

저선량 ^{60}Co 감마선 조사 후 생산된 둥근전복(*Haliotis discus discus*)치패의 초기성장 변화에 관한 연구

좌민석 · 여인규*

제주대학교 해양생명과학과

Early Growth Changes in Juvenile Abalone *Haliotis discus discus* Produced by Irradiation with Low-dose ^{60}Co Gamma Rays

Min Seok Jwa and In-Kyu Yeo*

Department of Marine life Science, Jeju National University, Jeju 690-756, Korea

We observed that the growth and physiological change in *Haliotis discus discus* by low-dose irradiation with gamma ray. Irradiation with gamma ray was undertaken by using the low-level irradiation facility (^{60}Co) in cooperation with the Institute of Nuclear Science and Technology at Jeju National University. The parent abalones were attached one by one and then fixed by using the rubber band to the front side of the fabricated case for irradiation with gamma ray. The experimental plots of irradiation with gamma ray were set as 10, 15, 20 and 25 Gy and the 25 female abalones and 10 male abalones were utilized for each experimental plot. The sperms and eggs were fertilized by setting an interval for each dose to prevent mixing with other experimental plots when fertilizing the sperms and eggs for each dose of irradiation with gamma ray. As for the fertility, it was confirmed to be 85% the control and 10 Gy groups, whereas it was found to be 80%, 65% and 50% in the 15 Gy, 20 Gy and 25 Gy groups, respectively. As a conclusion, the hatching rate and attachment rate were higher at 10 and 15 Gy than the other experimental plots, and the growth rate was higher at 20 Gy than the other experimental plots. Also the changes in lysozyme activity in accordance with the stress of water temperature were found to have a significant increase in the other experimental plots as compared with the control plot at the end of 0 h. The changes in lysozyme activity have remained constant in all the experimental plots at the end of 12 h. These results allowed us to confirm that lysozyme was undertaking the biodefense action by reacting sensitively to the stress of water temperature in the control experimental plot. As for the other experimental plots, they are believed to avoid the biodefense mechanism due to the high degree of anti-parasite mechanism and anti-viral mechanism. Thus, it is believed that it would be imperative to conduct development and research on breeds that were potent for environmental tolerance by applying the method of irradiation with gamma ray to other marine animals and plants.

Key words : Abalone, Physiological changes, ^{60}Co gamma ray, Growth, Lysozyme activity

서 론

체르노빌 방사능 누출사고와 일본의 후쿠시마 원전사고 등 최근 큰 방사능 유출 사건이 일어났다. 이러한 이유로 원자력 발전소를 세우거나 방사능을 이용한 기술은 국민들에게 인식이 좋지 않다. 하지만 방사선 기술은 많은 산업분야에서 활발히 이용

하고 있고 안전성도 입증되고 있다. 저선량 방사선 처리 기술개발은 생물자원의 생산성 향상, 식량 공급의 안정화, 식물의 환경재해 저항성 증가 등 생물활성의 긍정적 효과를 유도할 수 있는 hormesis 연구범으로 접근하고 있다(Lee et al., 2002). Luckey (1980), Miller and Miller (1987)에 의하면 방사선의 한 종류인 감마선에 의한 hormesis 영향으로는 발아와 출아 및 성장과 발

<http://dx.doi.org/10.5657/KFAS.2015.0193>



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Korean J Fish Aquat Sci 48(2) 193-199, April 2015

Received 17 October 2014; Revised 19 December 2014; Accepted 25 March 2015

*Corresponding author: Tel: +82. 64.754. 3474 Fax: +82. 64. 756. 3493

E-mail address: ikyeo99@jejunu.ac.kr

육 축진, 수량 구성요소가 증가된 것으로 보고 하고 있다. 특히, 식물인 배추, 고추, 참박의 경우 적정선량은 다르지만 초기생육과 수량이 증가 되었다고 보고되었다(Kim et al., 2000a; Lee et al., 1998). 또한, Kim et al. (2007)에 의하면 해양동물인 참전복(*Haliotis discus hannai*)의 경우에도 30 Gy 이하의 선량에서 hormesis를 가지는 것으로 보고하고 있다. 하지만 hormesis의 생물활성 매커니즘은 아직까지 확실히 정립되지 않았지만 몇 가지 가능성은 제시되고 있다. 저선량의 방사선에 의해 DNA 복구 과정에 관련이 있는 단백질이 생성되거나 DNA 합성과정 이 일시적으로 저해를 받아 조사된 세포가 회복될 수 있는 충분한 시간이 제공되고 동시에 자유 라디칼 소거종 등이 형성되어 저항성이 증가되는 것으로 알려져 있다(Ikushima et al., 1996). 그러나 이러한 이론들은 육상동물 및 식물의 실험 결과를 토대로 정립된 것이며 해양동물인 전복의 경우에는 연구 결과가 거의 없는 실정이다. 하지만 전복류는 산업적으로 가치가 높은 종이기 때문에 오래전부터 많은 연구가 이루어져 왔다. 최근 지구 온난화에 따른 기후변화로 양식생물에게 스트레스로 작용하여 성장, 번식, 대사 및 삼투압조절 등 생리적 변화를 일으켜, 결국에는 질병 및 폐사 등의 문제점을 유발한다. 특히 2006년 하절기에는 제주 서북부연안에 중국으로부터의 저 염분 해수가 유입되어 염분이 20 psu 이하로 낮아지는 현상이 발생하였고, 이러한 현상으로 인해 전복의 대량 폐사가 발생하여 60억원에 이르는 경제적 손실을 입혔으며, 2006년과 2007년 집중폭우로 인한 담수 유입으로 거제와 여수해역에서 양식중인 전복이 대량 폐사하는 등 저염분 영향에 따른 피해가 속출하였다(Pang and Hyun, 1998; Moon and Pang, 2003). 일반적으로 전복류는 성장 기간이 길고 그 기간 동안 환경 변화에 의한 성장 변수가 많은 특성을 가지고 있어 안정적인 생산을 위해서는 성장과 생존에 영향을 미치는 요인들에 대한 이해가 필요한 것으로 알려져 있다(Day and Fleming, 1992; Huchette et al., 2003). 전복의 생리·생태적 변화에 관한 연구로는 참전복(*H. discus hannai*)의 유생발생 및 채묘에 미치는 아연독성(Seo et al., 1999), 남조류(*Mastigocoleus* sp.)에 의한 한국산 참전복의 패각괴사증(Choi et al., 1998), 수온 스트레스에 의한 생리적 변화(Kim et al., 2005) 등이 연구되었으며, 제주도 까막전복(*H. discus discus*) 및 시볼트전복(*H. sieboldi*)의 수온 및 염분의 변화에 의한 생리학적 변화(Jwa et al., 2009; Kim et al., 2006)등의 연구가 이루어지고 있는 실정이다. 양식품종인 전복의 새로운 품종 개발을 위한 연구로서는 성장관련 형질에 대한 유전모수의 추정 등에 관한 연구는 이루어지고 있으나(Choe et al., 2009), 적극적인 품종 개량에 대한 연구는 거의 전무한 상태이다. 품종개량에 관한 방법으로는 선발육종, 교잡육종, 방사선 육종과 같은 방법이 널리 사용되고 있지만 방사선을 이용한 hormesis에 대한 연구는 육상 생물에서 많은 연구가 이루어졌을 뿐, 해양생물에 대한 연구 및 품종개량은 이루어 지지 않은 상태이다. 이에 본 연구에서는 양식품종인 등근전복(*H. discus discus*)을 이용하여 방사

선 hormesis 반응을 유도하여 양식산업에 고부가 가치를 창출할 수 있는 성장률이 빠른 전복을 개발하기 위해 감마선을 조사 후 치패의 부착률, 성장률 및 수온 스트레스에 의한 면역활성 변화 등 감마선에 대한 기초생리학적 변화를 조사하였다.

재료 및 방법

실험재료 및 사육관리

감마선 조사에 의한 생리학적 변화에 관한 실험에 사용된 전복은 제주도 소재의 개인 양식장에서 구입하여 사용하였으며 등근전복의 경우 평균 각장 8.86 ± 0.06 cm, 각폭 6.01 ± 0.11 cm, 전중량 103.07 ± 2.26 g의 개체를 사용하였다. 실험 전복은 감마선 조사 전 1주 동안 수온 23 ± 0.3 °C, 염분 32 ± 0.2 psu의 수조에서 순치시켰으며 순치기간 중 먹이의 급이는 중단하였다.

감마선 조사용 케이스 제작

전복은 해양 무척추동물로서 이동성을 지니고 부착생활을 하며 장시간 공기 중에 노출시 폐사하기 때문에, 감마선 조사시 전복의 이동성을 제한하고 전복의 부착 및 탈착 시 스트레스를 최대한 줄이기 위한 전복의 감마선 돌연변이 유발용 케이스를 자체 제작하여 사용하였다. 케이스의 규격은 가로 10 cm, 세로 10 cm, 높이 5 cm의 속이 빈 아크릴 상자로 전복의 부착 및 탈착을 쉽게 하기 위하여 앞면부를 이탈식으로 제작하였다. 이를 위하여 아크릴 박스 양 옆에 홈을 만들어서 앞면판의 이탈을 용이하게 하였다(Fig. 1).

감마선 조사

감마선 조사는 제주대학교 원자력과학기술연구소의 협조를 받아 저준위 조사시설(^{60}Co)을 이용하여 실시하였다. 감마선 조사를 위하여 제작된 케이스의 앞면부에 전복의 모패가 부착될 수 있도록 하여 한 마리씩 부착시킨 후 전복의 이동을 제한하기 위하여 고무줄을 이용하여 고정 시켰다. 감마선 조사 실험구

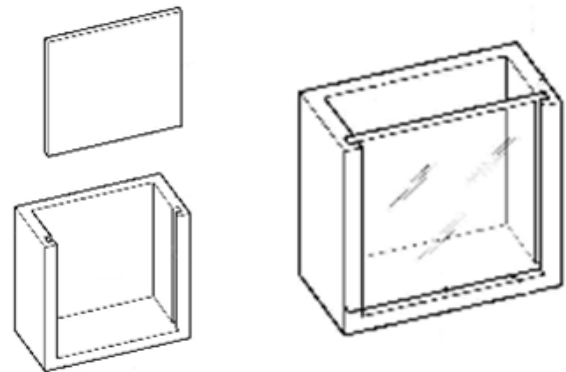


Fig. 1. Case for irradiation with gamma ray.

는 10, 15, 20 및 25 Gy로 설정하여 조사하였으며, 각 실험구별 암컷 25마리, 수컷 10마리의 전복을 사용하였고 대조구도 암컷 25마리, 수컷 10마리의 전복을 사용하였다. 조사선량은 fricke dosimeter를 이용하여 측정하였고 조사시간은 10 Gy는 18분, 15 Gy는 27분, 20 Gy는 36분, 25 Gy는 45분을 조사하였다. 대조구는 감마선조사 실험구에 비하여 일반적인 스트레스를 제공하기 위하여 17.5℃인 공기 중에 감마선 조사 실험구별 총 합계 시간인 126시간 동안 노출시켜 환경적 스트레스를 제공하였다.

감마선 조사 후 전복의 종자생산

감마선을 조사한 전복의 모패와 대조구 모패를 일주일간 수온 23±0.3℃에서 1주일간 순치 사육하였으나 폐사하는 개체는 발생하지 않아 인공채란을 실시하였다. 인공채란 방법으로는 기온30℃에서 1시간 동안 간출 자극 후 자외선조사해수 자극을 실시하여 모패의 인공산란을 유도하였다. 감마선 조사 선량별 정자와 난자를 수정 시킬 때에는 타 실험구와의 혼합을 방지하기 위하여 선량별로 구간을 설정하여 수정시켰으며, 수정된 수정란은 100 μm 물러가제를 사용하여 회수하고 선량별 수정란 개체 수를 확인하였다.

수정률 및 부화율 측정

수정률은 선량별로 회수된 수정란 약 20만 개체를 50 mL 유리비커에 옮겨 1 mL를 3반복 계수하여 전체 수정률을 구하였으며 부화율은 선량별로 수정란을 20 L 원형 플라스틱 용기에 수용한 후 부화한 유생과 부화하지 않은 유생을 각각 수거하여 1 L 유리비커에 옮겨 1mL를 3반복 계수하여 전체 부화율을 측정하였다.

유생관리

전복의 수정란은 4 ton FRP (fiber reinforced plastics) (가로 1 m×세로 6 m×높이 70 cm) 15개 수조에 각 실험구 별로 3개의 수조에 수정란을 수용하였으며, 사육해수의 수온은 20±0.6℃이었다. 유각이 완전히 형성된 후 에어공급 및 유수식 시스템으로 유생을 사육하였으며, 채묘는 유생을 회수하여 미리 규조류가 배양된 파판에 실시하였다.

부착물 및 성장률의 변화

선량별로 채묘한 파판(가로 30 cm×세로 30 cm)에서 각각 3개의 파판을 무작위로 선택하여 파판에 부착한 전복을 카운팅하여 부착물을 측정하였으며 전복의 성장율은 부화 후 육안으로 확실히 식별이 가능한 90일 후부터 버니아캘리퍼스를 이용하여 각 실험구별 수조 파판에 부착하여 있는 전복 치패를 30마리를 무작위 선택하여 크기를 측정하였다.

수온 스트레스에 의한 치패의 면역활성 변화

감마선 조사 선량 25 Gy를 조사한 실험구에서 생산된 치패는 양성하는 과정에서 여름철 고수온기에 대량으로 폐사하여

25 Gy를 제외한 나머지 실험구에서 면역활성 변화를 측정하였다. 면역활성 변화는 선량별로 생산된 치패 중 크기가 비슷한 치패를 각각 30마리씩 무작위로 선별하였고 치패의 평균 각장은 1.98±0.08 cm, 평균 각폭 1.02±0.05 cm, 전중량 0.79±0.03 g인 개체를 사용하였으며, 면역활성의 증가 여부를 판단하기 위하여 본 연구진에서는 사전 연구된 30℃에서 12 h 쯤 100%의 폐사를 일으켰던 폐사 수온인 30℃를 이용하여 급격한 수온 변화 0 및 12 h 쯤 각각 5마리의 전복을 채집하여 lysozyme의 활성 변화를 평가하였다. 전복의 심장 옆 혈관으로부터 바늘구멍 26 GX 1/2인 1 mL 주사기를 이용하여 혈액을 채취한 후 0.9% 생리식염수로 10배 희석하였다. 혈청 내 lysozyme 활성은 turbidimetric assay로 다음과 같은 방법에 따라 분석하였다. *Micrococcus lysodeikticus* (0.1 mg/mL PBS, pH 6.8) 현탁액 90 μL와 혈청 100 μL를 96 well plate에 혼합하여 25℃ 배양기에서 5분 동안 반응 시킨 후 530 nm에서 흡광도를 측정하였다. Lysozyme 활성은 흡광도 값이 0.001/mL 감소한 값을 1 unit으로 표시하였다.

통계처리

모든 시험은 3회 반복으로 실시하였고, 각 실험에서 얻어진 자료에 대한 값의 유의차 유무는, P값이 0.05보다 작은 경우를 유의 하다고 판정하였다. 반복 실험의 SPSS 통계 패키지에 의한 ANOVA Student's t-test로 분석하여 결과는 평균±표준오차로 나타내었다.

결 과

모패 생존률 및 수정란의 수정률

감마선 조사에 의한 모패는 순치기간 및 채란시기까지 20 Gy 및 25 Gy 실험구에서 다소 활동성이 떨어지는 모습이 관찰되었으나 모든 실험구에서 100%의 생존률을 나타내었고 채란시기에는 선량별로 종묘생산을 추진하여 산란한 난을 각각 분리하여 수정시켰다.

각 실험구별로 산란한 난의 수를 1 mL 피펫을 이용하여 광학현미경(Nikon PROFILE PROJECTOR V-12B)으로 측정된 결과는 Fig. 2 와 같다. Control 실험구에서는 7,000,000±120,000 개체, 10 Gy 실험구에서는 5,700,000±150,000개체, 15 Gy 실험구에서는 5,500,000±110,000 개체, 20 Gy 실험구에서는 4,400,000±100,000 개체, 25 Gy 실험구에서는 2,100,000±80,000 개체가 확인되었다.

그 중 정확한 결과를 도출하기 위해 각 실험구마다 약 20만 개체를 수거하여 수정된 것과 수정되지 않은 것을 계수하여 방사선 조사에 따른 수정란과, 수정률을 각각 조사한 결과 control 실험구에서는 170,000±110개체, 10 Gy 실험구에서는 170,000±150개체, 15 Gy 실험구에서는 160,000±130개체, 20 Gy 실험구에서는 120,000±130개체, 25 Gy에서는

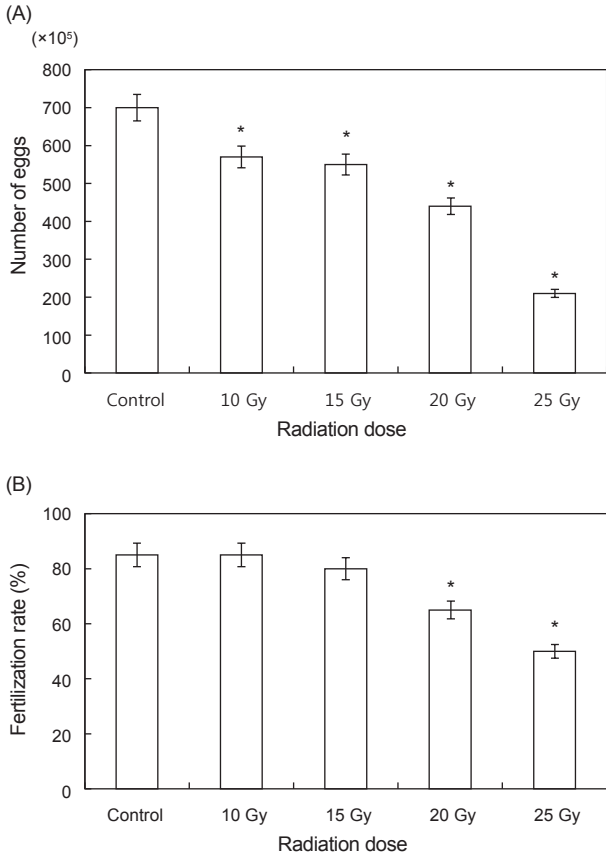


Fig. 2. Number of eggs (A) and fertility (B) for each gamma ray dose. * $P < 0.05$ for control.

100,000 ± 100개체의 수정란이 확인되었다. 수정률은control과 10 Gy에서 85%, 15 Gy에서는 80%, 20 Gy에서는 65%, 25 Gy에서는 50%의 수정률이 확인되었다. 평균 수온 20℃에서 수정부터 부화까지는 11 ± 1시간, 유각 형성까지는 약 23 ± 1시간, 채묘 단계까지는 70 ± 1시간이 소요되었으며 각 실험구별로 유의적인 차이는 없었다($P < 0.05$).

부화율 및 부착률 측정

부화율 및 부착률을 측정하기 위하여 각 실험구 별로 세팅된 수조에 수정란을 수용, 사육하며 측정한 결과는 Fig. 3과 같다. 부화율의 경우 대조구, 10 및 15 Gy의 실험구에서는 50 ± 5%의 부화율을 나타내었으나, 20 및 25 Gy 선량의 실험구에서는 30 ± 5%의 부화율을 나타내었다. 부착률의 경우에는 대조구, 10 및 15 Gy의 실험구에서는 60 ± 5%의 부착률을 나타내었으며, 20 및 25 Gy 선량의 실험구에서는 40 ± 5%의 부착률을 나타내었다. 20 및 25 Gy 선량의 실험구에서 수정란의 수와 수정률, 부화율 및 부착률이 낮아 치패의 수가 타 실험구에 비해 적었다($P < 0.05$).

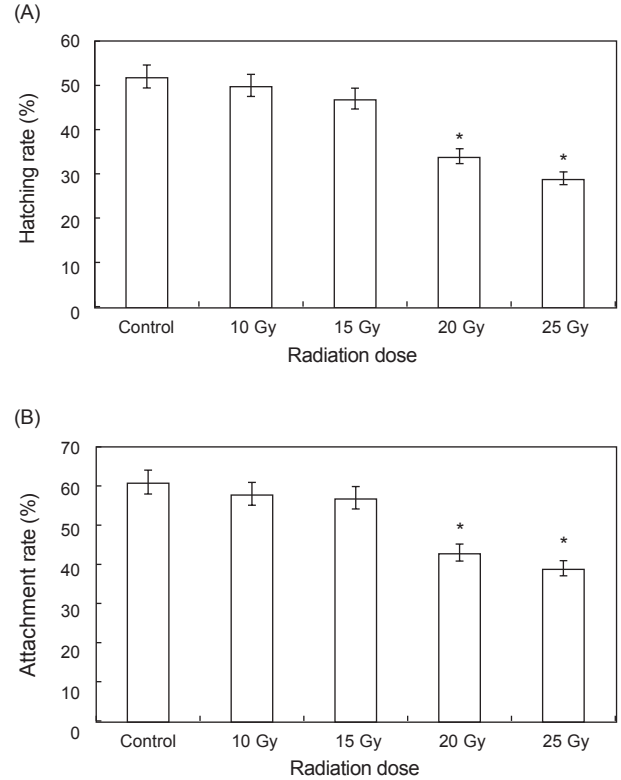


Fig. 3. Hatching rate (A) and attachment rate (B) for each gamma ray dose. * $P < 0.05$ for control.

치패의 성장 측정

수정란이 부화한 후 유생관리를 통해 미리 구조류를 배양한 파판에 채묘하여 육안으로 확실히 식별이 가능한 90일 후 실험구별 수조 파판에 부착하여 있는 전복 치패 30마리씩 무작위로 선택하여 측정된 크기의 결과는 Fig. 4와 같다. 파판은 총 65장으로 파판 1장당 10마리가 부착하여 평균 650 ± 70개체가 부착하였다. 양식장의 사육수온은 평균 25.6℃, 염분은 평균 32.6

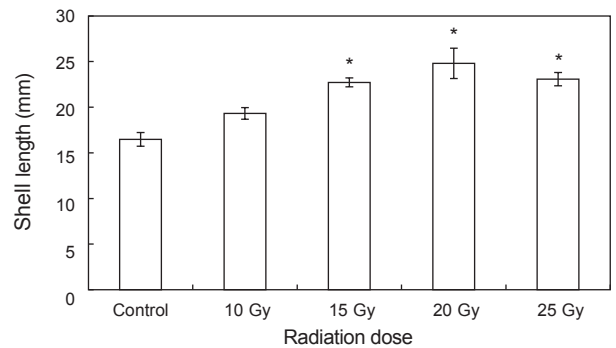


Fig. 4. Changes of growth in juvenile abalone *Haliotis discus discus* for each gamma ray dose. * $P < 0.05$ for control.

psu 이었으며, 광주기는 일반 자연조건의 광주기로 10L:14D 이었다. 대조구의 경우 17.1 ± 0.6 mm 성장하였고 10 Gy의 실험구의 경우 19.9 ± 0.3 mm 성장하였고 15 Gy의 경우 23.2 ± 0.8 mm 성장하였고 20 Gy의 경우 25.7 ± 0.4 mm 성장하였으며 25 Gy의 경우 22.9 ± 0.4 mm 성장하였다 ($P < 0.05$).

수온 스트레스에 의한 면역활성의 변화

감마선 조사를 한 후 높은 성장률을 가져오는 원인을 규명하기 위하여 고수온인 30°C 조건하에서 환경 내성을 조사하였다. 환경내성 인자로서 면역기능의 판단 지표로 사용되는 Lysozyme 활성 변화는 Fig. 5에 나타내었다. 0 h에 control에 비하여 다른 실험구에서 유의적인 증가를 나타내었고, 12 h에는 control에 비하여 10, 20 Gy 실험구에서는 유의적인 증가를 나타내었고 15 Gy 실험구에서는 유의적인 차이가 나타나지 않았다 ($P < 0.05$). 또한 면역활성에 따른 12 h째 생존률의 결과는 Fig. 6에 나타내었다. control 실험구에서는 $12 \pm 5.0\%$, 10 Gy 실험구에서는 $16 \pm 5.0\%$, 15 Gy 실험구에서는 $17 \pm 4.5\%$, 20 Gy 실험구에서는 $64 \pm 5.0\%$ 의 생존률을 나타내었으나 24 h 째에는

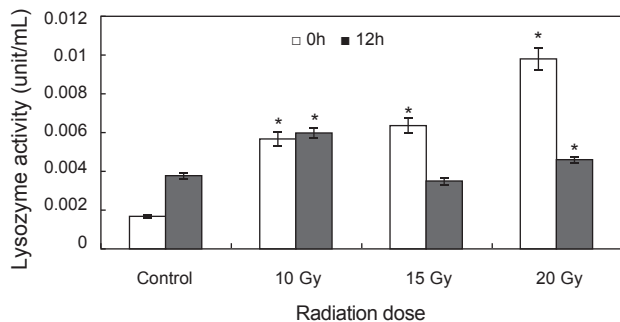


Fig. 5. Effect of high water-temperature stress on lysozyme activity in abalone *Haliotis discus discus* reared with different dose radiation. * $P < 0.05$ for control.

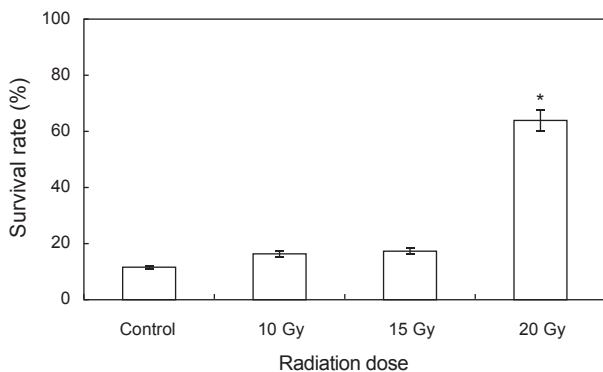


Fig. 6. Survival of abalone *Haliotis discus discus* reared with different dose radiation at 12 h after exposure to high-water temperature stress. * $P < 0.05$ for control.

모든 실험구에서 100% 폐사하였다 ($P < 0.05$).

고 찰

돌연변이 유도를 통한 육종연구는 농업을 중심으로 많은 연구가 되어져 왔으며 그 효과 및 경제적 가치가 매우 높은 것으로 평가되고 있다 (Kim et al., 2012; Kim et al., 2013). 본 연구에서는 저선량 감마선을 둥근전복 모패에 조사하여 육종학적 가치에 대한 평가를 위하여 방사선 조사에 의해 생산된 차세대 둥근전복 치패의 생리적인 변화와 사육을 통하여 성장을 관찰하였다. 일반적으로 생물체에 감마선 조사를 실시할 경우, 세포내 물분자의 수산화기 과다생산에 의한 세포의 산화적 스트레스 발생이 유발되는 것으로 보고하고 있다 (Dubner et al., 1995). 본 연구 결과에서는, 감마선 조사 후 고농도의 감마선 조사 구간인 20 Gy 및 25 Gy 실험구에서는 모패의 폐사는 일어나지 않았으나 활동성이 저하되는 현상이 나타났다. 따라서 본 연구에서 설정한 감마선의 선량은 모패에 대한 스트레스 유발은 일부 나타날 수 있으나 번식에는 영향을 미치지 않아 돌연변이 유도에 적합한 선량으로 판단된다.

감마선 조사된 모패로부터 생산된 수정란의 부화율과 부착률은 대조구, 10 및 15 Gy의 실험구에서는 부화율 $50 \pm 5\%$, 부착률 $60 \pm 5\%$ 를 나타내었으며, 20 및 25 Gy 선량의 실험구에서는 부화율 $30 \pm 5\%$, 부착률 $40 \pm 5\%$ 를 나타내었다. 20 및 25 Gy 선량의 실험구에서는 수정란의 수와 수정률, 부화율 및 부착률이 낮아 치패의 수가 타 실험구에 비해 적어지는 결과를 나타내었다. Kim et al. (1996) 따르면 감마선 조사는 어린 개체일 수록 DNA 및 RNA 손상을 강하게 유발시켜 생리적 장애를 유발하는 것으로 보고하고 있다. 본 연구결과에서 나타난 고선량에서의 부화율과 부착률의 감소 또한 모패의 체내에 존재한 난자에 대한 유전자 손상 유발에 의해 농도 의존적으로 나타난 결과로 추정된다.

한편, Lee et al. (1998)은 저선량의 감마선을 고추 작물의 종자에 조사하여 각 선량별로 나타나는 hormesis 효과를 조사한 결과 대조구에 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, 2000a, 1999a)도 종자에 저선량 감마선을 조사하여 자란 옥수수, 참박, 배추등의 생육이나 수량이 증가하는 것을 관찰하였으며, Koepf and Kramer (1981)는 저선량 감마선이 조사된 옥수수 수의 발아율이나 생육의 증가는 종자의 종피를 투과한 저선량 감마선이 지베렐린이나 앱시스산 등의 식물 호르몬의 양적평형에 영향을 미쳐 발아율 및 유식물의 성장을 촉진시키고 결국에는 광합성 기구 및 순 광합성량 환경 스트레스에 대한 저항성을 증가 시킨다고 보고하였다. 본 연구진에서 연구된 참전복의 성장에 대한 감마선의 영향에 대한 hormesis 효과도 30 Gy 미만의 선량에서 발생하는 것으로 보고 하였다 (Kim et al., 2007). 또한 본 연구에서도 둥근전복에 저선량 감마선 조사시 비록 부

화율과 부착률은 낮게 나타났지만 성장에서는 유의적으로 높게 나타났으며 이는 육상식물과 유사하게 감마선 조사가 호르몬계의 성장 및 생육과 관련된 인자에 영향을 미치기 때문이라 여겨진다. Kim et al. (2011)에 의하면 참돔과 감성돔의 교잡에 의해 생산된 F1을 이용하여 성장속도 및 수온변화와 저염분 환경에서의 내성을 측정된 결과 성장이 빠른 개체들은 환경변화에 대한 내성이 강하다고 보고하였다. 무척추 동물의 경우 면역활성의 지표로 lysozyme이 자주 사용되어 지고 있으며(Wang et al., 2012), 살균 및 항 염증성 성질을 지니고 있어 옹소닌 및 항기생충 작용, 항 바이러스 작용 및 오염물질의 작용 등에 관여함으로서 생체의 방어기작에 다양한 역할을 담당하는 것으로 알려져 있다(Mohandas, 1985). 이번 실험에서 고수온 스트레스에 대한 lysozyme 활성 변화는 0 h에 control에 비하여 감마선 조사 실험구에서 높게 나타났으며, 특히 20 Gy 실험구에서 유의적으로 높게 나타났다. 12 h에는 15 Gy 실험구를 제외한 10 Gy 실험구, 20 Gy 실험구에서 control에 비해 유의적으로 높게 나타났다. 이러한 결과를 보았을 때 고수온 스트레스에 의해 감마선을 조사하지 않은 control 실험구에서는 lysozyme 활성이 낮은 반면, 감마선을 조사한 개체에서는 control 실험구에 비해 lysozyme 활성이 높게 나타나 외부의 스트레스에 대한 생체내 방어체계가 작동하여 유해한 활성산소를 제거 함으로서 보다 높은 생존률과 빠른 성장률을 나타낸 것으로 여겨진다.

한편 Jwa et al. (2009)에서는 저염분 자극에 의한 둥근전복의 lysozyme의 활성을 측정된 결과 본 연구와 마찬가지로 스트레스를 가한 직후 control에 비하여 다른 실험구에서 lysozyme 활성이 유의적으로 증가하였다가 감소하는 경향을 나타낸 것으로 보고하였다. 이러한 결과는 수온 및 염분스트레스를 가한 직후 초기 면역활성의 증가로 생존율을 향상시키는 것으로 판단되며 내성이 강한 개체들은 초기 면역활성이 증가하였다가 그 후에는 빠르게 안정화되는 것으로 사료된다. 따라서 본 연구에서 무척추 해양생물인 둥근전복을 이용한 감마선 조사가 생리학적으로 미치는 영향을 조사한 결과 기존의 육상식물들에서 발표된 결과들과 같이 둥근전복 역시 저선량 감마선 조사에서 생존률, 성장률 및 면역활성 반응이 높게 나타나는 것으로 확인되었다. 이는 감마선조사 모페에서 hormesis의 효과가 자손에게도 유전적인 영향을 나타낸 것으로 추정된다. 이러한 결과는 해양동물에 있어서도 감마선을 이용한 돌연변이 유도를 통한 새로운 육종기법으로의 도입 가능성을 제시할 수 있을 것으로 기대된다. 하지만 생리학적 지표는 다양한 환경변화, 개체 및 종에 따라 서로 매우 민감하게 반응하므로 추후 이에 대한 세부적인 실험을 통하여 그 지표설정을 위한 연구를 실시하고자 한다.

사 사

이 논문은 2012년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 기초연구사업을 받아 수행된 것임(과제번호 2012R1A1A2005164).

References

- Choe MK, Yang SG, Won SH, Park CJ, Han SJ and Yeo IK. 2009. Estimation of genetic parameters for growth-related traits in 9-month old of two Korean abalone subspecies, *Haliotis discus hannai* and *H. discus discus*, by using multiple traits of animal model. *Kor J Fish Aquat Sci* 42, 591-599. <http://dx.doi.org/10.5657/KFAS.2009.0591>.
- Choi SD, Yoon JT and Jo YC. 1998. Shell necrosis of *Haliotis discus hannai* by mastigocoleus sp.(Cyanophyta) in Korea. *J Aquacult* 11, 465-474.
- Dubner D, Gisone P, Jaitovich I and Perez M. 1995. Free radicals production and estimation of oxidative stress related to γ irradiation. *Biolog Trace Element Res* 47, 265-270. <http://dx.doi.org/10.1007/BF02790126>.
- Day RW and Fleming AE. 1992. The determinants and measurement of abalone growth. In: Abalone of the world: biology, fisheries and culture, Shepherd SA, Tegner MJ, Guzman SA and Del Proo SA Eds., Fishing news Books. Blackwell, Oxford, U.K., 141-168.
- Huchette MHS, Koh CS and Day RW. 2003. Growth of juvenile blacklip abalone (*Haliotis rubra*) in aquaculture tank: effects of density and ammonia. *Aquaculture* 219, 457-470.
- Ikushima T, Aritomi H, and Morisita J. 1996. Radioadaptive response; Efficient repair of radiation induced DNA damage in adapted cell. *Mutation Res* 358, 193-198.
- Jwa MS, Kang KP, Choe MK and Yeo IK. 2009. Effects of low salinity stresses on the physiology of disc abalone, *Haliotis discus discus*. *J Fish Pathol* 22, 293-303.
- Kim JK, Lim SH, Kim IJ, Lee YH and Kang HW. 2012. Mutagenesis of *Pleurotus eryngii* by gamma ray irradiation. *Kor J Mycol* 40, 93-97.
- Kim JB, Lee KJ, Kim DS, Ha BK, Kim SH, Song HS and Kang SY. 2013. An improved soybean cultivar 'Wonyul' with resistance to phomopsis seed decay by mutation breeding. *J Kor Breed Sci* 45, 293-297.
- Kim JK, Lee CJ, Lee YK, Song KW and Yoon YD. 1999a. Cell cycle evaluation of granulosa cells in the γ -radiated mouse ovarian follicles. *J Kor Radiat Prot* 24, 17-22.
- Kim JS, EK Lee, MH Back, DH Kim and YB Lee. 2000a. Influence of low dose γ radiation on the physiology of germinative seed of vegetable crops. *Kor J Environ Agric* 19, 58-61.
- Kim JS, Lee YK, Park HS, Back MH and Chung KH. 2000b. Effects of low dose gamma radiation on the early growth and physiological activity of gourd (*Lagenaria leucanthal*). *Kor J Environ Agri* 19, 142-146.
- Kim KJ, Choe MK and Yeo IK. 2007. Effect of gamma ray on growth of juvenile abalone, *Haliotis discus hannai*. *Korean J Environ Biol* 25, 107-114.
- Koeep R and M Kramer. 1981. Photosynthetic activity and distribution of photoassimilated ^{14}C in seedlings of zeamays grown from gama-irradiated seeds. *Photosynthetica* 15,

- 484-493.
- Kim TH, Yang MH, Choe MK, Han SJ and Yeo IK. 2005. Physiological studies on acute water-temperature stress of juvenile abalone, *Haliotis discus hannai*. Korean J Aquacult 18, 7-12.
- Kim TH, Kim KJ, Yang MH, Choe MK and Yeo IK. 2006. Physiological changes of juvenile abalone, *Haliotis sieboldi* exposed to acute water-temperature stress. J Aquacult 19, 77-83.
- Kim YS, Ji SC, Biswajit KB, Amal B, Jeong GS, Osamu M and Kenji T. 2011. Growth and environmental tolerances (Water Temperature and Low Salinity) of hybrid female red sea bream *Pagrus major* × male black sea bream *Acanthopagrus schregeli*. Kor J Fish Aquat Sci 44, 276-283. <http://dx.doi.org/10.5657/KFAS.2011.0276>.
- Kim YS, Woo CK, Lee YS, Koh JK, Chun HC and Lee MZ. 1996. Expression of *Jun* and *p53* genes from the brain of rats irradiated with ^{60}Co γ -ray. J Kor Soc Ther Radiol 14, 265-280.
- Lee EK, Kim JS, Lee YK, and Lee YB. 1998. Effects of low dose γ -ray irradiation on the germination and growth in red pepper. J Kor Soc Hort Sci 39, 670-675.
- Lee HY, Kim JS, Baik MH, Lee YK and Im DS. 2002. Effects of low dose γ -radiation on the growth, activities of enzymes and photosynthetic activities of gourd (*Lagenaria siceraria*). J Kor Environ Biol 20, 197-204.
- Lucky 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, 607-616.
- Mohandas S. 1985. Effect of presowing seed treatment with molybdenum and cobalt on growth, nitrogen and yield in bean (*Phaseolus vulgaris* L). Plant and Soil 86, 283-285.
- Moon JH and Pang IC. 2003. Inflowing of Yangtze coastal water in summer and its cause. Bull Mar Res Inst Cheju Nat Univ 27, 29-47.
- Pang IC and Hyun KH. 1998. Seasonal variation of water mass distributions in the eastern Yellow sea and the Yellow sea warm current. J Kor Soc Oceangr 33, 41-52
- Seo DC, Choi SD, Rha SJ, Yang HC and Suh HL. 1999. Effects of Zinc Toxicity on Larval Development and Seed Collection of Abalone, *Haliotis discus hannai*. J Aquacult 12, 353-354.
- Wedemeyer GA and McLeay DJ. 1981. Methods for determining the tolerance of fishes to environmental stressors. In stress and fish (Ed. By A.D. Pickering), Academic Press, London, U.K., 247-276.
- Wang W, Mai K, Zhang W, Xu W, Ai Q, Liufu Z and Li H. 2012. Dietary selenium requirement and its toxicity in juvenile abalone *Haliotis discus hannai* Ino. Aquaculture 333, 42-46.