

박테리아와 어류가 유해조류 *Microcystis aeruginosa*의 성장 및 형태변화에 미치는 영향

김 백 호* · 김 보 라 · 한 명 수

한양대학교 자연과학대학 생명과학과

Effects of Fish and Bacterium on the Morphological and Growth of Cyanobacterium *Microcystis aeruginosa*. Kim, Baik-Ho*, Bo-Ra Kim and Myung-Soo Han (Department of Life Science, Hanyang University, Seoul 133-791, Korea)

Effects of three biological control agents such as *Xanthobacter autotrophycus*, *Tanichthys albonubes* and *Oryzias latipes* on the morphology and growth of cyanobacterium *Microcystis aeruginosa* were studied. The experiments were consisted of six treatments of living organism (LO) and culture filtered water of three organisms (CFW). Three LOs effectively decreased the density of *M. aeruginosa*, and then cyanobacteria hardly showed in the microscopic field after 5 days of cultivation. All LO and CFW agents induced the colonial formation of cyanobacterium *M. aeruginosa*, although there were little differences in colony formation according to the kinds, density and type of treatment. In particular, the higher density treatment of fish CFW induced effectively the colony formation of cyanobacteria, compared to the bacterial LO and CFW. Thus, the application of bio agents to control the cyanobacterial bloom is needed to the further study to diminish the adverse effects such as the enhancement of colony formation towards on the new bloom against the aquatic ecosystem.

Key words : biological control agents, bacteria, colony formation, fish, growth, *Microcystis aeruginosa*

서 론

수중내 식물플랑크톤의 형태변화는 주변 환경과 다른 생물에 대한 '자극-반응'의 생물학적 작용 산물이다. 첫째는 빛, 온도, pH, 영양염 등과 같은 물리화학적 환경요인에 의해 유도되며 *Ceratium* (Kimmel and Holt, 1988; Santer, 1996; Pech-Pacheco *et al.*, 1999), *Peridinium* (Horiguchi and Pienaar, 1991), *Scenedesmus* (Trainor, 1993; Van Donk, 1997; Van Donk *et al.*, 1997), *Rhodomonas* (Willen *et al.*, 1980; Sommer, 1982; Moustaka-Gouni, 1996), *Chaetophora* (Branco and Necchi, 1998) 등

과 같은 조류에서 알려지고 있다. 둘째는 수중에 분포하는 다른 생물(xenobiotics)에 대한 전략적 변화(strategic morphological variation)로서, *Ceratium* (Hamlaoui *et al.*, 1998), *Fucus* (Van Alstyne, 1988), *Lobophora* (Coen and Tanner, 1989), *Padina* (Lewis *et al.*, 1987), *Plagioselmis* (Kim *et al.*, 2003), *Scenedesmus* (Hessen and Van Donk, 1993; Lampert *et al.*, 1994) 등이 알려지고 있다.

후자의 경우, 지금까지 유사한 영양단계에 있는 다른 생물들과의 먹이 또는 서식처에 대한 배타적 경쟁이나 상위 소비자들의 포식압으로부터 회피 또는 방어하려는 전략적 반응으로 해석되어 왔다 (Tollrian and Dodson, 1999; Bronmark and Hansson, 2000). 이러한 반응은 주

*Corresponding author: Tel: 02)-2220-0909, Fax: 02)-2296-1741, E-mail: tigerk@hanyang.ac.kr

로 자기 자신의 크기변화, 세포벽 비후화, 군체형성 (colony formation), 독소생성 등과 같은 방법을 통하여 목적을 달성하는데 (De Mott and Moxter, 1991; Van Donk *et al.*, 1997; Kim *et al.*, 2003), 포식자가 분비하는 독특한 화학물질, 이른바 infochemicals에 의해 일어나지만, 이에 대한 정확한 기전이나 다양한 포식자들이 분비하는 물질은 아직 밝혀지지 않고 있다 (Lürling, 1998; Tollrian and Dodson, 1999; Bronmark and Hansson, 2000). 뿐만 아니라 식물플랑크톤이 다양한 포식자에 대해 많은 에너지를 필요로 하는 형태변화를 하는 행위가 이른바, cost-benefit theory이 방어기전으로 보아야 하는지는 의문이 많다.

부영양 수계에서 생활사의 대부분을 군체형태로 존재하는 남조 *Microcystis aeruginosa*는 실험실내에서 반복적인 계대과정을 거치면서 대부분 단일세포 (solitary cell) 또는 군체 (colony) 형태로 존재한다. 이러한 군체형성의 저해 또는 파괴현상은 아직까지 정확하게 밝혀지지 않고 있으나 단일 또는 무균배양을 하기 위한 항생제 처리로 인하여 군체형성에 필요한 점액질의 생성이 억제되거나 공생하고 있는 다양한 생물-박테리아, HNF, 소형섬모충 등이 소멸되면서 파생되는 비가역적인 과정으로 해석되고 있다 (Tollrian and Dodson, 1999; Grossart *et al.*, 2005). 최근 하 등 (2003)이 보고한 동물플랑크톤 *Moina macrocopa*, *Daphnia magna*를 이용한 군체형성을 제외하고는 아직까지 다양한 수중생물 (xenobiotics)에 의한 남조 *M. aeruginosa*의 군체형성에 관한 연구는 적은 편이다. 특히, 유해조류의 제어능을 갖는 박테리아 (endemic bacteria)나 어류 등의 생물제재가 남조류 성장, 특히 세포의 형태변화에 관한 연구는 극히 드물며, 이러한 연구는 생물제재의 현장 적용시 대상조류는 물론 수서 생태계에 대한 영향을 연구하는데 매우 중요하다고 판단된다.

따라서 본 연구는 실험실 내에서 무균화과정 동안 단일 세포화된 남조 *M. aeruginosa*가 다양한 생물제재 또는 무균처리한 배양여액에 대하여 어떠한 성장 및 형태적 반응을 나타내는지를 파악하고자 배양중인 남조 *Microcystis aeruginosa*에 대하여 살조능이 밝혀진 박테리아 (Sang *et al.*, 2004), 어류 (백운물개, 송사리) 및 그 여액을 처리하고, 조류의 성장 및 형태변화를 추적하였다.

재료 및 방법

1. 남조 *Microcystis aeruginosa* 배양

실험에 사용한 남조 *Microcystis aeruginosa* NIER 10001는 국립환경연구원에서 분양 받았으며, CB배지 (pH

9.0)를 이용하여 3차례 계대배양 동안 군체는 형성되지 않았다 (Kim *et al.*, 2003). 본 균주는 남조독소 microcystin-LR을 생성하지만, 국외종 (NIES, 2000)에 비하여 매우 낮은 편이다. 배양은 25°C, 50 $\mu\text{mol photons s}^{-1} \text{m}^{-2}$, 120 rpm shaking, 16 h : 8 h 광주기로 조절된 배양기에서 배양하였다. 실험에 사용된 세포는 앞의 배양조건과 동일한 조건하에서 계대 이후 8~9일째 대수기에 도달한 세포를 적절한 밀도로 조절하여 이용하였다. 생물제재 처리에 의한 현존량 및 형태변화를 관찰하기 위하여, 처리 후 매일 동일한 시간에 시료를 꺼내서 Lügol 용액으로 고정하고 이중 1 mL를 꺼내 Sedgwick-Rafter Counting Chamber를 이용하여 도립현미경 (Olympus, Japan)에서 계수하였다. 세포의 형태적 변화는 광학현미경 (Zeiss, Germany) 400배 이상에서 검정하였다.

2. 생물제재처리 및 형태변화

본 실험에 사용된 생물제재는 박테리아 (*Xanthobacter autotrophicus*), 백운물개 (*Tanichthys albonubes*), 송사리 (*Oryzias latipes*) 등 총 3종류이다. 박테리아 *X. autotrophicus* SM02는 Gram (-), rod-type, yellowish, maltose 양성반응세균으로 이미 남조 *Microcystis aeruginosa* 살조능이 밝혀진 종이다 (Sang *et al.*, 2004). 배양은 CB배지에 glucose를 전체 부피의 10%를 첨가하여 제작한 배지에서 35°C, 암상태, 160 rpm으로 교반 배양하였다. 박테리아의 처리는 지수성장기 박테리아 60 mL을 12,000 rpm으로 30분간 원심분리하여, pellet에 탈염수 1 mL를 넣어 혼합한 후, vortex mixing하여 밀도를 조절하여 배양중인 조류세포에 직접 처리하고 (생균처리), 세포를 제거한 상층액을 다시 여과지 (MFS Cellulose Acetate Syringe Filter)로 걸러낸 여과액을 조류배양기에 직접 처리하였다 (여액처리). 생균처리 밀도는 초기밀도의 $\times 1$, $\times 3$, $\times 5$ 배로 조절하여 처리하였고, 여액처리는 조류 배양기의 체적대비 0, 1, 5, 10%를 각각 처리하였다.

실험에 사용된 어류는 3회 이상의 예비실험에서 남조 *M. aeruginosa* NIER 10001의 제어능이 확인된 백운물개 (*Tanichthys albonubes*)과 송사리 (*Oryzias latipes*)이다. 어류는 유리재질로 제조된 수조에 시판되고 있는 어류용 양식 사료 (Aqua Tech, CJ, Korea)를 이용하여 유지하였고, 실험 3일전부터 탈염화시킨 수돗물로 3회 이상 세척한 후 2 L 유리 beaker에 옮긴 다음 먹이를 중단하였다. 실험과정 동안 소형펌프를 이용하여 부드럽게 물을 순환시켰다. 어류처리는 실험 당일 500 mL용 삼각플라스크에서 CB로 배양중인 남조 *M. aeruginosa*에 어류를 1, 5 마

리씩 투입하고 매일 동일시간에 전술한 바와 같이 조류 현존량 및 형태 변화를 관찰하였다. 한편 어류의 여액처리하는 사료를 이용하여 관리하였던 어류를 증류수로 2~3회 세척하고 여과지(Whatman paper #2)로 수분을 제거한 다음 멸균된 CB 배지를 2L용 유리 beaker에 옮겼다. 실험 전까지 이를 동안 먹이를 주지 않고 유지한 배양수를 여과지(MFS Cellulose Acetate Syringe Filter, pore size = 0.4 μm)로 여과한 후, 조류배양 체적의 1, 5, 10%가 되도록 투입하고, 매일 동일시간에 조류 현존량 및 형태변화를 관찰하였다. 모든 실험은 각각 3회씩 반복 실시하였다. 생물제재의 투입에 따른 배양 남조 *Microcystis aeruginosa*의 성장 및 형태변화를 확인하기 위하여, 생물제재 처리한 후 8일 동안 매일 시료 10 μL를 꺼내 동일한 시간에 각 처리군의 *M. aeruginosa* 세포밀도를 Sedgwick-Rafter Counting Chamber를 이용하여 도립현미경(Olympus, Tokyo, Japan) 400배 하에서 계수하였다. 군체형성여부와 군체당 평균 세포수를 확인하기 위하여, 실험 중인 flask에서 일정량을 꺼내 sonicator로 vortex mixing한 다음 (60 Hz/min), 4 cells 이상의 세포가 서로 밀착되어 모여있는 것만을 군체로, 세포간의 거리가 >0.5 μm

이상이거나 분열중인 2.5세포들은 단독세포로 처리하였다.

3. 자료분석

생물제재 처리에 의한 남조 *M. aeruginosa*의 성장 변화를 파악하기 위하여 t-test를 실시하였으며, 군체형성과 각 처리농도간의 관계를 확인하기 위하여 표본수가 다른 조건에서의 상관분석을 위해 Sequential Bonferroni's procedure으로 검증하였다(Holm, 1979).

결 과

1. 살조세균이 *Microcystis aeruginosa*의 성장에 미치는 영향

살조세균 SM-02 직접 처리시 두 가지 농도(1 × 10⁵ cells mL⁻¹, 5 × 10⁵ cells mL⁻¹) 모두 *M. aeruginosa* 성장을 강하게 억제하였으며, 두 농도간의 차이는 크지 않았다(Fig. 1A). 군체형성은 살조세균 투여 2일째부터 일어

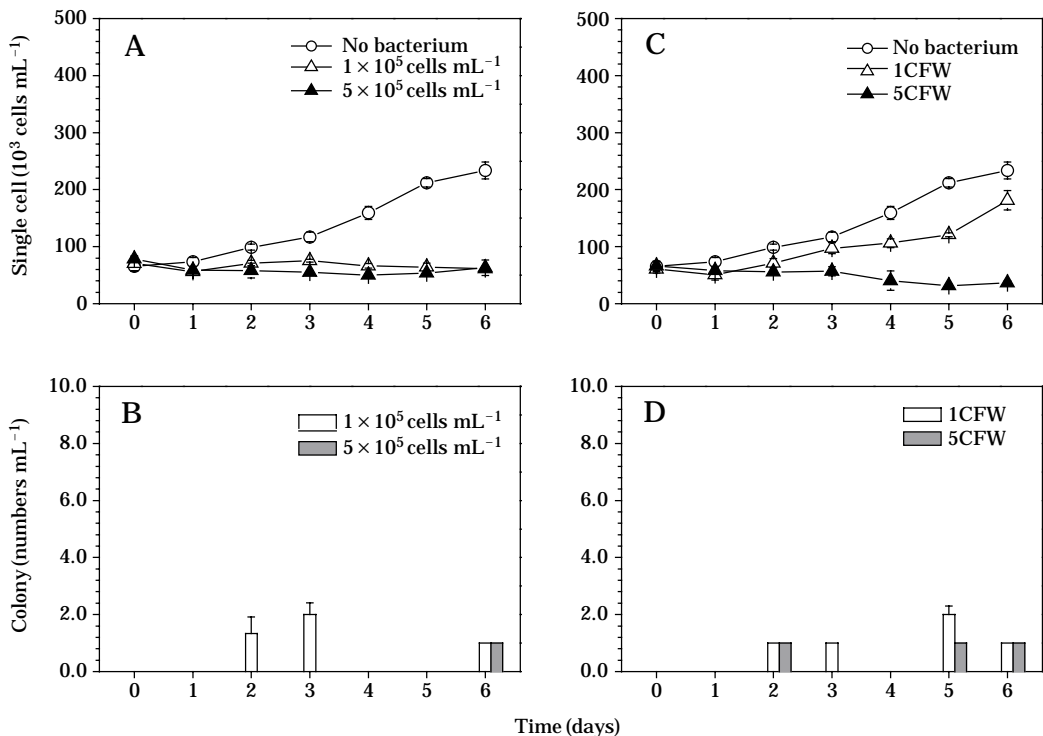


Fig. 1. Growth pattern of cyanobacterium *Microcystis aeruginosa* with living organism (LO) and culture filtered water (CFW) of algicidal bacterium, *Xanthobacter autotrophicus* SM02. Control, not treated with fish and CFW hardly formed the *Microcystis* colony. 1CFW and 5CFW were the concentration of CFW treated, as 1% and 5%, respectively.

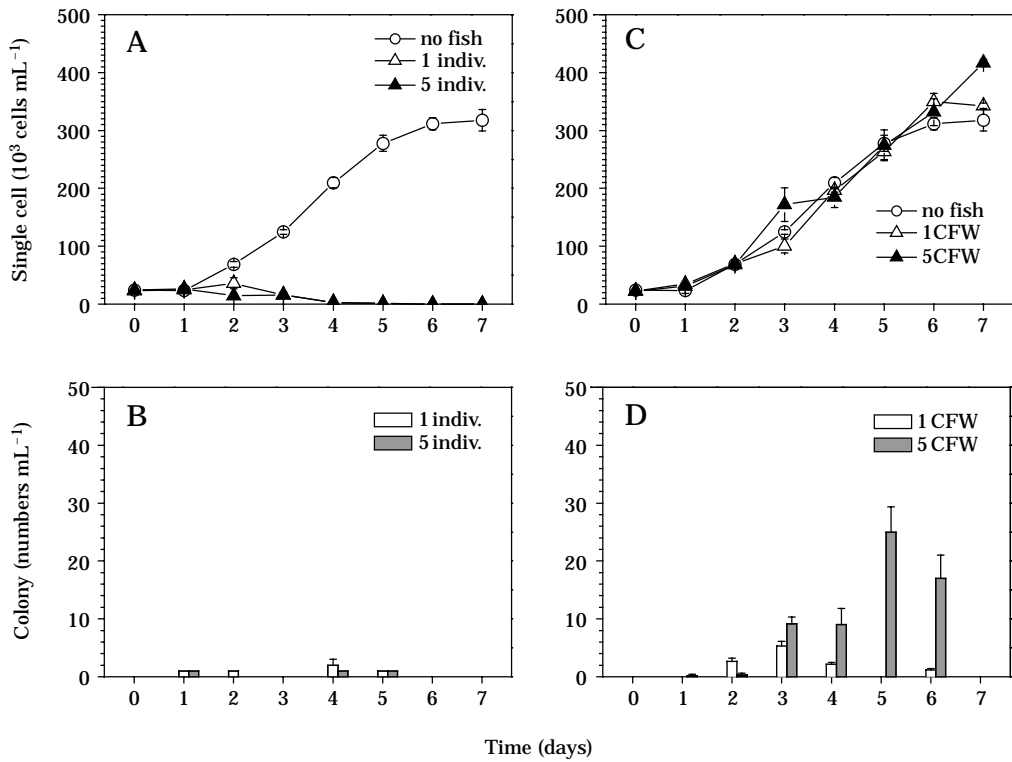


Fig. 2. Growth pattern of cyanobacterium *Microcystis aeruginosa* with living organism (LO) and culture filtered water (CFW) of *Tanichthys albonubes*. Control, not treated with fish and CFW hardly formed the *Microcystis* colony. 1CFW and 5CFW were the concentration of CFW treated, as 1% and 5%, respectively.

났으며, 처리 3일째 평균 2.2개 mL⁻¹를 최고치를 보였고, 처리농도가 낮을수록 높게 나타났다 (Fig. 1B). 배양중인 살조세균을 여과한 여액을 농도별로 처리할 경우, 처리 2일째부터 조류성장 억제현상을 보였는데, 처리농도 (1%, 5%)에 따라 차이를 보였다 ($p < 0.001$; Fig. 1C). 5%여액처리시 살조세균 직접처리보다 강한 조류성장 억제를 보인 반면, 1% 처리군에서는 비록 대조군보다는 낮았으나 다소의 성장을 나타냈다. 여액처리시 군체형성은 농도에 상관없이 처리 6일째까지 평균 1.0개 mL⁻¹ 이상이 관찰되었으며, 농도간의 차이는 보이지 않았다 (Fig. 1D).

2. 백운물개가 *Microcystis aeruginosa*의 성장에 미치는 영향

배양중인 조류세포에 백운물개를 각각 1마리, 5마리씩 처리하였을 경우, 두 실험군 모두 처리 4일째부터 조류세포가 관찰되지 않았으며 (Fig. 2A), 어류의 배양여액을 각각 1%, 5%씩 농도별로 처리할 경우, 처리농도에 상관없이 대조군과 거의 유사한 성장을 나타냈다 ($p < 0.01$; Fig. 2C). 어류를 직접 처리한 실험에서는 군체형성은 매우 낮

았으며 (Fig. 2B), 여액처리에서는 5% 처리군에서 뚜렷한 군체형성이 일어났다 (Fig. 2D). 1% 농도에서는 처리 3일째 최고 10개 mL⁻¹를 보이면서 처리 5일째까지 낮은 빈도의 군체가 관찰된 반면, 5% 처리군에서는 처리 5일째 26개 mL⁻¹로 최고치를 나타냈다.

3. 송사리가 *Microcystis aeruginosa*의 성장에 미치는 영향

배양중인 조류세포에 송사리를 각각 1마리, 5마리씩 처리할 경우, 백운물개를 처리한 실험과 유사하게 처리 5일째부터 조류세포는 관찰되지 않았으며 (Fig. 3A), 배양여액 1, 5%를 각각 처리한 실험군에서는 농도에 상관없이 대조군의 약 70% 정도의 조류 성장이 일어났다 (Fig. 3C). 군체형성 역시 백운물개를 처리한 실험과 유사한 결과를 보였으나, 어류를 직접 처리할 경우, 처리 1일째에 1% 처리군에서 3.5개 mL⁻¹, 5% 처리군에서 0.3개 L⁻¹가 잠시 관찰되었을 뿐, 나머지 실험기간 동안에는 전혀 관찰되지 않았다 (Fig. 3B). 한편, 어류여액을 처리한 실험에서는 1%처리시 처리 5일째까지 서서히 증가하여 최고 22.5 개

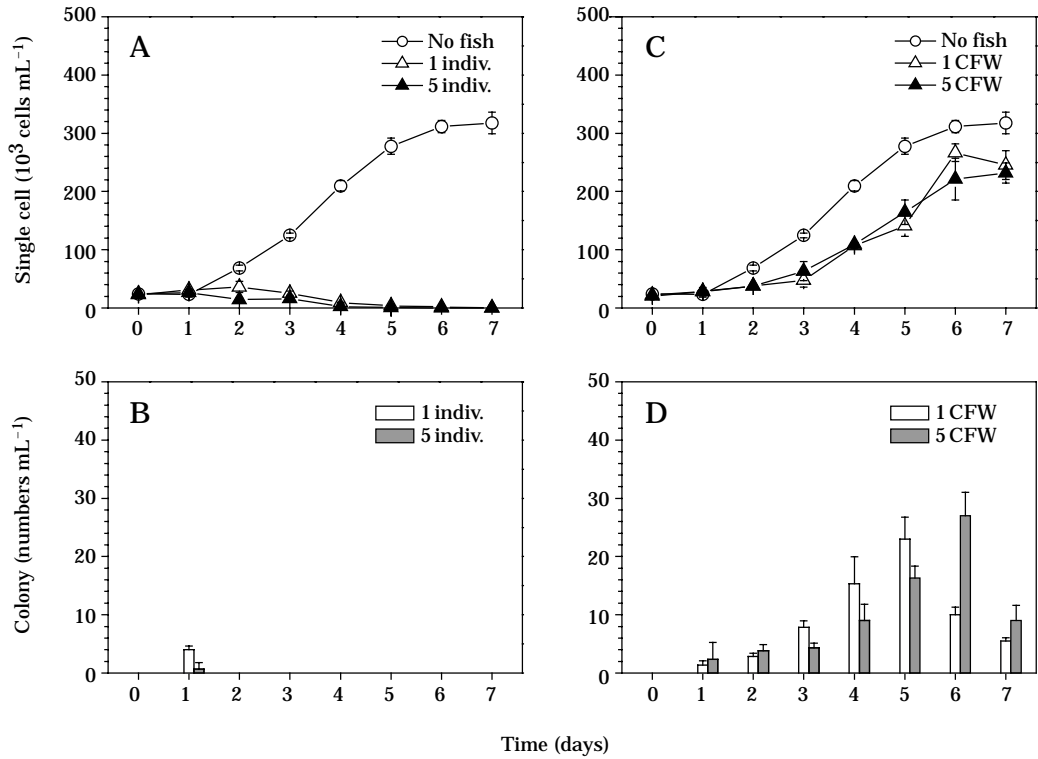


Fig. 3. Growth pattern of cyanobacterium *Microcystis aeruginosa* with living organism (LO) and culture filtered water (CFW) of *Oryzias latipes*. Control, not treated with fish and CFW hardly formed the *Microcystis* colony. 1CFW and 5CFW were the concentration of CFW treated, as 1% and 5%, respectively.

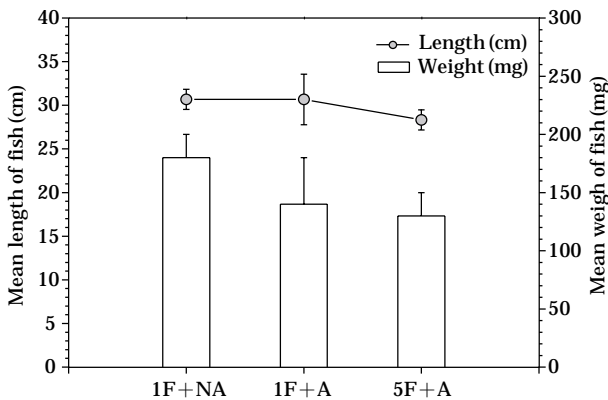


Fig. 4. Changes in the length (cm) and weight (mg) of *Oryzias latipes* at one and five individuals in the presence of cyanobacterium *Microcystis aeruginosa*. 1F & 5F; one and five individuals of fish, NA : no algae, A : algae

mL⁻¹를 보였으며 그 이후로 다시 서서히 감소하였으며, 5% 처리군에서는 서서히 증가하여 처리 6일째 27.5개 mL⁻¹로서 최고치를 보였고, 그 이후 감소하였다 (Fig.

3D).

한편, 대수기의 남조 *M. aeruginosa*에 두 종류의 어류를 1개체, 5개체를 각각 처리하고 6일이 경과한 후 어류의 체장 및 체중의 변화를 계속하였다. 백운물개의 경우, 체장 및 체중이 대조군과 큰 차이를 보이지 않은 반면, 송사리의 경우, 1개체와 5개체 처리군 모두에서 어류의 성장 저해현상을 보였다 (Fig. 4). 특히 5개체를 처리할 경우, 송사리는 길이보다 체중에서 뚜렷하였는데, 대조군에 비해 약 28% 정도 낮은 체중을 보였다.

4. 생물제제가 남조 *Microcystis aeruginosa*의 세포형태 변화에 미치는 영향

남조 *M. aeruginosa*에 대해 살조능을 보였던 3가지 생물제제 중, 어류 및 여액 처리군에서 군체형성이 뚜렷하였다 (Fig. 5). 두 종류의 어류 여액을 동일하게 5%씩 처리한 후 남조세포의 형태적 변화를 관찰한 결과, 백운물개보다 송사리 처리군에서 높은 빈도의 군체가 관찰되었다. 특히 군체의 크기는 백운물개보다 송사리 여액에서 3~4배 정도 크고, 가장 큰 군체형성은 처리 5일째, 86세

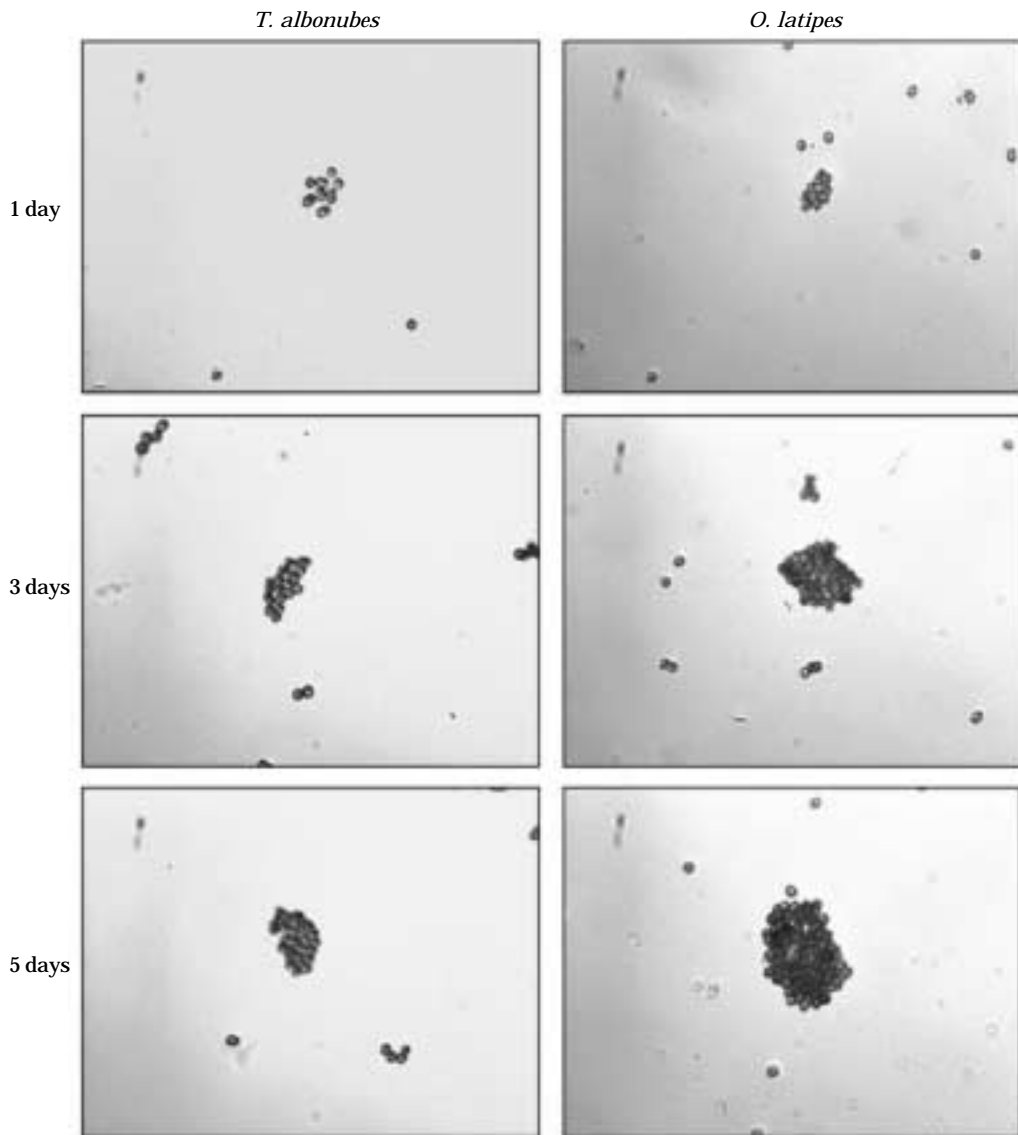


Fig. 5. Colony formation of cyanobacterium *Microcystis aeruginosa* by 5% of culture filtered water of both *Oryzias latipes* (left) and *Tanichthys albonubes* (right).

포/군체였다.

고 찰

본 연구에 사용된 4가지 생물제제는 예상했던 것과 같이 남조 *M. aeruginosa*의 밀도를 효과적으로 감소시켰으며, 살조세균에 비해 어류를 직접 처리한 실험군에서는 처리 5일째 조류세포를 완전히 제어하였다(Fig. 4). 최근 유해조류 대발생을 제어하기 위한 다양한 생물제제 개발

에 대한 연구가 매우 활발하지만(Sigee *et al.*, 1999; Choi *et al.*, 2003; Kang *et al.*, 2005), 개발된 생물제제를 현장에 직접 적용한 사례는 보고된 바 없으며, 모델생태계 실험에서 여러 가지 부정적인 효과가 보고되고 있다. 백년어와 같은 filter-feeder를 도입할 경우 수중 암모니아 증가와 용존산소 감소가 일어났으며(Fukushima *et al.*, 2000; Fukushima *et al.*, 2001; Kim *et al.*, 2003), 살조세균을 처리할 경우, 그 효과면에서 세균만의 처리보다는 배지를 동시에 첨가하여야 하고, 이로 인한 수중 내 영양염 증가(김 등, 2005a) 및 조류세포 사멸과 함께 용존성

독소가 점차 증가하는 등(김 등, 2005b) 생물제재의 적용에 부정적인 측면이 보고되고 있다. 또한 생물제재 처리에 따른 대상조류(target algae)의 감소와 동반된 새로운 종 출현이 궁극적으로 포식압을 피한 소형플랑크톤의 증가를 가져옴으로서 결국 수중 내 총 엽록소량이 크게 변하지 않았다(Fukushima *et al.*, 2000). 결국 유해조류 제어하기 위한 생물제재의 적용은 대상조류의 제어는 가능할 것으로 예상되지만 이로 인한 심각한 생태계 교란이 예상되므로 적용방법의 개선이 필요하다고 사료되었다.

생물제재의 직접 또는 여액처리시 효과적으로 남조 *M. aeruginosa*의 군체형성을 유도하였다. 특히 어류의 여액을 처리할 경우, 처리 5일째 최대 군체형성을 유도하였으며, 처리 농도가 높을수록 높은 군체빈도 및 군체당 높은 세포수를 나타냈다. 지금까지 남조류 군체형성은 동물플랑크톤의 배양여액에 의해 유도된다고 보고된 바 있으나(하 등, 2003), 세균과 어류에 의한 군체형성은 처음으로 보고된다. 그러나 이러한 현상이 포식자에 대한 전략적 방어인지 생물제재로부터 유래된 특정물질(infochemical)이 남조세포의 군체형성 촉진 요인(colonization factor) 및 과정을 회복시켰는지 아직 불분명하며(De Mott and Moxter, 1991; Van Donk *et al.*, 1997), 군체화 촉진에 관여하는 세포 고유의 형질회복으로 해석될 뿐이다(Lee and Cooksey, 2000). 따라서 생물제재의 처리에 의해 이미 상실되었던 남조의 군체형성과정을 밝히기 위하여, 1) 현장에서 분리한 남조 *M. aeruginosa*의 순수계통을 유지하고자 무균화 과정 동안 이용된 각종 항생제 및 선택배지와 군체형성과의 관계, 2) 다양한 생물제재로부터 유래된 군체형성에 관여하는 공통된 물질의 종류 및 양적 관계, 3) 경쟁 또는 포식압이 없는 단일 배양계와 군체를 이루고 있는 자연계의 남조 *M. aeruginosa*세포의 형태적, 분자수준에서의 특성 차이 등 다양한 군체형성 유도 요인들에 대한 연구가 필요하다고 판단된다.

높은 빈도의 군체형성을 유도하였던 어류여액은 어류의 종류와 농도에 따라 차이를 보였다. 송사리 여액은 처리농도에 상관없이 높은 군체형성을 유도한 반면, 백운물개는 5% 농도에서만 뚜렷한 군체형성을 나타냈다. 또한 비록 송사리 여액(1%, 5%)에 의해 조류 개체군의 성장은 다소 감소된 반면 남조의 군체형성은 오히려 촉진하였는데, 이는 성장억제물질에 대한 남조류 고유의 특징으로 사료되나, 성장억제를 보이지 않았던 백운물개의 경우 어류에서 유래되는 kairomones(Loose *et al.*, 1993)의 양에 따라 군체형성의 차이를 보임으로서 결국 어류의 종류가 남조의 성장 및 군체형성에 영향을 미치는 것으로 밝혀졌다. 이러한 사실은 생물제재, 특히 어류(Fukushima *et*

al., 2000)를 이용하여 유해조류를 억제할 경우, 어류의 선정 및 처리 후 수중생태계에 미칠 영향에 대한 중요한 근거로 이용할 수 있으리라 생각된다. 또한 백운물개보다 송사리가 남조 *M. aeruginosa*에 의한 강한 성장저해를 받는 것으로 나타났는데, 이는 조류제어능을 갖는 유사한 크기의 어류일지라도 현장에 직접 도입할 경우, 어류의 생존력이 강한 백운물개가 더욱 효과적일 것으로 판단되었다. 한편, 살조세균의 여액을 처리할 경우, 여액의 농도에 따라 성장억제의 차이를 보였으나 군체형성에는 유의한 차이를 나타내지 않았다. 이러한 결과는 살조세균이 분비하는 물질의 양에 따라 조류성장에 직접적인 영향을 줄 수 있으나 군체형성에는 물질의 존재여부가 더욱 중요한 것으로 사료되었다. 그러나 저밀도 살조세균을 처리할 경우, 고밀도보다 더 높은 군체형성을 보인 것은 어류의 직접처리와는 대조적인 현상으로 매우 흥미로운 사실이며, 살조세균 여액처리에서도 일시적이긴 하나 처리 5일째 여액 1%에서 보다 높은 군체형성을 보인 것은 결론적으로 살조세균의 고밀도 처리에 의한 조류성장 및 군체형성의 억제 가능성을 시사해 주고 있어, 어류에 비해 살조세균의 처리가 보다 효과적일 것으로 사료되었다.

저자를 포함한 연구팀은 최근 몇 년 동안 호수나 하천의 부영양화(cultural eutrophication)에 의한 유해 남조 *M. aeruginosa*의 대발생을 제어하기 위하여 다양한 생물제재를 개발하여 왔다(Choi *et al.*, 2003; Kang *et al.*, 2005). 그러나 남조 *M. aeruginosa*의 살조세균 SM02처리시 수중내 용존성 독소의 증가를 유도하였고(김 등, 2005a), 실내실험에서 용존성 독소는 식물플랑크톤 종천이 및 총 현존량 감소를 유도한다고 보고하였다(김 등, 2005b). 결국 생물제재의 처리가 수중내 대상조류의 현존량을 효과적으로 제어할지라도 용존산소 감소, 암모니아 증가, 용존성 독소 증가, 군체형성 촉진 등의 수중생태계에 부정적인 영향을 포함하고 있어 부작용이 적은 생물제재의 개발 뿐만 아니라 새로운 적용기법의 개발 등에 대한 연구 등이 뒷따라야 할 것으로 사료되었다.

적 요

유해조류의 대발생을 제어하기 위하여 개발되었던 박테리아, 백운물개, 송사리 등의 직접 및 배양여액이 배양 중인 단독형(solitary) 남조 *M. aeruginosa*의 성장 및 형태에 어떠한 영향을 주는지 파악하기 위하여 대수기 조류세포에 생물제재를 농도별로 처리하였다. 실험에 사용

된 3가지 생물제제의 직접처리시 남조 *M. aeruginosa*를 효과적으로 감소시켰으며, 특히 2종의 어류는 모두 처리 5일째 조류세포를 완전히 제어하였다. 생물제제의 직접 또는 여액에 의한 조류세포의 군체형성은 생물제제의 종류, 처리유형, 처리농도 등에 따라 차이를 보였는데, 어류의 경우, 여액 처리농도가 높을수록 높은 군체 및 군체당 높은 세포수를 나타냈으나, 살조세균은 농도에 따른 유의한 차이를 보이지 않았다. 결국, 유해조류의 제어를 위한 생물제제의 현장 적용은 남조 *M. aeruginosa*의 군체형성을 유도함으로써 새로운 조류대발생의 원인이 될 수 있기 때문에 새로운 생물제제나 적용기법 등의 개발이 필요하다고 판단되었다.

감사의 말씀

본 연구는 2004년도 한국학술진흥재단의 지원에 의하여 연구되었으며 (KRF-2004-050-C00018), 실험에 도움을 주신 유동균, 변준석군께 깊은 감사를 드립니다.

인용문헌

- 김백호, 정승원, 서종근, 서미연, 한명수. 2005a. 살조세균 적용이 식물플랑크톤 군집과 조류독소 분포에 미치는 영향. 한국육수학회지 **38**: 395-404.
- 김백호, 서미연, 한명수. 2005b. 용존성 독소 microcystin-LR이 식물플랑크톤 군집에 미치는 영향. 한국육수학회지 **38**: 312-320.
- 하경, 장민호, 정종문, 주기재. 2003. 동물플랑크톤 배양여과액에 의한 *Microcystis aeruginosa*의 성장, 형태변화 및 microcystin 생성량의 변화. 한국육수학회지 **36**: 1-8.
- Branco, C.C.Z. and O. Necchi. 1998. Microhabit and morphometric variation of two Chaetophoracean (Chaetophorales, Chlorophyta) species in tropical streams of southeastern Brazil. *Phycological Res.* **46**: 169-174.
- Bronmark, C. and L.A. Hansson. 2000. Chemical communication in aquatic system: an introduction. *Oikos*. **88**: 103-109.
- Choi, H.J., B.H. Kim, J.D. Kim and M.S. Han. 2005. *Streptomyces neyagawaensis* as a control for the hazardous biomass of *Microcystis aeruginosa* (Cyanobacteria) in eutrophic freshwaters. *Biological Control*. **33**: 335-343.
- Coen, L.D. and C.E. Tanner. 1989. Morphological variation and differential susceptibility to herbivory in the tropical brown alga *Lobophora variegata*. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* **54**: 287-298.
- De Mott, W.R. and F. Moxter. 1991. Foraging on Cyanobacteria by Copepoda: responses to chemical defences and resource abundance. *Ecology*. **72**: 1820-1834.
- Fukushima, M., N. Takamura, B.H. Kim, M. Nakagawa, L. Sun and Y. Zheng. 2001. The responses of an aquatic ecosystem to the manipulation of the filter-feeding silver carp (*Hypophthalmichthys molitrix*). *Verh Int Verein Limnol.* **27**: 1033-1039.
- Grossart, H.P., F. Levold, M. Allgaier, M. Simon and T. Brinkhoff. 2005. Marine diatom species harbour distinct bacterial communities *Environmental Microbiology*. **7**: 860-873.
- Ha, K., M.H. Jang and G.J. Joo. 2002. Spatial and temporal dynamics of phytoplankton communities along a regulated river system, the Nakdong River, Korea. *Hydrobiologia*. **470**: 235-245.
- Hamlaoui, S., A. Coute, G. Lacroix and F. Lescher-Moutoube. 1998. Nutrient and fish effects on the morphology of the dinoflagellates. *C. R. Acad. Sci. Paris Sciences de la vie/Life Sciences*. **321**: 39-45.
- Hessen, D.O. and E. Van Donk. 1993. Morphological changes in *Scenedesmus* induced by substances released from *Daphnia*. *Arch Hydrobiol.* **127**: 129-140.
- Holm, S. 1979. A simple sequentially rejective multiple test procedure. *Scan J Sta.* **6**: 65-70.
- Horiguchi, T. and R.N. Pienaar. 1991. Ultrastructure of a marine dinoflagellate, *Peridinium quinquecorne* Abe (Peridinales) from South Africa with particular reference to its chrysophyte symbiont. *Bot. Mar.* **34**: 123-131.
- Kang, Y.H., J.D. Kim., B.H. Kim., D.S. Kong and M.S. Han. 2005. Isolation and characterization of a bioagent antagonistic to diatom, *Stephanodiscus hantzschii*. *J. Appl. Microbiol.* **98**: 1030-1038.
- Kim, B.H., M.K. Choi and N. Takamura. 2003. Phytoplankton preferences of young silver carp, *Hypophthalmichthys molitrix*, in hypereutrophic mesocosms during a warm season. *J. Freshwater Ecol.* **18**: 69-77.
- Kim, B.H., M.-S. Han and N. Takamura. 2003. Effects of fish introduction on the Length of tail of Cryptomonads in mesocosm experiments. *Oecologia*. **136**: 73-79.
- Kimmel, B.L. and J.R. Holt. 1988. Nutrient availability and patters of polymorphism in the freshwater dinoflagellate, *Ceratium hirundinella*. *Arch Hydrobiol.* **4**: 577-592.
- Lampert, W., K.O. Rothhaupt and Von Elert. 1994. Chemical induction of colony formation in a green alga

- (*Scenedesmus acutus*) by grazers (*Daphnia*). *Limnol Oceanogr.* **39**: 1543–1550.
- Lee, S.W. and D.A. Cooksey. 2000. Gene expressed in *Pseudomonas putida* during colonization of a plant-pathogenic fungus. *Appl. Environ. Microbiol.* **66**: 2764–2772.
- Lewis, S.M., J.N. Norris and R.B. Searles. 1987. The regulation of morphological plasticity in trophic reef algae by herbivory. *Ecology*. **68**: 636–641.
- Loose, C.J., E. Von Elert and P. Dawidowicz. 1993. Chemically-induced diel vertical migration in *Daphnia*: a new bioassay for kairomones exuded by fish. *Arch Hydrobiol.* **126**: 329–337.
- Lurling, M. 1998. Effect of grazing-associated infochemicals on growth and morphological development in *Scenedesmus acutus* (Chlorophyceae). *J. Phycol.* **34**: 576–586.
- Moustaka-Gouni, M. 1996. Some aspects on the morphology and ecology of *Rhodomonas minuta* var. *nannoplanctica* and *R. lens* (Cryptophyceae). *Nord J Bot.* **16**: 335–343.
- NIES (National Institute for Environmental Studies). 2000. Microalgae and Protozoa. In: Watanabe, M.M., Hiroki, M., Kasai, F., Kawachi, M., Shimizu, A., Erata, M., Mori, F., Yumoto, K. (Eds.), NIES-Collection: List of Strains, 6th ed. National Institute for Environmental Studies, Tsukuba, Japan, pp. 30–31.
- Pech-Pacheco, J.L., J. Alvarez-Borrego, E. Orellana-Cepeda and R. Cortes-Altamirano. 1999. Diffraction pattern applicability in the identification of *Ceratium* species. *J. Plankton Res.* **21**: 1455–1474.
- Sang, M., B.H. Kim and M.S. Han. 2004. Isolation and identification of an algicidal bacterium against *Microcystis aeruginosa* in freshwater. Korean Society of Limnology, Seoul University.
- Santer, B. 1996. Nutritional sustainability of the dinoflagellate *Ceratium furcoides* for four copepod species. *J. Plankton Res.* **18**: 323–333.
- Sigee, D.C., R. Glenn, M.J. Andrews, E.G. Bellinger, R.D. Butler, H.A.S. Epton and R.D. Hendry. 1999. Biological control of cyanobacteria: principles and possibilities. *Hydrobiologia*. **395/396**: 161–172.
- Sommer, U. 1982. Vertical niche separation between two closely related planktonic flagellate species (*Rhodomonas lens* and *Rhodomonas minuta* v. *nannoplanctica*). *J. Plankton Res.* **4**: 137–142.
- Tollrian, R. and S.I. Dodson. 1999. Inducible defenses in cladocera: constraints, costs, and multipredator environments. In: Ecology and Evolution of Inducible Defenses (Eds R. Tollrian & C.D. Harvell), pp. 177–202. Princeton University Press, Princeton, USA.
- Trainor, F.R. 1993. Cyclomorphogenesis in *Scenedesmus subspicatus* (Chlorococcales, Chlorophyta): Stimulation of colony development at low temperature. *Phycologia*. **32**: 429–433.
- Van Alstyne, K.L. 1988. Herbivore grazing increases polyphenolic defenses in the intertidal brown alga *Fucus distichus*. *Ecology*. **69**: 655–663.
- Van Donk, E. 1997. Defenses in phytoplankton against grazing induced by nutrient limitation, UV-B stress and infochemicals. *Aquat. Ecol.* **31**: 51–58.
- Van Donk, M. Lürling, D.O. Hessen and G.M. Lokhorst. 1997. Altered cell wall morphology in nutrient-deficient phytoplankton and its impact on grazers. *Limnol Oceanogr.* **42**: 357–364.
- Willen, E., M. Oké and F. González. 1980. *Rhodomonas minuta* and *Rhodomonas lens* (Cryptophyceae) – Aspects on form variation and ecology in lakes Mälaren and Vättern Central Sweden. *Acta Phytogeogr. Suec.* **68**: 163–172.

(Manuscript received 13 August 2005,
Revision accepted 10 September 2005)