

성전환 및 염색체 공학 기법을 이용한 초수컷(Y_Y) 및 초암컷(Δ Y_Y) 나일틸라피아(*Oreochromis niloticus*) 생산

IV. 초암컷을 이용한 수컷 자손 집단의 대량 생산

노충환* · 남윤권¹⁾ · 김동수¹⁾

한국해양연구원 자원연구본부 · ¹⁾부경대학교 양식학과

Production of Supermale (Y_Y) and Superfemale (Δ Y_Y) Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*) by Sex Reversal and Chromosome Set Manipulation

IV. Large Scale Production of Male Seeds with Superfemale

Choong-Hwan Noh*, Yoon-Kwon Nam¹⁾ and Dong-Soo Kim¹⁾

Marine Resources Laboratory, Korea Ocean Research & Development Institute (KORDI), Ansan,
P.O. Box 29, 425-600, Korea

¹⁾Department of Aquaculture, Pukyong National University, Busan 608-737, Korea

To establish an alternate technology for all male seed production of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* at hatchery scale, the performance of progenies produced by crossing superfemale with sex reversed male was evaluated. Free crossings between 21 superfemales and 7 sex reversed males stocked in an aquarium for 60 days resulted in the production of 93.5 % male progenies, compared to 53.2 % males produced by an equal number of normal females and normal males. Spawning frequency was lower (19 times) in the experimental cross including superfemales than that (24 times) in the control including normal females. Seed production in the experimental aquarium was (3,085) significantly lower than that (3,797) of the control. Both in terms of seeds per female per day or seeds per g female per day, seed productivity did not significantly differ between these groups. The alternate technology involving crossing between superfemale and sex reversed male has proven to be an efficient alternate technology for mass production of all male seeds at the hatchery scale.

Key words: Superfemale, Male seed, Sex reversed male, Genetic sex reversal, Seed production

서 론

유전학적 성전환은 성 특이적인 형질의 차이가 나는 종을 대상으로 원하는 단성 자손 집단을 생산하기 위한 방법으로, 암수간 체색 및 체형의 차이가 크게 나는 관상어와 성장 차이가 크게 나는 식용어를 대상으로 기존의 호르몬 처리 없이 부가가치가 높은 단성 자손 집단의 생산에 매우 유용한 방법이다.

틸라피아는 중앙아프리카가 원산지인 열대성 담수어류로서 양식 환경에서 성장이 빠르고 질병에 대한 내성이 강한 장점이 있어 현재 전 세계적으로 약 75개국에서 양식되고 있는 종이다. 이 종의 양식 생산성을 향상시키기 위한 가장 효과적인 방법은 암컷에 비해 성장이 빠른 수컷 종묘만을 생산하여 양식하는 것으로서, 이의 방법으로 종 고유의 성결정 메커니즘을 이용한 유전학적 성전환 방법에 관한 연구가 이루어져 왔다. 수컷 동형 집합성(male

*Corresponding author : chnoh@kordi.re.kr.

homogamety, ZW♀ - ZZ♂)인 어종에서는 성전환 기법을 통해 'ZZ' 인자형을 가지는 개체를 생산할 수 있고, 이 성전환 개체와 정상 수컷을 교배시켜 'ZZ' 인자형을 가지는 수컷 자손 집단을 생산할 수 있다. 수컷 동형 접합성인 *O. aureus*의 경우 유전학적 성전환 방법을 통해 산업적 규모에서 수컷 자손 집단의 생산이 가능한 것으로 보고된 바 있다(Melard, 1995). 암컷 동형 접합성(female homogamety, XX♀ - XY♂)인 어종에 있어서는 수컷 동형 접합성과는 달리 정상 개체가 가지지 않는 'YY' 인자형을 가지는 새로운 개체 생산을 위한 기법의 개발이 우선되어야 한다. 이에 암컷 동형 접합성인 *O. mossambicus*와 *O. niloticus*를 대상으로 성전환 기법과 염색체 공학 기법을 적용하여 'YY' 개체의 생산 기법이 개발되었으며 (Scott et al., 1989; Varadaraj and Pandian, 1989; 김 등, 1995, 1996), 그 후 유전학적 성전환 방법에 의한 수컷 자손 집단의 생산에 관한 연구가 진행되어 왔다. *O. mossambicus*의 경우 YY 개체의 생산 기법에 관한 Varadaraj and Pandian (1989)의 보고 외에 더 이상의 연구가 진행되지 않고 있으나, *O. niloticus*의 경우 보다 많은 연구 결과가 제시되어 최근에는 산업 적용을 위한 연구가 수행되었다 (Mair et al., 1997; Tuan et al., 1998, 1999). 이전의 연구에서 초수컷은 정상 암컷과의 교배에서 높은 수컷율을 보이는 자손 집단을 생산하므로 양식 잠재력이 큰 것으로 보고되었으나, 초암컷을 이용한 시도가 없었고 특히 본 저자들의 연구 결과에 따르면 자손 생산력 측면에서 초암컷이 초수컷에 비해 산업 적용성이 높은 것으로 나타났다 (노 등, 2001).

이에 본 연구에서는 초수컷의 낮은 자손 생산력을 극복할 수 있는 대안으로서 초암컷을 이용하는 수컷 자손 집단 생산의 산업적 적용 가능성을 조사하기 위하여 i) 친어로서 초암컷과 성전환 수컷을 방양한 후 자연 산란 및 인공 부화에 의한 종묘 생산을 시도하였고, ii) 이때 생산된 종묘의 수컷률과 성장률을 조사하였으며, iii) 초암컷의 산란 회수, 산란 주기를 정상 암컷과 비교하였다.

재료 및 방법

실험어

초수컷과 초암컷의 교배에 의해 생산된 자손을 대상으로 estradiol-17β를 480 mg/kg diet의 농도로 부화 후 첫 먹이 먹는 시기부터 30일간 경구 투여한 처리군의 암컷

(평균 어체중, 152.8±24.9 g)과 정상 암컷과 성전환 수컷의 교배에 의해 생산된 자손을 대상으로 17α-MT를 30 mg/kg diet의 농도로 첫 먹이 먹는 시기부터 28일간 경구 투여하여 성전환을 유도한 실험군 중 복부를 눌러 정액이 흘러나오는 수컷 (평균 어체중, 207.7±21.6 g)을 교배에 사용하였다. 이의 대조구에는 정상 암컷 (평균 어체중, 179.8±33.9 g)과 정상 수컷 (평균 어체중, 225.1±53.3 g)을 교배에 사용하였다.

친어 방양 및 사육 관리

순환 여과된 사육수가 공급되는 수면적 2.25 m² (1.5×1.5×0.6 m) 크기의 사각 수조 두 개를 사용하여 한 수조에는 초암컷과 성전환 수컷을, 나머지 한 수조에는 정상 암컷과 정상 수컷을 방양하였다. 교배를 위해 수조당 암컷 21마리와 수컷 7마리 (3♀:1♂)를 방양하였고, 방양 밀도 (Breeder body weight, kg/m³)는 대조구와 실험구 각각 1.7±0.1 및 1.5±0.1이었다. 방양 후 30일간의 첫 번째 실험이 끝난 후 친어의 어체중을 측정 후 동일한 친어를 이용하여 두 번째 실험을 30일간 더 실시하였다. 친어용 사료로는 텔라피어용 부상 사료 (조단백질 함량 32% 이상)를 1일 5~6회 충분히 공급하였고, 논에서 수집한 개구리밥을 보조 사료로서 공급하였다. 실험 기간 동안 수온은 27.0±1℃를 유지하였으며, 광주기는 자연 조건에 따랐다.

종묘의 수집 및 인공 부화

친어 방양 후 매일 아침 수조내 암컷의 행동과 입의 모양을 관찰한 후 알을 품고 있는 암컷으로부터 구강 부화 중인 알을 제거하고 암컷의 수를 기록하였으며, 7일 간격으로 모든 암컷의 구강을 확인하여 구강 부화 중인 알을 제거하였다. 제거한 알은 발생 정도에 따라 1.8 L 용량의 부화병으로 옮겨 부화시킨 후, 부상 시기 자어의 수를 계수하였다. 구강에서 이미 부화한 개체에 대해서는 소형 가두리로 옮겨 계속 사육한 후 부상 시기 자어 수를 계수하였다. 산란이 이루어진 암컷에 대해서는 개체별 표지를 하였으며 부화 및 사육기간 동안의 수온은 27.0±1℃를 유지하였다.

성비 조사

부화 후 60~120일째 분리하여 사육 중인 개체에 대해 성비 조사를 실시하여 생산된 자어 집단의 평균 수컷률을

구하였으며, 분석한 모든 개체에 대한 수컷률도 구하였다. 그리고 생산된 자어 집단의 수컷을 분포를 구하기 위하여 종묘 생산 실험이 실시되는 60일 기간을 포함하는 4개월 간 생산된 모든 자어 집단에 대해 수컷률을 구하였다.

성장률 조사

초암컷과 성전환 수컷의 교배에서 생산된 자손의 성장률을 조사하기 위하여 순환 여과된 물이 공급되는 0.6×0.6×0.9 m 크기의 유리 수조에 12×12×15 cm 크기의 소형 가두리를 설치한 후 부상 시기의 자어를 150 마리씩 3개의 가두리에 수용하였다. 이의 대조구는 정상 암컷과 정상 수컷의 교배에서 생산된 자어를 3개의 가두리에 앞서와 동일한 개체수로 수용하였다. 부화 후 30일째에 2톤 용량의 사각 수조에 설치된 20×30×30 cm 크기의 가두리로 옮겼으며, 부화 60일째 계측이 끝난 후에는 같은 수조에 설치된 40×75×50 cm 크기의 가두리로 옮겨 수용하였다. 부화 후 60일째 실험어 중 60 마리를 무작위로 꺼내어 어체중, 전장 및 체장을 계측한 후 생식소를 적출하여 성비를 조사하였으며, 120일째에는 나머지 개체에 대해 동일한 방법으로 성장 및 성비를 조사하였다. 그리고 부화 후 60일 및 120일째의 비만도를 구하였다. 실험 기간 동안 수온은 27.0±1.0°C, 용존산소는 3.0 mg/l 이상을 유지하였다.

산란 회수 및 산란 주기 조사

종묘 생산이 실시된 60일(30일×2회) 동안 정상 암컷과

초암컷의 산란 회수를 조사하였으며, 이 기간을 포함하여 4개월 동안 두 번 이상 산란이 이루어진 개체에 대해서 한 번 산란이 일어난 후 다음 산란까지의 기간을 기록하여 산란 주기를 조사하였다.

통계 분석

생산된 자손의 성비 조사 결과는 대조구와 실험구의 예상 성비에 대한 X² test를 실시하였고, 종묘 생산량과 성장률 조사 결과에 대해서는 Student's t-test를 적용하여 P=0.05 수준에서 유의성을 검정하였다.

결 과

종묘 생산량 조사

수면적 2.25 m² 크기의 사각 수조에서 암컷 21마리와 수컷 7마리를 방양하여 30일간 두 번에 걸쳐 종묘 생산을 시도한 결과는 Table 1에 나타내었다. 대조구에서는 24번의 교배가 이루어져 모두 7,594 마리가 생산되어 1회 교배시 평균 생산량은 316.4마리였고, 실험구에서는 19번의 교배가 이루어져 모두 6,170마리가 생산되어 1회 교배시 평균 생산량은 324.7마리였다. 교배가 이루어진 회수와 생산량에서는 대조구에서 많았으나, 1회 교배시 생산량은 실험구에서 많은 것으로 조사되었다.

평균 생산량은 대조구에서 3,797±636.4마리, 실험구에서 3085±562.9마리로서 대조구의 생산량이 더 많은 것으로 조사되었으나 유의한 차이는 없었다 (Student's t-test,

Table 1. Seed production from the crosses with normal female×normal male and superfemale×sex reversed male in 30 day experiment

Cross type	Control	Experiment
	Normal female×Normal male	Superfemale×Sex reversed male
Mean female body weight (g)	185.7±8.3 ^a	157.8±7.1 ^a
Stocking density	1.7±0.1 ^a	1.5±0.1 ^a
No. of female brooders	21	21
Incubation period	30	30
<i>Seed production</i>		
No. of matings	24	19
Total	3,797±636.4 ^a	3,085±562.9 ^a
Seed/female spawner	316	325
Seed/female/day	6.0±1.0 ^a	4.9±0.9 ^a
Seed/female body weight(g)/day	32.6±6.9 ^a	31.2±7.1 ^a

Values (mean±sd.) within a row having the different superscripts are significantly different (Student's t-test, P<0.05). Each brooder tank was stocked with 21 females and 7 males (3♀:1♂).

P>0.05).

암컷 마리당 일간 생산량은 대조구에서 6.0±1.0마리, 실험구에서 4.9±0.9마리였고, 암컷 어체중당 일간 생산량은 각각 32.6±6.9 및 31.2±7.1마리로서 두 구간간 유의한 차이는 없었다 (Student's t-test, P>0.05).

생산된 종묘의 성비 조사

인공 부화 방법 의해 생산된 자손에 대한 성비 조사 결과는 Table 2에 나타내었다. 대조구의 평균 수컷률은 53.2±10.2%였으며, 분석이 이루어진 1,242마리 중 수컷은 651마리로서 52.4%의 수컷률을 보여 이들의 교배에서 예상되는 1♀:1♂ 성비에 대해 유의한 차이가 없는 것으로 조사되었다(X² test, P>0.05). 실험구에서 생산된 자손의 평균 수컷률은 93.5±6.4%였으며, 분석이 이루어진 1,324마리 중 수컷은 1,228마리로서 92.8%의 수컷률을 보여 이

들의 교배에서 예상되는 0♀:1♂ 성비에 유의한 차이가 없었으며(X² test, P>0.05), 정상 암컷과 정상 수컷의 교배에서 예상되는 1♀:1♂ 성비와 유의한 차이를 보였다(X² test, P>0.05).

성장률 조사

생산된 자손의 성장률 조사 결과는 Table 3에 나타내었다. 부화 후 60일째 측정 결과 실험구에서 생산된 자손의 어체중, 전장 그리고 체장은 각각 5.4±1.0 g, 6.7±0.5 cm 및 5.5±0.4 cm로서, 대조구에서 생산된 자손(5.1±0.8 g, 6.6±0.4 cm 및 5.3±0.3 cm)에 비해 성장이 다소 빨랐으나 유의한 차이는 없었다(Student's t-test, P<0.05). 부화 후 120일째에는 대조구에서 생산된 자손의 어체중, 전장 그리고 체장은 각각 15.3±1.21 g, 9.4±0.5 cm 및 7.7±0.4 cm임에 비해 실험구에서 생산된 자손은 각각 20.3±1.3 g,

Table 2. Sex ratio of the progenies sired by crossing the normal female with normal male and superfemale with sex reversed male

Cross type	Control		Experiment	
	Normal female×Normal male		Superfemale×Sex reversed male	
No. of matings	24		19	
Mean % male	53.2±10.2 ^a		93.5±6.4 ^b	
(Mean no. of fish examined)	(51.8)		(69.7)	
Total no. of fish examined	1,242		1,324	
Total no. of males	651		1,228	
Total no. of females	591		96	
% Male	52.4		92.8	
X ² against 1♀:1♂	2.90 ^{ns}		967.84 [*]	
X ² against 0♀:1♂	281.23 [*]		6.96 ^{ns}	

Values (mean±sd. as duplicates) within a row having the different superscripts are significantly different (Student's t-test, P<0.05).

^{ns}Not significant, ^{*}P<0.001.

Table 3. Growth of progenies sired by crossing normal females with normal males and superfemales with sex reversed males

Cross type	Control		Experiment	
	Normal female×Normal male		Superfemale×Sex reversed male	
	60 d [*]	120 d [*]	60 d	120 d
Body weight (g)	5.1±0.8 ^a	15.3±1.2 ^a	5.4±1.0 ^a	20.3±1.3 ^b
Total length (cm)	6.6±0.4 ^a	9.4±0.5 ^a	6.7±0.5 ^a	10.3±0.5 ^b
Standard length (cm)	5.3±0.3 ^a	7.7±0.4 ^a	5.5±0.4 ^a	8.5±0.4 ^b
Condition factor ^{***}	1.8±0.2 ^a	1.8±0.1 ^a	1.8±0.3 ^a	1.8±0.1 ^a

Values (mean±sd. of triplicates) within a row in same sample date having the different superscript are significantly different (Student's t-test, P<0.05).

^{*}Days after hatching. ^{***}(wet body weight/total length³)×10²

10.3±0.5 cm 및 8.5±0.4 cm로 조사되어, 두 구간간 성장의 유의한 차이가 나타났다(Student's t-test, P<0.05).

비판도에 있어서는 실험구와 대조구간 유의한 차이는 없었다(Student's t-test, P<0.05).

초암컷의 산란 회수

실험구와 대조구의 초암컷 및 정상 암컷에 대해 60일간 산란 회수를 조사한 결과는 Fig. 1에 나타내었다.

정상 암컷 중 다섯 마리(23.8%)와 초암컷 중 네 마리(28.6%)는 실험 기간 동안 산란을 하지 않은 것으로 조사되었고, 1~2회 산란이 이루어진 개체는 정상 암컷의 경우 8마리(38.1%), 초암컷은 11마리(52.4%)로 조사되었다. 3회 이상 산란이 이루어진 개체는 정상 암컷의 경우 4마리, 초암컷의 경우 1마리가 있었으며, 정상 암컷과 초암컷의 가장 많은 산란 회수는 각각 5회 및 4회로 조사되었다.

초암컷의 산란 주기

2회 이상 산란이 이루어진 정상 암컷 12마리와 초암컷 11마리를 대상으로 4개월 동안 산란 주기를 조사한 결과는 Table 4에 나타내었다.

정상 암컷의 산란 주기는 평균 20.1±9.2일이었으며, 초암컷은 21.4±10.7일로 이들간의 유의한 차이는 없었다(Student's t-test, P>0.05). 정상 암컷에서 조사된 가장 짧은 산란 주기는 6일로서 초암컷의 9일에 비해 짧았으며, 가장 긴 산란 주기는 정상 암컷과 초암컷이 각각 46일 및 58일이었다.

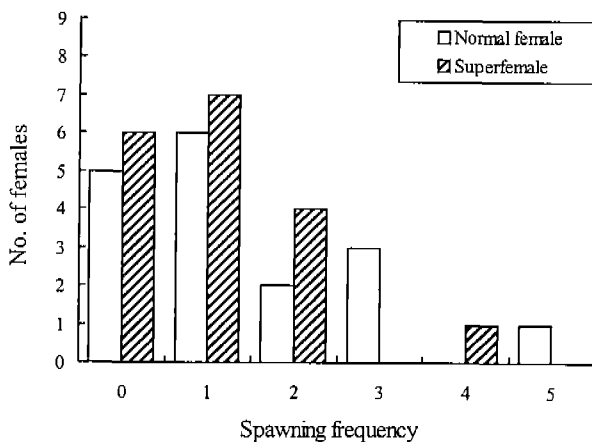


Fig. 1. Spawning frequency of superfemales and normal females during the 60 days experiment.

Table 4. Spawning interval of normal females and superfemales during 120 day experiment

	Normal female (n=12)	Superfemale (n=11)
Spawning interval (day)	20.1±9.2	21.4±10.7
Minimum interval (day)	6	9
Maximum interval (day)	46	58

생산된 자손 그룹의 수컷률 분포 조사

정상 암컷과 정상 수컷의 교배에서 생산된 68 그룹의 자손 집단과 초암컷과 성전환 암컷의 교배에서 생산된 39 그룹의 자손 집단의 성비 분포 조사 결과는 Fig. 2에 나타내었다.

정상 암컷과 정상 수컷의 교배에서는 27 그룹의 수컷률이 50~55% 범위에 속하는 것으로 조사되어 가장 많은 분포를 보였으며, 초암컷과 성전환 수컷의 교배에서는 24 개의 그룹의 수컷률이 95~100% 범위에 속하여 가장 많은 분포를 보였다. 그러나 정상 암컷과 정상 수컷의 교배에서는 두 그룹이 35~40% 범위에 속하였고, 다섯 그룹은 60% 이상의 수컷률을 보였으나 이들의 교배에서 예상되는 1:1 성비와 유의한 차이는 없었다 (X^2 test, value=4.91; P>0.025).

초암컷과 성전환 수컷의 교배에서는 한 그룹의 수컷률이 70~75% 범위에 속하여 가장 낮았으나, 이들의 교배에서 예상되는 0:1 성비와 유의한 차이는 없었다 (X^2 test, value=3.56; P>0.05). 그리고 수컷률이 75~80%, 80~85%, 85~90%, 90~95%에는 각각 1, 1, 3 그리고 8개의 그룹이

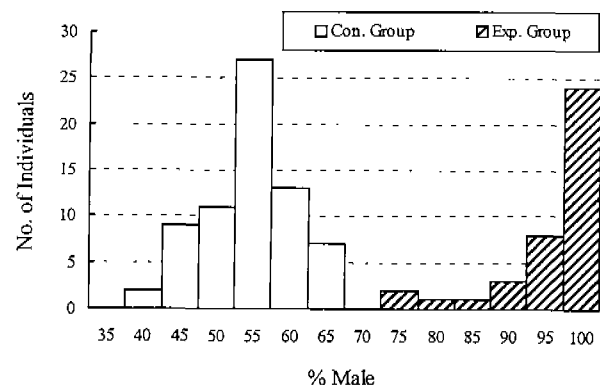


Fig. 2. Distribution of male progenies sired by crossing normal females with normal males (control group) and superfemales with sex reversed males (experiment group).

속하는 것으로 조사되어 90% 이상의 수컷률을 보인 그룹은 전체 39 그룹 중 32 그룹(82.1%)인 것으로 조사되었다.

고 찰

본 연구에서 초암컷과 성전환 수컷의 자연 교배에 의해 생산된 종묘의 수컷률은 $93.5 \pm 6.4\%$ 로서, 본 저자들이 인공 수정을 통해 생산한 자손의 수컷률 $98.7 \pm 1.0\%$ 에 비해 낮았다. 이는 실험에 사용한 초암컷 개체에 따른 수컷 자손 생산 능력의 차이에 기인하는 것으로 생각된다. Melard (1995)는 성전환 'ZZ' 암컷은 정상 수컷(ZZ)과의 교배에서 개체에 따라 80~100%의 수컷률을 보이는 자손 집단을 생산하였고, 낮은 수컷률의 자손 집단을 생산하는 성전환 'ZZ' 암컷은 수컷을 달리하여 교배시켜도 자손의 수컷률은 크게 달라지지 않는다고 보고한 바 있다. 이러한 경향은 나일틸라피아의 초수컷에서도 나타나는 현상으로 Mair et al. (1997)은 정상 암컷(XX)과의 교배에서 높은 수컷률(>96.0%)을 보이는 자손 집단을 생산한 'YY' 수컷은 그렇지 못한 'YY' 수컷에 보다 항상 높은 수컷률을 보이는 자손 집단을 생산한다고 보고하였다. 본 연구에서 사용한 초암컷은 초수컷과 초암컷의 교배에서 생산된 자손 집단에 자성화 호르몬을 투여하여 성전환시킨 개체들에서 무작위로 21마리를 추출한 개체들이고, 본 저자들의 이전 연구에서 인공 수정을 위해 사용한 초암컷은 성전환시킨 개체들 중 자손 검정을 실시하여 수컷률(>95.0%)이 높은 자손을 생산한 개체였다. 따라서 저자들이 실시한 본 연구와 이전 연구에서 나타나는 수컷률의 차이는 실험에 사용한 초암컷의 차이에 기인하는 것으로 생각된다.

유전학적 성전환 방법을 이용한 이전의 결과와 비교하면, Tuan et al. (1998)은 'YY' 수컷을 이용하여 본 연구와 비슷한 규모로 대량 생산한 자손의 수컷률이 82.6~100.0% (평균, $89.1 \pm 9.2\%$)이었다고 보고한 바 있는데 본 연구에서는 그들의 수컷률 결과보다는 높게 나타났다. 생리학적 성전환 방법으로 수컷 자손 집단을 대량 생산한 이전 연구에서의 수컷률은 유전학적 성전환 방법을 이용한 본 연구와 Tuan et al. (1998)의 연구 결과보다 높은 것으로 알려져 있다. 이전 연구에서 옹성화 호르몬인 17 α -methyl-testosterone의 경구 투여를 통한 생리학적 성전환에서 Guerrero and Guerrero (1988)는 99.0%, Phelps et al. (1995)은 98~100% 그리고 Rothbard et al. (1983)은 87.0~98.2%의 수컷 자손 집단을 생산하였다고 보고하였다.

그러나 실제 산업 현장에서는 수컷 먹이 생물이 존재하고, 개체간 경쟁으로 인하여 사료의 섭취량이 서로 달라 호르몬의 균일한 처리가 어려워 항상 좋은 결과를 얻기 어렵고(Lone and Lidha, 1993; Vera Cruz and Mair, 1994), 호르몬은 유해성으로 인해 산업적 사용이 금지되고 있는 실정을 감안할 때 생리학적 성전환 방법은 산업적으로 적용하기 어려울 것으로 생각한다. 이에 반해 'YY' 개체를 이용한 유전학적 성전환 방법은 단순히 교배를 통해 수컷 자손 집단을 생산할 수 있으므로 산업 현장에 그대로 적용할 수 있어 나일틸라피아의 양식 생산성 향상을 위해 효과적인 것으로 생각된다.

초암컷과 성전환 수컷으로부터 생산된 자손 집단(수컷률 92.8%)의 성장률은 부화 후 60일째 조사에서 대조구(52.4%)에 비해 다소 높았으며, 120일째에는 유의하게 높은 것으로 조사되었다. 이러한 성장 차이는 암컷에 비해 성장이 빠른 수컷의 빈도 차이에 기인하며, 나일틸라피아는 암컷에 비해 수컷의 성장이 월등히 빠른 점을 고려할 때 120일 이후에는 수컷 자손 집단과 암수가 섞인 자손 집단간 성장의 차이가 더욱 크게 날 것으로 생각된다.

본 연구에서 초암컷은 정상 암컷에 비해 산란하지 않는 개체수가 다소 많고, 개체별 산란 회수가 적은 것으로 나타났다. *O. aureus* (성결정 메카니즘, ZW♀ - ZZ♂)의 경우에서도 17 α -ethynylestradiol을 150 mg/kg diet의 농도로 40일간 경구 투여하여 생산한 성전환 암컷(ZZ-♂♀)은 정상 암컷(ZW-♀)에 비해 산란 주기가 늦어지고 산란 회수가 적은 것으로 보고된 바 있어 이 연구의 결과와 비슷한 경향을 보였다(Melard, 1995). 이에 대해 Melard (1995)는 암컷으로의 성전환 처리에 사용한 호르몬에 의한 영향인 것으로 주장한 바 있어 본 연구에서도 호르몬 처리에 따른 부작용으로 생각할 수 있다. 그러나 Melard (1995)의 연구에서는 7개월의 관찰 기간 동안 성전환 암컷의 산란 주기는 정상 암컷에 비해 현저하게 적었고(평균 20일 vs. 40일), 특히 성전환 암컷은 산란하지 않은 개체가 전체의 40%로서 정상 암컷(20%)에 비해 상대적으로 많은 것으로 나타나 성전환 암컷의 생식 능력이 본 연구의 초암컷에 비해 뒤떨어지는 것으로 간주할 수 있다. 특히 Melard (1995)의 연구에서 성전환 암컷은 종묘 생산량에 있어서 40일간의 실험 기간 동안 정상 암수간 교배시킨 대조구(평균 92,430마리)에 비해 성전환 암컷과 정상 수컷을 교배시킨 실험구(평균 58,707마리)의 생산량이 현저하게 적었다. 본 연구와 Melard (1995)의 연구는 어종과 사용한

호르몬 처리 방법이 달라 직접적인 비교는 어려우나 본 연구에서 성전환을 위해 사용한 호르몬(estradiol-17β)의 처리 조건은 나일틸라피아의 기능적인 성전환에 적절한 것으로 판단된다.

비록 초암컷은 총 산란 회수와 개체별 산란 회수가 정상 암컷에 비해 다소 뒤쳐지지만 암컷 마리당 일간 생산량과 암컷 어체중당 일간 생산량이 정상 암수간 교배와 차이가 없는 것으로 나타나 초암컷과 성전환 수컷을 교배시켜 수컷 자손 집단을 대량 생산하는 방법의 산업 적용에 문제가 없을 것으로 판단된다.

요 약

본 연구는 초암컷을 이용한 나일틸라피아의 전수컷 자손 집단 생산 기법을 확립하기 위하여 수행되었으며, 초암컷과 성전환 수컷(실험구) 그리고 정상 암컷과 정상 수컷(대조구)을 자연 교배시킨 후 실험구와 대조구의 종묘 생산량과 생산된 종묘의 성비를 조사하였고, 초암컷과 정상 암컷의 산란 주기 및 산란 회수를 비교하였다. 대조구에서 생산된 자손의 수컷률은 53.2±10.2%였음에 비해 실험구에서는 93.5±6.4%의 수컷 자손 집단이 생산되었다. 60일 동안 초암컷은 총 산란 회수는 19회로서 정상 암컷의 24회에 비해 적었으나, 산란한 개체의 평균 산란 주기는 초암컷과 정상 암컷이 각각 21.4±10.4일 및 21.1±9.2일로서 차이가 없었다. 종묘 생산량에 있어서 실험구는 3,085±562.9마리로서 대조구의 3,797±636.4마리와 유의한 차이는 없었다. 수용한 암컷 마리당 일간 종묘 생산량과 암컷 어체중당 일간 생산량에 있어서도 실험구와 대조구간 유의한 차이는 없었다. 이상의 결과로부터 초암컷은 성전환 수컷과의 교배에서 높은 수컷률을 보이는 자손 집단을 생산하였고, 정상적인 산란 능력을 가지는 것으로 조사되었다. 따라서 초암컷을 이용한 수컷 자손 집단의 대량 생산은 양식 생산성 향상을 위해 매우 유용한 방법인 것으로 판명되었다.

감사의 글

이 논문은 과학기술부 국가지정연구실(NRL) 사업의 지원에 의해 수행된 연구의 일부이며, 지원에 감사드립니다.

참 고 문 헌

Guerrero, R. D. and L. A. Guerrero, 1988. Feasibility

of commercial production of sex-reversed Nile tilapia fingerlings in Philippines. pp.183-186. (in) The Second International Symposium on Tilapia in Aquaculture, (eds.) R. S. V. Pullin, T. Bhukaswan, K. Tonguthai and J. L. Maclean. Bangkok, Thailand, 16-20 March, 1987, Manila, Philippines.

Lone, K. P. and M. T. Ridha, 1993. Sex reversal and growth of *Oreochromis spilurus* (Gunter) in brackish and sea water by feeding 17α-methyltestosterone. Aquacult. Fish. Man., 24 : 593-602.

Mair, G. C., J. S. Abucay, D. O. F. Skibinski, T. A. Abella and J. A. Beardmore, 1997. Genetic manipulation of sex ratio for the large-scale production of all-male tilapia, *Oreochromis niloticus*. Can. J. Fish. Sci., 54 : 396-404.

Melard, C., 1995. Production of a high percentage of male offspring with 17α-ethynylestradiol sex reversed *Oreochromis aureus*. II. comparative reproductive biology of females and F2 pseudofemales and large-scale production of male progeny. Aquaculture, 130 : 35-41.

Phelps, R. P., G. C. Salazar, V. Ave and B. J. Argue, 1995. Sex reversal and nursery growth of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* (L.), free-swimming in earthen ponds, Aquaculture Research, 26 : 293-295.

Rothbard, S., E. Solnik, S. Shabbath, R. Amado and I. Grabie, 1983. The technology of mass production of hormonally sex-reversed all male tilapias. pp. 425-434. (in) Proceeding of the international symposium on tilapia in aquaculture, (eds.) Fishelson, L. and Z. Yaron. Tel-Aviv Univ., Israel.

Scott, A. G., D. J. Penman, J. A. Beardmore and D. O. F. Skibinski, 1989. The "YY" supermale in *Oreochromis niloticus* (L.) and its potential in aquaculture. Aquaculture, 78 : 237-251.

Tuan, P. A., D. C. Little and G. C. Mair., 1998. Genetic effects on comparative growth performance of all-male tilapia, *Oreochromis niloticus* (L.). Aquaculture, 159 : 293-302.

Tuan, P. A., G. C. Mair, D. C. Little and J. A. Beardmore, 1999. Sex determination and the feasibility of genetically male tilapia production in the Thai-Chitralada strain of *Oreochromis niloticus* (L.). Aquaculture, 173 : 257-269.

Varadaraj, K. and T. J. Pandian, 1989. First report of supermale tilapia by integrating endocrine sex reversal with gynogenetic technique. Curr. Sci., 58 : 434-441.

Vera Cruz, E. M. and G. C. Mair, 1994. Conditions for effective androgen sex reversal in *Oreochromis niloticus* (L.). Aquaculture, 122 : 237-248.

김동수 · 최윤희 · 노충환 · 남윤권, 1995. 성전환 및 염색체

- 공학 기법을 이용한 초수컷 및 초암컷(ΔYY) 나일틸라피아(*Oreochromis niloticus*) 생산. I. 성전환된 XY 암컷으로부터 자성발생성 이배체 유도. 한국양식학회지, 8 : 295-306.
- 김동수 · 노충환 · 최윤희 · 남윤권, 1996. 성전환 및 염색체 공학 기법을 이용한 초수컷(YY) 및 초암컷(ΔYY) 나일틸라피아(*Oreochromis niloticus*) 생산. II. 생산된 초수컷 및 초암컷 나일틸라피아의 자손검정. 한국양식학회지, 9 : 101-106.
- 노충환 · 남윤권 · 김동수, 2001. 성전환 및 염색체 공학 기법을 이용한 초수컷(YY) 및 초암컷(ΔYY) 나일틸라피아(*Oreochromis niloticus*) 생산. III. 초수컷 및 초암컷의 수컷 자손 생산 능력 비교. 한국양식학회지 13 : 325-330.