

실제 하수조건에서 고지질 함량 조류자원의 생체생성과 하수처리 특성 분석

Charaterization of Biomass Production and Wastewater Treatability by High-Lipid Algal Species under Muncial Wastewater Condition

이장호 · 박준홍[†]
Jangho Lee · Joonhong Park[†]

연세대학교 사회환경시스템공학부
School of Civil and Environmental Engineering, Yonsei University

(2009년 10월 9일 접수, 2010년 4월 14일 채택)

ABSTRACT : Wastewater treatment using algal communities and biodiesel production from wastewater-cultivated algal biomass is a promising green growth technology. In literature, there are many studies providing information on algal species producing high content of lipid. However, very little is known about adaptability and wastewater treatability of such high-lipid algal species. In this study, we attempted to characterize algal biomass production and wastewater treatability of high-lipid algal species under municipal wastewater condition. For this, four known high-lipid algal strains including *Chlorella vulgaris* AG 10032, *Ankistrodesmus gracilis* SAG 278-2, *Scenedesmus quadricauda*, and *Botryococcus braunii* UTEX 572 were individually inoculated into municipal wastewater where its indigenous algal populations were removed prior to the inoculation, and the algae-inoculated wastewater was incubated in the presence of light source (80 μ E) for 9 days in laboratory batch reactors. During the incubations, algal biomass production (dry weight) and the removals of dissolved organics (COD), nitrogen and phosphorous were measured in laboratory batch reactors. According to algal growth results, *C. vulgaris*, *A. gracilis* and *S. quadricauda* exhibited faster growth than indigenous wastewater algal populations while *B. braunii* did not. The wastewater-growing strains exhibited efficient removals of total-N, NH₄⁺-N, Total-P and PO₄³⁻-P which satisfy the Korea water quality standards for effluent from municipal wastewater treatment plants. *A. gracilis* and *S. quadricauda* exhibited efficient and stable treatability of COD but *C. vulgaris* showed unstable treatability. Taken together with the results, *A. gracilis* and *S. quadricauda* were found to be suitable species for biomass production and wastewater treatment under municipal wastewater condition.

Key Words : *Algae, Municipal wastewater, Advanced wastewater treatment*

요약 : 하수나 폐수를 이용해서 조류를 배양하고 이를 통해서 획득된 조류 생체로부터 바이오디젤을 생산한다는 것은 친생태적이면서 신재생에너지 생산이라는 점에서 최근 각광받는 녹색성장기술이다. 바이오디젤 생산에 필요한 지질의 함량이 높은 조류 종에 대한 연구가 최적 인공배양액 조건에서 연구된 사례들이 있다. 하지만 실제 하수의 조건에서 고지질 함량 조류의 생체생성과 하수처리능에 대한 정보 제공이 미흡한 것이 현황이다. 본 연구에서는 바이오디젤 전구물질인 지질함량이 높다고 알려진 조류 종들을 선별해서 국내 하수조건에서 생체생성능과 하수처리능을 분석하였다. 이를 위해서 실제 하수에서 토착조류를 제거한 후 지질함량이 높다고 알려진 조류 4종(*Chlorella vulgaris* AG10032, *Ankistrodesmus gracilis* SAG278-2, *Scenedesmus quadricauda*, *Botryococcus braunii* UTEX 572)을 각각 하수에 식종한 후에 조류의 성장률과 유기물, 질소 및 인의 제거를 실험실 규모의 회분식반응조에서 분석하였다. 일정한 광반응 조건 (80 μ E, 24시간)에서 9일간 배양하면서 시간 별로 조류의 건조 생체량과 COD, 질소 및 인을 각기 측정하였다. 그 결과 *C. vulgaris*, *A. gracilis*와 *S. quadricauda*는 하수의 토착조류 보다 하수에서 더 우월하게 성장하는 것을 알 수 있었다. 반면 *B. braunii*는 하수조건에서 성장을 할 수 없는 것으로 나타났다. 하수에서 배양가능한 조류들에 의한 질소 (Total-N, NH₄⁺-N)와 인(Total-P, PO₄³⁻-P)의 제거능이 우수하였고, 하수처리 방류수질 기준을 만족하였다. 하수에서 배양가능한 조류들에 의한 용존 COD의 제거 분석 결과, *A. gracilis*와 *S. quadricauda*는 효과적인 COD제거를 지속하였지만, *C. vulgaris*는 초기의 COD 제거가 지속되지 않는 불안정성을 보였다. 이러한 결과들을 종합적으로 고려해서 본 연구에서는 *A. gracilis*와 *S. quadricauda*를 실제 하수에 적응성과 처리능이 우수한 조류자원으로 선정하였다.

주제어 : 조류, 도시하수, 고도하수처리

[†]Corresponding author : E-mail : parkj@yonsei.ac.kr Tel: 02-2123-5798 Fax: 02-312-5798

1. 서론

지구 온난화 가속화 전망과 더불어 기후변화에 따른 환경 대응이라는 시대적 요구에 따라, 저탄소 녹색성장의 필요성이 국제적으로 대두되고 있다. 저탄소 녹색성장을 위한 주요 녹색기술은 바이오매스에서 신재생에너지를 생성하는 기술과 깊게 연관된다. 이를 위한 일환으로 조류를 통한 이산화탄소 고정과 바이오디젤과 같은 바이오 에너지 생산에 대한 관심이 증가하고 있다.^{1,2)} 이러한 목적을 위해서 조류를 배양하는 것도 하나의 주요 연구분야이다. 특히 하수나 축산폐수를 이용하는 경우에는 조류배양을 위한 별도의 비용이 소요되지 않고 오히려 수질오염을 처리하는 효과가 있기 때문에 하수나 축산폐수를 이용한 조류배양에 대한 관심이 높아지고 있다.

현재까지 주를 이루고 있는 하수처리 방식은 활성슬러지 공법인 생물학적인 처리가 주종을 이룬다. 유기물의 경우, 기존 생물학적 처리방법으로 효과적으로 제거가 가능하나, 질소와 인의 처리에는 그러하지 못하다. 예를 들어서 세균 기반의 탈질화 공정의 경우 별도의 유기탄소물질을 첨가하여야 하므로 추가 비용 및 이산화탄소의 추가 발생하는 문제가 있다.^{3,4)} 세균의 질산화 공정의 경우 용존산소를 소비하여 유출수의 수질이 낮아지게 된다.⁵⁾ 또한 인 처리의 경우 현재의 세균 기반의 생물학적 처리가 효과적이지 않다. 이의 대안으로 화학적 응집 침전법 등이 다양하게 응용되고 있다. 하지만 화학적 응집침전법의 경우 응집제 첨가를 위하여 소비되는 비용 등으로 인해 다소 경제적인 문제가 나타난다.^{4,6)}

이와 같은 기존 하수처리기술의 질소 및 인 처리능 제고를 위해서 조류의 활용은 적절하다. 체내의 단백질과 핵산 등의 생성을 위해 많은 양의 질소와 인을 필요로 하므로, 하수내의 질소와 인을 영양염류 기질로 사용할 수 있으며, 조류에 의한 pH증가로 인하여 암모니아 탈기와 인의 침전도 부가적인 효과로 기대할 수 있다.^{7~10)} 특히 조류와 세균의 복합 군집을 이용하면 하수내 질소 및 인 제거는 조류에 의해서, 용존유기물 제거는 세균에 의해서 수행될 수 있다. 또한 조류의 산소 배출로 인해 호기성 세균의 산소 소비에도 불구하고 물속의 용존산소 고갈을 방지할 수 있는 효과도 기대된다. 이러한 이유로 최근에 조류를 하수처리에 활용하는 연구 사례가 활발히 보고되고 있다. 하지만 하수처리에 적당한 조류자원

에 대한 정보는 매우 제한적이다.^{1,2)} 또한 *Chlorella vulgaris*, *Ankistrodesmus gracilis*, *Scenedesmus quadricauda*, *Botryococcus braunii* 종들은 바이오디젤 생산의 전구물질인 조류지질을 높은 양으로 생성하는 것으로 알려져 있는데^{11~14)} 이러한 선행 연구는 바이오디젤 생산만을 목적으로 순수배양 조류의 최적배양액 조건에서 수행한 연구이므로 실제 하수 조건에서 조류생체생성과 하수처리 거동에 대해서 분석한 연구는 매우 제한적이다. 따라서 본 연구에서는 실제 도시하수 조건에서 고지질생산 조류 종들의 생체생성과 하수처리 거동을 실험적으로 분석하였다.

2. 연구방법

2.1. 시료의 채취 및 전처리

조류를 배양하기 위한 시료는 서남 하수처리장에서 채취하였으며, 채취한 시료는 기존 하수내의 조류를 제거하기 위해 1.2 μm 크기의 여과지로 여과를 하였다. 또한 기존 하수내에 서식하는 조류-세균 군집과 비교 관찰하기 위하여 여과를 하지 않은 기존의 하수를 공시료(control)로 사용하였다. 실험에 사용된 고지질생성 조류인 *Chlorella vulgaris* AG10032, *Ankistrodesmus gracilis* SAG278-2, *Scenedesmus quadricauda* 그리고 *Botryococcus braunii* UTEX 572는 한국생명공학연구원(KRIBB)의 생물자원센터로부터 분양 받았다.^{15~19)}

2.2. 실험 장치의 구성

네 개의 3 L 플라스크에 1.2 μm 크기의 여과지로 여과된 하수를 1 L씩 넣은 후, 각 플라스크에 4종의 조류(*C. vulgaris* AG10032, *A. gracilis* SAG278-2, *S. quadricauda*, *B. braunii* UTEX 572)를 초기농도 20 mg/L로 각각 주입하였다. 한 개의 플라스크에 여과를 하지 않은 1 L의 하수를 넣어서 공실험(하수 조류-세균 군집)으로 사용하였다. 총 5개의 플라스크를 배양기에 넣고, 106 rpm의 속도로 교반을 해주었으며, 80 μE 의 광반응을 24시간 적용한 후, 9일 동안 1일 간격으로 각 플라스크의 시료를 채취하였다.

2.3. 분석 방법

2.3.1. 조류와 세균의 성장 측정

채취된 시료를 1.2 μm 크기의 여과지로 여과한 후 여과지에 걸러진 조류를 105℃에서 1시간동안 증발시킨 후, 질량을 측정하였다.¹⁹⁾

$$\text{mg total suspended solid s/L} = \frac{(A-B) \times 100}{\text{sample volume, mL}}$$

A = 여과지와 시료의 질량 (mg)

B = 여과지의 질량 (mg)

2.3.2. 하수의 수질 분석

하수내의 용존된 COD, 총질소, 암모늄이온, 질산이온, 총인, 인산이온을 측정하기 위해서, 채취된 시료를 0.2 μm 크기의 여과지로 여과한 후, HACH 회사에서 제공하는 발색방법을 사용하였다. 구체적으로 사용된 HACH 방법은 COD Digestion vial(Cat. 21259-15), Total Nitrogen Reagent Set (Cat. 27141-00), Nitrogen-Nitrate Reagent Sets (Cat. 26053-45), Nitrogen-Ammonia Reagent Set(Cat. 26069-45), Total Phosphorus Reagent Set (Cat. 27426-45), Orthophosphate Phosphorus, Reactive (Cat. 27673-45) (HACH Company, USA)를 제작자가 제공하는 방법을 사용하였고, 농도측정을 위한 흡광도 분석은 DR 4000 Spectrophotometer (HACH Company, USA)를 이용하였다.

3. 결과 및 토의

3.1. 하수 조건 하의 조류의 성장

C. vulgaris, *A. gracilis*, *S. quadricauda*의 경우, 해당 하수에 서식하는 토착조류의 경우 보다 조류의 건조 생체량 시간이 지날수록 증가하였다(Fig. 1). 각 조류의 성장을 비교할 때에 *C. vulgaris*와 *A. gracilis*는 초기 생체량에 비교하여 약 12~13배 증가하였으며, *S. quadricauda*는 약 17배 증가하였다. 특히 *C. vulgaris*와 *S. quadricauda*의 경우, 기존 연구에서도 하수에 적응이 잘 된다는 결과가 있었으므로 이 조류 종들은 하수에 적응이 가능하다고 판단되었다.^{22,23)} 하지만 *B. braunii*는 성장이 오히려 점점 줄어들었으며, 해당 하수에 서식하는 토착조류의 성장보다도 미흡하였다. *B. braunii*는 다른 조류 중에 비해 성장 속도가 느린 것으로 알

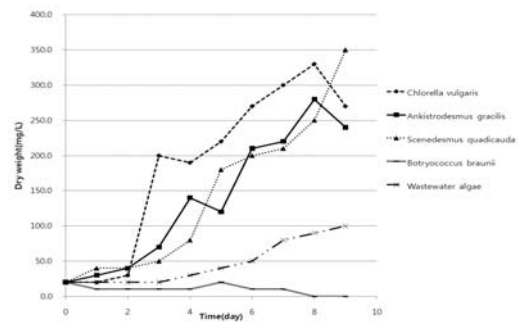


Fig. 1. Time-course changes of algal growth.

려져 있는데,^{24,25)} 본 연구에서 사용한 하수조건에서는 더욱 그 성장속도가 느린 것으로 본 연구결과로 밝혀졌다.

3.2. 조류 별 하수처리 거동분석

3.2.1. 용존 COD

모든 조류의 경우 초기 2일까지는 COD를 감소시키는 경향을 보였다 (Fig. 2). *A. gracilis*과 *S. quadricauda*이 주입된 플라스크의 경우, COD 수치가 일정하게 줄어들다가 2일째부터 감소된 수준이 유지되었다. 하지만 *C. vulgaris*와 해당 하수에 서식하는 조류가 있는 플라스크는 COD가 2일 이후부터 다시 증가하여, 9일째에는 초기 농도(93.0 mg/L)보다 높은 농도를 보이었는데 이는 *C. vulgaris*의 COD 제거가 안정적이지 않다는 것을 보이고 있다. 이러한 결과는 조류가 배출하는 용존 유기물질이 세균에게 유해하거나 난분해성 물질일 가능성과 질소, 인의 부족으로 인하여 조류 개체의 분해 후 유기물화, 혹은 상기 2가지 현상의 복합적인 작용이 있다고 판단되었다.^{1,26~28)} 결론적으로 하수에서 성장 가능한 세 종류의 조류 중에서 *A. gracilis*과 *S. quadricauda*이 COD 처리관점에서 적절한 것으로 보이고 *C. vulgaris*는 그렇지 않은 것으로 나타났다.

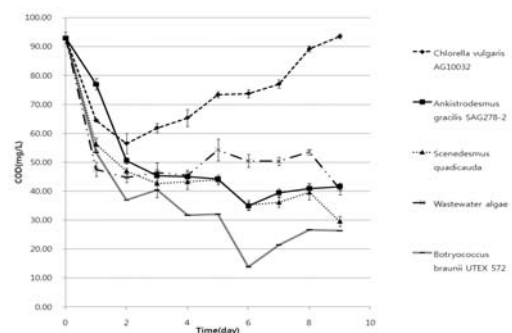


Fig. 2. Time-course changes of COD (Chemical Oxygen Demand) dissolved in supernatant from the batch experiments.

3.2.2. 질소

총 질소의 경우, 시간이 지날수록 모든 조건에서 감소하는 경향을 보였으며(Fig. 3), *B. braunii*를 제외한 나머지 경우는 방류수 수질기준(40 mg/L 이하)을 만족하였다.²⁹⁾ 암모늄 이온은 조류를 주입한 경우, 서서히 감소하였으나, 기존 하수의 경우에는 4일 이후부터 급격히 감소하는 경향을 보였다(Fig. 4). Fig. 5에서 보이는 바와 같이 질산이온의 경우, *A. gracilis*가 초기의 증가 관찰되었지만, 대부분의 경우에서 거의 변화가 없는 것으로 나타났다(Table 1).

총 질소의 제거, 암모늄이온 질소 그리고 질산이온 질소의 제거를 비교한 결과, *C. vulgaris*, *A. gracilis* 그리고 *S. quadricauda*의 경우에는 제거된 총 질소 중에서 상당부분이 암모늄이온 질소와 질산이온 질소 제거로 감소되었다(Table 1). 또한 조류 생체량에 따른 영양염류 제거량을 분석한 결과(총 질소 제거량/조류생체량), 기존 하수의 조류의 경우조류 증가대비 총 질소 제거량이 제일 높은 것으로 나타났으며, 주입된 조류 중 중에서 *C. vulgaris*, *A. gracilis*가 생체량이 증가함에 따라 질소의 제거효율이 높은 것으로 나타났다(Table 1). 본 연구에서 관찰된 암모늄 이온의 제거 원인으로서는 조류의 암모늄 이온 섭취를 들 수 있으며, 부분적으로 생물학적 질산화가 일어나기는 하지만 이에 따라 증가된 질산을 조류가 섭취하게 되어 질산이온의 농도의 변화가 적다고 판단되었다.^{30,31)} 또한 물리화학적 탈기에 의해서 암모늄 이온이 제거되었을 수 있는데, 조류에 의한 pH 증가를 통해

서 암모니아 탈기가 발생되었을 가능성이 있다.^{7~10)} 실제로 조류 배양 회분식 반응조에서 시간의 증가에 따라서 국부적인 pH의 증가가 관찰되었으며, 이는 암모니아 탈기가 발생 가능성이 높음을 의미한다(Fig. 6).

3.2.3. 인

총 인과 인산이온 인 분석 결과 (Fig. 7과 8), 모두 비슷한 감소 양상을 보였다. 또한 조류 생체량에 따른 총 인 제거량을 분석한 결과, 모든 경우에서 조류의 증가량 당 총 인의 제거량이 유사함을 알 수 있었다(Table 2). 최종 배양 시간 후에 총 인의 잔류량은 방류수 수질기준(4 mg/L 이하)을 만족하였다.²⁹⁾ 인의 제거효율 또한 총 인과 인산이온 모두 *B. braunii*를 제외한 나머지 조류-세균 군집에서 50% 이상의 높은 효율을 보였다. 총 인 제거량과 인산이온 인의 제거량을 비교한 결과 (Table 2), 제거된 총 인의 대부분이 용존 형태의 인산이온의 제거를 통해서 이루어 졌음을 알 수 있다. 이는 관찰된 인의 제거에 관여하는 기작이 조류의 용존 인산이온의 섭취이거나 세균의 용존 인산이온 섭취일 가능성이 있다. 세균도 성장하면서 인을 섭취하기는 하지만 호기성 조건만 있는 본 연구의 실험조건에서는 혐기성과 호기성을 반복하는 고도하수처리 공정에서 관찰되는 세균의 인 과잉섭취는 가능한 인 제거 기작이라고 보기 힘들다.³²⁾ 따라서 본 연구에서 관찰된 인 제거의 주 기작은 조류에 의한 용존 인산이온 섭취라고 판단된다.

Table 1. Results of nitrogen removal

| Algae Source | Total Nitrogen | | | | NH ₄ -N + NO ₃ -N | | | NH ₄ -N | | NO ₃ -N | |
|---|----------------|--------------|------------------|-------------------------|---|--------------|------------------|--------------------|--------------|--------------------|--------------|
| | Initial (mg/L) | Final (mg/L) | Removed N (mg/L) | Removed TN/Algal Growth | Initial (mg/L) | Final (mg/L) | Removed N (mg/L) | Initial (mg/L) | Final (mg/L) | Initial (mg/L) | Final (mg/L) |
| <i>Chlorella vulgaris</i> AG10032 | 52.00 ± 1.41 | 28.00 ± 1.41 | 24.00 | 0.10 | 24.70 | 3.14 | 21.56 | 22.00 ± 1.22 | 0.74 ± 0.08 | 2.70 ± 0.14 | 2.40 ± 0.14 |
| <i>Ankistrodesmus gracilis</i> SAG278-2 | 52.00 ± 1.41 | 30.00 ± 0.00 | 22.00 | 0.10 | 24.70 | 3.06 | 21.64 | 22.00 ± 1.22 | 0.26 ± 0.05 | 2.70 ± 0.14 | 2.80 ± 0.00 |
| <i>Scenedesmus quadricauda</i> | 52.00 ± 1.41 | 26.00 ± 1.41 | 26.00 | 0.08 | 24.70 | 2.54 | 22.16 | 22.00 ± 1.22 | 0.24 ± 0.08 | 2.70 ± 0.14 | 2.30 ± 0.14 |
| <i>Botryococcus braunii</i> UTEX572 | 52.00 ± 1.41 | 57.00 ± 2.83 | -5.00 | N. M.* | N. M.* | N. M.* | N. M.* | N. M.* | N. M.* | N. M.* | N. M.* |
| Wastewater algae | 52.00 ± 1.41 | 15.00 ± 2.83 | 37.00 | 0.41 | 24.70 | 3.54 | 21.16 | 22.00 ± 1.22 | 0.94 ± 0.036 | 2.70 ± 0.14 | 2.60 ± 1.41 |

* Non-Measured

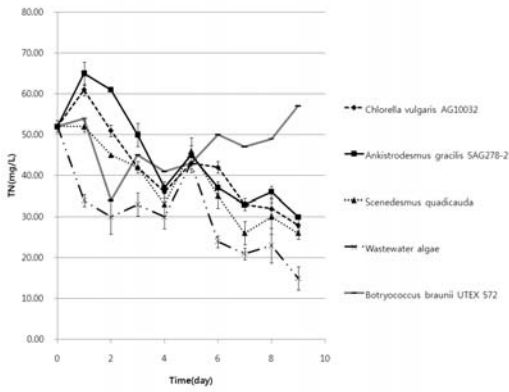


Fig. 3. Time-course changes of TN (Total Nitrogen) in the supernatant from the batch experiments.

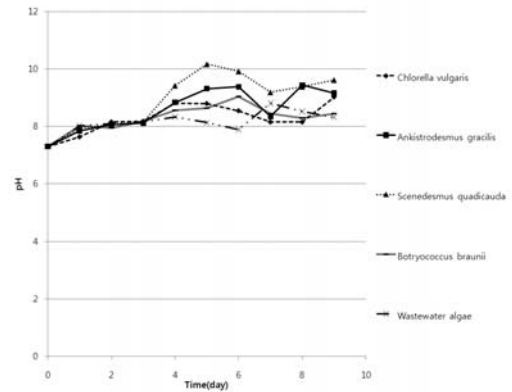


Fig. 6. Time-course changes of pH in the supernatant from the batch experiments.

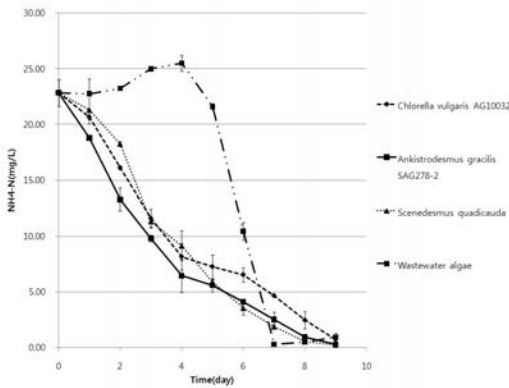


Fig. 4. Time-course changes of ammonium(NH₄-N) in the supernatants from the batch experiments.

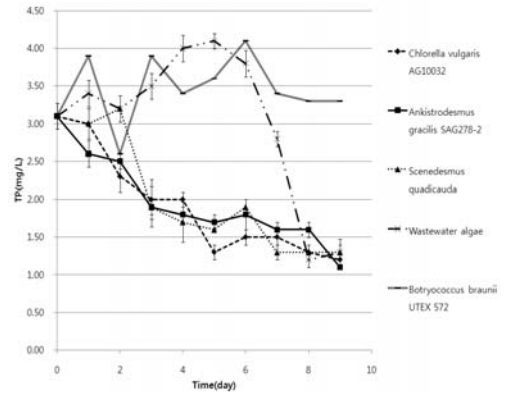


Fig. 7. Time-course changes of TP (total phosphorus) in the batch experiments.

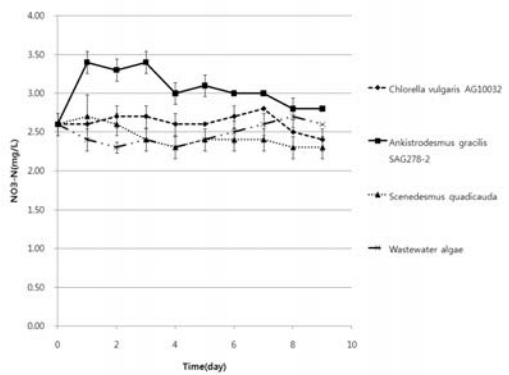


Fig. 5. Time-course changes of nitrate (NO₃-N) in the supernatant from the batch experiments.

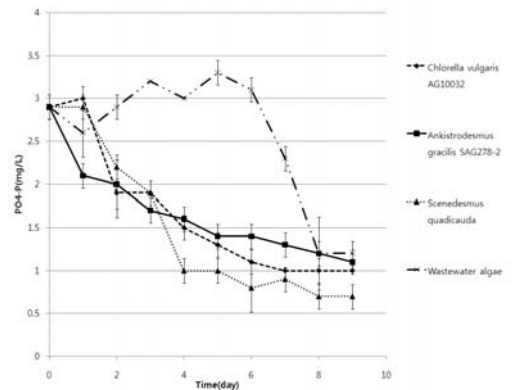


Fig. 8. Time-course changes of orthophosphate (PO₄-P) in the batch experiments.

Table 2. Results of phosphorus removal

| Algae source | Total Phosphorus | | | | PO ₄ -P | | |
|---|------------------|----------------|------------------|--------------------------|--------------------|----------------|------------------|
| | Initial (mg/L) | Final (mg/L) | Removed P (mg/L) | Removed TP/ Algal Growth | Initial (mg/L) | Final (mg/L) | Removed P (mg/L) |
| <i>Chlorella vulgaris</i> AG10032 | 3.00 ± 0.17 | 1.20 ± 0.10 | 1.80 | 0.01 | 2.80 ± 0.14 | 1.00 ± 0.00 | 1.80 |
| <i>Ankistrodesmus gracilis</i> SAG278-2 | 3.00 ± 0.17 | 1.10 ± 0.00 | 1.90 | 0.01 | 2.80 ± 0.14 | 1.10 ± 0.14 | 1.70 |
| <i>Scenedesmus quadricauda</i> | 3.00 ± 0.17 | 1.30 ± 0.17 | 1.70 | 0.01 | 2.80 ± 0.14 | 0.70 ± 0.14 | 2.10 |
| <i>Botryococcus braunii</i> UTEX572 | 3.00 ± 0.17 | 3.30 ± 0.10 | -0.30 | N. M.* | N. M.* | N. M.* | N. M.* |
| Wastewater algae | 3.00 ± 0.17 | 1.30 ± 0.10 | 1.70 | 0.02 | 2.80 ± 0.14 | 1.20 ± 0.14 | 1.60 |

* Non-Measured

4. 결론

하수에서 배양된 조류를 이용해서 바이오디젤 전구물질인 지질 획득과 하수처리를 동시에 달성할 수 있는 조류 자원의 선별과 배양최적화라는 궁극적 목적의 일환으로서 본 연구에서는 지질함량이 높다고 알려진 순수배양된 조류 4 종을 실제 국내 하수 조건에서 조류성장과 유기물 및 영양염류 처리 특성을 실험적으로 분석하였다. 그 주요 결과는 다음과 같이 요약된다.

1) 실제 하수 조건에서 *C. vulgaris*, *A. gracilis*, *S. quadricauda* 의 성장이 증가하였으나, *B. braunii*는 성장을 하지 못하였다. 이 결과로 지질함량이 높다고 알려져 있는 이 조류 자원들은 국내 하수 조건에서 배양이 가능하다는 것을 알 수 있었다.

2) 상기 하수에서 배양되는 조류에 의한 총 질소, 총 인 그리고 인산이온 제거능 분석 결과, 하수처리 방류수 수질기준을 만족하였다.

3) 상기 하수에서 배양되는 조류에 의한 용존 유기물질 제거능 분석결과, *A. gracilis*과 *S. quadricauda*는 효과적인 제거능을 보이었으나, *C. vulgaris*는 초기에 효과적인 제거능을 보이다가 실험 후반 부에 용존 유기물질 농도가 증가하는 경향을 보였다.

바이오디젤 전구물질인 조류지질을 고함유한 조류 종들을 선별해서 국내하수 적응성과 하수처리능을 비교분석한 결과

를 종합해 보면, *A. gracilis*과 *S. quadricauda* 가 하수환경 적응성과 하수처리능에서 우수한 조류자원임을 알 수 있었다. 특히 이들은 지질 고함유 조류 종으로 알려져 있으므로 추후에 개발될 바이오디젤-하수처리 동시 목적 기술개발에 적절한 조류자원으로 활용할 수 있다.

KSEE

사 사

본 연구는 2009년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2009-0081153).

참고문헌

- Munoz, R. and Guieysse, B., "Algal-bacterial processes for the treatment of hazardous contaminants: A review," *Water Res.* **40**(15), 2799-2815(2006).
- Chisti, Y., "Biodiesel from microalgae," *Biotechnol. Adv.* **25**(3), 294-306(2007).
- 김한욱, 이우성, 이철균, "미세조류를 이용한 질소제거 장치의 크기," *한국생물공학회지*, **19**(3), 236-240(2004).
- 노성희, 김선일, "폐석회를 이용한 폐수 중 인 제거 특성," *응용화학*, **6**(2), 735-738(2002).
- Bitton, G., *Wastewater Microbiology*, Willey-Liss, Inc., New York, pp. 60(1994).

6. Roques, H., Nugroho-Jeudy, L. and Lebugle, A., "Phosphorus removal from wastewater by half-burned dolomite," *Water. Res.*, **25**(8), 959~965(1991).
7. Laliberte, G., Proulx, D., Pauw, N. and Nouee, J. L., "Algal technology in wastewater treatment," *Ergenisse Limnol*, **42**, 283~302(1994).
8. McGriff, E. C. and McKinney, R. E., "The removal of nutrients and organics by activated algae," *Water Res*, **6**(10), 1155~1164(1972).
9. Nurdogan, Y. and Oswald, W. J., "Enhanced nutrient removal in high-rate ponds," *Water Sci Technol*, **31**(12), 33~43(1995).
10. Oswald, W. J., "My sixty years in applied algology," *J. Appl. Phycol.*, **15**(2-3), 99~106(2003).
11. Ben-Amotz, A. and Tornabene, T. G., "Chemical profile of selected species of macroalgae with emphasis on lipids," *J. Phycol.*, **21**(1), 72~81(1985).
12. Banerjee, A., Sharma, R., Chisti, Y. and Banerjee, U. C., "Botryococcus braunii: A renewable source of hydrocarbons and other chemicals," *Crit. Rev. Biotechnol.*, **22**(33), 245~279(2002).
13. Metzger, P. and Largeau, C., "Botryococcus braunii: A rich source for hydrocarbons and related ether lipids," *Appl. Microbiol. Biotechnol.*, **66**(5), 486~496(2005).
14. Xu, H., Miao, X. L. and Wu, Q., "High quality biodiesel production from a microalga chlorella protothecoides by heterotrophic growth in fermenters," *J. Biotechnol.*, **126**(4), 499~507(2006).
15. Gutzeit, G., Lorch, D., Weber, A., Engels, M. and Neis, U., "Biofloculent algal-bacterial biomass improves low-cost wastewater treatment," *Water Sci. Technol.*, **52**(12), 9~18(2005).
16. Pinto, G., Pollio, A., Previtara, L. and Temussi, F., "Biodegradation of phenols by microalgae," *Biotechnol. Lett.*, **24**(24), 2047~2051(2002)
17. Macedo, C. F. and Pinto-Coelho, R. M., "Nutritional status response of Daphnia laevis and Moina micrura from a tropical rhnirvoir to differhnt algal aphts: Scenedhnmus quadricauda and Ank rerodenmus gracilis," *Braz. J. Biol.*, **61**(4), 555~562(2001).
18. Metzger, P. and Largeau, C., "Botryococcus braunii: a rich source for hydrocarbons and related ether lipids," *Appl. Microbiol. Biotechnol.*, **66**(5), 486~496(2005).
19. Clesceri, L. S., Greenberg, A. E. and Eaton, A. D., Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 20th ed., United Book Press, Inc., Baltimore, pp. 2-57~2-58(1998).
20. Reasoner, D. J. and Geldreich, E. E., "A new medium for the enumeration and subculture of bacteria from potable water," *Appl. Environ. Microbiol.*, **49**(1), 1~7(1985).
21. Han, I., Congeevaram, S. and Park, J., "Impoved control of multiple-antibiotic-resistance-related microbial risk in swine manure wastes by autothermal thermophilic aerobic digestion," *Water Sci. Technol*, **59**(2), 267~271(2009).
22. Lau, P. S., Tam, N. F. Y. and Wong, Y. S., "Effect of algal density on nutrient removal from primary settled wastewater," *Environ. Pollut.*, **89**(1), 59~66(1995).
23. Mallick, N., "Biotechnological potential of immobilized algae for wastewater N, P and metal removal: A review," *Biomteritals*, **15**(4), 377~390(2002).
24. Tenaud, M., Ohmori, M., and Miyachi, S., "Inorganic carbon and acetate assimilation in *Botryococcus braunii*(Chlorophyta)," *J. Phycol.*, **25**(4), 662~667(2004).
25. Largeau, C., Casadevall, E. and Berkaloff, C., "The biosynthesis of long-chain hydrocarbons in the green alga Botryococcus braunii," *Phytochemistry*, **19**(6), 1081~1085(1980).
26. Havskum, H., Thingstad, T. F., Scharek, R., Peters, F., Berdalet, E., Sala, M. M., Alcaraz, M., Bangsholt, J. C., Zwifel, U. L., Hagstrom, A., Perez, M. and Dotan, J. R., "Silicate and labile DOC interfere in structuring the microbial food web via algal-bacterial competition for minetal nutrients: Results of a mesocosm experiment, *Limnol. Oceanogr.*, **48**(1), 129~140 (2003).
27. Daranas, A. H., Norte, M. and Fernandez, J. J., "Toxic marine microalgae," *Toxicon*, **39**(8), 1101~1132(2001).
28. Berges, J. A. and Falkowski, P. G., "Physiological stress and cell death in marine phytoplankton: Induction of proteases in response to nitrogen of light limitation," *Limnol. Oceanogr.*, **43**(1), 129~135(1998).
29. 환경부, 수질 및 수생태계 보전에 관한 법률 시행규칙(2007).
30. Fuhrman, J. A., Horrigan, S. G. and Capone, D. G., "Use of ¹³N as tracer for bacterial and algal uptake of ammonium from seawater," *Mar. Ecol. Prog.*, **45**(3), 271~278(1988).

31. Rhee, G.-Y., "Effects of N:P atomic ratios and nitrate limitation on algal growth, cell composition, and nitrate uptake," *Limnol. Oceanogr.*, **23**(1), 10~25(1978).

32. Tchobanoglous, G., Burton, F. L. and Stensel, H. D., *Wastewater Engineering*, 4th ed., McGraw-Hill, New York, pp. 623~629 (2004).