

## 해수산 rotifer *Brachionus rotundiformis*의 유성생식유도에 관한 염분 및 기사용 배양수의 효과

이균우<sup>\*</sup>, 심소명<sup>1</sup>  
<sup>1</sup>한국해양과학기술원

### Effect of salinity and used medium on the induction of sexual reproduction in the rotifer *Brachionus rotundiformis*

Kyun-Woo Lee<sup>\*</sup>, So-Myung Sim<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Marine Life & Ecosystem Division, Korea Institute of Ocean Science & Technology

**요약** 해수산 rotifer *Brachionus rotundiformis*의 내구란 대량생산을 위한 효과적인 유성생식자극요인을 구명하기 위해 염분 자극과 기사용배양수의 효과를 9일 동안 조사하였다. 각 염분에 노출된 후 모든 실험구에서 배양 3일째부터 유성생식률이 증가하기 시작했으며 이후 배양 4-5일째 이후 감소하는 경향을 보였다. 내구란은 10%, 15%, 20%, 25% 실험구에서 배양 4일째에 출현하였으며 특히 20, 25% 실험구는 배양 6일째 수정률이 각각 33.3%와 31.3%로 다른 실험구에 비해 높게 나타났다. 9일간 평균 유성생식률은 10%와 20% 실험구에서 각각 25.3%와 20.2%로 높게 나타났다. 수정률은 25% 실험구에서 14.0%로 가장 높았다. 각 기사용배지농도에 노출된 후 모든 실험구의 유성생식률은 염분실험결과와 유사한 경향을 보였고 내구란은 0%와 25% 기사용배지에 노출되었을 때 만 출현하였다. 평균수정률은 모든 실험구가 차이를 보이지 않은 반면, 유성생식률은 25% 실험구가 22.3%로 대조구인 0%에 비해 높게 나타났다. 본 연구결과를 종합해보면, *B. rotundiformis*의 내구란 대량생산을 위한 효과적인 유성생식유발요인으로 기배양수자극보다 염분자극이 더 효과적이며 최적 염분은 비교적 높은 유성생식률과 수정률을 유도한 20-25%로 판단된다. 본 연구결과는 차후 rotifer 내구란 대량생산을 위한 핵심적인 기초 자료로 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

**Abstract** This study examined the effects of salinity and medium used on the induction of sexual reproduction for the mass production of the resting eggs in the marine rotifer *Brachionus rotundiformis* for 9 days. After exposure to various salinities, the mixis rate in all treatments began to increase on the third day and decreased after the 4th or 5th day. The resting eggs appeared on the 4th day at 10%, 15%, 20%, 25%. In particular, the fertilization rates with 33.3% and 31.3% at 20% and 25% on day 6 were higher than those of the others, respectively. Mean mixis rate for 9 day at 0% and 20% were the highest with 25.3% and 20.2%, respectively, and the fertilization rate (14.0%) at 25% was the highest. In the medium experiment used, the mixis rate in all treatments were similar to the results of the salinity experiment. The resting eggs were only found at 0% and 25% of the used medium treatments. While there were no significant differences in the mean fertilization rate of all treatments, the mean mixis rate (22.3%) in the 25% treatment was higher than that of the control (0% treatment). As a result, salt stress was more effective than using the used medium to induce sexual reproduction in *B. rotundiformis*. The optimal salinity was considered to be 20-25%, which caused a high mixis and fertilization rate in the rotifer. These results provide basic data for the mass production of rotifer resting eggs.

**Keywords** : *Brachionus rotundiformis*, Salinity, Used medium, Sexual production, Resting egg

본 논문은 한국연구재단(NRF-2014R1A1A2056055)의 연구과제로 수행되었음.

\*Corresponding Author : Kyun-Woo Lee

Tel: +82-31-400-7827 email: kyunu@kiost.ac.kr

Received March 14, 2016

Revised (1st April 5, 2016, 2nd April 6, 2016)

Accepted April 7, 2016

Published April 30, 2016

## 1. 서론

*Brachionid rotifer*는 무성생식과 유성생식을 번갈아 하며 이러한 생식방법의 변화는 서식환경에 의해 영향을 받는 것으로 알려져 있다. 요약하면, 보통 번식이 왕성할 때는 무성생식을 하다가 외부로부터 환경적 자극을 받게 되면 유성생식으로 전환되어 감수분열을 하는 mictic female이 출현하고 이 female의 난이 수정되지 않았을 경우 단위발생해서 반수체(haploid)의 수컷이 부화한다. 이 부화한 수컷은 이후 수정되지 않은 mictic female과 교미하여 2배체(diploid)의 내구란을 생산한다. 이 내구란은 서식환경이 번식에 적합한 조건이 되었을 경우 부화하여 2배체의 무성생식하는 amictic female이 되어 전체 생활사를 반복하게 된다[1-6]. 이러한 과정에서 생산된 내구란은 장기간 보관이 가능하고 필요시 언제든지 부화시켜 사용이 가능하기 때문에 현재 rotifer 중 확보/유지나 해산어 양식에서 먹이생물로 배양하기 위한 대량 배양용 seed로 사용할 수 있다. 특히 특정조건에서 비교적 일정한 시기에 부화하기 때문에 환경변화 및 독성물질의 독성실험을 위한 표준실험생물로도 이용이 되고 있다. 따라서 이러한 내구란을 대량생산하기 위한 연구가 국내는 물론 세계적으로 다수 진행된 바 있다. 일반적으로 rotifer 내구란은 여러 가지 요인에 의해서 형성되는데 brachionid rotifer의 경우, 내구란 형성에 미치는 영향으로 내인성요인과 외인성요인으로 나눌 수 있다. 내인성요인으로는 strain과 clone 등을 들 수 있으며[1, 2, 7], 외적요인으로는 수온, 염분, 광주기, 먹이종류, 먹이량, 배양밀도, 배양수의 암모니아 농도 및 과밀집 등[1, 8-10]이 있는 것으로 알려져 있다. 또한 최근 유성생식 전환 요인으로 quorum sensing이 제시되었고 이러한 quorum sensing의 매개물질로 progesterone이 발견된 바 있다[9]. 따라서 본 연구는 *B. rotundiformis*의 내구란 대량생산을 위한 효과적인 유성생식자극요인을 구명하기 위해 염분자극과 기사용배양수의 효과를 조사하였다.

## 2. 재료 및 방법

### 2.1 실험생물의 분리 및 유지

실험에 사용된 rotifer는 *Brachionus rotundiformis*로 전라북도 영광군의 염전에서 2015년 6월에 채집되었으

며 현장에서 분리 후, 실험실로 이동하였다. CO1 유전자 서열을 이용해 종동정을 하였으며 현재까지 28℃, 15 ppt, 12L:12D 조건에서 먹이로 담수산 농축 *Chlorella*를 공급하면서 단일배양라인을 유지하고 있다.

### 2.2 실험방법

#### 2.2.1 염분 및 기사용배양수 자극

염분자극실험은 실험구로 5, 10, 15, 20, 25 및 30‰를 두어 실시하였고 15 ppt에서 배양/유지되고 있는 rotifer를 45 µm sieve를 사용해서 각 염분실험구에 접종하였다.

기사용된 배양수를 얻기 위해 250 mL 비이커(배양수: 200 mL)에 rotifer를 10 개체/mL 접종하였고 3일 후 0.2 µm filter를 사용하여 기사용배양수 150 mL를 취하였다. 이때 최종 rotifer 배양밀도, 유성생식률 및 수정률은 각각 120 개체/mL, 25% 및 6.2%였다. 얻어진 기사용배양수는 여과해수(15‰)를 이용하여 0, 25, 50, 75 및 100‰로 농도를 조절하였다.

#### 2.2.2 실험절차 및 번식특성조사

모든 실험은 12 wells culture plate에 배양수 3 mL로 하였으며 무성생식란에서 갓 부화한 rotifer (<12 h)를 5 개체/mL로 접종하여 28℃, 12L:12D로 유지되는 배양기 [11]에서 9일간 배양하였다. 모든 실험은 3반복 하였다. 먹이로 담수산 농축 *Chlorella* (Daesang Co. Ltd.)를 하루에  $27 \times 10^4$  cells/rotifer (Park, 1998)을 공급하였으며 [12] 성장률, 유성생식률 및 수정률 계산을 위해 1일 1회 Park et al. (1996)의 방법에 따라 4종류 (?우, 우우, 우송 및 D우)의 female을 계수하였다[12].

Rotifer의 성장률(specific growth rate,  $r$ )은 Lee et al. (2004)의 식에 의해 계산되었다[ $r = (1/T) \ln(N_T/N_0)$  ( $T$  = 접종이후 rotifer가 최고밀도에 도달하기까지의 배양일수;  $N_T = T$  days의 rotifer 최고 밀도;  $N_0$  = rotifer 접종 밀도)][16]. 생식률 및 수정률은 Kim and Hagiwara (2011)에서 제시한 방법으로 계산하였다[유성생식률(%) =  $(\uparrow\text{우} + D\text{우}) / (\text{우우} + \uparrow\text{우} + D\text{우}) \times 100$ ; 수정률(%) =  $(D\text{우}) / (\uparrow\text{우} + D\text{우}) \times 100$ ][17]

### 2.3 데이터 분석

염분과 기사용배지 자극에 대한 *B. rotundiformis*의 성장률, 유성생식률 및 수정률 결과는 One-way ANOVA

test를 실시하였으며, 처리평균간의 유의성( $P < 0.05$ )은 Duncan의 다중검정법(Duncan's multiple range test)으로 분석하였다. 모든 통계 분석은 SPSS Version 17.0 (SPSS Inc, Chicago, IL, USA)을 사용하여 실시하였다.

### 3. 연구결과

#### 3.1 염분자극효과

각 염분에 노출된 후 모든 실험구에서 배양 3일째에 수컷란을 다는 female이 출현하여 유성생식률이 증가하기 시작했으며 이후 배양 4-5일째까지 증가하다 이후 감소하는 경향을 보였다. 내구란은 10%, 15%, 20%, 25% 실험구에서 수컷출현 1일 이후인 배양 4일째에 출현하였으며 특히 20%, 25% 실험구는 배양 6일째 수정률이 각각 33.3%와 31.3%로 다른 실험구에 비해 높게 나타났다(Fig. 1).

Table 1은 각 염분에 노출된 *B. rotundiformis*의 9일 간 성장률( $r$ )과 평균 유성생식률 및 수정률을 나타내었다. 성장률은 5% 실험구에서 1.29로 가장 높았고 다음으로 10% 실험구가 0.98로 나타났으며( $P < 0.05$ ) 다른 실험구는 유의적인 차이를 보이지 않았다( $P > 0.05$ ). 9일간 평균 유성생식률은 10%와 20% 실험구에서 각각 25.3%와 20.2%로 높게 나타나 5, 25, 30% 실험구와는 유의적인 차이를 보였다( $P < 0.05$ ). 수정률은 25% 실험구에서 14.0%로 가장 높았고( $P < 0.05$ ) 다른 실험구는 모두 통계적 차이가 없었다( $P > 0.05$ ).

Table 1. Specific growth rate, mean mixis and fertilization rate of *Brachionus rotundiformis* exposed to various salinities for 9 days\*

Salinity (%)	Specific growth rate	Mixis rate (%)	Fertilization rate (%)
5	1.29 ± 0.061 <sup>c</sup>	12.8 ± 1.57 <sup>a</sup>	0.0 ± 0.00 <sup>a</sup>
10	0.98 ± 0.079 <sup>b</sup>	25.3 ± 3.48 <sup>c</sup>	0.4 ± 0.10 <sup>a</sup>
15	0.84 ± 0.052 <sup>ab</sup>	15.0 ± 3.46 <sup>ab</sup>	0.9 ± 0.89 <sup>ab</sup>
20	0.83 ± 0.038 <sup>ab</sup>	20.2 ± 1.50 <sup>bc</sup>	11.4 ± 5.01 <sup>ab</sup>
25	0.80 ± 0.035 <sup>a</sup>	13.1 ± 0.66 <sup>a</sup>	14.0 ± 8.51 <sup>b</sup>
30	0.87 ± 0.060 <sup>ab</sup>	12.8 ± 0.69 <sup>a</sup>	1.4 ± 1.40 <sup>ab</sup>

\*Values (Mean ± S.E. of four replications) within a column with different superscript letters are significantly different ( $P < 0.05$ ).

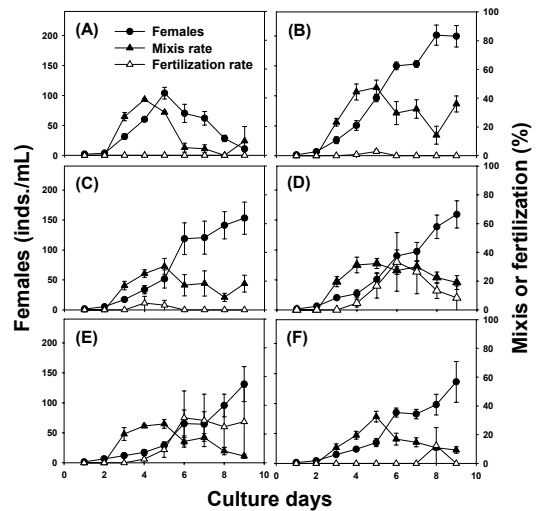


Fig. 1. Changes in culture density, mixis and fertilization rate of *Brachionus rotundiformis* exposed to various salinities (A, B, C, D, E, F : 5, 10, 15, 20, 25, 30%) for 9 days.

#### 3.2 기사용배지 노출효과

각 기사용배지농도에 노출된 후 모든 실험구에서 배양 3일째에 수컷란을 다는 female이 출현하여 염분실험 결과와 유사한 경향을 보였고 내구란은 0과 25% 기사용배지에 노출되었을 때 만 출현하였다(그림 2).

성장률( $r$ )과 평균수정률은 모든 실험구가 차이를 보이지 않은 반면( $P > 0.05$ ), 유성생식률은 25% 실험구가 22.3%로 대조구인 0%에 비해 유의적으로 높게 나타났다( $P < 0.05$ ).

Table 2. Specific growth rate, mixis and fertilization rate of *Brachionus rotundiformis* exposed to various concentrations of used medium\*

Used medium (%)	Specific growth rate	Mixis rate (%)	Fertilization rate (%)
0	0.84 ± 0.052	15.0 ± 3.46 <sup>a</sup>	0.9 ± 0.89
25	0.91 ± 0.036	22.3 ± 1.63 <sup>b</sup>	1.7 ± 1.03
50	0.88 ± 0.011	19.3 ± 1.31 <sup>ab</sup>	0.0 ± 0.00
75	0.87 ± 0.017	18.5 ± 0.95 <sup>ab</sup>	0.0 ± 0.00
100	0.88 ± 0.011	17.2 ± 0.62 <sup>ab</sup>	0.0 ± 0.00

\*Values (Mean ± S.E. of four replications) within a column with different superscript letters are significantly different ( $P < 0.05$ ).

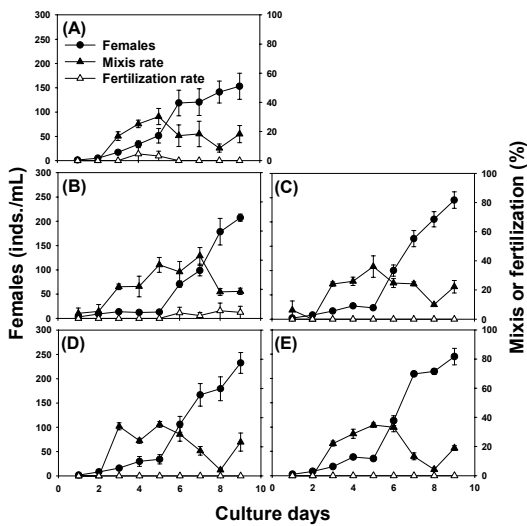


Fig. 2. Changes in culture density, mixis and fertilization rate of *Brachionus rotundiformis* exposed to various concentrations of used medium (A, B, C, D, E : 0, 25, 50, 75, 100%) for 9 days.

#### 4. 고찰

일반적으로 rotifer 배양에서, 번식에 따라 배양밀도가 증가하는 밀집화는 rotifer의 유성생식을 유도한다[2, 9]. 본 실험에서 대조구를 포함한 모든 실험구가 실험시작 후 3일째에 수컷을 생산하는 유성생식 female이 출현하였는데 이때 배양밀도는  $18.7 \pm 5.9$  개체/mL였다. 따라서 수컷 출현 전일 즉, 배양 2일째 밀도인  $6.8 \pm 2.0$  개체/mL부터 밀집화 영향을 받았을 것으로 판단된다(그림 1, 2). Snell and Boyer (1988)은 *B. plicatilis* 배양연구에서 0.14-7.4 개체/mL 이상의 밀도는 rotifer의 유성생식을 촉진한다고 보고하였으며[14] 이는 본 연구결과와 일치한다.

밀집화에 의한 유성생식유발은 rotifer에 의해 생성된 알려지지 않은 화학물질때문인 것으로 알려져 있다[5, 14]. 최근 rotifer 배양수내에 존재하는 화학물질인 progesterone이 *B. manjavacas*의 배양에서 밝혀졌으며 rotifer 종에 따라 그 영향이 다르게 나타나는 것으로 보고되었다[9]. 따라서 본 연구에서, 유성생식이 진행되었던 기배양수가 유성생식에 미치는 영향에 대하여 조사한 결과, 기배양수(25%)는 대조구에 비해 유성생식률을 높이는 효과가 있었으며 기배양수의 농도가 높아질수록 낮

은 유성생식률과 수정률을 보이는 것으로 나타났다. 최근 Snell et al. (2006)은 유성생식이 진행중인 rotifer (*B. manjavacas*, 이전엔 *B. plicatilis*로 명명됨) 배양수 내에서 유성생식을 유발하는 후보 물질로 39 kDa의 단백질을 분리하였으며[10], 이 후 계속적인 연구결과, 스테로이드 호르몬인 프로게스테론이 유성생식과 관련이 있는 것으로 보고하였다[9, 22]. 그러나 이 호르몬은 *B. manjavacas*에만 유성생식을 증가시키는 기능을 하며 다른 종에는 작동하지 않는 것으로 나타나 종마다 유성생식을 유발하는 특이적인 호르몬이 있는 것으로 판단된다. 결과적으로 내구란 생산을 위한 유성생식전환물질로 기배양수의 이용은 가능할 것으로 판단되며 차후 기배양수의 적정농도와 기배양수내 정확한 물질구명을 위한 분석 연구가 추가적으로 요구된다.

일반적으로 rotifer는 종과 strain 따라 염분에 의한 유성생식률은 다르게 나타난다. 예를 들면, *B. rotundiformis*는 염분이 높을수록 유성생식률이 높게 나타나는 반면 [1], *B. plicatilis*는 염분이 낮을수록 높은 것으로 알려져 있다[14]. 또한 Park and Hur (1996)의 연구에서, 동일 종임에도 불구하고 염분에 의한 유성생식률은 strain에 따라 다른 경향을 보였다[13]. 반면, 본 연구에서 염분 자극 즉, 15‰에서 다른 높거나 낮은 염분의 배양수에 rotifer를 급격히 노출시켰을 때, rotifer의 유성생식률은 급격한 염분변화가 없었던 10‰과 20‰ 실험구에서 가장 높게 나타났다. 이러한 불규칙적인 경향은 Park and Hur (1996)의 연구[13]와 일치하지만 급격한 염분 자극에 의한 스트레스 반응의 가능성도 배제할 수 없으므로 차후 보다 정밀한 연구가 필요할 것으로 판단된다.

본 염분실험에서 5‰ 염분구와 기배양수실험에서 50%, 75% 및 100% 실험구에서는 유성생식률이 다른 실험구와 비슷하게 나타났으며 수컷의 출현이 관찰되었으나 내구란이 발생되지 않았다. 이러한 원인으로 수컷의 교미인식페로몬(암컷의 몸체표면에 있는 glycoprotein 등) 인식의 오작동[20, 21]으로 인한 교미실패나 정자수 부족 및 정자활력의 저하[15] 등을 예상할 수 있다.

#### 5. 결론

본 연구결과를 종합해보면, *B. rotundiformis*의 내구란 대량생산에 위한 효과적인 유성생식유발요인으로 기배양수자극보다 염분자극이 더 효과적이며 최적 염분은

비교적 높은 유성생식률과 수정률을 유도한 20-25%로 판단된다. 본 연구결과는 차후 rotifer 내구란 대량생산을 위한 핵심적인 기초자료로 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

## References

- [1] J. J. Gilbert, "Environmental and endogenous control of sexuality in a rotifer life cycle: developmental and population biology", *Evol. Dev.* 5, 19-24. 2003.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.1046/j.1525-142X.2003.03004.x>
- [2] J. J. Gilbert and M. C. Dieguez, "Low crowding threshold for induction of sexual reproduction and diapause in a Patagonian rotifer", *Freshw. Biol.* 55, 1705-1718. 2010.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2427.2010.02405.x>
- [3] S. J. Hanson, C. P. Stelzer, D. B. M. Welch and J. M. Logsdon, "Comparative transcriptome analysis of obligately asexual and cyclically sexual rotifers reveals genes with putative functions in sexual reproduction, dormancy, and asexual egg production", *Bmc Genomics* 14 2013.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.1186/1471-2164-14-412>
- [4] H. J. Kim, K. Suga, B. M. Kim, J. S. Rhee, J. S. Lee and A. Hagiwara, "Light-dependent transcriptional events during resting egg hatching of the rotifer *Brachionus manjavacas*", *Mar Genom* 20, 25-31. 2015.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.margen.2015.02.003>
- [5] C. Gabaldon and M. J. Carmona, "Allocation patterns in modes of reproduction in two facultatively sexual cryptic rotifer species", *J. Plankton. Res.* 37, 429-440. 2015.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.1093/plankt/fbv012>
- [6] V. Cruciani, C. Iovine, J. P. Thome and C. Joaquim-Justo, "Impact of three phthalate esters on the sexual reproduction of the Monogonont rotifer, *Brachionus calyciflorus*" *Ecotoxicology* 25, 192-200. 2016.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s10646-015-1579-5>
- [7] S. B. Hur and H. G. Park, "Size and resting egg formation of Korean Rotifer, *Brachionus plicatilis* and *B. calyciflorus*", *J. Aquacult.* 9, 187-194. 1996.
- [8] H. G. Park and S. B. Hur, "Production and hatching rate of resting egg of Korean rotifer, *Brachionus plicatilis* (S-type) with different diets", *J. Aquacult.* 9, 329-337. 1996.
- [9] T. W. Snell and N. J. D. DesRosiers, "Effect of progesterone on sexual reproduction of *Brachionus manjavacas* (Rotifera)", *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 363, 104-109. 2008.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jembe.2008.06.031>
- [10] T. W. Snell, J. Kubanek, W. Carter, A. B. Payne, J. Kim, M. K. Hicks and C. P. Stelzer, "A protein signal triggers sexual reproduction in *Brachionus plicatilis* (Rotifera)", *Mar. Biol.* 149, 763-773. 2006.
- [11] K. W. Lee, J. H. Kang and H. G. Park, "Effect of food concentration on grazing, growth and fecundity of cyclopoid copepod *Paracyclopsina nana*", *J. Korea Acad. Industr. Coop. Soc.* 13, 5206-5210. 2012.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s00227-006-0251-2>
- [12] H. G. Park, "Growth and production of resting eggs of freshwater rotifer, *Brachionus calyciflorus* Pallas at the different temperatures", *J. Korean Fish. Soc.* 31, pp. 779-784, 1998.
- [13] H. G. Park and S. B. Hur, "Resting egg production of six strains of Korean rotifer, *Brachionus plicatilis* (S-type)", *J. Aquacult.* 9, pp. 195-203, 1996.
- [14] T. W. Snell and E. M. Boyer, "Thresholds for mictic female production in the rotifer *Brachionus plicatilis* (Muller)", *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 124, 73-85. 1988.  
DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/0022-0981\(88\)90112-8](http://dx.doi.org/10.1016/0022-0981(88)90112-8)
- [15] T. Schroder, "Precopulatory mate guarding and mating behaviour in the rotifer *Epiphanes senta* (Monogononta : Rotifera)", *Proc. R. Soc. Lond. B* 270, 1965-1970. 2003.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.1098/rspb.2003.2466>
- [16] K. W. Lee, H. G. Park, S.-M. Lee, H.-S. Han and Y. S. Lim, "Food value of freshwater rotifer (*Brachionus calyciflorus*) for culture of sweetfish (*Plecoglossus altivelis*) Larvae", *J. Kor. Fish. Soc.* 37, 7-12. 2004.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.5657/kfas.2004.37.1.007>
- [17] H. J. Kim and A. Hagiwara, "Effect of salinity during resting egg formation and hatching on descendent reproduction in the rotifer *Brachionus rotundiformis* Tschugunoff", *J. Plankton. Res.* 33, 1033-1042. 2011.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.1093/plankt/fbr004>
- [18] T. W. Snell, "Chemical ecology of rotifers", *Hydrobiologia* 387/388, 267-276. 1998.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.1023/A:1017087003334>
- [19] N. Y. Denekamp, M. A. S. Thorne, M. S. Clark, M. Kube, R. Reinhardt and E. Lubzens, "Discovering genes associated with dormancy in the monogonont rotifer *Brachionus plicatilis*", *BMC Genomics* 10, -. 2009.
- [20] T. W. Snell, R. Ricomartinez, L. N. Kelly and T. E. Battle, "Identification of a sex-pheromone from a rotifer", *Mar. Biol.* 123, pp. 347-353, 1995.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/BF00353626>
- [21] T. Snell, T. Shearer, H. Smith, J. Kubanek, K. Gribble and D. Welch, "Genetic determinants of mate recognition in *Brachionus manjavacas* (Rotifera)", *BMC Biol.* 7, 2009.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.1186/1741-7007-7-60>
- [22] E. P. Stout, J. J. L. Clair, T. W. Snell, T. L. Shearer, and J. Kubanek, "Conservation of progesterone hormone function in invertebrate reproduction", *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 107, 11859-11864 2010.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.1073/pnas.1006074107>

이 균 우(Kyun-Woo Lee)

[정회원]



- 2001년 2월 : 강릉원주대학교 해양생명공학과 (이학석사)
- 2004년 2월 : 강릉원주대학교 해양생명공학과 (이학박사)
- 2013년 8월 ~ 현재 : 한국해양과학기술원 선임연구원

<관심분야>

해양생물학, 해양환경독성학

---

심 소 명(So-Myung Sim)

[정회원]



- 2015년 2월 : 부경대학교 미생물학과 (학사)
- 2015년 2월 ~ 현재 : 한국해양과학기술원 인턴연구원

<관심분야>

해양생물학, 미생물학, 분자생물학