Korean J. Environ. Biol. 25(2) : 107~114(2007)

참전복(*Haliotis discus hannai*)의 성장에 대한 감마선 영향

김 경 주 · 최 미 경[1] · 여 인 규*

제주대학교 해양생산과학부
[1]국립수산과학원 제주수산연구소

Effect of Gamma Ray on Growth of Juvenile Abalone, *Haliotis discus hannai*

Kyung-Ju Kim, Mi-Kyung Choe[1] and In-Kyu Yeo*

Faculty of applied Marine Science, Cheju National University, Jeju 690-756, Korea
[1]Jeju Fisheries Research Institue, NFRDI, Jeju 690-192, Korea

Abstract - Radiation at very low doses frequently has a stimulating or hormetic effect on growth of organism. Effects of growth and survival rate on various dose of gamma irradiation in the farm culture of juvenile abalone (*Haliotis discus hannai*) were determined in Hallim (Jeju) from February 2004 to January 2005. The initial shell length of abalone juveniles in this study was average 3.45 ± 0.4 cm. A change of growth after irradiation (0 ~ 20 Gy) was observed for 48 weeks. The highest growth rate was observed in 4 Gy-irradiated group and the lowest growth rate was observed in 20 Gy-irradiated group. The additional research about biochemical changes on juvenile abalone after irradiation should be accomplished. Continuous study for gamma radiation-induced hormesis on growth and metabolism of juvenile abalone will further induce the creation of value in ocean industry.

Key words : *Haliotis discus hannai*, γ-Radiation, growth, hormesis

서 론

인구 증가와 환경 오염 등에 의한 식량 자원의 고갈과 증가하는 수요를 대처하기 위해서는 자원의 개발과 종장의 발아력 향상 및 생육 증진을 통한 식량 생산성 향상 방법의 개발이 필수적이다. 이러한 시급한 문제를 해결하기 위해 다양한 연구가 진행되어져 왔으며 최근에는 유해성 물질로 분류된 물질의 적정 처리에 의해 생물활성의 긍정적 효과를 유도할 수 있다는 hormesis 연구법으로 접근하고 있다(Lee *et al.* 2002). 방사선도 물리적 작용물질의 하나로서 감마선에 의한 hormesis 영향으로는 발아와 출아 및 생장과 발육 촉진, 수량구성요소의 증가 등이 여러 작물에서 보고되었는데(Luckey 1980; Miller and Miller 1987), 그 중 농업적 가치가 있는 배추(Kim *et al.* 2000)의 경우 종자 저장기간에 따라 적정선량은 다르지만 초기생육과 수량이 증가되었고, 고추(Lee *et al.* 1998)와 참박(Kim *et al.* 2000)에서도 초기생육이

* Corresponding author: In-Kyu Yeo, Tel. 064-754-3479, Fax. 064-756-3493, E-mail. ikyeo99@cheju.ac.kr

증가되었다는 보고가 있다. 기내에서도 감마선 조사시 포도나무의 생장과 감자의 괴경형성, 밀의 약배양 효율 등이 증가되었다고 보고 되었다. 또한 파와 시금치의 발아 종자에서 전분분해와 glutamic acid decarboxylase 활성증가(Kim *et al.* 2000), 해바라기에서의 탄수화물 함량 증가(Thiede *et al.* 1995), 옥수수에서의 광합성 증가(Koepp *et al.* 1981) 등이 보고 되었다. 이러한 방사선 hormesis 작용은 대상 식물, 종자상태 환경 및 재배조건, 측정하는 생리적 기능, 선량율과 선량에 따라 다르게 나타난다.

본 실험의 대상종인 전복류는 세계적으로 100여 종이 알려져 있고, 이 중 어획 대상이 되는 대형종은 20여 종으로서 주로 온대수역에서 많이 생산되고 있으며, 우리나라에 서식하는 전복류는 소형종인 오분자기(*Halotis diversiclor supertexta*)를 비롯하여 난류계의 대형종인 말전복(*H. giganta*), 까막전복(*H. discus*), 씨볼트 전복(*H. sieboldil*), 그리고 한류계인 참전복(*H. discus hannai*)의 5종이 알려져 있다(Yoon *et al.* 2004).

특히 전복류는 산업적 가치가 높은 종이기 때문에 오래전부터 많은 연구가 이루어져 왔다. 전복양식은 해조를 공급하여 식물성 단백질로 바꾸는 것이 가능하고 먹이인 해조류의 대량양식을 기대할 수 있다는 이점이 있으며, 시장가치가 아주 높고 많은 수요가 있으나 생산량은 극히 적다. 최근에는 전복 성패를 중국, 일본 등으로 수출하는 경우가 많아지고 있어서 경쟁력과 잠재력이 있는 품종으로 여겨지고 있으며 전복 종묘생산 및 성장에 따른 적절한 사육 방법 및 사료의 연구 진행에 있어서도 상당한 성과를 이루어 놓은 실정이다. 전복의 생리·생태적 변화에 관한 연구로는 참전복 유생발생 및 채묘에 미치는 아연독성(Seo *et al.* 1999), 참전복의 패각 괴사증(Choe *et al.* 1998), 남해안 참전복 치패의 근육위축증후군(Choe *et al.* 1999), 참전복 치패의 근육위축증 원인인 스쿠티가섬모충에 대한 chitosan의 구충효과(Choe *et al.* 1998), 참전복 치패의 박리 및 마취회복에 관한 연구(Choe *et al.* 1997; Choe *et al.* 1998) 등, 주로 종묘생산 및 물리적 요인에 따른 생리·생태학적인 연구가 이루어지고 있는 실정이다. 또한 먹이의 제한, 공식, 먹이 구성성분 및 불쾌한 환경 요인들은 전복의 보상성장 및 성성숙에 많은 영향을 초래한다고 보고 된 적이 있다(Jung *et al.* 2004).

방사선 hormesis에 대한 연구는 육상 생물에서 많은 연구가 이루어졌을 뿐, 해상 생물에 대한 연구는 전무한 실정이다. 이에 본 실험에서는 참전복에 감마선을 조사하였을 때, 참전복의 크기의 변화인 각장, 각고, 무게 변화를 측정하여 방사선에 대한 반응을 관찰하였다.

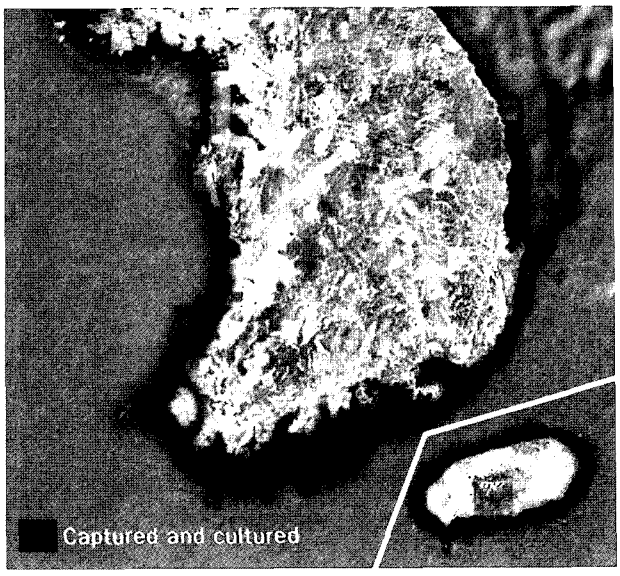

Fig. 1. Juvenile abalones habitat.

재료 및 방법

1. 실험 재료 및 사육 관리

실험에 사용된 전복, *Haliotis discus hannai*은 조간대에서 수심 20~30 m에 이르는 바위가 많은 곳에 서식하며, 주로 일본, 우리나라 전 연안에 분포한다(Fig. 1). 참전복은 제주수산연구소 패류육종센터에서 분양 받은 평균 각장 3.45±0.4 cm, 각폭 2.60±0.6 cm, 각고 0.88±0.4 cm, 중량 5.12±0.17 g인 개체를 사용하였다. 실험 전복은 감마선을 조사한 후 자연해수를 유수시키는 실내 사육을 하였다. 먹이는 다시마(*Laminaria japonica*)를 2~3일 간격으로 충분량 공급하였다. 사육기간 동안 사육 환경은 측정 당일 표층에 YSI 556 MPS (Multi-probe system)를 이용하여 수온, 염분, pH, 용존산소량을 측정하였다.

실험군당 30마리의 전복을 실험에 사용하였고, 실험개시 직후, 4주, 8주, 12주, 26주, 48주째까지 방사선 조사량에 따른 크기 변화를 각장과 각고는 Digimatic Cliper (0.01 mm),중량은 이동식 저울(0.01 g)로 측정하였다.

2. 방사선 조사

감마선 조사는 제주대학교 방사선응용과학연구소에서 보유중인 저준위조사시설(^{60}Co)을 이용하여 γ선 0, 0.2, 0.4, 0.8, 1, 2, 4, 8, 10, 20 Gy 수준으로 직접 제작한 틀에 전복의 발쪽을 선원 쪽으로 고정시킨 후 조사하였다(Fig. 2). 조사선량은 Fricke dosimeter로 측정하였다.

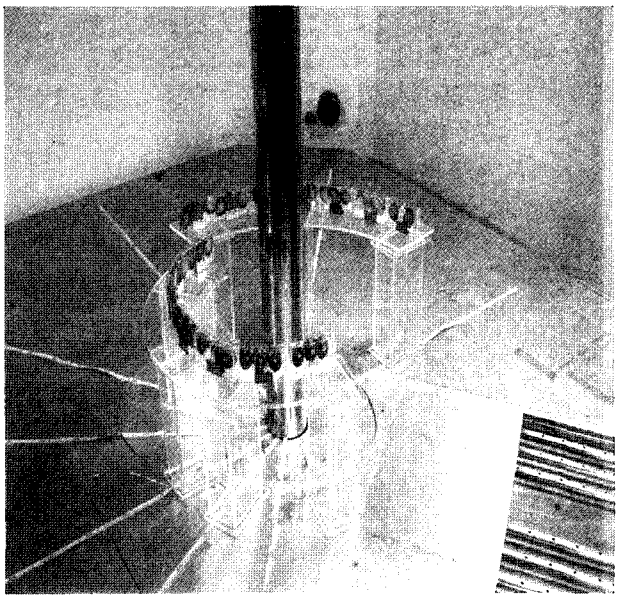

Fig. 2. Gamma irradiation (0～20 Gy) to juvenile abalones.

Table 1. The change of temperature, salinity, pH, and DO during the experiment

Month date	Temp (°C)	Salinity (‰)	pH	Dissolved oxygen (mg L^{-1})
2004. 2. 2	14.9	31.7	7.91	7.6
3. 7	13.1	31.2	7.84	7.4
4. 4	14.5	32.3	7.76	7.6
5. 2	16.1	31.8	7.92	7.5
8. 8	27.4	32.3	7.79	7.7
2005. 1. 10	14.7	31.1	7.92	7.4
Average	16.8°C	31.7‰	7.85	7.5 mg L^{-1}
Range	13.1～27.4°C	31.1～32.3‰	7.76～7.92	7.4～7.7 mg L^{-1}

3. 통계처리

각 실험에서 얻어진 자료에 대한 값의 유의차 유무는 SPSS 통계 패키지에 의한 ANOVA로 분석하여, P값이 0.05보다 작은 경우를 유의하다고 판정하였다. 반복 시험의 결과는 평균±표준편차평균으로 나타내었다.

결 과

1. 사육환경

실험기간 동안 사육환경은 Table 1과 같다. 실험 기간 동안 측정된 평균 수온은 16.8°C였다. 가장 낮은 수온은 3월 13.1°C였고, 높은 수온은 8월 27.4°C로 나타났다. 염분은 평균 31.7‰였고, 가장 낮은 염분은 3월 31.2‰, 가장 높은 염분은 4월과 8월 32.2‰로 나타났다. pH은 평균 7.85였고, 측정된 범위는 7.76～7.92로 일정하게 나타났다. 용존산소(DO)는 평균 7.5 mg/L 였고, 측정된 범위는 7.4～7.7 mg/L로 일정하게 나타났다.

2. 각장 (shell length) 성장

2004년 2월부터 2005년 1월까지 48주 동안 양식장에서 사육한 각 실험군별 참전복 치패의 각장 성장 결과는 Table 2와 같다.

전복치패의 각장 크기의 변화를 살펴보면, 실험 시작 시 각 실험군의 평균 각장은 3.37±0.28～3.48±0.25 cm로 대조군과는 유의적인 각장차이는 보이지 않았다 ($P>0.05$). 사육 4주째나 8주째에서도 대조군과 실험군간에 유의적인 성장차이가 없었다 ($P>0.05$). 사육 12주째에는 처리 구간별 각장 성장은 대조군과 비교하였을 때 20 Gy 실험군을 제외한 모든 실험군은 유의적인 성장차이가 없었다 ($P>0.05$). 그러나 감마선 조사량이 가장 높은 20 Gy에서는 대조군과 유의적인 성장 차이를 나타내었다 ($P<0.05$). 사육 26주째에서도 대조군과 비교하였을 때 20 Gy를 제외한 모든 실험군은 유의적인 성장차이가 없었다($P>0.05$). 그러나 감마선 조사량이 가장 높은 20 Gy에서는 12주 경과 후 결과와 같이 유의적인 성장차이가 나타났다 ($P<0.05$). 실험종료인 48주째에 사육한 결과를 살펴보면 실험 시작 시 대조군인 0 Gy는 3.43±0.15 mm, 0.2 Gy 실험군은 3.47±0.23 mm, 0.4 Gy 실험군은 3.37±0.28 mm, 0.8 Gy 실험군은 3.45±0.14 mm, 1 Gy 실험군은 3.45±0.19 mm, 2 Gy 실험군은 3.48±0.25 mm, 4 Gy 실험군은 3.44±0.14 mm, 8 Gy 실험군은 3.48±0.19 mm, 10 Gy 실험군은 3.43±0.12 mm, 20 Gy 실험군은 3.42±0.12 mm에서 대조군 0 Gy는 5.79±0.45 mm, 0.2 Gy 실험군은 5.33±0.56 mm, 0.4 Gy 실험군은 5.18±0.72 mm, 0.8 Gy 실험군은 5.74±0.60 mm, 1 Gy 실험군은 5.47±0.32 mm, 2 Gy 실험군은 5.54±0.24 mm, 4 Gy 실험군은 5.66±0.33 mm, 8 Gy 실험군은 5.58±0.61 mm, 10 Gy 실험군은 5.17±0.54 mm, 20 Gy 실험군은 4.80±0.4 mm로 성장하였다. 각 실험군당 성장의 차이를 보면 대조구인 0 Gy는 2.36±0.3 mm, 0.2 Gy는 1.86±0.33 mm, 0.4 Gy는 1.81±0.44, 0.8 Gy는 2.29±0.46 mm, 1 Gy는 2.02±0.13 mm, 2 Gy는 1.81±0.24 mm, 4 Gy는 2.22±0.19 mm, 8 Gy는 2.10±0.42 mm, 10 Gy는 1.74±0.42 mm, 20 Gy는 1.38±0.35 mm였다. 실험군 중 감마선 조사량이 높은 20 Gy 실험군에서 성장이 느리게 나타났다 ($P<0.05$).

Table 2. Variations of shell length (cm) for juvenile abalones reared with different dose radiation in the farm

Dose (Gy)	0 week	4 week	8 week	12 week	26 week	48 week
0	3.43±0.15	3.53±0.14	3.83±0.15	4.05±0.19	4.76±0.24	5.79±0.45
0.2	3.47±0.23	3.52±0.24	3.72±0.32	3.89±0.27	4.38±0.62	5.33±0.56
0.4	3.37±0.28	3.43±0.26	3.65±0.32	3.77±0.34	4.28±0.64	5.18±0.72
0.8	3.45±0.14	3.54±0.15	3.81±0.18	4.04±0.24	4.70±0.46	5.74±0.60
1	3.45±0.19	3.53±0.21	3.60±0.59	3.98±0.27	4.47±0.56	5.47±0.32
2	3.48±0.25	3.62±0.25	3.83±0.21	4.04±0.23	4.74±0.17	5.54±0.24
4	3.44±0.14	3.56±0.17	3.80±0.19	4.13±0.35	4.64±0.47	5.66±0.33
8	3.48±0.19	3.60±0.20	3.87±0.19	4.03±0.2	4.54±0.50	5.58±0.61
10	3.43±0.12	3.47±0.16	3.64±0.22	3.82±0.27	4.47±0.67	5.17±0.54
20	3.42±0.12	3.44±0.20	3.62±0.15	3.75±0.14*	4.14±0.33*	4.80±0.47*

The values are mean±S.D. (n=3). *$p<0.05$

Table 3. Variations of shell width (cm) for juvenile abalones reared with different dose radiation in the farm

Dose (Gy)	0 week	4 week	8 week	12 week	26 week	48 week
0	2.29±0.10	2.35±0.09	2.59±0.10	2.75±0.08	3.27±0.13	4.00±0.22
0.2	2.31±0.20	2.35±0.21	2.54±0.26	2.64±0.27	3.04±0.42	3.64±0.41
0.4	2.20±0.17	2.24±0.17	2.40±0.20	2.54±0.27	2.97±0.41	3.53±0.46
0.8	2.46±0.42	2.35±0.11	2.57±0.14	2.73±0.16	3.23±0.29	3.99±0.31
1	2.29±0.12	2.36±0.11	2.58±0.12	2.68±0.16	3.05±0.29	3.76±0.20
2	2.26±0.12	2.35±0.12	2.54±0.14	2.64±0.14	3.20±0.10	3.82±0.11
4	2.22±0.09	2.29±0.13	2.51±0.18	2.68±0.22	3.14±0.29	3.84±0.38
8	2.32±0.11	2.38±0.08	2.58±0.14	2.72±0.15	3.10±0.30	3.80±0.35
10	2.26±0.08	2.31±0.05	2.45±0.07*	2.56±0.12*	3.08±0.38	3.55±0.27*
20	2.23±0.06	2.24±0.08	2.38±0.07*	2.47±0.07*	2.81±0.22*	3.22±0.33*

The values are mean±S.D. (n=3). *$p<0.05$

3. 각폭 (shell width) 성장

전복 치패의 각폭 성장 결과는 Table 3과 같다.

전복 치패의 각폭 크기를 살펴보면, 실험 시작 시각 실험군의 평균 각폭은 2.22±0.09~2.46±0.42 cm로 대조군과는 유의적인 각폭 차이는 없었다($P>0.05$). 사육 4주째도 대조군과 실험군간에 유의적인 성장차이가 없었다($P>0.05$). 사육 8주째에는 처리 구간별 각폭 성장은 대조군과 비교하였을 때 10, 20 Gy를 제외한 모든 실험군은 유의적인 성장차이가 없었다($P>0.05$). 그러나 감마선 조사량이 높은 10, 20 Gy에서는 대조군과 유의적인 성장차이를 나타내었다($P<0.05$). 사육 12주째에서도 감마선 조사량이 높은 10, 20 Gy에서는 대조군과 유의적인 성장 차이를 나타내었다($P<0.05$). 사육 26주째에서는 대조군과 비교하였을 때 10 Gy에서는 유의적인 성장차이가 없었지만($P>0.05$), 20 Gy에서는 12주째와 같이 유의적인 성장차이를 나타내었다($P<0.05$). 실험종료인 48주째에 사육한 결과를 살펴보면 실험 시작 시 대조군인 0 Gy는 2.29±0.10 mm, 0.2 Gy 실험군은 2.31±0.20 mm, 0.4 Gy 실험군은 2.20±0.17 mm, 0.8 Gy 실험군은 2.46±0.42 mm, 1 Gy 실험군은 2.29±0.12 mm, 2 Gy 실험군은 2.26±0.12 mm, 4 Gy 실험군은 2.22±0.09 mm, 8 Gy 실험군은 2.32±0.11 mm, 10 Gy 실험군은 2.26±0.08 mm, 20 Gy 실험군은 2.23±0.06 mm에서 대조군인 0 Gy는 4.00±0.22 mm, 0.2 Gy 실험군은 3.64±0.41 mm, 0.4 Gy 실험군은 3.53±0.46 mm, 0.8 Gy 실험군은 3.99±0.31 mm, 1 Gy 실험군은 3.76±0.20 mm, 2 Gy 실험군은 3.82±0.11 mm, 4 Gy 실험군은 3.84±0.38 mm, 8 Gy 실험군은 3.80±0.35 mm, 10 Gy 실험군은 3.55±0.27 mm, 20 Gy 실험군은 3.22±0.33 mm로 성장 하였다. 각 실험구당 각폭 성장의 차이를 보면 대조군인 0 Gy는 1.71±0.12 mm, 0.2 Gy 실험군은 1.33±0.21 mm, 0.4 Gy 실험군은 1.33±0.29 mm, 0.8 Gy 실험군은 1.11±0.31 mm, 1 Gy 실험군은 1.47±0.08 mm, 2 Gy 실험군은 1.44±0.11 mm, 4 Gy 실험군은 1.62±0.27 mm, 8 Gy 실험군은 1.48±0.24 mm, 10 Gy 실험군은 1.29±0.19 mm, 20 Gy 실험군은 0.99±0.27 mm였다. 실험군 중 감마선 조사량이 높은 10, 20 Gy 실험군에서 성장이 느리게 나타났다($P<0.05$).

4. 중량 (total weight)의 성장

전복 중량의 성장은 Table 4에서 보는 바와 같이 실험 시작 시 실험군의 평균 중량은 4.75±0.43~5.29±0.96 g로 대조군과는 유의적인 중량차이는 없었다($P>0.05$).

Table 4. Variations of total weight (g) for juvenile abalones reared with different dose radiation in the farm

Dose (Gy)	0 week	4 week	8 week	12 week	26 week	48 week
0	4.93±0.75	6.12±0.83	7.41±1.02	8.50±1.06	12.50±2.06	25.82±5.25
0.2	5.19±1.11	6.05±1.30	7.19±1.70	7.58±2.05	10.37±3.72	21.28±6.84
0.4	4.90±0.98	5.80±1.28	7.08±1.41	7.49±1.82	10.27±4.04	19.72±8.15
0.8	4.75±0.43	6.27±0.78	7.53±1.18	8.68±1.59	12.19±3.15	26.09±5.05
1	4.97±0.74	6.05±0.97	7.33±1.28	7.93±1.90	10.60±3.65	20.34±4.91
2	4.90±0.94	6.40±1.21	7.26±1.35	8.07±1.21	11.79±1.41	23.53±3.11
4	4.83±0.79	6.43±1.6	7.28±1.8	8.22±2.2	12.68±4.6	27.29±6.1
8	5.29±0.96	6.46±1.16	7.78±1.62	8.20±1.61	10.83±3.23	24.05±7.06
10	4.98±0.67	5.98±0.98	6.64±1.12	7.20±1.57	10.85±4.97	18.78±4.15
20	4.92±0.52	5.64±0.83	6.18±0.54*	6.54±0.64*	7.97±1.59*	14.73±4.02*

The values are mean±S.D. (n=3). *$p<0.05$

사육 4주째도 대조군과 실험군간에 유의적인 중량차이는 없었다($P>0.05$). 사육 8주째에는 처리 구간별 중량차이는 대조군과 비교하였을 때 20 Gy를 제외한 모든 실험군에서 유의적인 중량차이는 없었다($P>0.05$). 그러나 감마선 조사량이 높은 20 Gy에서는 대조군과 유의적인 중량차이를 나타내었다($P<0.05$). 사육 12주째에서도 감마선 조사량이 높은 20 Gy에서는 대조군과 유의적인 성장 차이를 나타내었다($P<0.05$). 사육 26주째에서도 12주째와 같이 대조군과 비교하여 20 Gy에서 유의적인 성장차이를 나타내었다($P<0.05$). 실험종료인 48주째에 사육한 결과를 살펴보면 실험 시작 시 대조군인 0 Gy는 4.93±0.75 g, 0.2 Gy 실험군은 5.19±1.11 g, 0.4 Gy 실험군은 4.90±0.98 g, 0.8 Gy 실험군은 4.75±0.43 g, 1 Gy 실험군은 4.97±0.74 g, 2 Gy 실험군은 4.90±0.94 g, 4 Gy 실험군은 4.83±0.79 g, 8 Gy 실험군은 5.29±0.96 g, 10 Gy 실험군은 4.98±0.67 g, 20 Gy 실험군은 4.92±0.52 g에서 대조군인 0 Gy는 25.82±5.25 g, 0.2 Gy 실험군은 21.28±6.84 g, 0.4 Gy 실험군은 19.72±8.15 g, 0.8 Gy 실험군은 26.09±5.05 g, 1 Gy 실험군은 20.34±4.91 g, 2 Gy 실험군은 23.53±3.11 g, 4 Gy 실험군은 27.29±6.10 g, 8 Gy 실험군은 24.05±7.06 g, 10 Gy 실험군은 18.78±4.15 g, 20 Gy 실험군은 14.73±4.02 g로 성장하였다. 각 실험군당 중량성장의 차이를 보면 대조군인 0 Gy는 20.14±5.25 g, 0.2 Gy 실험군은 16.09±5.73 g, 0.4 Gy 실험군은 14.82±7.17, 0.8 Gy 실험군은 21.34±4.62 g, 1 Gy 실험군은 15.37±4.17 g, 2 Gy 실험군은 18.63±2.17 g, 4 Gy 실험군은 22.46±5.31 g, 8 Gy 실험군은 18.76±6.10 g, 10 Gy 실험군은 13.80±3.48 g, 20 Gy 실험군은 9.81±3.50 g였다. 실험군 중 감마선 조사량이 높은 20 Gy에서 성장이 늦어지는 것을 확인했다($P<0.05$).

5. 생존율

실험기간 동안 감마선 조사량에 따른 참전복의 생존율에 대한 조사 결과는 Fig. 3와 같다. 사육 후 12주까지는 모든 실험군들에 있어서 생존율이 평균 100%를 보였으나, 26주째에 20 Gy 실험군은 생존율이 97.78% 그리고 48주째에 1 Gy, 4 Gy, 10 Gy 실험군들은 폐사를 하여 생존율이 98.89%, 97.78%, 98.89%로 감소하였다($P>0.05$). 실험 종료시까지 대조군에 비해 1 Gy, 4 Gy, 10 Gy, 20 Gy 실험군들은 생존율이 감소하였으나, 감마선 조사량에 따른 뚜렷한 생존율 차이를 보이지 않았다.

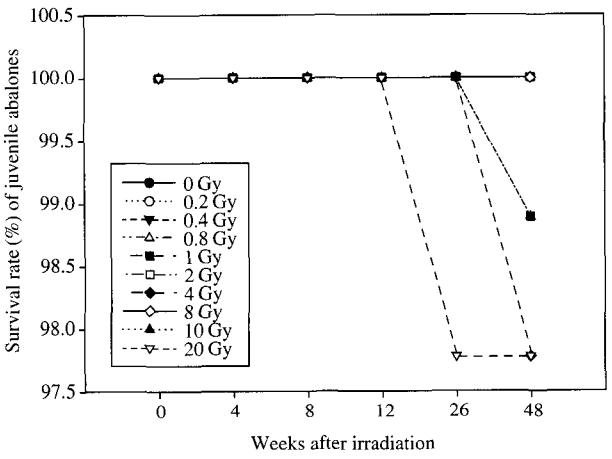

Fig. 3. Survival rates of juvenile abalones after the exposure of gamma radiation in the farm culture.

이상의 결과 방사선 조사량 0~20 Gy 까지는 실험에 사용한 참전복 개체에 생존율에는 크게 영향을 끼치지 않는 것으로 나타났다($P>0.05$).

고 찰

방사선이 참전복의 성장에 미치는 영향을 알아보기 위하여 감마선을 참전복에 조사하여 유수식 육상양식장에 양식을 통해 관찰하였다. 각폭은 2.22±0.09~2.46±

0.42 cm로 대조군과는 유의적인 각폭차이는 없었다($P>0.05$). 사육 4주째도 대조군과 실험군들간에 유의적인 성장차이가 없었다($P>0.05$). 사육 8주째에는 처리 구간별 각폭 성장은 대조군과 비교하였을 때 10, 20 Gy를 제외한 모든 실험군들은 유의적인 성장차이가 없었다($P>0.05$). 그러나 감마선 조사량이 높은 10, 20 Gy 실험군들에서는 대조군과 유의적인 감소 성장차이를 나타냈고($P<0.05$), 중량 변화는 대조군과 비교하였을 때 20 Gy 실험군에서 유의적인 감소하는 차이를 나타냈다($P<0.05$). 감마선 조사에 따른 변화는 각장 변화 이전에 각폭 성장과 중량 변화에 영향을 주었다고 사료된다. 사육 12주째에서도 감마선 조사량이 높은 10, 20 Gy 실험군들에서는 대조군과 유의적인 성장 차이를 나타내었으며($P<0.05$), 각장에 감마선 조사량이 높은 20 Gy에서도 대조군과 유의적인 상장의 차이를 나타냈다($P<0.05$). 26주와 48주 경과 후 감마선 조사량이 높은 20 Gy 실험군에서 대조군과 유의적인 감소 성장차이를 나타냈다($P<0.05$).

이상과 같이 감마선 조사량에 따른 대조군과 실험군들을 비교하였을 때, 조사선량이 높은 실험군인 20 Gy에서 유의적인 차이를 보였다. 이는 감마선 조사량이 높을수록 성장을 억제하는 작용을 한다고 사료된다.

Lee *et al.* (1998)은 저선량의 감마선을 고추 작물의 종자에 조사하여 각 선량별로 나타나는 hormesis 효과를 조사한 결과 대조군에 비해 저선량에 감마선 조사구에서 발아율이 증가되는 것을 관찰하였고, 생육 양상 등에 영향을 미치는 적정선량을 1 Gy에서 20 Gy 사이임을 보고 하였다. Kim *et al.* (2000b)도 종자에 저선량 감마선을 조사하여 자란 옥수수(2000b), 참박(2000a), 배추(Kim *et al.* 1999) 등의 생육이나 수량이 증가하는 것을 관찰하였으며, Koepp and Kramer (1981)은 저선량 감마선이 조사된 옥수수의 발아율이나 생육의 증가는 종자의 종피를 투과한 저선량 방사선이 지베렐린이나 앱시스산 등의 식물 호르몬의 양적평형에 영향을 미쳐 발아율 및 유식물의 생장을 촉진시키고 결국에는 광합성 기구 및 순광합성양 환경 스트레스에 대한 저항성을 증가 시킨다고 보고하였다. 식물 종자 및 생육에 대한 영향을 대한 기보고를 통해 감마선의 직접영향을 분석할 때에는 조사환경 및 조사생물의 서식 환경이 중요하게 영향을 줄 수 있을 것으로 사료되며, 전복에 대한 감마선 영향 평가에 있어서도 여러 환경에 대한 고려가 수반되어야 할 것이다.

사육 기간 중 실험어장의 수온은 13.1~27.4°C의 범위로 3월에 가장 낮았고 8월에 가장 높게 나타났다. 보통 7°C 이하에서는 전복이 먹이를 거의 먹지 않으며 활동성도 낮아진다고 알려져있다(Sakai *et al.* 1962). 또한 수온에 따라 일간섭식률이 차이를 보여 성장에 영향을 주게 되는데, 참전복의 경우 성장 적수온은 20°C 전후로 보고하였다(Sakai *et al.* 1962; Kim *et al.* 2005). 또한 전복의 전중량의 변화는 온도 · 염분의 변화에 밀접한 관계를 가진다(Kim *et al.* 2004; Kim *et al.* 2005). 본 실험에서는 온도와 염분의 변화가 실험군들과 동일한 환경에서 사육을 하였으나, 전중량에 변화가 있었다는 것은 방사선 선량이 높아질수록 전복의 생리적인 스트레스 요인으로 작용하였음을 보여주고 있다.

사육 후 12주째까지는 감마선 조사량에 따른 생존율이 대조군과 실험군들에서 100%를 보였다. 26주째에서 20 Gy 실험군은 생존율이 평균 97.78%을 보였으며($P>0.05$), 48주째에서도 1 Gy, 10 Gy 실험군들은 98.89%를 보였으며 4 Gy 실험군은 97.78%을 보였다($P>0.05$). 감마선 조사량에 따른 실험군들과 대조군을 비교 하였을 때, 뚜렷한 생존율에 차이를 보이지 않았다. 전복은 수온이 상승하는 8월경부터 11월 중에 섭이부진으로 인한 활력저하 때문에 사망률이 높아진다는 보고가 있다(Yoon *et al.* 2004). 폐사 원인은 고수온기로 인한 섭이부진으로 생각되어지며, 대조군과 실험군들 사이에 유의적인 차이가 나타나지 않는 것을 보면 0에서 20 Gy 조사량이 생존율에 영향을 미치지 않는 것으로 사료된다.

본 실험 결과, 전복의 감마선 조사선량에 따른 생존율과 각장, 각폭, 중량에 변화를 확인했다. 조사선량의 높은 20 Gy 실험군에서는 대조군에 비해 각장에서는 12주 후, 각폭에서는 8주 후 그리고 중량에서는 8주 후에 유의적인 감소 차이를 확인하였다. 따라서 전복에 대한 hormesis 효과는 20 Gy 미만의 선량에서 발생할 수 있을 것이라 기대된다. 그러나 감마선 조사에 대한 정확한 영향을 파악하기 위한 면역계의 변화 확인과 정확한 조사영역 결정을 위한 추가적인 연구가 이루어져야 할 것이다.

적 요

특정 선량에서 감마선은 조직의 성장을 자극하거나 호르메틱 효과를 나타낸다. 참전복에 다른 양의 감마선을 조사한 후 성장과 생존율에 미치는 효과를 2004년 2월부터 2005년 1월까지 관찰하였다. 각장의 성장은 평균 3.45±0.4 cm 참전복에게 0~20 Gy 방사선을 조사한 후 48주 동안 관찰하였다. 가장 높은 성장은 4 Gy 조사군에서 관찰되었고, 20 Gy 조사군에서 가장 낮은 성장이 관찰되었다. 방사선 조사에 따른 전복내의 생화학적 기전의 변화에 대한 연구가 추가적으로 시행되어야 할 것이

다. 방사선을 이용한 전복의 성장과 물질대사의 지속적인 연구는 양식 산업에 이익 창출에 이바지 할 수 있을 것으로 사료된다.

사 사

이 논문은 2006년도 누리(NURI)사업과 제주대학교 학술연구지원사업에 의하여 지원 되었으며, 연구비를 지원하여 주신데 대하여 깊이 감사드립니다.

참 고 문 헌

김재성, 김진규, 이은경, 이영복. 1997. 전리방사선에 의한 배추와 무의 생육촉진 효과. 한국환경농학회지. 16:390-393.

김재성, 백명화, 김동희, 이영근, 이영복. 2001. 저선량 방사선이 고추의 초기생유과 후속고선량 내성에 미치는 영향. 환경생물. 19:71-77.

김재성, 이영근, 박홍숙, 백명화, 정규희. 2000. 저선량 방사선이 참박의 초기생육과 생리활성에 미치는 효과. 한국환경농학회지. 19:328-331.

김재성, 이영근, 백명화, 이영복, 박영선. 1999. 묵은 배추종자의 발아와 생육에 미치는 저선량 γ선 효과. 환경생물. 17:11-15.

서대철, 최상덕, 라성주, 양한푼, 서해립. 1999. 참전복, *Haliotis discus hannai* 유생발생 및 채묘에 미치는 아연독성. 한국양식학회지. 12:229-236.

윤호섭, 라성주, 차용백, 조주현, 김기영, 최상덕. 2004. 해상가두리에서 참전복(*Haliotis discus hannai*)의 사육밀도에 따른 성장과 생존율. 한국수산학회지. 37:287-294.

이해연, 김재성, 백명화, 이영근, 임돈순. 2002. 저선량 γ선 조사가 참박의 초기 성장과 효소활성 및 광합성 등에 미치는 영향. 환경생물. 20:197-204.

정형택, 김영식, 최상덕. 2004. 소음진동에 따른 참전복(*Haliotis discus hannai*)의 전중량 및 먹이섭식량 변화. 한국환경과화학회지. 13:581-589.

최상덕, 김 정. 1999. 남해안 참전복(*Haliotis discus hannai*) 치패의 근육위축증 원인인 스쿠티가섬모충에 대한 Chitosan의 구충효과. 여수대학교 논문집. 13:997-1008.

최상덕, 김호진, 서해립, 서로영, 양문호, 황성일. 1998. 양식산 참전복(*Haliotis discus hannai*)에 대한 리도카인 및 MS-222의 박리효과. 한국어병학회지. 11:35-41.

최상덕, 윤장택, 조용철. 1998. 남조류, *Mastigocoleus* sp.에 의한 한국산 참전복(*Haliotis discus hannai*)의 패각 괴사증, 한국양식학회지. 11:365-474.

최상덕, 이원교. 1998. 참전복(*Haliotis discus hannai*) 치패의 근육위축증 원인인 스쿠티가섬모충에 대한 Chitosan의 구충효과. 여수대학교 논문집. 13:997-1008.

최상덕, 정성채, 김호진, 공요근, 백재민, 최규정. 1997. 온도구간별 파라아미노안식향산에틸과 담수에 의한 참전복(*Haliotis discus hannai*) 치패의 박리 및 마취회복에 관한 연구. 한국양식학회지. 10:281-228.

Kim JS, MH Baek, YK Lee and SG Yang. 2003. Effects of low dose gamma radiation and seed moisture content on germination and early growth of vegetable crops. Kor. J. Environ Agric. 22:215-219.

Kim JS, EK Lee, MH Back, DH Kim and YB Lee. 2000. Influence of low dose γ radiation on the physiology of germinative seed of vegetable crops. Kor. J. Environ. Agric. 19:58-61.

Kim JS, YK Lee, MW Back, YB Lee and YS Park. 1999. Influence of the low dose γ-ray radiation on the old seed germination and growth of chinese cabbage. Kor. J. Environ. Biol. 17:11-15.

Kim JS, YK Lee, HS Park, MH Back and KH Chung. 2000. Effects of low dose gamma radiation on the early growth and physiological activity of gourd (*Lagenaria leucantha* L.). Kor. J. Environ. Agri. 19:142-146.

Kim TH, KJ Kim, MG Choe and IK Yeo. 2006. Physiological changes of juvenile abalone, *Haliotis sieboldii* exposed to acute water-temperature stress. Kor. J. Aquacult. 19:77-83.

Kim TH, MH Yang, MG Choe, SJ Han and IK Yeo. 2005. Physiological studies on acute water-temperature stress of abalone (*Haliotis discus hannai*). Kor. J. Aquacult. 18:7-12.

Koepp R and M Kramer. 1981. Photosynthetic activity and distribution of photoassimilated ^{14}C in seedlings of Zea-mays grown from gama-irradiated seeds. Photosynthetica. 15:484-493.

Lee EK, JS Kim, YK Lee and YB Lee. 1998. Effect of low dose γ-ray irradiation on the germination and growth in red pepper (*Capsicum annuum* L.) J. Kor. Soc. Hort. Sci. 39: 670-675.

Luckey TD. 1980. Hormesis with ionizing radiation. CRC press. Inc. Boca Raton. FL.

Miller MW and WM Miller. 1987. Radiation hormesis in plants. Health physics. 52:607.

Sakai S. 1962. Ecological studies on the abalone, *Haliotis discus hannai* Ino-I. Experimental studies on the food habit. Bull. Jap. Soc. Sci. Fish. 28:766-779.

Thiede ME, O Link, RJ Fellow and PA Beedlow. 1995. Effects of gamma radiation on stem diameter growth, carbon gain and biomass partition in Helianthus annuus. Environ. Exp. Bot. 35:33-41.

Woo HJ, JH Kim, JK Kim, HJ Kim and KB Park. 2006. Effect of gamma irradiation and cichorium products on oxidative damage and lipid metabolism in streptozotocin-induced

diabetic rats. Kor. J. Environ. Biol. 24:102-111.

Yoon YM, HI Cho, SH Chang, NB Kim, JS Kim and JG Kim. 2000. Effect of low dose gamma radiation on the root growth of soybean cultivars. Kor. J. Environ. Agric. 19: 394-400.

Manuscript Received: February 15, 2007
Revision Accepted: March 23, 2007
Responsible Editor: Jin Kyu Kim