ml}$, 1 and 3.5 mCi/ml.

The animals were successively reared up to the seventh generation in the 100 $\mu\text{Ci/ml}$ THO seawater. No significant cumulative effect with number of generations were observed in both life span and reproductive capacities. In addition, nauplius numbers per brood did not show any trend to decrease successively during the reproductive period of an individual animal. It is likely that the biological effect of tritium irradiation on reproductive capacity of *A. salina* may not be determined by the total dose of the irradiation throughout its life span, but by the dose at a critical developmental stage of the reproductive organ, possibly just before maturation.

Although the comparative experiments on biological effects between the internal radiation and external radiation were not carried out here, the internal radiation of β -ray from THO seems to result in more severe effects on reproductive capacity of *A. salina* than those by the external radiation such as X-ray or γ -ray in terms of the accumulated dose.

緒 言

近年トリチウム (T) による環境汚染, 特に海洋汚染が問題になって来ている。原子力施設から海洋に排出されるラジオアイソトープの中で T は最も多量であり, 2000 年には全世界で 720 MCi となり 1970 年の 1,800 倍にもなるものと推定されている (田島ら, 1972)。T はトリチウム水 (THO) として排出されるが, これが物理化学的あるいは生化学的過程によって生物体の有機物に取り込まれる。T の β 線は低エネルギーではあるが長時間の連続的な内部照射源となる結果, X 線, γ 線, 高エネルギー β 線などによる外部照射と同じには論じられない生物学的影响を与える可能性は十分考えられる。又, 遺伝物質に結合された T によって, 一世代の生物学的影响ばかりでなく累代的な影響も考慮する必要があると思われる。

我々は海洋の生物の一例として *Artemia salina* を用いて実験を行った。100 $\mu\text{Ci/ml}$ ~ 7.5 mCi/ml の範囲に THO を添加した海水 (THO 海水) 中で *Artemia* を飼育し, 生体内遊離 THO と有機態結合 T とを経時的に分別定量することによって, 環境水だけに由来する T の生体内への取込み状態を調べた。又, これらの THO 海水中での *A. salina* の, 耐久卵の孵化, 成長, 寿命, 生殖能力等に対する各濃度ごとの T の影響を調べ, X 線, γ 線等による外部照射の結果と比較検討した。

Artemia の飼育に関して助言を頂いた東京都立小山台高等学校水越虔二氏, この研究を進めるにあたり助言と忠告を頂いた放射線医学総合研究所岩崎民子博士, この論文をまとめるに当り助言と原稿の校閲の労をとられた東北大学農学部西沢敏教授に心から感謝の意を表します。

材料及び方法

1. 生体内遊離 THO 及び有機態結合 T の定量と, 環境水への T の放出

THO 海水中の動物成体を経時的に取り上げ, 凍結乾燥法を基にした「生体内遊離トリチウム水脱水装置」を用いて生体内遊離 THO と有機態結合 T を分離した (樋口ら, 1974a)。有機態結合 T は, 酸素ガスを流しながら三口フラスコ内で燃焼し, 出て来た T を含む水蒸気をドライアイス-アセトンで冷却し, バイアル中に捕集した。これを遊離 THO と同様に, ジオキサンを溶媒とするシンチレーター (BRAY, 1960) を用い, 液体シンチレーションカウンターで測定した (樋口ら, 1974b)。又, THO, 海水中で遊離 THO 及び有機態結合 T が平衡に達した動物を THO 無添加の海水中に置き, 経時的に一定量の海水を採取し, 海水中に放出された T の放射能を測定した。

2. *Artemia* の飼育法

市販されている *Artemia* の耐久卵 (染色体数 $2n=42$, サンフランシスコ産) を購入し, 天然ろ過海水 (対照), 100 $\mu\text{Ci/ml}$, 500 $\mu\text{Ci/ml}$, 750 $\mu\text{Ci/ml}$, 1 mCi/ml , 3.5 mCi/ml , 及び 7.5 mCi/ml の THO 海水に入れ, 23~28°C の温度で孵化させた。孵化したノウプリウス幼生を, 雌雄の別が明らかになるまではそのまま同一容器に置き, その後は雌雄 1 組ずつ分離して連続光の下で飼育した。雄が死亡した場合には, 同一濃度の THO 海水に別に飼育してある雄を加えて 1 組とし, 雌が死亡するまで飼育を続けた。対照, THO 海水共にのおおのこの組の雌の生存日数, その間の幼生産出回数, 産出された幼生数, 産出日数 (産出開始日を 1 日とし終了するまでの日数) を計測し各群の平均を求めた。又, 100 $\mu\text{Ci/ml}$ の THO 海水中では第 7 世代目まで継代飼育を行い, 世代を重ねることによる THO の影響を調べた。この場合, F₂, F₃, F₄ については, 対照, 100 $\mu\text{Ci/ml}$ 共に雌雄数組を同一容器に入れ飼育したものであり, 対照の F₅, 100 $\mu\text{Ci/ml}$ の F₅, F₆ は, 数組を同一容器に入れたものと 1 組ずつ入れたものとを合わせて平均したものである。餌は, THO 無添加海水で培養した珪藻 *Chaetoceros gracilis* を遠沈して集め, 孵化後から定期的に一定量ずつ与えた。

結 果

1. 体内遊離水への T の取込みと有機態への結合, 及び環境水への放出

THO 海水中に置いた動物の体内遊離 THO の濃度は時間と共に高くなり, 実験により多少のばらつきはある

が、約 8~30 時間で環境水の T 濃度と等しくなった。一方、有機態結合 T も時間と共に増加し、その比放射能は環境水 T の比放射能に対して、25 時間前後に 33~48% になりその後は増加しなかった (Figure 1)。この値は THO 海水の濃度を交えた場合にも、数世代にわたり THO 海水中で飼育した場合にも同様であった (TABLE 1)。又、環境水の T が体内遊離水及び有機態に取り込まれて前記の平衡に達した後、その動物を THO 無添加の海水に移すと、海水中への T のすみやかな放出が起こった。この場合、20~30 時間以内に体内に含有されている T の約 95% が放出され、その後の放出はごくゆっくりと行われた (Figure 2)。この時の有機態結合 T は、80~120 時間後でも、THO 無添加海水に移す前の含量とほぼ同じであり、この時間内では有機態結合 T の放出はほとんどなかったものと考えられる。

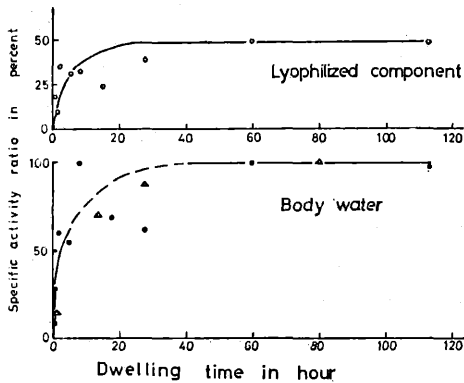


Fig. 1. Tritium incorporation to the free body water and the lyophilized component of *A. salina*. —●—: Exp. 1, —△—: Exp. 2.

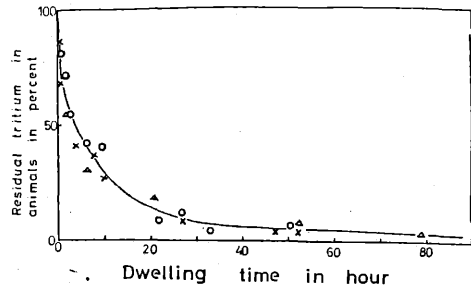


Fig. 2. Tritium release from *A. salina* reared in THO seawater to ambient THO free seawater. X: the first generation reared for 21 days, △: the seventh generation reared for 59 days, O: the ninth generation reared for 20 days.

TABLE 1. SPECIFIC ACTIVITY OF T IN THE LYOPHILIZED COMPONENT OF *A. salina* WHEN THE ANIMALS WERE REARED IN VARIOUS CONCENTRATIONS OF THO UP TO THE SEVENTH GENERATION CONTINUOUSLY. SPECIFIC ACTIVITY OF MEDIA IN PARENTHESES UNDER THE THO CONCENTRATIONS. MEAN ORGANIC HYDROGEN CONTENT OF *A. salina* WAS 5.9% OF DRY WEIGHT

THO concentration and specific activity of media	G.	Specific activity of lyophilized component ($\mu\text{Ci}/\text{mg-H}$)	Ratio of specific activity (%)
100 $\mu\text{Ci}/\text{ml}$ (0.91 $\mu\text{Ci}/\text{mg-H}$)	P	0.31	34.1
	F ₁	0.41	45.0
	F ₄	0.32	35.0
	F ₆	0.42	46.5
1.72 $\mu\text{Ci}/\text{ml}$ ($1.57 \times 10^{-2} \mu\text{Ci}/\text{mg-H}$)	P	7.48×10^{-3}	48.3
550 $\mu\text{Ci}/\text{ml}$ (5.00 $\mu\text{Ci}/\text{mg-H}$)	P	2.33	46.7

2. 耐久卵の孵化、成長及び雌の寿命に対する影響

100 $\mu\text{Ci}/\text{ml}$ ~7.5 mCi/ml の THO 海水の各濃度における耐久卵の孵化状態は、対照のそれとほとんど差が無かった。孵化後、雌は対照、100 $\mu\text{Ci}/\text{ml}$ 、500 $\mu\text{Ci}/\text{ml}$ では 2 週間から 20 日頃には輸卵管及び子宮に卵を有し、身体の大きさにも差が見られなかった。しかし、7.5 mCi/ml の雌は、孵化後 17 日でも卵巣にも卵を持たず、雌雄共に対照のほぼ半分の大きさであり、未成熟のまま 24 日目には全部死亡した。

100 $\mu\text{Ci/ml}$ の雌の平均寿命は 105 日で、対照の平均寿命 103 日と有意差が無かった (TABLE 2) が、500 $\mu\text{Ci/ml}$ 以上の THO 濃度では 64 日以下になり、対照との間に高い有意差 (t 検定, $P < 0.001$) を示した。又、各濃度の最長寿命についてもほぼ同様であった。

100 $\mu\text{Ci/ml}$ の THO 海水中で世代を重ねた動物の寿命に対する T の影響を調べた (TABLE 3)。対照及び 100 $\mu\text{Ci/ml}$ の場合も共に世代を重ねるに従い寿命は短縮したが、これは長期間狭い容器内に隔離状態で飼育されたことによるものと思われる。同一世代についてみると 100 $\mu\text{Ci/ml}$ の平均寿命は第 1 世代を除き対照より短かったが、統計的に差があるとは言い難かった。

TABLE 2. VARIATIONS OF THE MEAN AND THE RANGE OF LIFE SPAN IN DAY OF FEMALE *A. salina* HATCHED OUT AND REARED IN THE DIFFERENT THO CONCENTRATIONS

Concentration of THO	$\bar{X} \pm S.D$	Max.	Min.	Sample number
control	103 \pm 39	152	51	17
100 $\mu\text{Ci/ml}$	105 \pm 25	138	63	17
500 $\mu\text{Ci/ml}$	64 \pm 8	80	48	17
750 $\mu\text{Ci/ml}$	52 \pm 17	74	24	17
1 mCi/ml	64 \pm 19	111	36	17
3.5 mCi/ml	39 \pm 10	59	26	17
*7.5 mCi/ml	—	—	—	—

* Animals could not mature and all died within 24 days

TABLE 3. VARIATIONS OF THE MEAN AND THE RANGE OF LIFE SPAN OF FEMALE *A. salina* WITH SUCCESSION OF GENERATION REARED IN THE 100 $\mu\text{Ci/ml}$ THO SEAWATER. NUMBER OF PAIRS ARE IN PARENTHESES

G.	Control			100 $\mu\text{Ci/ml}$		
	$\bar{X} \pm S.D$	Max.	Min.	$\bar{X} \pm S.D$	Max.	Min.
P	103 \pm 39 (17)	151	51	105 \pm 25 (17)	138	63
F ₁	99 \pm 28 (19)	132	58	89 \pm 26 (19)	127	37
F ₂	91 \pm 16 (9)	114	65	86 \pm 11 (18)	106	84
F ₃	50 \pm 17 (22)	93	19	44 \pm 32 (18)	111	13
F ₄	41 \pm 23 (35)	145	13	23 \pm 12 (43)	60	12
F ₅	54 \pm 27 (26)	123	17	27 \pm 27 (34)	136	17
F ₆	55 \pm 19 (16)	88	20	43 \pm 20 (28)	80	19

3. 生殖能力に与える影響

THO 無添加海水、100 及び 500 $\mu\text{Ci/ml}$ THO 海水における幼生の産出状況 (Figure 3) と、その時の雌雄 1 組当りの幼生産出回数、産出期間、1 産出当りの幼生数、産出された総幼生数について示した (TABLE 4)。対照の雌は、孵化後平均 30 (21~70) 日頃から幼生を生み始め、それが雌の生存期間中続いた。100 $\mu\text{Ci/ml}$ の場合、幼生を産出した例についてはその状態は対照のそれとよく似ていたが、幼生を全く産出しない雌が 4 例あった。総幼生数のこの群の最大値は 1,708、産出回数の最大値は 16 で、対照の 1,659、14 よりおのおの大きかったが、それらの平均値及び産出期間、1 産出当りの幼生数の平均値はいずれも対照より小さく個体差が顕著であった。500 $\mu\text{Ci/ml}$ では幼生を産出しない雌は 1 例であり、100 $\mu\text{Ci/ml}$ の場合に比べ影響の出方に個体差は少なかった。しかし、全項目について平均値は対照との間に高い有意差を示し (t -検定, $P < 0.001$) 低下した。又、この濃度では孵化後 31 日から 47 日の間に幼生の産出が集中して見られ (Figure 3; E, F) その後は、生存し続けた雌もわずかししか幼生を産出しなかった。すなわち、幼生の産出開始に遅れは無かったが明らかな生殖期間の短縮が見られた。幼生を産出した例についてだけみると、幼生の 1 産出から次の産出までの平均日数は対照では 9.8 日、100 $\mu\text{Ci/ml}$ では 7.2 日、500 $\mu\text{Ci/ml}$ では 7.0 日であった。

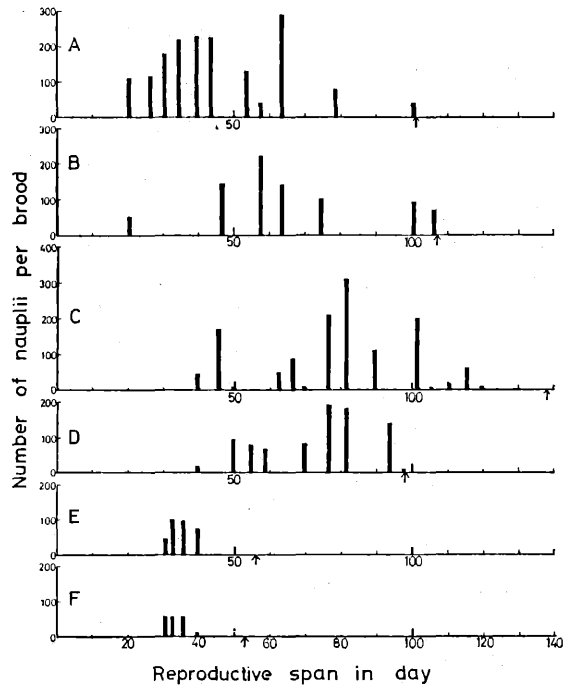


Fig. 3. Representative time pattern of nauplius reproduction by *A. salina* reared in THO-free seawater (A, B), 100 $\mu\text{Ci/ml}$ (C, D), and 500 $\mu\text{Ci/ml}$ (E, F) THO seawater. The arrows indicate the time of death of animals.

TABLE 4. EFFECTS OF TRITIATED WATER ON REPRODUCTION AND FERTILITY OF *A. salina*. MAXIMUM AND MINIMUM VALUES FOR EACH GROUP ARE IN PARENTHESES. NUMBER OF PAIRS WERE 17 IN EACH GROUP

Concentration of THO	Total nauplius numbers per pair	Reproductive span (days)	Number of broods	Nauplius number per brood
Control	$736 \pm 311^{\text{a}}$ (1659-215)	$64 \pm 29^{\text{a}}$ (113-9)	$7.4 \pm 3.2^{\text{a}}$ (14-3)	$124 \pm 49^{\text{a}}$ (217-24)
100 $\mu\text{Ci/ml}$	516 ± 500 (1708-0)	37 ± 35 (92-0)	5.5 ± 4.7 (16-0)	68 ± 51 (160-0)
500 $\mu\text{Ci/ml}$	159 ± 83 (315-0)	20 ± 9.5 (34-0)	4.1 ± 1.6 (7-0)	37 ± 18 (78-0)
750 $\mu\text{Ci/ml}^{\text{b}}$	—	—	—	—
1 mCi/ml	$2.4 \pm 6.8^{\text{c}}$	—	—	—
3.5 mCi/ml ^b	—	—	—	—
7.5 mCi/ml ^b	—	—	—	—

a) Standard deviation

b) None of female reproduced

c) Three females out of 17 reproduced 2, 20, and 21 nauplii only once, respectively

750 $\mu\text{Ci/ml}$, 1.0, 3.5, 及び 7.5 mCi/ml の各濃度では, 1.0 mCi/ml の 3 例—2, 20, 21 の幼生を 1 回産出しただけ—を除き幼生の産出は見られなかった。1.0 mCi/ml では子宮に粒状の卵は持つが産卵までには至らなかった例, キチン質の外殻が無い小型の卵を持つ例等が観察されたが, 孵化後 50 日頃には大部分の雌の子宮は中空になった (Figure 4)。これより THO 濃度の低い 750 $\mu\text{Ci/ml}$ の場合に幼生の産出が全く無かった。しかし, 幼生に発生するまでには至らないが正常なものと変わらない外観の卵や, 初期の卵形成は観察されたことから, 多くの個体を用いて実験を行えば, この濃度においても幼生の産出はあるものと思われる。

3.5 mCi/ml の場合には耐久卵を産卵 (20 箇) した雌が 1 例あったが, 他の雌に卵は観察出来なかった。

又, 500 $\mu\text{Ci/ml}$ 及び 1.0 mCi/ml で飼育した雌の生殖組織の顕微鏡像には, 明らかに生殖細胞の異常や退化が見られた。

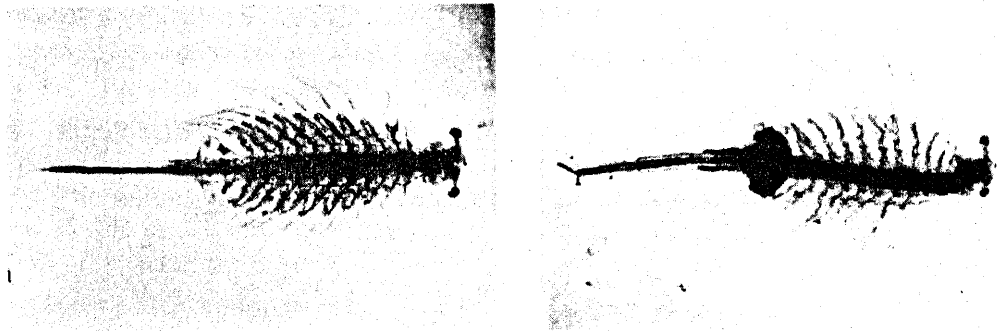


Fig. 4. A matured female of *A. salina* reared for 50 days after hatching in THO-free seawater (right) in comparison with a female reared in THO seawater (1 mCi/ml) for the same period (left).

TABLE 5. VARIATIONS OF THE MEAN AND THE RANGE OF TOTAL NAUPLIUS NUMBERS FROM AN INDIVIDUAL *A. salina* WITH SUCCESSION OF GENERATION. NUMBER OF PAIRS ARE IN PARENTHESES

G.	\bar{X}	Control		100 $\mu\text{Ci/ml}$		
		Max.	Min.	\bar{X}	Max.	Min.
P	736 (17)	1659	215	516 (17)	1708	0
F ₁	782 (19)	1715	292	406 (19)	1006	16
F ₂	303 (9)	849	0	34 (18)	256	0
F ₃	155 (22)	421	0	108 (18)	503	0
F ₄	102 (35)	719	0	31 (43)	206	0
F ₅	134 (26)	770	0	88 (34)	513	0
F ₆	72 (16)	266	0	65 (28)	361	0

4. 生殖能力に対する継代的影響

1 世代目では顕著な影響が現われない場合でも世代を重ねることによって, その影響が蓄積される可能性が考えられる。100 $\mu\text{Ci/ml}$ の THO 海水に継代飼育した場合の第 1~第 7 世代に産出された幼生数を対照のそれと比較した (TABLE 5)。寿命の場合と同様にこの場合にも対照, 100 $\mu\text{Ci/ml}$ 共に幼生数の平均値は第 3 世代目から大きく低下したが, 同一世代に関しては, 100 $\mu\text{Ci/ml}$ の幼生数は各世代共対照に比べやや少なかった。しかし, その傾向が累加的に増加するという事は認められず, この場合には THO の生殖能力に対する影響の蓄積は無かったと考えられる。

考 察

Artemia の体内遊離水は約 30 時間で環境水とすべて置き換わることが示された。一方, H-T 交換と生化学反

応によって有機態水素への T の結合が起こると考えられるが, *Artemia* の場合には, THO 海水に置かれた直後に有機態への結合が始まり, 25 時間前後で平衡に達した。この時の T の比放射能と THO 海水のその比, 33~48% が外部の THO 濃度に無関係に一定だったことから, いわゆる交換しやすい H に加えて交換しにくい H (SIRI and EVERS, 1962) もほぼ 25 時間前後で環境水の H あるいは T と交換し終わるものと思われる。この時の有機態結合 T の放射能は *Artemia* が有する全放射能の 2~2.9% (水分含量 90%) であり, この値はウサギに経口的に, あるいは静脈注射によって THO を投与した場合 (SIRI and EVERS, 1962) に得られた 2% の値と大差なかった。又, 植物プランクトンクロレラを THO で培養した場合には, 有機態水素中の濃度は培養液の T 濃度の約 50% で平衡に達した (WEINBERGER and PORTER, 1953)。WEINBERGER and PORTER は, この平衡値が環境水の T 濃度の 50% 止まりであるのは T の同位体効果によるものであると報告している。クロレラの場合と同様に, *Artemia* の場合も T は THO としての環境水のみから与えられており, 平衡値がやはり 50% 以下であった。しかし, このことが T の同位体効果によるものであるのか, T で汚染されない餌を与え続けた結果によるものかどうかは今後の研究に待たねばならない。

体内遊離水に結合した T の体外への放出は, ネズミ, ハツカネズミ等へ THO を注射した後の保持実験 (THOMPSON, 1952, 1953; LAMBERT and CLIFTON, 1967) の場合の T の放出に比較すると非常に速かった。生物学的半減期が *Artemia* の場合には 4 時間前後 (Figure 2) であるのに対し, ネズミ等の場合, 初期に放出される部分のそれが 1.1~3.3 日であった。これは主として, 水生動物である *Artemia* と陸生動物の体内水の回転速度の違いを反映しているであろう。

いったん, 有機態に結合した T の放出は結合する時とは反対に非常に遅く, 120 時間後でもまだ大部分は放出されずに残っており, 長時間結合 T として存在するものと思われる。結合と放出の際のこの顕著な非可逆性については今後の詳細な研究が必要であろう。

Artemia 耐久卵に対する γ 線照射の場合, 約 480 KR で孵化率が 50% に下がり, 900 KR では 0 になり (IWASAKI, 1964), X 線の 5 KR 照射では影響は認められていない (BOWEN, 1963)。我々の実験において最高濃度である 7.5 mCi/ml の場合, 耐久卵が孵化するまでの平均時間を 24 時間とすると, 卵内の水分を最大限にみて 90% とした場合, CAHILL and YUILE (1970) の計算式によれば 2.0 Krad の集積線量となる。集積線量だけを考えれば, この程度の線量では孵化に影響を与えることはないであろう。孵化後の *Artemia* の成長は餌の質や量に左右されると思われ, ただ一種類の珪藻だけを餌として与えることによる何らかの影響があるかも知れない。しかし, 平均 30 日目で第 1 回目の産卵があることは他の飼育条件の場合と大体同じ (METALLI and BALLARDIN, 1970-72) であり, この面における飼育上の問題は無かったと思われる。

雌の寿命は 100 μ Ci/ml では対照と変わりなく, この濃度の THO は寿命に対して影響を与えなかった。しかし, 500 μ Ci/ml, 750 μ Ci/ml, 1 mCi/ml では, 平均的には同じ程度の寿命の短縮であったが, 濃度が高くなるにつれて値のばらつきが大きくなり影響の出方に個体差が顕著になるようである。*Artemia* の成体に X 線照射をした場合 (GROSCH and ERDMAN, 1955), 雌では 150 KR, 雄では 200 KR で 5 例のすべてが死亡し, 雌に対する 10 KR 照射では, 照射後 20~25 日に死亡が見られたと言う。又, 若い *Artemia* 成体に γ 線を照射した場合 (SQUIRE and GROSCH, 1970) には, 対照が 52.9 日であるのに対し 50 KR では 15.9 日, 100 KR で 5.9 日と線量が多くなるにつれて寿命の短縮があり, 100 KR 照射の場合に非常に有意差で短縮があったと報告されている。寿命の長さについてだけ見れば, 我々の THO 実験における *Artemia* の寿命は X 線, γ 線照射の場合のそれよりかなり長く, THO の寿命に対する影響の与え方はそれ程強くないように思われる。THO の場合に 24 日ですべての動物が死亡した 7.5 mCi/ml の, その間の集積線量は約 48 Krad (後述の計算による) であり, 成体に対する 10 KR の X 線照射後 20~25 日で死亡した場合と比較すると 5 倍の線量を吸収したことになる。又, 耐久卵への 50 KR の X 線照射では, 孵化後 22 日で 0.4% の生存率であった (BOWEN, 1963) が, その時の照射線量とはほぼ同じ吸収線量であった。しかし, γ 線照射の場合に高い有意差を示した照射線量と, 対照との間に γ 線の場合と同程度の有意差を示した THO の 500 μ Ci/ml の場合の集積線量を考えて比較すると (500 μ Ci/ml の平均寿命: 64 日, この間の集積線量: 9.5 Krad), 約 1/10 以下の線量で THO は寿命の短

縮をもたらしたことになる。瞬間的な外部照射と異なり、THO の場合は連続的な内部照射を行っているので、ある影響の受けやすい時期の照射が大きく効いていることが十分予想され、その場合は、生存期間中の集積線量より少ない線量で寿命に影響を与えることが考えられる。

すべての生物において、比較的放射線感受性が高い生殖能力については THO の場合も例外ではなく、寿命の短縮等には影響の出なかった $100 \mu\text{Ci/ml}$ でも *Artemia* の生殖能力に低下が見られた。耐久卵産卵については観察だけで計数はしなかった。しかし、 $100 \mu\text{Ci/ml}$ 、 $500 \mu\text{Ci/ml}$ では幼生の産出数が明らかに低下している時に (TABLE 4) 耐久卵の産卵があり、 $750 \mu\text{Ci/ml}$ 以上でも卵形成は見られ、少数の耐久卵産卵が観察された。このことは THO は卵形成、卵発生よりも卵の胎内での孵化により大きな影響を与えることを示すと思われる。各個体の産出ごとの幼生数は、第 1 回目からほぼ同じレベルに抑えられており、又 $100 \mu\text{Ci/ml}$ 海水中で継代的に飼育した動物の幼生産出には累代の影響が出なかった。これ等のことから、幼生数の減少には全集積線量が影響を与えるのではなく、各産卵ごとに卵母細胞形成から孵化直前までの集積線量、あるいはその間のある決定的時期の照射が影響を与えていることが考えられる。生殖細胞のピクノシスという点についてみると、若い *Artemia* に 5 Krad の γ 線を照射した場合は、成体に対して照射を行った場合より感受性が高かった (IWASAKI, 1973)。THO に対しても若い *Artemia* の感受性の高いことが予想される。又、若い *Artemia* に対する 5 Krad の γ 線照射では、いったん数が大きく減少した卵原細胞の回復があった (IWASAKI, 1973) と言うが THO のような連続照射が一定レベルで起こっている時には、その様な回復の起こる可能性は少ないのではないかと考えられる。

結果だけについてみると、幼生数の減少に関しては THO の $100 \mu\text{Ci/ml}$ の場合と、 γ 線の 1 KR 照射 (SQUIRE, 1970)、X 線の 2~3 KR 照射 (GROSCH and ERDMAN, 1955) の場合とがほぼ同じ程度に影響を与え、又 $100 \mu\text{Ci/ml}$ の THO と γ 線の 1 KR 照射が、産出回数及び 1 産出当りの幼生数に、ほぼ対応する減少をもたらしたと言えよう。又、2.5 KR の X 線照射を受けた雌は配偶子を作らなくなった (GROSCH and SULLIVAN, 1955) と言う。

高線量率電離放射線による外部照射の影響と、T の β 線による連続的内部照射の影響の結果を吸収線量の点から考えてみよう。前述の CAHILL and YUILE の計算によれば、*Artemia* の平均含水率を 90% とすると、 $100 \mu\text{Ci/ml}$ の場合 1 日当りの体内遊離水の放射エネルギーは 2,624 erg、有機態 T のそれは 55 erg (平均の有機態水素含有率: 5.9%) で計 2,680 erg である。このエネルギーを 1g の *Artemia* 生体がすべて吸収すると 1 日当り 26.8 rad の吸収線量に相当する。生殖能力に低下をもたらす吸収線量は、最大限に見積っても前述したように孵化してから第 1 回目の産卵を行うまでの間の集積吸収線量であろうと考えられるので、その平均日数を 30 日とすると、その間の集積吸収線量は約 785 rad となる。しかし、前述のように、生殖能力に対する放射線照射の影響は、ある決定的時期に与えられたものが大である可能性が強いので、その場合には有効な吸収線量はもっと少なくなる。

この様に、T 内部照射の生物学的効果は、*Artemia* の場合にも電離放射線の外部照射よりもかなり高いことが明らかにされた。この時、有機態結合 T の放射能は全体の約 2% であるが、T の β 線の飛程は短かく、細胞組織内では 0.5μ 以内で 90% 以上のエネルギーが吸収されてしまう (PERSON, 1968) ことを考えると、動物の体細胞、生殖細胞に損傷を与える放射線源としては細胞内、あるいは核構成物質の T に注目する必要がある、有機態に結合した T の重要性が考えられる。

文 献

- BOWEN, S. T., 1963: The genetics of *Artemia salina*. III. Effects of X-irradiation and of freezing upon cysts. *Biol. Bull.*, **125**, 431-440.
 BRAY, G. A., 1960: A simple efficient liquid scintillator for counting aqueous solution a liquid scintillation counter. *Analy. Biochem.*, **1**, 279-285.
 CAHILL, D. F. and C. L. YUILE, 1970: Tritium: some effects of continuous exposure in utero on mammalian development. *Radia. Res.*, **44**, 727-737.
 GROSCH, D. S. and H. E. ERDMAN, 1955: X-ray effects on adult *Artemia*. *Biol. Bull.*, **108**, 277-282.

- GROSCH, D.S. and R.L. SULLIVAN, 1955: X-ray induced cessation of gamete production of adult *Artemia*. *Biol. Bull.*, **109**, 359.
- 樋口昌孝, 百足彰子, 太田正市, 1974a: 生体内トリチウム水と組織結合性トリチウムの分別装置の試作と *Artemia salina* によるトリチウムのとり込み. *Radioisotopes*, **23**, 402-405.
- 樋口昌孝, 太田正市, 百足彰子, 1974b: 簡易酸素フラスコ燃焼装置による ^3H , ^{14}C の測定. *Radioisotopes*, **23**, 523-525.
- IWASAKI, T., 1964: Sensitivity of *Artemia* eggs to the γ -irradiation. I. Hatchability of encysted dry eggs. *J. Rad. Res.*, **5**, 69-75.
- IWASAKI, T., 1973: The differential radiosensitivity of oogonia and oocytes at different developmental stages of the brine shrimp, *Artemia salina*. *Biol. Bull.*, **144**, 151-161.
- LAMBERT, B.E. and R.J. CLIFTON, 1967: Radiation doses from the administration of tritiated folic acid and tritiated water to the rat. *Br. J. Radiol.*, **40**, 56-61.
- METALLI, P. and E. BALLARDIN, 1970-72: Radiobiology of *Artemia*: Radiation effects and ploidy. *Current Topics in Radiation Research Quarterly*, **7**, 181-240.
- PERSON, S., 1968: Lethal and mutagenic effects of tritium decay produced by tritiated compounds incorporated into bacteria and bacteriophages, p. 29-64. In *Biological effects of Transmutation and Decay of Incorporated Radioisotopes*, I.A.E.A., Vienna.
- SIRI, W. and J. EVERS, 1962: Tritium exchange in biological systems, p. 71-84. In *Tritium in the Physical and Biochemical Sciences*, Vol. II, I.A.E.A., Vienna.
- SQUIRE, R.D. and D.S. GROSCH, 1970: The effects of acute gamma irradiation on the brine shrimp, *Artemia salina*. I. Life span and male reproductive performance. *Biol. Bull.*, **139**, 363-374.
- SQUIRE, R.D., 1970: The effects of acute gamma irradiation on the brine shrimp, *Artemia salina*. II. Female reproductive performance. *Biol. Bull.*, **139**, 375-385.
- 田島英三, 板倉哲郎, 市川竜資, 吉田博之, 1972: 原子力工業における環境問題. ソフトサイエンス社, 東京, p. 596.
- THOMPSON, R.C., 1952: Studies of metabolic turnover with tritium as a tracer. I. Gross studies on the mouse. *J. Biol. Chem.*, **197**, 81-87.
- THOMPSON, R.C., 1953: Studies of metabolic turnover with tritium as a tracer. II. Gross studies on the rat. *J. Biol. Chem.*, **200**, 731-743.
- WEINBERGER, D. and J.W. PORTER, 1953: Incorporation of tritium oxide into growing *Chlorella pyrenoidosa* cells. *Science*, **117**, 636-638.