

하절기 사육수온 및 밀도가 터봇 *Scophthalmus maximus* 미성어의 성장과 생존에 미치는 영향

이배익, 남명모, 변순규, 김이청, 이종하*
국립수산물연구원 동해특성화연구센터

Effect of Water Temperature and Culture Density on Growth and Survival of Juvenile Turbot *Scophthalmus maximus* during Summer Season

Bae ik Lee, Myung-Mo Nam, Soon Gyu Byun, Yi Cheong Kim and Jong Ha Lee*
East Sea Mariculture Research Center, NFRDI, Uljin 767-863, Korea

Upper temperature tolerance of the turbot *Scophthalmus maximus*, one of the popular aquaculture species in European community and China, was evaluated in terms of survival and growth at 20°C, 23°C, 26°C, or 29°C. Best growth was achieved at temperature 20°C in this experiments. The fish exposed to 20°C or 23°C were comparable in survival, condition factor and feed conversion efficiency reminiscent of the latter temperature to be agreeable for the fish. The temperature over 23°C appeared to be the temperatures beyond the fish can tolerate. For instance, the fish exposed to 26 showed mortality of 60.9% by day 60; none of the fish exposed to 29°C survived beyond day 7. Culture densities between 80 and 200 fish/m² did not influence the survival, growth, condition factor and specific growth rate of the fish. The final production of the culture density experiment was 10 kg/m² on average. These results imply that the location where water temperature remains lower than 25°C during summer can be a candidate site for the turbot aquaculture.

Keywords: *Scophthalmus maximus*, Turbot, Temperature, Density

서 론

터봇 *Scophthalmus maximus*는 북아프리카에서 북대서양 노르웨이까지 분포하며 북해 및 지중해에서도 서식하는 어종이다(Liewes, 1984). 1970년대 초 영국과 프랑스에서 경제성과 고밀도 양식 가능성 및 빠른 성장 등의 이유로 양식대상종이 된 후 유럽에서는 순환여과양식시스템 적용 대상종으로 주목받고 있으며(Strand and Oiestad, 1997; Borges *et al.*, 2003; Labatut and Olivares, 2004), 최근에는 중국에서도 상품성을 인정받아 양식기술개발에 심혈을 기울이고 있는 주요 전략 품종으로 대두되고 있다(Lei *et al.*, 2002, Ma *et al.*, 2006). 그러나 본 종의 적정 사육수온은 16°C이며, 20°C 이상에서는 먹이를 잘 먹지 않고, 23°C 이상에서는 폐사가 일어나는 것으로 보고되어 있어(이, 2002), 국내에서 양식 할 경우 하계 고수온기를 대비하기 위해 지하해수 또는 냉각기를 사용하여야 하는 것으로 검토되어져 양식개발에 걸림돌이 되고 있다.

터봇 사육수온에 대한 연구 자료는 수온과 염분의 상호작용

(Imsland *et al.*, 2001a, 실험수온범위 10~25°C) 자료를 제외한 대부분의 연구가 최적수온인 16°C를 크게 벗어나지 않은 10~22°C(Imsland *et al.*, 1995, 1996, 2001a, 2001b, 2007; Gibson and Johnston, 1995; Karås and Klingsheim, 1997; Sunde *et al.*, 1998; Ham *et al.*, 2003)에서 수행되어, 우리나라와 같이 여름철 수온이 높은 지역에서 본 종이 어떠한 성장과 생존 양상을 보일지는 의문시되고 있다. 최근 우리나라에서도 제주도 및 거제 등의 일부지역에서 본 종에 대한 양식이 시도되는 등 터봇에 대한 관심은 높아지고 있으나, 국내에서 연구된 자료는 Kim *et al.* (2003)에 의한 바이러스 관련 질병 외에는 없다.

본 연구에서는 터봇이 종묘 입식 1년 후에 700 g 이상으로 빠르게 성장하는 생물적 특성을 지니고 있어(Sun and Yan, 2003), 종묘입식 당해년도 하계 사육이 무난하다면 다음해 여름철 고수온기 이전에 상품으로 출하가 가능하다는 점을 고려하여 미성어기 터봇을 대상으로 고수온기의 사육 수온 및 밀도 조사를 통하여 국내에서의 여름철 사육 가능성을 평가하였다.

*Corresponding author: cosmos@nfrdi.go.kr

재료 및 방법

시험어 및 사육수조

시험어는 동해특성화연구센터에서 사육중인 종묘(전장 9.26 ± 0.98 cm, 체장 7.27 ± 0.83 cm, 체중 12.7 ± 4.4 g, $n=30$)를 이용하였으며, 사육수조는 원형 FRP 수조(f 70 cm, 수심 30 cm)를 이용하였다.

수온별 사육시험

수온별 사육 시험은 터봇 성어가 먹이를 잘 섭취하지 않는다고 보고되어 있는 20°C (이, 2002)를 기준으로 국내 하계 수온을 고려하여 3간격으로 상향조절한 20°C , 23°C , 26°C , 29°C 의 4실험구를 설정하여 반복실험을 실시하였다. 수온 조절은 생물환경조절장치를 이용하여 유수식(유수량 2L/분)으로 8월 7일부터 10월 6일까지 60일간 실시하였으며 실험개시 사육수온을 1일 1°C 씩 서서히 올려 실험어를 온도 순차시켰다. 수용 밀도는 고수온 실험임을 고려하여 동일 체중의 넙치 사육 밀도 160 마리/ m^2 (2 kg/ m^2) (국립수산과학원, 2006)의 절반 수준인 80 마리/ m^2 로 하였다. 수온, 염분농도, 용존산소 및 생존율 조사는 매일 아침 10시에, 체중은 전어체를 20일 간격으로 측정하였으며, 실험종료시에는 각 실험구별로 전개체의 전장 및 체중을 측정하였다. 먹이는 시판의 터봇용 사료(조단백질 53.0% 이상, 조지방 11.5% 이상)를 1일 2회 반복 공급하였으며, 매일 공급량을 기록하여 실험기간별 사료계수를 조사하였다.

밀도별 사육시험

여름철 고수온기의 밀도별 사육 시험은 동해특성화연구센터에서 여름철 수온이 가장 높은 시기에 해당하는 7월 30일부터 9월 28일까지 60일간 자연해수 수온 조건에서 유수식(유수량 2L/분)으로 반복 실험을 실시하였다. 수용 밀도는 국내 양식장에서 동일 체중의 넙치 사육 밀도 160 마리/ m^2 (2 kg/ m^2)를 기준으로(국립수산과학원, 2006) 밀도를 가감하여 200 마리/ m^2 , 160 마리/ m^2 , 120 마리/ m^2 , 80 마리/ m^2 의 4실험구로 설정하였다. 밀도별 차이에 의한 용존 산소 변화를 최소화하기 위하여 사육조 하단에 에어스톤에 의한 폭기장치를 설치하였으며 주기적으로 공기주입량을 조절하여 각 실험구 모두 용존산소가 충분히 유지되도록 하였다. 먹이 공급 횟수, 수질환경조사 등 기타 실험조건은 수온별 실험과 동일하게 실시하였다.

통계처리 및 성장 조사

성장 차이에 대한 유의성 검정은 SPSS-통계 패키지를 이용하여 95% 신뢰수준에서 t-test를 이용하여 검증하였으며, 사료계수는 건조사료(g)에 대한 어체 습증량(g)의 증가율로(Kinghorn, 1983)로, 일간성장률(%)은 아래의 수식으로 계산하였다.

일간성장률(%) = $(\text{Ln 최종무게} - \text{Ln 처음무게}) \times 100 \div$ 사육일수

결과

수온별 사육시험

염분농도는 실험개시시 32.1 psu에서 7일째 32.2 psu로 일정하였으나 8일째 33.4 psu로 상승한 후 18일(33.1 psu)까지 다른 기간보다 높은 염분농도를 나타내었고, 이후는 $30.3 \sim 31.8$ psu 범위를 유지하였다(그림 1). 본 실험 기간중 평균 염분농도는 31.6 ± 0.9 psu ($30.3 \sim 33.4$ psu)로 터봇 사육시 최적 염분농도로 알려진 $13 \sim 22$ psu (Jones *et al.*, 1981, Gaumet *et al.*, 1995, Imsland *et al.*, 2001a, 2001b) 보다 상당히 높았다. 용존산소는 에어 포기량을 조절하여 모든 실험구가 4.60 ppm 이상이 유지되었으며, 사육기간 중 용존산소 부족에 의한 먹이섭취 불량, 스트레스는 관찰되지 않았다.

생존율은 20 및 23°C 의 낮은 수온 실험구에서는 실험종료시 98.4% ($96.9 \sim 100\%$)로 매우 높았으나, 이보다 수온이 높아짐에 따라 생존율은 낮아졌다(그림 2). 26°C 실험구는 30일까지는 평균 90.6% ($87.5 \sim 93.8\%$)로 높았으며, 40일에는 85.9% ($81.3 \sim 90.6\%$)이었다. 이후 52일에는 82.8% ($78.1 \sim 87.5\%$)로 다소 감소하였으며 이후 급격히 감소하여 실험 종료시(60일)에는 60.9% ($56.3 \sim 65.6\%$)로 낮게 나타났다. 26°C 실험구는 52일 이후 폐사개체가 증가하는 경향을 보였으며, 이 때 폐사개체는 작은 개체가 많았다. 29°C 실험구는 실험개시 3일 후부터 폐사가 나타

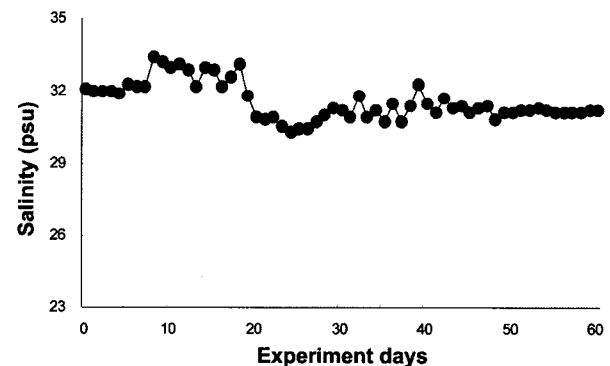


Fig. 1. Change in salinity (psu) of turbot *Scophthalmus maximus* in the different culture temperature experiments.

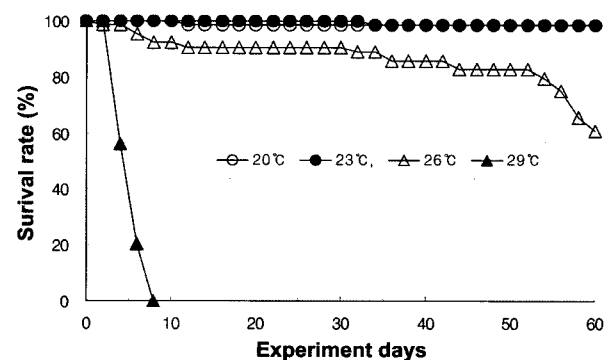


Fig. 2. Changes in mean survival rate of turbot *Scophthalmus maximus* in the different culture temperature experiments.

Table 1. Change of condition factor, specific growth rate, feed efficiency and final stocking density of turbot *Scophthalmus maximus* in the different culture temperature experiments

Temperature	20°C	23°C	26°C
Mean body weight (g)	60.2±20.6 ^a	50.1±15.0 ^b	31.6±12.6 ^c
Mean standard body length (cm)	11.8±1.5 ^a	11.1±1.2 ^b	9.6±1.3 ^c
Condition Factor	4.14±0.58 ^a	3.96±0.75 ^a	3.23±0.50 ^b
Specific growth rate (% day)	2.59 (2.51~2.67)	2.29 (2.20~2.37)	1.49 (1.22~1.77)
Feed conversion efficiency (g gain/dry feed)	0.84 (0.80~0.89)	0.89 (0.88~0.89)	2.91 (2.38~3.44)
Final stocking density (kg/m ²)	4.98 (4.81~5.16)	4.16 (3.88~4.43)	1.64 (1.25~2.03)

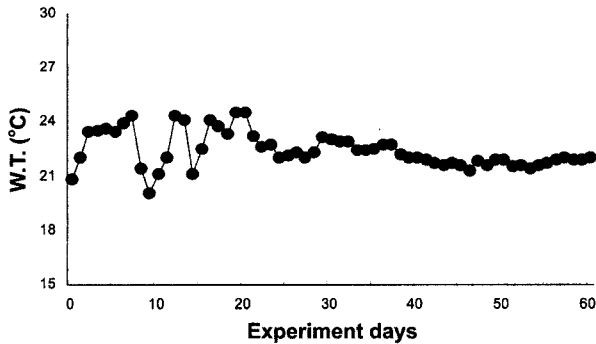


Fig. 3. Changes in mean body weight of turbot *Scophthalmus maximus* in the different culture temperature experiments.

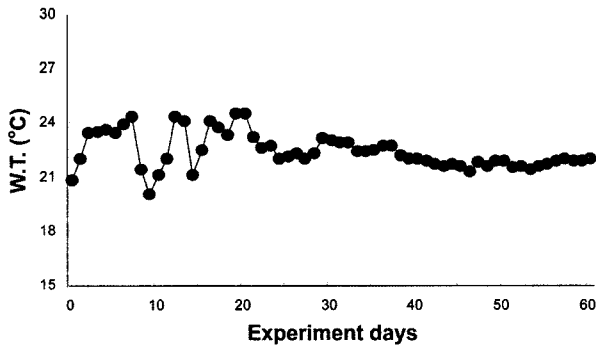


Fig. 4. Change in water temperature(°C) of turbot *Scophthalmus maximus* in the different culture density experiments.

나기 시작하여 7일째에 모든 개체가 폐사하였다.

평균체중은 실험개시 12.7 g (11.0~14.4 g)에서 20일 후 20 실험구 29.3 g (28.5~30.1 g), 23°C 실험구 27.6 g (26.3~29.0 g), 26°C 실험구 23.1 g (21.0~25.2 g)로 낮은 수온 일수록 성장이 빠르게 나타났다(그림 3). 이러한 경향은 실험기간이 경과함에 따라 그 차이가 확연해져 60일에는 20°C 실험구가 60.2 g (57.1~63.2 g), 23°C 실험구가 50.1 g (47.6~52.6 g), 26°C 실험구가 31.6 g (26.4~36.7 g)로, 60일간의 사육기간 동안 20°C 실험구는 23°C 실험구에 비해 1.2배, 26°C 실험구에 비해 1.9배, 23°C 실험구는 26°C 실험구에 비해 1.6배 성장 차이를 보였다. 26 실험구에서는 50일 이후부터는 먹이를 거의 섭취를 하지 않았다.

실험 종료 시 터봇의 비만도, 일간성장률, 사료개수 및 최종 사육밀도를 종합한 결과는 Table 1과 같다. 20°C 실험구와 23°C 실험구의 비만도 평균치는 각각 4.14, 3.96로 유의차($P<0.05$)가 없었으나, 26°C 실험구는 3.23으로 현저하게 낮게 나타났다. 일간성장률은 20°C 실험구가 2.59% day로, 23°C 실험구(2.29% day)보다 1.1배, 26°C 실험구(1.49% day) 보다 1.7배 높았다. 사료효율은 20°C 실험구와 23°C 실험구 평균치가 각각 0.84, 0.89로 큰 차이가 없었으나, 26°C 실험구는 2.91로 차이가 컸다. 실험종료시 사육밀도는 20°C 실험구가 4.98 kg/m², 23°C 실험구 4.16 kg/m²로 실험개시(1.1 kg/m²) 보다 약 4배 정도 증가 하였으나 26°C 실험구는 1.64 kg로 사육밀도 증가는 거의 없었다.

밀도별 사육시험

밀도별 사육 실험기간 중 수온은 4개 실험구 모두 동일하였다. 수온은 실험개시 20.8°C에서 7일째 24.3°C에 이르렀으나, 이후 9 및 14일째는 냉수대의 영향으로 일시적으로 수온이 하강(그림 4)하였으나 21일째까지는 23.3~24.5°C로 높은 수온을 나타내었다. 이후 40일째까지 서서히 하강하여 22.0°C에 이르렀으며, 실험 종료시까지 21.3~22.0°C를 나타내었다. 실험기간 중 평균수온은 22.4±1.0°C (20.0~24.5°C)이었으며, 수온이 23°C 이상으로 올라간 일수는 실험개시 후 7일에서 20일 사이의 14 일간이었다. 염분농도는 수온별 실험과 동일하게 30.3~33.4 psu 이었으며, 용존산소는 5.12 mg/L 이상을 유지하였다.

생존율은 실험개시 후 16일까지는 모든 실험구에서 100%의 생존율을 보였으며, 36일까지 일부 실험구에서 1~2 마리 소수가 폐사가 나타났으나 이후는 폐사가 관찰되지 않았다(그림 5). 실험 종료시 생존율은 200 마리/ 실험구가 99.4% (98.8~100%), 160 마리/m² 실험구가 100%, 120 마리/m² 실험구가 97.9% (95.8~100%), 80 마리/m² 실험구가 98.4% (96.9~100%)로 나타나 전 실험구 모두 97.9% 이상의 높은 생존율로 각 실험구별 생존율의 차이는 나타나지 않았다.

평균체중은 실험개시시 12.7 g에서 20일 후 200 마리/m² 실험구 23.9 g (23.5~24.3 g), 160 마리/m² 실험구 21.9 g (21.1~23.5 g), 120 마리/m² 실험구 21.5 g (20.9~22.1 g), 80 마리/m² 실험구 21.6 g (21.3~21.9 g) 이었으며(그림 6), 60일에는 80 마리/m² 실험구

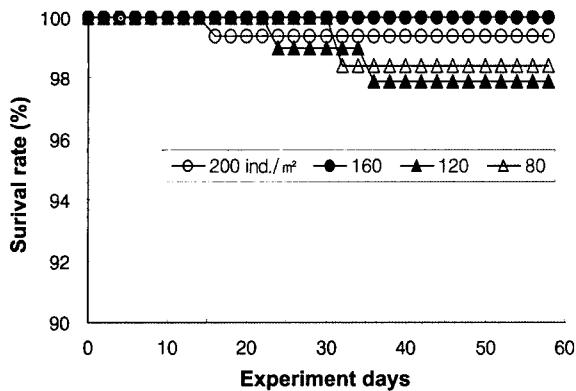


Fig. 5. Changes in mean survival rate(%) of turbot *Scophthalmus maximus* in the different culture density experiments.

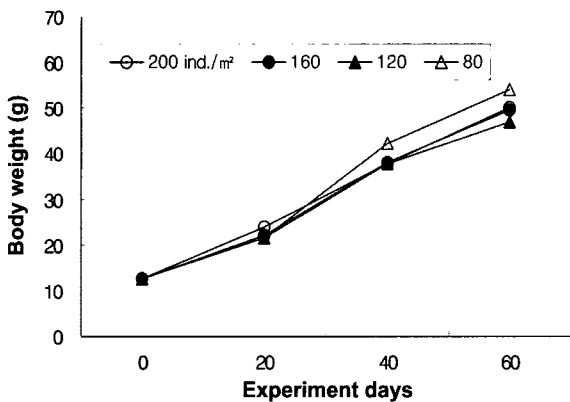


Fig. 6. Changes in body weight of turbot *Scophthalmus maximus* in the different culture density experiments.

54.1 g (51.4~56.8 g)로 200 마리/m² 실험구 50.0 g (48.1~51.9 g), 160 마리/m² 실험구 49.5 g (48.1~50.8 g), 120 마리/m² 실험구 46.8 g (46.7~46.8 g) 보다 다소 높았으나, 각 실험구별로 큰 성장 차이는 없었다.

실험 종료시 비만도, 일간성장률, 사료계수 및 최종사육밀도는 Table 2와 같다. 비만도는 80 마리/m² 실험구가 3.97±0.62로 가장 높았으며, 200 마리/m² 실험구 3.89±0.50, 160 마리/m² 실험구 3.88±0.45, 120 마리/m² 실험구 3.80±0.48 순으로 나타났으나, 유의차는 없는 것으로 나타났다($P < 0.05$). 또한 사료계

수는 각 실험구 모두 0.87~0.90으로 양호하였으며, 최종사육밀도는 200 마리/m² 실험구가 10.46 kg/m², 80 마리/ 실험구가 4.49 kg/m²이었다.

고 찰

해산경골어류는 혈장내 이온의 삼투압조절에 위해 에너지를 소모하므로(Brett, 1979; Jobling, 1994), 성장과 사료효율을 높이기 위하여서는 온도와 염분농도와 같은 외부 환경 및 사육밀도를 적절하게 유지시켜야 한다(Immsland et al., 2001a). 터봇의 적정 사육 수온은 종묘 생산시기에는 16~17°C에서 최적 성장을 나타내며(Nijhof, 1994), 이후는 13~22°C에서 좋은 성장을 나타내는 광온성 어종으로 보고되어 있다(Jones et al., 1981; Gaumet, 1995; Immsland et al., 2001a, 2003). 또한 광온성 어종으로 삼투압조절 이상이 6 psu 이하에서 관찰되어지며(Person-Le Ruyet et al., 1991; Waller, 1992), Baltic산 터봇의 최적 부화 염분농도는 15~17 psu에서 이루어지며(Kuhlmann and Quantz, 1980), 평균중량 14.3 g 종묘는 성장과 사료효율이 15 psu에서 가장 좋고, 33.5 psu에서 가장 낮은 것으로 보고되어 있다(Immsland et al., 2001a).

터봇의 수온과 염분농도와의 상호작용을 관찰한 결과 염분농도 33.5 psu에서는 19.6±0.3°C, 15 psu에서는 22.9±1.0°C, 25 psu에서는 24.7±2.1°C에서 성장 및 사료계수가 높은 것으로 조사되어(Immsland et al., 2001a), 고수온 일수록 저염분도에서 성장 및 사료효율이 좋은 것으로 나타나 있다. 따라서 본 실험은 동해안 연안수 특성상 30.3~31.8 psu로 삼투압 조절에 이상이 나타나는 범위는 아니지만 사육에 최적한 범위 보다는 높은 염분농도에서 이루어졌음을 알 수 있다.

수온별 실험결과 실험종료 때 성장은 20°C가 23°C보다 1.2배, 26°C에 비해 1.9배 성장이 빨라 본 시험에서도 저수온 실험구에서 성장이 좋은 것으로 나타났다. 그러나 최종생존율은 20°C와 23°C 모두 98.4%로, 13°C와 19°C 수온에서 사육한 3~95 g 터봇의 생존율 92.4~95.5%(Sunde et al., 1998)와 같이 높게 나타났다. 또한 비만도는 3.96~4.14로 차이가 나지 않고, 사료계수도 0.84~0.89로 매우 좋아 23°C는 터봇의 최적성장 수온은

Table 2. Change of condition factor, specific growth rate, feed efficiency and final stocking density of turbot *Scophthalmus maximus* in the different culture density experiments

Density (ind./m ²)	200	160	120	80
Mean body weight (g)	50.0±16.8 ^a	49.5±13.7 ^a	46.8±12.1 ^a	54.1±16.2 ^a
Mean standard body length (g)	11.2±1.3 ^a	11.2±1.0 ^a	11.1±0.9 ^a	11.6±1.0 ^a
Condition Factor	3.89±0.50 ^a	3.88±0.45 ^a	3.80±0.48 ^a	3.97±0.62 ^a
Specific growth rate (% day)	2.28 (2.22~2.35)	2.26 (2.22~2.31)	2.17 (2.17)	2.41 (2.23~2.50)
Feed conversion efficiency (g gain/dry feed)	0.90 (0.87~0.92)	0.89 (0.85~0.92)	0.89 (0.88~0.90)	0.87 (0.85~0.89)
Final stocking density (kg/m ²)	10.46 (10.00~10.93)	8.33 (8.10~8.56)	5.78 (5.65~5.91)	4.49 (4.19~4.78)

Table 3. Change of mean water temperature in Uljin of East Sea Mariculture Research Center

Year	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.
2005	14.2±1.6 (10.2~16.8)	19.7±1.5 (15.1~22.6)	20.7±1.9 (16.5~23.2)	21.4±0.6 (20.0~22.6)	19.6±1.4 (16.8~21.3)	15.7±0.6 (14.8~16.9)
2006	14.6±1.1 (12.5~18.6)	17.0±1.6 (14.4~19.3)	19.0±2.8 (14.8~23.8)	22.4±0.8 (21.5~24.4)	20.1±1.7 (16.7~22.1)	15.6±1.1 (14.1~18.3)
2007	16.1±1.8 (11.8~19.6)	20.1±1.5 (17.4~23.3)	19.1±5.1 (9.4~24.2)	22.2±0.6 (20.3~23.5)	20.9±1.1 (18.8~22.1)	15.9±1.4 (14.0~17.7)

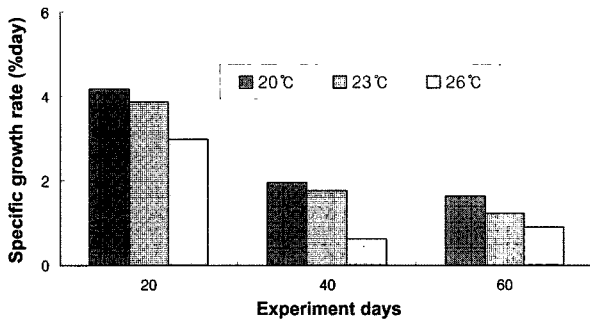


Fig. 7. Changes in specific growth rate(%) of turbot *Scophthalmus maximus* in the different culture temperature experiments.

아니지만 사육하는 데는 지장이 없는 범위인 것으로 판단되었다.

수온 26°C 실험구의 생존율은 실험개시 30일째는 90.6%, 52일째는 82.8%, 60일째는 60.9%를 나타내었다(그림 2). 20일 간격으로 일간성장률을 조사한 결과(그림 7), 20일째까지는 26°C(2.97% day)가 20°C(4.18% day)의 71% 수준에서, 40일째(26°C, 1.96% day ; 20°C, 0.62% day)에는 32% 수준으로 급감하였다. 이들 사실로부터 터복 종묘는 수온 26°C에서 20일간은 사육이 가능하나 이 보다 장기간 노출될 경우 먼저 성장이 둔화되고 약 50일이 경과하면 생존율이 급격히 떨어지는 현상이 확인되었다. 40~60일째 26°C 일간성장률(0.89% day)이 20°C(1.63% day)의 55% 수준으로 다시 증가한 것은 이시기의 26°C 폐사개체 대부분이 소형 개체인 점을 반영한 것으로 추정된다.

한편 26°C에서 60일간 사육 후 생존한 실험어는 20 이하에서 약 3개월간 사육을 계속하였는데 이들 개체는 다시 먹이섭취가 양호하여졌고, 폐사 개체는 관찰되지 않았다. 따라서 26°C에서 60일간 장기간 사육 후 생존한 개체도 수온이 낮아지면 사육이 가능할 것으로 생각되어져 향후 스트레스와 관련한 생화학적 체성분의 조사와 같은 추가적인 연구가 필요 할 것으로 사료된다. 수온 29°C는 실험시작 7일후에 전개체가 폐사되어 터복 종묘의 입계온도 이상으로 사육에 부적합한 수온으로 판단되었다.

일반적으로 넙치, 강도다리와 같은 가자미류는 고수온기에 밀도가 높을수록, 연령이 많을수록 치사율이 높은 경향을 나타낸다. 평균 사육수온 22.4±1.0°C에서 실시한 밀도별 실험 결과 모든 실험구의 생존율은 수온 20~23°C의 수온별 실험 결과와 동일하게 97.9% 이상으로 높게 나타났다. 밀도별 사육기간 사육수온은 일시적으로 24°C 이상으로 나타난 일수가 6회 있었

으나 이러한 수온 변화는 고밀도 실험구에서도 생존율에는 영향을 미치지 않음을 알 수 있었다.

밀도별 실험 결과 각 실험구 모두 성장의 차이는 없이 실험 종료시 터복 중량은 50 g내외로 증가하여 200 마리/m² 실험구는 약 10 kg/m²의 밀도를 보였다(Table 2). 이는 넙치 40 g 내외의 입식밀도 3.9 kg/m², 100 g내외의 입식밀도 6.2 kg/보다 상당히 높은 밀도라고 할 수 있다(국립수산과학원, 2006). Labatut and Olivares(2004)는 길이 5 m, 폭 0.8 m, 높이 0.4 m 사각사육조에서 체중 5.55 g 터복을 24일간 사육한 결과 8.03 kg/m² 밀도로 성장 하였다고 보고하고 있으며, 본 실험 결과에도 200 마리/m² 실험구는 다른 저밀도 실험구와 비만도, 일간성장률, 사료계수의 차이가 없어 터복은 넙치보다 고밀도로 사육이 가능함이 확인되었다.

우리나라 각 해역의 연안수온은 서해안, 남해안 및 포항 이하의 동해안은 28°C이상의 수온이 나타나는 경우가 있으나, 울진 이북의 동해안은 25°C 이상의 수온은 거의 나타나지 않고 있다. Table 3은 동해특성화연구센터의 2005~2007년 월별 사육수온 변화를 나타낸 것으로 하계에도 터복 사육 최적 수온인 14~22°C를 지속적으로 유지하고 있으며, 25°C 이상의 수온은 관찰되지 않았다. 국내 연안의 염분농도는 터복 최적 성장농도보다는 매우 높으나, 본 실험 결과 이러한 염분농도는 터복을 사육 하는데는 지장이 없는 것으로 판명되었다. 따라서 우리나라 동해안 울진 이북지역에서는 터복 종묘를 사육하는데 적합한 수온 조건을 지니고 있음이 판명되었다.

또한 본 실험 결과 울진보다 이남 지역이라도 수온 26°C가 20일 이내인 지역이라면 터복 종묘를 양성하는데 지장이 없을 것으로 사료되며, 넙치보다 고밀도 사육이 가능하기에 여름철 고수온기 순환여과시스템, 지하해수를 이용한다면 충분히 국내에서도 상품크기까지 양성이 가능한 어종으로 생각되어진다.

최근 터복의 최적 사육 수온은 지역개체군간의 차이가 나타나 노르웨이 지역군은 최적 성장이 23.0±0.9°C에서, 프랑스 개체군은 21.1±1.0°C, 스코트랜드 개체군은 19.6±0.6°C에서 최적 성장을 나타나는 것으로 보고되어 있다(Imsland et al., 2000). 이러한 생물학적 특성을 잘 이용한다면 하계에 높은 수온과 염분농도를 지닌 국내 연안환경이 터복 양식의 걸림돌은 되지 않을 것으로 사료된다. 터복은 육질이 단단하고 체폭이 두꺼워 스테이크와 튀김요리 같은 요리방법을 선호하는 유럽과 중국에서는 양식 대상으로 각광을 받고 있다. 그러나 우리나라에서는 양식 생산물은 활어에 대한 소비 경향이 높기 때문에 터복을

양식하기 위하여서는 외국의 요리법을 도입하는 등 소비에 대한 검토가 병행되어 연구되어야 할 것으로 보인다.

요 약

유럽과 중국에서 양식 대상으로 각광을 받고 있는 터봇 *Scophthalmus maximus*의 하계 국내 사육 가능성을 평가하고자 사육수온과 밀도에 대한 성장 특성을 비교하였다. 수온별 실험 결과 성장은 20°C에서 가장 빨랐으며, 생존율은 20°C와 23°C 모두 98.4%, 비만도는 3.96~4.14, 사료계수는 0.84~0.89로 차이가 없어 23°C에서도 사육이 양호하였다. 수온 26°C에서는 20일까지 일간성장률이 양호하였으며 50일 이후 폐사개체가 증가하여 60일에는 60.9%를 나타내었다. 29°C에서는 실험시작 7일 후에 전개체가 폐사되었다. 밀도별 사육실험 결과 생존율은 200 마리/m² 실험구가 99.4%, 160 마리/ 실험구가 100%, 120 마리 / 실험구가 97.9%, 80 마리/m² 실험구가 98.4%로 각 실험구 모두 양호한 생존율을 보였다. 사육실험 결과 200 마리/m² 실험구는 다른 저밀도 실험 실험구와 비만도, 일간성장률, 사료계수의 차이가 없었고, 최종사육밀도는 10 kg/m²로 넉치보다 고밀도로 사육이 가능함이 확인되었다. 이상의 결과로부터 하절기에 25°C 이상의 수온이 거의 나타나지 않는 울진 이북 동해안 지역은 터봇을 사육하는데 적합한 수온 조건을 지니고 있으며, 수온 26°C가 20일 이내인 지역이라면 터봇 종묘를 양성하는데 지장이 없을 것으로 사료되었다.

참고문헌

- Brett, J. R., 1979. Environmental factors and growth. (in) W. S. Hoar, D. J. Randall, J. R. Brett (eds.), *Fish Physiology*, vol. 8, Academic Press, New York, pp. 599-675.
- Borges, M.-T., M. Aurora and P. M. L. Castro, 2003. Performance of outdoor seawater treatment systems for recirculation in an intensive turbot (*Scophthalmus maximus*) farm. *Aquaculture International*, 11, 557-570.
- Gaumet, F., G. Bouef, A. Servre, A. L. Roux and N. Mayyer-Gostan. 1995. Effects of salinity on the ionic balance and growth of juvenile turbot. *J. Fish Biol.*, 47, 865-876.
- Gibson, S. and I. A. Johnston, 1995. Temperature and development in larvae of the turbot *Scophthalmus maximus*. *Mar. Biol.*, 124, 17-25.
- Ham, E. H. V., M. H. G. Berntssen, A. K. Imsland, A. C. Parpourea, S. E. W. Bonga and S. O. Stefansson, 2003. The influence of temperature and ration on growth, feed conversion, body composition and nutrient retention of juvenile turbot (*Scophthalmus maximus*). *Aquaculture*, 217, 547-558.
- Imsland, A. K., A. Folkvord and S. O. Stefansson, 1995. Growth, oxygen consumption and activity of juvenile turbot (*Scophthalmus maximus*) reared under different temperatures and photoperiods. *Neth. J. Sea Res.*, 34, 149-159.
- Imsland, A. K., L. M. Sunde, A. Folkvord and S. O. Stefansson, 1996. The interaction between temperature and size on growth of juvenile turbot (*Scophthalmus maximus*). *J. Fish Biol.*, 49, 926-940.
- Imsland, A. K., A. Foss, G. Nævdal, T. Cross, S. W. Bonga, E. V. Ham and S. O. Stefansson, 2000. Countergradient variation in growth and food conversion efficiency of juvenile turbot. *J. Fish Biol.*, 57, 1213-1226.
- Imsland, A. K., A. Foss, S. Gunnarsson, M. Berntssen, R. Fitzgerald, S. W. Bonga, E. V. Ham, G. Nvdal and S. O. Stefansson, 2001a. The interaction of temperature and salinity on growth and food conversion in juvenile turbot (*Scophthalmus maximus*). *Aquaculture*, 198, 353-367.
- Imsland, A. K., I. Szucs, F. Pekar, S. Blokhin and I. Csavas, 2001b. Aquaculture development trends in Europe. *Aquaculture in the third millennium Bangkok Thailand NACA 2001*, 397-416.
- Imsland, A. K., S. Gunnarsson, A. Foss and S. O. Stefansson, 2003. Gill Na⁺, K⁺-ATPase activity, plasma chloride and osmolality in juvenile turbot (*Scophthalmus maximus*) reared at different temperatures and salinities. *Aquaculture*, 218, 671-683.
- Imsland, A. K., E. Schram, B. Roth, R. Schelvis-Smit and K. Kloet, 2007. Improving growth in juvenile turbot (*Scophthalmus maximus* Rafinesque) by rearing fish in switched temperature regimes. *Aquaculture Int.*, 403-407.
- Jobling, M., 1994. *Fish Bioenergetics*. Chapman & Hall, London, 309 pp.
- Jones, A., J. A. G. Brown, M. T. Douglas, S. J. Thompson and R. J. Whitfield, 1981. Progress towards developing methods for the intensive farming of turbot (*Scophthalmus maximus*) in cooling water from a nuclear power station. (in) K. Tiews (ed.), *Proceedings of World Symposium on Aquaculture in heated Effluents and Recirculation Systems*. F. A. O, Technical Paper, Paris, pp. 481-496.
- Karås, P. and V. Klingsheim, 1997. Effects of temperature and salinity on embryonic development of turbot (*Scophthalmus maximus* L.) from the North Sea, and comparisons with Baltic populations. *Helgoländer Meeresunters*, 51, 241-247.
- Kim, W. S., K. H. Kim, C. S. Kim, Y. J. Kim, S. J. Jung, T. S. Jung, S. I. Kitamura, M. Yoshimizu and M. J. Oh, 2003. The infection of irido-like virus in cultured turbot. *J. Fish Pathol.*, 16, 153-159.
- Kinghorn, B., 1983. Genetic variation in food conversion efficiency and growth in rainbow trout. *Aquaculture*, 32, 141-155.
- Kuhlmann, D. and G. Quantz, 1980. Some effects of temperature and salinity on the embryonic development and incubation of the turbot, *Scophthalmus maximus* from the Baltic Sea. *Meeresforschung*, 28, 172-178.
- Labatut, R. A. and J. F. Olivares, 2004. Culture of turbot (*Scophthalmus maximus*) juveniles using shallow raceways tank and recirculation. *Aquacultural Eng.*, 32, 113-127.
- Liewes, E. W, 1984. Culture, feeding and diseases of commercial flatfish species. A. A. Balkema, Rotterdam, pp. 3-4.
- Lei, J., Q. Men, Y. Wang and B. Wang, 2002. Review of green

- house deep well seawater industrialized culture pattern of turbot (*Scophthalmus maximus*). Mar. Fish. Res., 23, 1-7.
- Ma, A., C. Chen, J. Lei, S. Chen, Z. Zhuang and Y. Wang, 2006. Turbot *Scophthalmus maximus* stocking density on growth, pigmentation and feed conversion. Chinese J. of Oceanology and Limnology, 24, 307-312.
- Nijhof, M., 1994. Research on nutrition and growth in the culture of post larval turbot (*Scophthalmus maximus*). European Aquaculture Society, Oostende, Belgium, 21-41.
- Person-Le Ruyet J., F. Baudin-Laurencin, N. Devauchelle, R. Mhailler, J.-L. Nicolas, J. Robin and J. Guillaume, 1991. Culture of turbot (*Scophthalmus maximus*). Finfish aquaculture, vol. 2, CRC Press, Boca Raton, 21-41.
- Strand H. K. and V. Oiestad, 1997. Growth and the effect of grading of turbot in a shallow raceway system. Aquaculture International, 5, 397-406.
- Sun, Z. and Y. Yan, 2003. Experiment on industrial turbot (*Scophthalmus maximus*). Mar. Fish. Res., 24, 6-10.
- Sunde, L. M., A. K. Imsland, A. Folkvord and S. O. Stefansson, 1998. Effects of size grading on growth and survival of juvenile turbot at two temperatures. Aquaculture International, 6, 19-32.
- Waller, U., 1992. Factors influencing routine oxygen consumption in turbot, *Scophthalmus maximus*. J. Appl. Ichthyol., 8, 62-71.
- 이종관, 2002. Turbot 이식기반조사. 양식 대상 외래종의 개발을 위한 국외 양식실태 조사. 국립수산과학원, 38 pp.
- 국립수산과학원, 2006. 넙치 양식 표준 지침서. 도서출판 해인, 33 pp.

원고접수 : 2008년 10월 23일

심사완료 : 2008년 10월 29일

수정본 수리 : 2008년 10월 31일