Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society
Vol. 20, No. 10 pp. 62-67, 2019

https://doi.org/10.5762/KAIS.2019.20.10.62
ISSN 1975-4701 / eISSN 2288-4688

Rotifer *Brachionus rotundiformis*의 유성생식에 관한 스테로이드 호르몬의 영향

이균우
한국해양과학기술원

Effects of Steroid Hormones for Sexual Reproduction of Rotifer, *Brachionus rotundiformis*

Kyun-Woo Lee
Marine Biotechnology Research Center, Korea Institute of Ocean Science & Technology

요 약 본 연구는 rotifer *Brachionus rotundiformis*의 유성생식을 유도하기 위해 효과적인 매개물질로 몇 가지 성 steroid hormone (serotonin, progesterone 및 β-estradiol)을 선정하여 농도별(Low, 30 mg/L 및 High, 300 mg/L)로 내구란 생산효과를 6일 동안 배양하면서 조사하였다. 배양 3일째 β-estradiol (E_2) 처리구가 다른 실험구에 비해 유성생식률이 20.6%로 가장 높게 나타났다. 배양 6일째 내구란 생산수(106 개)도 동일한 결과를 보였으며 다음으로는 serotonin이 높게 나타났다. 더하여, 위 스테로이드 호르몬이 몇 가지 유성생식관련 유전자의 발현에 미치는 영향에 대해 조사한 결과, NrbP, SRY, Cyclin 및 MrpmB 유전자가 처리한 모든 hormone에 대해 up-regulation되는 경향을 보였다. 결과를 종합해보면, *B. rotundiformis*의 내구란 생산에 가장 효과적인 steroid hormone은 β-estradiol인 것으로 판단되며 유성생식 관련 유전자로 NrbP, SRY, MrpmrB 및 Cyclin을 제안할 수 있다. 차후 효과적인 내구란 생산을 위한 E_2의 최적 처리농도규명에 관한 추가 연구가 필요할 것으로 판단된다.

Abstract We studied the effect of several sex-related steroid hormones (serotonin, progesterone and β-estradiol) for 6 days on the induction of sexual reproduction for the mass production of resting eggs in the marine rotifer *Brachionus rotundiformis*. The highest mix rate of 20.6% appeared with the β-estradiol (E2) treatment on the third day. The number of resting eggs was highest with E_2 treatment, followed by that of the serotonin treatment group. In addition, we investigated the effect of the hormones on the expression pattern of the genes related to sexual reproduction in the rotifer. NrbP, SRY, Cyclin and MrpmB genes were up-regulated with all the hormone treatments. As a result, β-estradiol was more effective than the other hormone treatments to produce resting eggs in *B. rotundiformis*. We suggest that the sexual reproduction-related genes in the rotifer are the NrbP, SRY, Cyclin and MrpmB genes. Further study is required to determine the optimum concentration of E_2 for the effective production of resting eggs in the rotifer.

Keywords : Rotifer, *Brachionus Rotundiformis*, Steroid Hormone, Sexual Reproduction, Gene Expression

본 논문은 한국연구재단(NRF-2014R1A1A2056055) 및 한국해양과학기술원 연구과제(PE99723)로 수행되었음.
*Corresponding Author : Kyun-Woo Lee(Korea Institute of Ocean Science & Technology)
email: kyunu@kiost.ac.kr
Received September 5, 2019 Revised October 2, 2019
Accepted October 4, 2019 Published October 31, 2019

1. 서론

일반적으로 rotifer는 무성생식과 유성생식을 교대로 하는데 서식환경이 적합할 때는 보통 무성생식을 이어가다가 스트레스를 받는 환경에서는 종보존을 위해 유성생식으로 전환, 내구란을 생산하여 호조건이 될 때 까지 휴면한다[1]. 이 rotifer 내구란은 현재, 종보관용 또는 먹이생물용 seed 및 독성실험생물로 활용이 가능하기 때문에 이들의 대량생산 연구가 국내외에서 수행된 바 있으나 아직까지 상용화되지 못하고 있는 실정이다. Rotifer의 유성생식을 유발시키기 위해 물리, 생물, 화학적으로 다양한 방법이 연구되어 왔으며[2-9], 최근 스테로이드 호르몬을 이용한 유발방법[10-15]이 보고된 바 있다. 지금까지 보고된 호르몬 자극법들은 rotifer 중에서 해수산인 *Brachionus plicatilis* (serotonin 효과), *B. manjavacas* (progesterone 효과) 및 담수산인 *B. calyciflorus* (progesterone, testosterone 및 estrogen 효과)에 대한 연구가 주를 이루고 있다. 이에 반해, 국내 기수지역에 서식하고 현재 어류자어의 초기먹이생물로 주로 사용되고 있으며 S-type으로 알려져 있는 *B. rotundiformis*에 대한 스테로이드 영향에 관한 연구는 아직까지 보고된 바 없다. 따라서 본 연구는 국내산 rotifer인 *B. rotundiformis*의 내구란 생산 방법 개발의 일환으로 유성생식유도를 위한 효과적인 스테로이드 호르몬을 탐색하고 각 호르몬이 유성생식관련 유전자에 미치는 영향에 관해 조사하였다.

2. 재료 및 방법

2.1 실험생물의 분리 및 유지

본 실험에서 사용된 rotifer는 *Brachionus rotundiformis*로 2015년 6월, 전라북도 영광군에서 분리된 후, 현재 한국해양과학기술원(KIOST)에서 일정 조건 [수온, 28℃; 염분, 15 ppt; 광주기, 12L:12D; 먹이, 담수산 농축 *Chlorella* (Daesang Co. Ltd.)]으로 배양/유지 중에 있다[9].

2.2 실험방법

2.2.1 Rotifer의 성장 및 유성생식에 대한 호르몬 효과

실험은 Lee and Sim (2016)의 방법에 따라 수행하였다[9]. 요약하면, 12 wells culture plate (배양수, 3 mL)에 무성생식란에서 갓 부화한 윤충 (<12 h)를 5 개체/mL로 접종하여 28℃, 12L:12D로 유지되는 배양기에서 먹이로 담수산 농축 *Chlorella*를 공급하면서 6일 동안 배양하였다. Rotifer의 성장률, 유성생식률 및 수정률 계산을 위해 4 종류 (♀, ♀♀, ♀♂ 및 D♀)의 female을 1일 1회 계수하였다. 실험에 사용한 스테로이드 호르몬은 progesterone, β-estradiol (E_2) 및 serotonin (product number : 각각 P7556, E4389 및 14927)이였으며 모두 Sigma-Aldrich Chemical Co.로부터 구입하였다. 모든 호르몬은 3차 증류수를 용매로 하여 0.05 g/L 농도의 stock solution을 제조하였다. Rotifer에 대한 각 호르몬별 노출실험농도는 Gallardo et al. (1997)[15]을 참고하여 저농도(Low, 30 mg/L)와 고농도(High, 300 mg/L)로 설정하여 3반복 실시하였다.

2.2.1 유전자발현에 대한 호르몬 효과

위 실험에서 사용한 스테로이드 호르몬 (progesterone, E_2 및 serotonin)이 rotifer의 유성생식관련 유전자의 발현에 미치는 영향에 대해 조사하였다. 50 mL test tube (배양수, 50 mL)에 위 조건으로 배양하던 rotifer를 100 inds./mL로 접종하고 각 스테로이드 호르몬(30 ppm)을 첨가한 후 12 시간 동안 배양하였다. 1, 6, 12 및 24 시간째 45 μm sieve를 사용하여 수확한 후 TRIzol reagent (Invitrogen, CA, USA)를 사용하여 제조사의 manual에 따라 RNA를 추출하였다. 이후, Lee et al. (2014)의 방법으로 cDNA 합성과 real-time RT-PCR을 수행하여 유성생식관련 유전자의 발현양상을 분석하였다. 실험에 사용한 유성생식관련 유전자는 Cyclin B2 (Cyclin), mate recognition protein motif repeat B (MrpmrB), histone H2A type 1-like (H2A1), Cyclin-dependent kinases regulatory subunit B (CksB), nuclear receptor binding protein, (NrbP), sex-determining region Y (SRY), transcription factor SOX-1-like (SOX1), putative histone-like transcription factor (Hltf), histone H2B (H2B)로 선정하였으며 housekeeping 유전자로 18s-rDNA (BR-18s)를 사용하였다. Real-time pcr을 위한 각 유전자의 primer 서열은 Table 1과 같다.

Table 1. Primers used for real time RT-PCR

Gene	Primer	Sequence (5'→3')
MrpmrB	F	GAGATGCTGTTCCACTTGTTTC
	R	CCCAATAAAGTCAAAGCAGAGC
H2A1	F	TTTACTTGGCTGCCGTACTC
	R	AAGTGACGTGGTATGATTCTGG
CksB	F	ATGGAGGTCGATTGGTGTTC
	R	TTGATCTTTGGTTTGCAGCTG
NrbP	F	ATCCAATGAGTCGATGAGCTG
	R	GGTATGGTTGCACTAGAAATGTTC
SRY	F	GTTTGGTTCATTCGGCTCTTC
	R	CTGGATATGGTTGTGGTACTGG
SOX1	F	ATTATCTGTGCACGAGTGGAG
	R	GATGACGAGGATGAGGAAGAC
Hltf	F	GTGACGTGGGATTCTAACTGG
	R	GCTTTCGGTTCATTCGACTTATC
H2B	F	TGAGGCCGCTAAATTGTCTAAC
	R	GGTAACAGCCTTAGTGCCTTC
Cyclin B2	F	TGTTGGACTTTGAGTTTTCTGTG
	R	GCATTCCATGTCTCAGATCTACC
BR-18S	F	CGCAAATTACCCACTCCTAGA
	R	TCATTTCAATTACCGAGCCTCA

2.3 데이터 분석

스테로이드 호르몬 노출에 대한 *B. rotundiformis*의 유성생식률 및 내구란 생산수 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 25.0(SPSS Inc, Chicago, IL, USA)을 사용하여 실시하였다.

3. 실험결과

3.1 Rotifer의 성장 및 유성생식에 대한 호르몬 효과

저농도 및 고농도 호르몬 처리 실험 결과, 배양 6일째 rotifer 최고밀도는 저농도 호르몬 처리구가 고농도 처리구보다 유의적으로 높게 나타났으며 이중 저농도 serotonin을 처리한 실험구가 392 inds/mL로 가장 높게 나타났다($P<0.05$; Fig. 1, 2, Table 2). 배양 3일째 유성생식률은 고농도 β-estradiol을 처리하였을 때, 20.6%로 가장 높게 나타났다. 고농도 호르몬 처리구가 저농도 처리구보다 낮은 수정율을 보였으며 특히 serotonin과 progesterone이 낮은 수정율을 유도한 것으로 나타났다($P<0.05$; Fig. 1, 2, Table 2).

배양 6일째 내구란 생산수도 저농도 호르몬 처리구가 유의적으로 높게 나타났으며 이 중 β-estradiol을 처리한 실험구가 106개로 통계적으로 가장 높았고($P<0.05$; Fig. 3), 대조구와 유의적인 차이는 보이지 않았지만 serotonin 처리구도 다른 실험구에 비해 높게 나타났다($P>0.05$; Fig. 3).

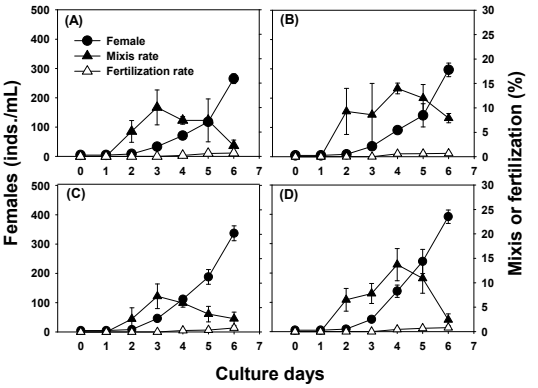

Fig. 1. Changes in culture density (female), mixis and fertilization rate in *Brachionus rotundiformis* exposed to low concentrations of steroid hormones (A, control; B, E_2; C, progesterone; D, serotonin).

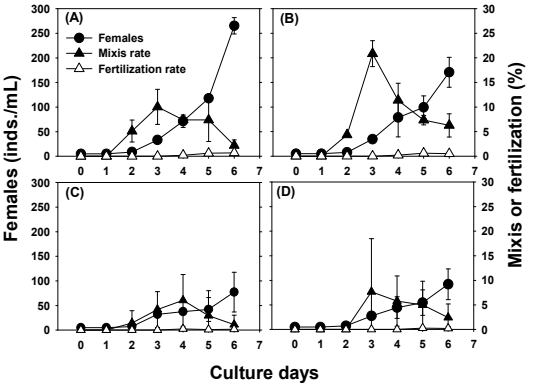

Fig. 2. Changes in culture density (female), mixis and fertilization rate in *Brachionus rotundiformis* exposed to high concentrations of steroid hormones (A, control; B, E_2; C, progesterone; D, serotonin).

Table 2. Maximum density, fertilization rate on day 6 of the culture and mixis rate on day 3 in *Brachionus rotundiformis* exposed to low and high concentrations of steroid hormones

Reproduction traits	Hormones	Concentrations	
		Low	High
Maximum density (inds/mL)	Control	256.3±9.61^{c}	256.3±9.61^{c}
	E_2	296.7±13.38^{cd}	170.7±17.68^{b}
	Serotonin	392.0±13.32^{e}	92.0±18.00^{a}
	Progesterone	336.7±14.62^{d}	77.3±23.25^{a}
Mixis rate (%)	Control	10.0±2.06^{a}	10.0±2.06^{a}
	E_2	8.6±3.7^{a}	20.6±1.52^{b}
	Serotonin	7.8±1.18^{a}	7.7±6.2^{a}
	Progesterone	7.3±1.46^{a}	4.2±2.10^{a}
Fertilization rate (%)	Control	0.7±0.15^{b}	0.7±0.15^{b}
	E_2	0.7±0.09^{b}	0.5±0.14^{ab}
	Serotonin	0.8±0.09^{b}	0.2±0.22^{a}
	Progesterone	0.8±0.12^{b}	0.2±0.17^{a}

$^{a-e}$Values (mean±s.e. of triplication) in the each trait not sharing a common superscript are significantly different (P<0.05).

3.2 유성생식관련 유전자발현에 대한 호르몬 효과

스테로이드 호르몬이 몇가지 유성생식관련 유전자의 발현에 미치는 영향에 대해 조사한 결과, E_2 처리구의 H2b 유전자, progesterone 과 serotonin 처리구의 H2A1 유전자를 제외한 나머지 유전자는 시간이 지남에 따라 up-regulation되는 경향을 보였다. 특히 배양 12 시간째, E_2 처리구에서는 MrpmB (16.9), progesterone 과 serotonin 처리구에서는 Cyclin (각각 8.9, 10.8)이 가장 높게 발현되었다.

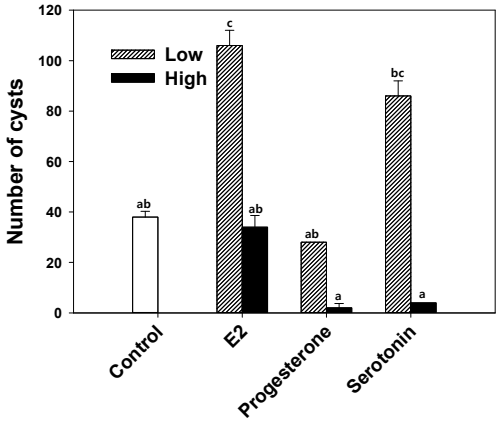

Fig. 3. Number of cysts in *Brachionus rotundiformis* exposed to low and high concentrations of steroid hormones on day 6 of the culture.

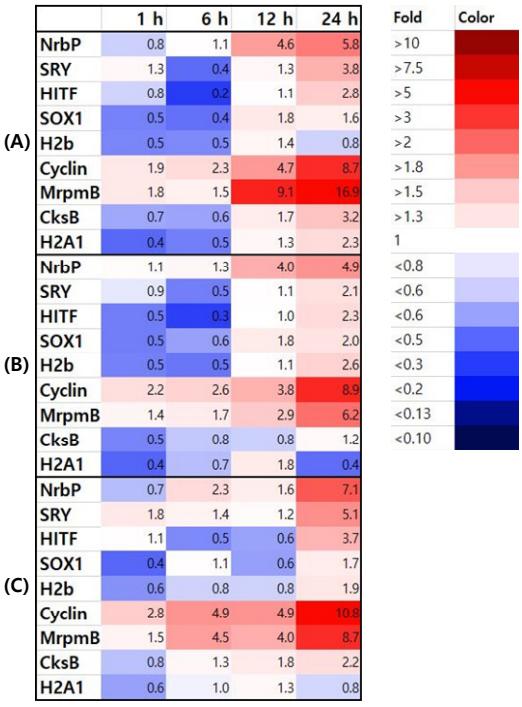

Fig. 4. Changes in sexual reproduction related genes expression pattern in *Brachionus rotundiformis* exposed to several steroid hormones (A, E_2; B, progesterone; C, serotonin) for 24 hours.

4. 고찰

성 스테로이드 호르몬인 progesterone (5-10 mg/L)은 *B. manjavacas*와 *B. ibericus* 유성생식을 유도하여 내구란 생산을 증가시킨다[10-11]. 특히 척추동물의 progesterone 수용체와 비슷한 화학적 수용체가 *B. manjavacas*내에 존재하는 것이 밝혀져 progesterone이 rotifer의 유성생식유도물질 중의 하나라는 것에 신빙성을 더하고 있다[12]. 그러나 *B. plicatilis*와 *B. calyciflorus*에는 효과가 없는 것으로 나타나 종간 유성생식유도물질은 다를 것으로 예상되고 있다[10]. 본 연구에서도 progesterone은 *B. rotundiformis*의 내구란 생산에 영향을 미치지 않았고 오히려 E_2와 serotonin이 대조구에 비해 높은 내구란 생산을 보이는 것으로 나타나 rotifer 종에 따라 유성생식에 영향을 미치는 스테로이드 호르몬은 종 특이적일 것으로 판단된다. 한편, serotonin (5 mg/L)은 낮은 먹이밀도 조건에서 *B. plicatilis*의 유성생식률을 증가시켰으며[13], estradiol (0.01 mg/L)에

노출된 *B. calyciflorus*의 수정율은 대조구 대비 높게 나타났으나 유의적인 영향은 미치지 않는 것으로 알려져 있다[16]. 본 연구에서는 serotonin과 E_2를 30 및 300 mg/L의 비교적 높은 농도에 rotifer를 노출시켰는데, 고농도에서 *B. rotundiformis*의 유성생식률과 수정률이 대조구 대비 증가하였고 내구란 생산은 낮은 농도에서 대조구에 비해 높게 나타나 이들이 유성생식유발 호르몬일 것으로 판단된다. 고농도 처리구에서 내구란 생산이 낮게 나타난 것은 고농도에 의한 독성으로 인한 수컷의 스트레스(교미행동, 정자수 감소 및 활력저하 등)가 원인으로 생각되며[17-18] 차후 각 호르몬의 유성생식유발 적정 농도규명에 관한 추가실험이 요구된다.

Rotifer에서 유성생식유발에 관련된 스테로이드 호르몬 신호전달과정은 핵 수용체와 핵수용체 결합 단백질 등에 의해 조절된다[19]. 본 연구에서 NrbP 유전자는 모든 스테로이드 호르몬 노출구에서 시간에 따라 증가하였으며 특히, 24시간째 E_2와 serotonin 노출구가 progesterone보다 높은 경향을 보여 내구란 생산에 관련이 있는 것으로 판단되며 이에 대한 보다 자세한 연구가 필요할 것으로 판단된다. 포유류의 Y 염색체에서 발견되는 SRY는 SOX와 함께 수컷의 성결정에 관여한다[20]. Rotifer의 유성생식이 감수분열로 인한 수컷의 발생으로부터 시작이 되기 때문에 SRY 유전자는 rotifer의 유성생식유발에 중요한 역할을 할 것으로 생각된다. 본 실험에서 SRY 유전자는 NrbP 유전자와 비슷한 발현을 보여 *B. rotundiformis*의 유성생식유발에 핵심적 역할을 하는 것으로 보인다. MrpmrB 유전자는 *B. plicatilis*에서 수컷에 의한 암컷의 교미인식을 조절한다[21]. 본 연구에서 MrpmrB는 E_2 실험구에서 24시간 째 다른 유전자들에 비해 높은 발현을 보였으며 이는 교미성공율을 높여 내구란 생산에 기여했을 것으로 판단된다.

Cyclin과 CksB는 정자생산을 위한 감수분열에 관여하는 것으로 알려져 있으며 rotifer의 유성생식유발시 감수분열에 의한 수컷생산에 관여하는 것으로 생각되고 있다[19]. 본 실험에서도 Cyclin 유전자의 높은 발현으로 보아 *B. rotundiformis*의 유성생식전환에 관여하는 것으로 생각된다. H2A1, Hltf 및 H2B는 유전자의 promotor로부터 유전자 발현을 억제하여 유전자 발현을 조절하며 *B. calyciflorus*의 유성생식과 관련이 있는 것으로 보고되었다[19]. 그러나 *B. rotundiformis*에서 스테로이드 호르몬에 의한 유전자발현은 보이지 않았다.

5. 결론

본 실험을 종합해 보면, rotifer의 내구란 생산에 가장 효과적인 steroid hormone은 β-estradiol인 것으로 판단되며 유성생식 관련 유전자로 NrbP, SRY, MrpmrB 및 Cyclin을 제안할 수 있다. 차후 효과적인 유성생식유도를 위한 E_2의 최적 처리농도규명에 관한 추가 연구가 필요할 것으로 판단된다.

References

[1] J. J. Gilbert, "Environmental and endogenous control of sexuality in a rotifer life cycle: developmental and population biology", Evol. Dev., vol. 5, pp. 19-24, 2003. DOI: http://dx.doi.org/10.1046/j.1525-142X.2003.03004.x

[2] H. G. Park, "Growth and production of resting eggs of freshwater rotifer, *Brachionus calyciflorus* Pallas at the different temperatures", J. Korean Fish. Soc., vol. 31, pp. 779-784, 1998.

[3] H. G. Park and S. B. Hur, "Resting egg production of six strains of Korean rotifer, *Brachionus plicatilis* (S-type)", J. Aquacult., vol. 9, pp. 195-203, 1996.

[4] T. W. Snell and E. M. Boyer, "Thresholds for mictic female production in the rotifer *Brachionus plicatilis* (Muller)", J. Exp. Mar. Biol. Ecol. vol., 124, pp. 73-85, 1988. DOI: https://doi.org/10.1016/0022-0981(88)90112-8

[5] T. W. Snell, "Chemical ecology of rotifers", Hydrobiologia, vol. 387/388, pp. 267-276, 1998. DOI: https://doi.org/10.1023/A:1017087003334

[6] T. W. Snell, R. Ricomartinez, L. N. Kelly and T. E. Battle, "Identification of a sex-pheromone from a rotifer", Mar. Biol., vol. 123, pp. 347-353, 1995. DOI: https://doi.org/10.1007/BF00353626

[7] T. Snell, T. Shearer, H. Smith, J. Kubanek, K. Gribble and D. Welch, "Genetic determinants of mate recognition in *Brachionus manjavacas* (Rotifera)", BMC Biol., vol. 7, 2009. DOI: https://doi.org/10.1186/1741-7007-7-60

[8] J. J. Gilbert and M. C. Dieguez, "Low crowding threshold for induction of sexual reproduction and diapause in a Patagonian rotifer", Freshw. Biol., vol. 55, pp. 1705-1718, 2010. DOI: http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2427.2010.02405.x

[9] K.-W. Lee and S.-M. Sim, "Effect of salinity and used medium on the induction of sexual reproduction in the rotifer *Brachionus rotundiformis*", J. Korea Acad. Industr. Coop. Soc., vol. 17, pp. 692-697, 2016. DOI: http://dx.doi.org/10.5762/KAIS.2016.17.4.692

[10] T. W. Snell and N. J. D. DesRosiers, "Effect of

progesterone on sexual reproduction of *Brachionus manjavacas* (Rotifera)", J. Exp. Mar. Biol. Ecol., vol. 363, pp. 104-109, 2008.
DOI: http://dx.doi.org/10.1016/j.jembe.2008.06.031

[11] 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., vol. 149, pp. 763-773, 2006.
DOI: https://doi.org/10.1007/s00227-006-0251-2

[12] 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, vol. 107, pp. 11859-11864, 2010.
DOI: http://dx.doi.org/10.1073/pnas.1006074107

[13] W. G. Gallardo, A. Hagiwara and T. W. Snell, "Effect of juvenile hormone and serotonin (5-HT) on mixis induction of the rotifer *Brachionus plicatilis* Muller", J. Exp. Mar. Biol. Ecol., vol. 252, pp. 97-107, 2000.
DOI: https://doi.org/10.1016/S0022-0981(00)00240-9

[14] J. X. Yang, T. W. Snell, "Effects of progesterone, testosterone, and estrogen on sexual reproduction of the rotifer *Brachionus calyciflorus*", Int Rev Hydrobiol., vol. 95, pp. 441-449, 2010.
DOI: https://doi.org/10.1002/iroh.201011267

[15] W. G. Gallardo, A. Hagiwara, Y. Tomita, K. Soyano and T. W. Snell, "Effect of some vertebrate and invertebrate hormones on the population growth, mictic female production, and body size of the marine rotifer *Brachionus plicatilis* Muller", Hydrobiologia, vol. 358, pp. 113-120, 1997.
DOI: https://doi.org/10.1023/A:1003124205002

[16] B. L. Preston, T. W. Snell, T. L. Robertson and B. J. Dingmann, "Use of freshwater rotifer *Brachionus calyciflorus* in screening assay for potential endocrine disruptors", Environl. Toxicol. Chem., vol. 19, pp. 2923-2928, 2000.
DOI: https://doi.org/10.1002/etc.5620191212

[17] T. Schroder, "Precopulatory mate guarding and mating behaviour in the rotifer *Epiphanes senta* (Monogononta: Rotifera)", Proc. R. Soc. Lond. B, vol. 270, pp. 1965-1970, 2003.
DOI: http://dx.doi.org/10.1098/rspb.2003.2466

[18] T. W. Snell, R. Ricomartinez, L. N. Kelly and T. E. Battle, "Identification of a sex-pheromone from a rotifer", Mar. Biol., vol. 123, pp. 347-353, 1995.
DOI: http://dx.doi.org/10.1007/BF00353626

[19] 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, vol. 14, 2013.
DOI: https://doi.org/10.1186/1471-2164-14-412

[20] Y. Li, M. Zheng and Y. F. Lau, "The sex-determining factors SRY and SOX9 regulate similar target genes and promote testis cord formation during testicular differentiation", Cell Rep, vol. 8, pp. 723-733, 2014.
DOI: http://dx.doi.org/10.1016/j.celrep.2014.06.055

[21] K. E. Gribble and D. B. M. Welch, "The mate recognition protein gene mediates reproductive isolation and speciation in the *Brachionus plicatilis* cryptic species complex", Bmc Evol. Biol., vol. 12:134, 2012.
DOI: https://doi.org/10.1186/1471-2148-12-134

이 균 우(Kyun-Woo Lee) [정회원]

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

〈관심분야〉
해양생물학, 해양환경독성학