

FOOD&CHEMISTRY

# Incubation of *Scenedesmus quadricauda* based on food waste compost

Keon Hee Kim<sup>1,†</sup>, Jae Han Lee<sup>2,†</sup>, Chae Hong Park<sup>1</sup>, Taek Keun Oh<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Human and EcoCare Center, Sang-huh Life Science College, Konkuk University, Seoul 05029, Korea

<sup>2</sup>Department of Bio-Environmental Chemistry, College of Agriculture and Life Science, Chungnam National University, Daejeon 34134, Korea

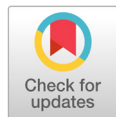
<sup>†</sup>These authors equally contributed to this study as first author.

\*Correspond author: ok5382@cnu.ac.kr

## Abstract

Food waste causes various economic losses and environmental pollution problems such as soil pollution and groundwater pollution. Food waste has been used as a resource in various forms and has been used mostly for feed and composting. This study compared microalgal nutrient medium (BG-11) with food waste compost to determine the possibility of using it as a culture medium. *Scenedesmus quadricauda* was isolated and cultured in an eutrophic reservoir and incubated for 3 days in distilled water before laboratory use. Food waste compost was produced in two food waste processing facilities, and hot water was extracted in the laboratory to be used for microalgae cultivation. The growth curve of the microalgae was analyzed based on the Chl-a concentration measured during the experiment, and the growth rate of the microalgae grown in the food waste compost was compared with the growth rate of those grown in the nutrient medium. Food waste compost showed a similar growth rate to that of the nutrient medium, and there was a difference depending on the manufacturing facility. The growth of microalgae in such food waste was further amplified when trace elements were added and showed better growth than that of the nutrient media. Particularly, when trace elements were added, the growth rate increased, and the growth period was further extended. Therefore, food waste compost can be sufficiently utilized as a microalgal culture medium, and if trace elements are added, it is considered that microalgae can be more effectively cultured compared to the existing nutrient medium.

**Keywords:** food waste compost, medium, microalge, *Scenedesmus quadricauda*



## OPEN ACCESS

**Citation:** Kim KH, Lee JH, Park CH, Oh TK. 2020. Incubation of *Scenedesmus quadricauda* based on food waste compost. Korean Journal of Agricultural Science 47:1039-1048. <https://doi.org/10.7744/kjoas.20200087>

**Received:** October 29, 2020

**Revised:** November 13, 2020

**Accepted:** November 20, 2020

**Copyright:** © 2020 Korean Journal of Agricultural Science

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.



## Introduction

음식물류 폐기물은 수분함량이 80% 이상으로 높고 혐기상태에서 부패하여 악취가 발생하며, 여러 경제적 손실을 야기한다(Kim and Kim, 2000). 낮은 발열량으로 소각처리가 어렵고 매립은 부지확보가 어려울 뿐 아니라 토양 및 지하수 오염과 같은 2차 오염문제를 야기한다(Lee and Ahn, 2000). 이러한 문제점을 해결하기 위해 2015년 기준 음식물류 폐기물의 약 90.4%가 자원화 되었으며, 그중 사료화 41.6%, 퇴비화 32.0%, 기타 16.8% (바이오가스화)의 비율로 자원화 되었다(ME, 2017; Lee et al., 2019). 자원화 방법에 따라 호기성 퇴비화, 혐기성 퇴비화, 건식

사료화, 습식사료화 등으로 구분되며 방법에 따라 기술적, 환경적, 경제적 측면이 상이하지만 호기성 퇴비화의 경제성이 가장 우수한 것으로 알려져 있다(Hong, 2001; Lee and Lim, 2003). 더욱이 최근 음식물류 폐기물 사료의 수요가 줄어들고 있기 때문에 퇴비화는 효과적인 음식물류 폐기물의 자원화 수단으로 부각되고 있다(Lee et al., 2015).

이러한 퇴비는 고농도의 인과 질소를 포함하고 있기 때문에 농작물 뿐만 아니라 다양한 생물의 영양원으로써 작용할 수 있다. 특히 논과 밭에 살포된 퇴비가 강우기에 하천 및 호수로 유입되어 수중의 영양염 농도를 증가시키는 것으로 알려져 있으며 이는 수중에서 식물성플랑크톤(미세조류)의 대발생을 유도한다(Choi et al., 2009; Kim et al., 2011).

미세조류는 식물체와 같은 분류체계에 속하지만 식물체 보다 광합성 효율이 높고 빠른 성장속도 뿐만 아니라 성장을 조절할 수 있다는 특징을 가지고 있으며 지질함량이 높아 각종 원료 작물들보다 높은 지질 생산성을 가진다(Ji et al., 2016). 종에 따라서 다양한 지방과 탄화수소 그리고 오일 등을 생산하고 있다. 미세조류를 이용한 상업적 응용 분야는 폐수처리, 이산화탄소 고정화를 이용한 대기 오염 정화, 양식 사료, 건강 식품 소재, 생리활성 물질 생산, 가공용 소재, 의약품 소재, 3세대 바이오매스 소재 등으로 매우 다양하게 이용되고 있으며 고부가가치의 유용산물을 생산할 수 있다(Demirbas, 2010; Kang et al., 2012; Ahn et al., 2015; Lee et al., 2016). 따라서 음식물류 폐기물 퇴비를 미세조류의 대량 배양배지로써 사용할 수 있다면 미세조류를 이용한 다양한 고부가가치의 유용산물을 생산할 뿐만 아니라 자원의 재활용 측면에서도 매우 유용할 것으로 판단된다.

본 연구는 음식물류 폐기물 퇴비를 배양배지로 활용하여 담수환경에서 주로 관찰되는 *Scenedesmus* 속 미세조류를 배양하였으며 영양배지와 비교하여 미세조류 배양배지로써 음식물류 폐기물 퇴비의 가능성을 판단하였다.

## Materials and Methods

### 음식물류 폐기물 퇴비

국내 음식물류 폐기물 자원화 사업소(food waste processing facilities, FPF) 2 곳 (FPF-A, FPF-B)에서 퇴비화 과정을 모두 거쳐 완성된 퇴비를 실험에 사용하였다. 음식물류 폐기물을 이용한 퇴비는 대부분 호기성 퇴비화로 다음의 과정을 거친다. 1) 퇴비 원료 투입 후 1차 이물질 선별. 2) 선별이 완료된 원료는 파쇄과정을 거친 후 탈수하여 높은 수분함량을 일정부분 조절. 3) 부자재 (톱밥 등)를 혼합하여 퇴비화 적정 수분함량인 50 - 60%로 조절 후 발효 (부숙)를 진행. 4) 발효과정 이후 후부숙 단계를 거치며, 후부숙이 완료된 퇴비는 2차 선별하여 퇴비 제품으로 생산. 퇴비화 과정을 통해 생산된 제품은 법적 규격인 비료공정규격의 퇴비 규격을 만족해야 한다(Table 1).

### 미세조류 분리 및 실험실 배양

실험에 사용된 *Scenedesmus quadricauda*는 2010년 8월에 경기도 용인시에 위치한 신갈 저수지(37°14'02.9"N, 127°05'49.1"E)에서 현장수를 채수하여 실험실로 저온 운반하였으며 Capillary method (Guillard, 1975)를 이용하여 단일 세포를 분리하였다(Fig. 1). 현미경(Axiovert A1, ZEISS, Oberkochen, Germany)을 통해 *S. quadricauda* 세포의 형태적인 특징을 사진기(Axiocam 503 color, ZEISS, Oberkochen, Germany)로 촬영한 후 ZEN (version 3.2, ZEISS, Oberkochen, Germany)을 이용하여 세포의 크기 및 길이를 측정하였다. 측정된 *S. quadricauda* 세포 형태 특징과 도감(Jeong, 1993; Park, 2012)에서 묘사하는 형태적 특징을 비교하여 종을 동정하였으며 생물자원센터(Korea Collection for Type Cultures)에 기탁하여 strain number (AG40095)를 부여받았다. 분리한 *S. quadricauda* 세포는 실험실에서 액체상태의 BG-11 배지에 접종하고 온도 25°C 와 30  $\mu\text{mol}\cdot\text{E}^{-1}\cdot\text{cm}^{-2}$  (L : D = 14 : 10)의 광도에서 1개월 이상 배양기(VS-1500, VISION, Deajeon, Korea)에서 배양하였다. 실험실에서 배양한 *S. quadricauda*는 실험에 사용하기 전에 영양염이 없는 증류수에서 3일 동안 배양하여 세포내 축적되어 있는 영양염을 모두 소진하였다.

**Table 1.** Compost standard of fertilizer process standard.

Fertilizer type	Content of specification (%)	Maximum amount of harmful ingredients	Other specification
Compost	Organic matter: 30 or more	1. About dried sample Arsenic 45 mg·kg <sup>-1</sup> Cadmium 5 mg·kg <sup>-1</sup> Mercury 2 mg·kg <sup>-1</sup> Lead 130 mg·kg <sup>-1</sup> Chromium 200 mg·kg <sup>-1</sup> Copper 360 mg·kg <sup>-1</sup> Nickel 45 mg·kg <sup>-1</sup> Zinc 900 mg·kg <sup>-1</sup> 2. The following pathogenic microorganisms are not detected <i>Escherichia coli</i> O157 : H7 <i>Salmonella</i> spp.	1. Organic to nitrogen ratio of 45 or less 2. About dried sample - NaCl: 2.0% or less 3. H <sub>2</sub> O: 55% or less 4. Maturity: Should be more than the criteria for the judgment in any of the following item. A. coMMe: Fully matured B. Solvita: Curing stage or fully matured C. Seed germination method: Germination index 70 or more 5. HCl Insoluble Substance: 25% or less



**Fig. 1.** Photo of *Scenedesmus quadricauda* isolated from singal reservoir in Yongin city, Kyunggi-do.

### 음식물류 폐기물배지를 활용한 성장 실험

음식물류 폐기물 자원화 사업소 두 곳(FPF-A, FPF-B)에서 부숙이 완료된 음식물류 폐기물 퇴비 50 g을 실험실로 운반하였다. 음식물류 폐기물 퇴비를 활용한 조류의 성장 실험은 퇴비의 부숙도 평가 방법 중 하나인 종자발아법을 변형하여 실험을 실시하였다(RDA, 2018).

퇴비 10 g을 증류수 200 mL에 현탁하고 70°C dry oven에서 2시간 동안 열수 추출하였다. 2시간 동안 추출한 추출액은 20 µm Mesh 로 여과하여 큰 고형물질을 제거한 후 GF/C 여과지(Whatman, Maidstone, USA)를 사용하여 미세한 고형물 완전히 제거하였다.

*Scenedesmus quadricauda*의 성장을 촉진하기 위해 세포 성장에 필수적인 미량원소( $H_2BO_3$ ,  $MnCl_2 \cdot 4H_2O$ ,  $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$ ,  $Na_2MoO_4 \cdot 2H_2O$ ,  $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ ,  $Co(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$ )를 BG-11 영양배지의 미량원소 농도와 동일하게 추출물에 첨가하였다(Stanier et al., 1971). 미량원소의 영향을 파악하기 위해 미량원소를 첨가한 실험군과 미량원소를 첨가하지 않은 실험군으로 나누어 접종하였다. 음식물류 폐기물 퇴비의 효과를 비교하기 위해 식물플랑크톤 배양에 주로 사용되는 BG-11 영양배지를 사용하였다(Stanier et al., 1971; Rippka et al., 1979).

음식물류 폐기물과 영양배지 사이의 미세조류 성장 차이를 비교하기 위해 (1) Control: 증류수, (2) T1: BG-11 주입, (3) T2: FPF-A 퇴비 추출물, (4) T3: FPF-A 퇴비 추출물 + 미량원소주입, (5) T4: FPF-B 퇴비 추출물, (6) T5: FPF-B 퇴비추출물 + 미량원소주입 총 6개 실험군을 준비하였으며 각 실험군은 3반복으로 수행하였다. 광도  $60 \mu mol \cdot E^{-1} \cdot m^{-2}$ , 온도  $25^\circ C$ 로 설정한 배양기(VS-1500, VISION, Daejeon, Korea)에서 광주기를 14 : 10으로 설정한 후 7일 동안 배양하였으며 24시간 간격으로 각각의 처리군에서 10 mL을 채수하였다. 각 처리군에서 채수한 시료를 사용하여 Chlorophyll-a를 측정하였다.

### Chlorophyll-a 및 수질 분석

Chlorophyll-a (Chl-a) 분석은 *Scenedesmus quadricauda* 배양액 5 mL를 취하여 GF/C 여과지로 여과하여 배양액과 미세조류 세포를 분리하였다. 여과한 여과지에 90% 아세톤 10 mL을 첨가한 후 냉암소(약  $4^\circ C$ )에 24시간 동안 보관하여 Chl-a를 추출하였다. Spectrophotometer (Optizen 3220, Mecasys, Daejeon, Korea)를 사용하여 흡광도를 측정하고 Standard methods (APHA, 2005)에 의거하여 Chl-a 농도를 계산하였다.

수질분석은 Standard methods (APHA, 2005)에서 제시한 방법에 의거하여 분석하였다. TN (total nitrogen)과 TP (total phosphorus)는 조류 배양액 원수를 그대로 사용하였고 암모니아( $NH_4-N$ ), 질산염( $NO_3-N$ ), 아질산염( $NO_2-N$ ), 인산염( $PO_4-P$ )을 분석하기 위한 시료는 GF/F 여과지(Whatman, Maidstone, USA)로 식물플랑크톤 세포를 여과한 후 분석하였다.  $NH_4-N$ 와  $NO_2-N$ 은 각각 Phenate 방법과 Colorimetric 방법을 이용하여 측정하였으며  $NO_3-N$ 은 Cadmium reduction법으로 분석하였다. TN은 과황산칼륨으로 분해한 후 Cadmium reduction법으로 측정하였다. TP와  $PO_4-P$ 는 Ascorbic acid법으로 측정하였다.

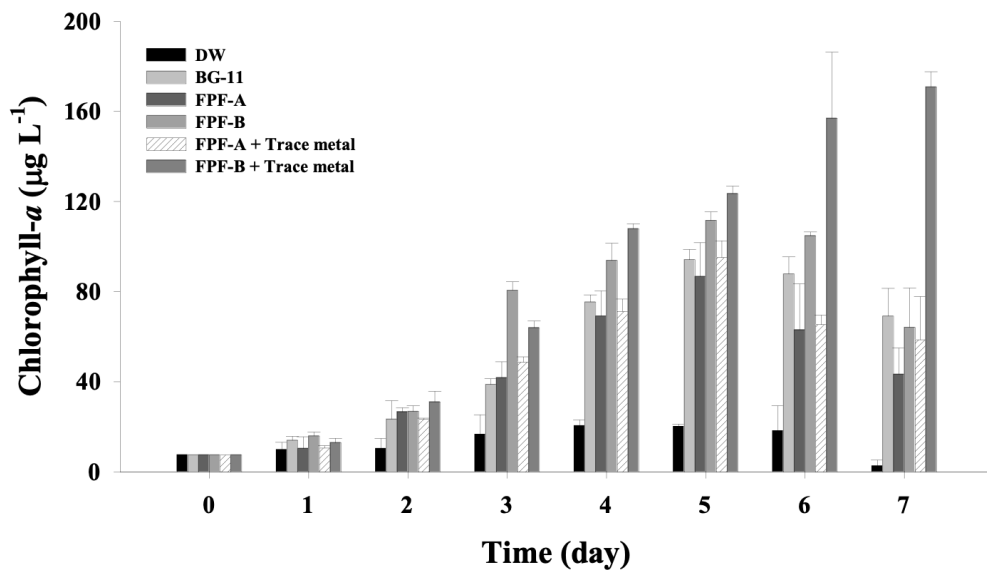
### 통계분석

음식물류 폐기물 퇴비와 영양배지에서 배양한 미세조류의 Chl-a 차이를 분석하기 위해 통계 분석을 수행하였으며 PASW statistics 18 (version 18.0.0, IBM SPSS software, New York, USA)를 사용하여 one-way ANOVA 분석을 수행하였다.

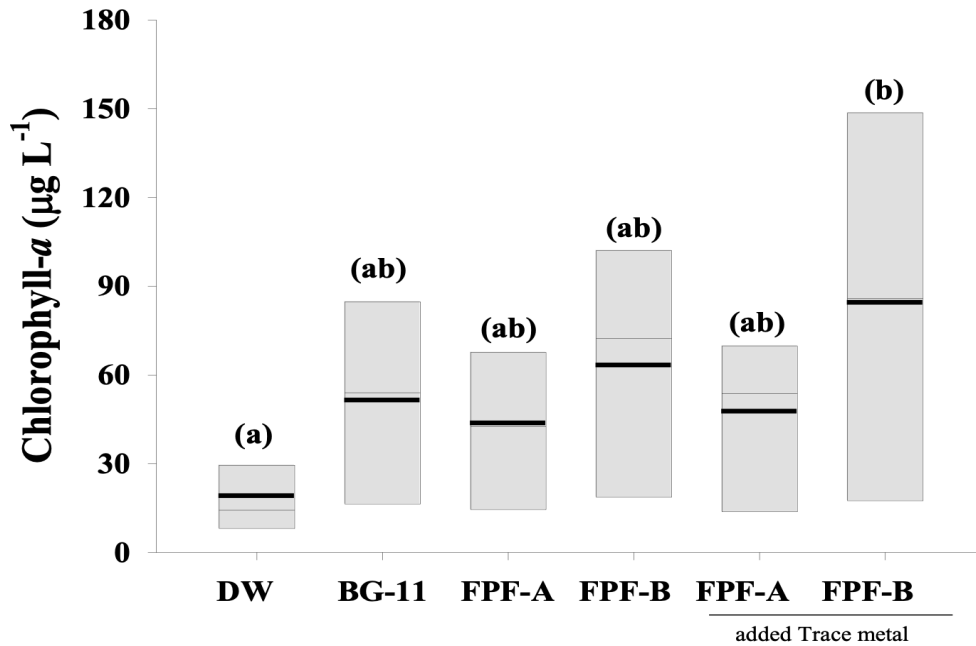
## Results and Discussion

### 영양배지에 따른 *S. quadricauda* 생물량 변화

음식물류 폐기물 퇴비를 사용하여 *S. quadricauda*를 배양한 결과, 배양 6일 이후 일부 처리군을 제외한 대부분의 처리군에서 Chl-*a*가 감소하였으며 대부분의 실험군에서 BG-11 과 유사한 경향을 나타내었다(Fig. 2 and Fig. 3). 또한 모든 처리군은 증류수에서 배양한 *S. quadricauda* 보다 평균 성장률이 높았으며 FPF-A와 FPF-B 각각에서 제조한 퇴비는 *S. quadricauda* 성장에 있어서 동일한 효과를 나타내지 않았다. 증류수에서 배양한 *S. quadricauda*는 배양 3일 이후부터 생물량이 감소하기 시작한 반면에 BG-11 및 음식물류 폐기물 퇴비에서 배양한 *S. quadricauda*는 5일까지 지속적으로 성장한 후 감소하였다(Fig. 2). FPF-A와 FPF-B의 퇴비에서 배양한 *S. quadricauda*의 평균 Chl-*a*는 BG-11에서 배양한 것과 통계적으로 유사하였으나 7-10  $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ 의 농도차이가 존재하였으며 FPF-A의 비료보다 FPF-B의 비료에서 *S. quadricauda*의 평균 생물량이 더 높았다. 이러한 차이는 배양 2일까지 구분하기 어려웠으나 배양 4일째부터 증류수 처리군과 영양배지 처리군 사이에 확연한 차이를 나타내었다(Fig. 2). FPF-A의 퇴비는 *S. quadricauda*의 성장을 촉진하여 처리군 중에서 가장 먼저 지수성장기에 도달하였으며 BG-11과 FPF-B 퇴비 보다 2배 이상 높은 차이를 나타내었다. BG-11과 FPF-A 퇴비는 FPF-B의 퇴비는 배양 4일에 2배 가까이 생물량이 성장하여 지수성장기에 진입하였다. FPF-A와 FPF-B의 퇴비에서 배양한 *S. quadricauda*의 생물량은 BG-11에서 배양한 *S. quadricauda*의 생물량 변화와 통계적으로 유사하였다(Fig. 3). 이러한 퇴비 제조시설에 따른 *S. quadricauda*의 생물량 차이는 퇴비의 영양염 차이가 원인으로 판단된다. FPF-B 퇴비의 TN, TP 농도와 DIN (dissolved inorganic nitrogen:  $\text{NO}_2\text{-N}$ ,  $\text{NO}_3\text{-N}$ ,  $\text{NH}_4\text{-N}$ 의 합), DIP (dissolved inorganic phosphate:  $\text{PO}_4\text{-P}$ )농도는 FPF-A 퇴비가 1-2  $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$  더 높았으나,  $\text{NO}_2\text{-N}$ 의 농도는 FPF-B 가 9배 가까이 더 높았다(Table 2). 또한 FPF-B 퇴비의 DIN 은  $\text{NH}_4\text{-N}$  가 80% 이상을 차지한 반면 FPF-A 퇴비의 DIN은  $\text{NO}_2\text{-N}$  이 51%,  $\text{NO}_3\text{-N}$ 이 13%,  $\text{NH}_4\text{-N}$ 이 45%로 다양한 질소원이 존재하였다(Table 2).



**Fig. 2.** Change of Chlorophyll-*a* concentration based on various nutrient source. DW, distilled water; FPF, food waste processing facilities.



**Fig. 3.** One-way ANOVA analysis between various nutrient sources. Thin line in box plots means middle value and bold line in box plots means average value. DW, distilled water; FPF, food waste processing facilities. a, b: The letter means groups in homogeneous subsets by ANOVA analysis.

이러한 음식물류 폐기물 퇴비의 영양염 성상 차이와 식물플랑크톤 생물량의 차이는 음식물류 폐기물 자원화 사업소에서 퇴비를 제조함에 있어 여러 조건들이 있지만, 부숙 기간이 영양염의 성상에 영향을 미친 것으로 판단된다. 음식물류 폐기물 퇴비화 과정은 유기물을 무기물로 전화하는 과정이다. Kim et al. (2004)에 의하면 퇴비화 완료 후 총 탄소의 함량은 감소하고, 질소의 함량은 증가하는 경향을 보였다. 질소의 변화는  $\text{NH}_4\text{-N}$  질소는 퇴비화 초기 급격하게 감소하는 반면,  $\text{NO}_3\text{-N}$ 의 경우 변화가 거의 없었으나 완숙 퇴비에서 급격하게 증가하는 경향을 보였다 (Kim et al., 2004). 이는  $\text{NO}_3\text{-N}$ 의 함량이 높을수록 퇴비가 완전히 부숙된 퇴비로 유추할 수 있다고 판단된다.

이로 인해 식물플랑크톤의 성장에 필요한 N과 P의 불균형이 발생하거나  $\text{NH}_4\text{-N}$  위주의 질소원 공급이 발생할 수 있다. 이러한  $\text{NH}_4\text{-N}$  중심의 질소원은  $\text{NO}_3\text{-N}$ 을 보다 선호하는 미세조류의 성장을 저해시킬 뿐만 아니라 고농도  $\text{NH}_4\text{-N}$ 으로 인해 조류생장이 저해될 수 있다(Nur, 2020). FPF-A의 경우 퇴비 부숙 기간을 정확히 알 수 없으나 FPF-B에서 제조한 퇴비 보다 부숙 기간이 짧을 것으로 판단되며, 이는 *S. quadricauda* 성장에 영향을 미친 것으로 판단된다. 이러한 *S. quadricauda* 성장 차이는 실험 전·후 영양염의 농도 변화에서도 확인할 수 있었다(Table 2).  $\text{PO}_4\text{-P}$  감소량에서 FPF-B 퇴비는 FPF-A 퇴비 보다 7배 이상 높았으며 TN, TP의 감소량 또한 FPF-B 퇴비에서 3배 이상 많았다.

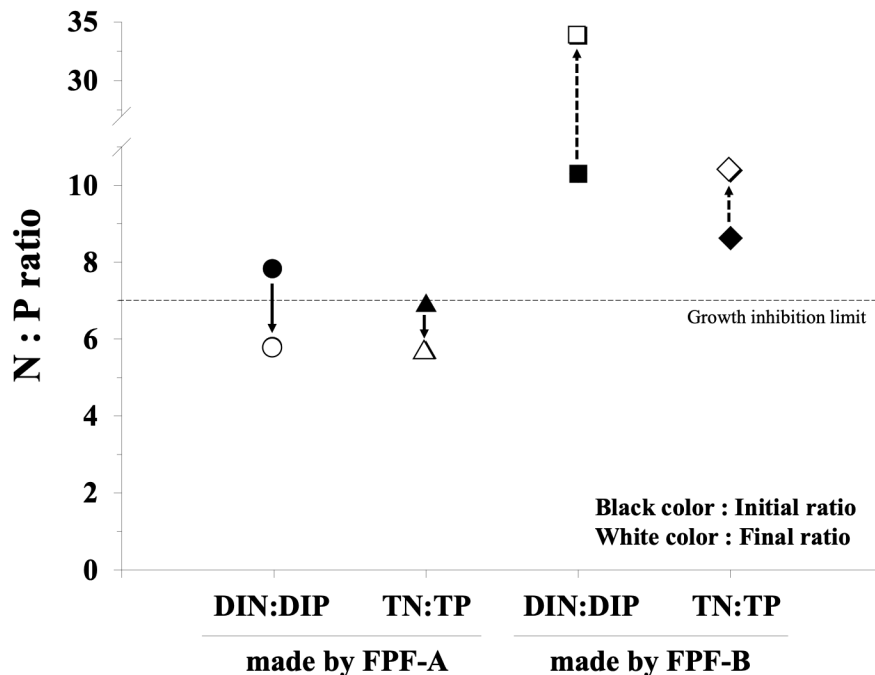
**Table 2.** Nutrient concentration of food waste compost that made by each food waste facility during experiment period.

mg·L <sup>-1</sup>	FPF-A				FPF-B			
	Initial		Final (7 day)		Initial		Final (7 day)	
	AVR	SD	AVR	SD	AVR	SD	AVR	SD
$\text{NO}_2\text{-N}$	0.66	0.01	0.41	0.01	9.95	0.05	8.88	0.07
$\text{NO}_3\text{-N}$	1.38	1.00	1.01	0.78	2.14	0.61	1.50	0.12
$\text{NH}_4\text{-N}$	14.48	2.18	9.42	1.70	7.48	0.12	3.15	0.09
T-N	22.05	1.18	16.03	0.92	20.19	0.15	13.19	0.18
$\text{PO}_4\text{-P}$	2.12	0.04	1.88	0.03	1.90	0.33	0.40	0.11
T-P	3.21	0.02	2.84	0.02	2.34	0.13	1.27	0.07

FPF, food waste processing facilities; AVR, average; SD, standard deviation; T-N, total nitrogen; T-P, total phosphorus.

FPF-A와 FPF-B에서 각각 제조한 퇴비의 DIN : DIP 비율은 7.79 (FPF-A)와 10.3 (FPF-B), TN : TP 비율은 6.86 (FPF-A)과 8.62 (FPF-B) 로 FPF-B에서 제조한 퇴비의 N : P 비율이 더 높았다(Fig. 4). 이러한 N : P 비율은 식물플랑크톤 성장에 있어서 중요한 요인 중 하나로써 N : P 비율이 7 이하인 경우에는 식물플랑크톤의 성장이 저해될 수 있다(Kim and Hwang, 2004). 또한, 실험 종료 시 각각 퇴비의 N : P 비율은 FPF-A 퇴비가 DIN : DIP 비율 7.79에서 5.76, TN : TP 비율 6.86에서 5.64으로 두 가지 모두 크게 감소하였으나 FPF-B 퇴비는 DIN : DIP 비율 10.3에서 33.82, TN : TP 비율 8.62에서 10.38로 두 가지 모두 크게 증가하였다. 이러한 FPF-A 퇴비의 N : P 비율의 증가는 *S. quadricauda*의 성장효과를 촉진하는 중요한 요인 중의 하나로 판단된다(Hernández and Whitton, 1996; Yelloly and Whitton, 1996).

음식물류 폐기물 퇴비를 이용한 *S. quadricauda*의 생물량 변화는 미량원소를 첨가한 처리군에서 상대적으로 더 높게 나타났으며 특히 FPF-B 퇴비에서 가장 크게 나타났다(Fig. 2). FPF-A 퇴비는 미량원소 첨가군과 비첨가군 사이의 생물량이 서로 유사하였다(Table 2). FPF-B 퇴비에 미량원소를 첨가한 처리군은 실험 종료시까지 지속적으로 증가하였으며 실험종료시에 Chl-a 농도가 170.8  $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ 로 다른 처리군보다 2배 이상 높았다. 이는 FPF-B 퇴비의 N:P 비율에 철과 셀레늄 등 미량원소가 첨가되어 성장효과를 더욱 지속시킨 것으로 판단된다(Sunda and Huntsman, 1995; Doblin et al., 2000). FPF-A의 퇴비에서도 미량원소가 첨가되어 약간의 성장 촉진이 발생한 것으로 판단되나 FPF-A 퇴비의 N : P 비율로 인해 *S. quadricauda* 성장이 크게 촉진되지 못한 것으로 판단된다. 따라서 음식물류 폐기물 퇴비를 식물플랑크톤 배양 배지로 활용함에 있어서 부숙기간을 완전히 채운 음식물류 폐기물 퇴비를 반드시 사용해야 하며 배양 효과를 극대화하기 위해서는 미량원소의 첨가가 반드시 필요하다고 판단된다.



**Fig. 4.** Change of N : P ratio. Each arrow direction means passage of time. Solid line arrow means decreasing ratio and dash line arrow means increasing ratio. DIN, dissolved inorganic nitrogen; DIP, dissolved inorganic phosphate; TN, total nitrogen; TP, total phosphorus; FPF, food waste processing facilities.

## Conclusion

본 연구는 음식물류 폐기물 퇴비가 식물플랑크톤의 성장에 어떠한 영향을 미치는지 알기 위한 연구로서 그 가능성을 확인한 연구이다. 국내 담수에서 많이 분포하는 *S. quadricauda*를 이용한 성장실험에서 음식물류 폐기물 퇴비를 이용한 배지는 일반적인 식물플랑크톤 배양 배지와 생물량이 비슷하였으며 일부 퇴비는 배양배지보다 우수한 성장을 나타내었다. 따라서 식물플랑크톤을 배양하여 biofuel 및 가축사료와 같은 고부가가치 물질을 생산하고자 할 때 음식물류 폐기물 퇴비는 배양배지로서 충분한 가치가 존재한다. 또한 폐기물류를 이용한 환경적 선순환으로써 그 가치가 더욱 높을 것으로 판단된다. 다만 본 연구에서 확인할 수 있듯이 음식물류 폐기물 퇴비를 배지로 사용하기에는 국내 지역적으로 또는 계절적 특성에 따른 원료의 변화 그리고 자원화 사업소별로 서로 부자재와 다른 음식물류 폐기물 자원화 사업소(FPF)에서 모두 동일한 음식물류 폐기물 퇴비를 생산하는 것이 아니기 때문에 전반적인 퇴비화 과정의 단일화와 퇴비상태의 균일화가 반드시 필요하다. 현재 제조되는 음식물류 폐기물 퇴비는 무상으로 농민들에게 공급하여도 사용을 기피하고 있는 실정이다(Lee et al., 2015). 현재 음식물류 폐기물류 퇴비화 시설을 통해 만들어지는 퇴비들 중에서 염분함량 및 부숙도는 일부 제품이 염분함량이 기준을 초과하거나 많은 제품이 기준치와 동일하였다(Kwon et al., 2009; Lee, 2011; Lee et al., 2017). 더욱이 음식물류 폐기물 퇴비가 함유하는 높은 염분(NaCl) 함량으로 인해 농경지에 음식물류 폐기물 퇴비 사용에 대한 우려는 지속적으로 제기되고 있다(Shin et al., 2017). 따라서 미세조류의 배양에 사용하기 위해서는 부숙기간을 완전히 채운 퇴비를 사용해야 하며, 배양효율을 높이기 위해서는 영양배지 수준의 미량원소를 첨가해 줄 필요가 있다. 현재는 음식물류 폐기물을 미세조류 배양에 사용하기 위해서 이러한 문제점들을 해결해야 하지만 음식물류 폐기물을 이용한 미세조류의 배양은 현재 사용되고 있는 고가의 영양배지를 대체할 수 있을 것으로 판단되며 일반인들이 보다 쉽게 사용할 수 있기 때문에 미세조류 대량배양을 대중화하는데 긍정적인 영향을 줄 수 있을 것으로 판단된다. 또한 이러한 음식물류 폐기물을 활용하여 raceway pond와 같이 야외 조건에서 미세조류를 대량배양한다면 자원의 선순환(good cycle)의 의미와 함께 대기중의 이산화탄소를 흡수하여 대기중으로 방출된 탄소농도 감소에 긍정적인 영향을 미칠 수 있으며 이는 궁극적으로 지구온난화 억제효과를 기대할 수 있을 것으로 판단된다. 본 연구는 음식물류 폐기물을 이용한 퇴비를 사용하였기 때문에 모든 퇴비가 미세조류의 배양에 동일한 영향을 미치는지 알 수 없다. 따라서 향후 음식물류 폐기물 이외에 다양한 퇴비들을 이용한 미세조류 배양 실험을 통해 미세조류 대량배양에 있어서 퇴비의 활용 가능성을 보다 정확히 판단할 필요가 있다.

## Acknowledgements

본 논문은 농촌진흥청 공동연구사업(과제번호: PJ015071042020)의 지원에 의해 이루어진 것임.

## Authors Information

Keon Hee Kim, <https://orcid.org/0000-0002-5725-1447>

Jae Han Lee, <https://orcid.org/0000-0001-5761-2006>

Chae Hong Park, <https://orcid.org/0000-0003-1080-0733>

Taek Keun Oh, <https://orcid.org/0000-0003-0215-0427>



## References

- Ahn JW, Lee YK, Kang SY, Kim MK, Jeong CH, Koo KM. 2015. Radiation breeding of algae and mushrooms for biomass production. Atomic Energy Research Institute, Deajeon, Korea. [in Korean]
- APHA (American Public Health Association). 2005. Standard methods for the examination of water and wastewater: Federation, water environmental administrator, rural development. APHA, Washington, D.C., USA.
- Choi YH, Won CH, Seo JY, Shin MH, Yang HJ, Lim KJ, Choi JD. 2009. Analysis and comparison about NPS of plane field and alpine field. *Journal of Korean Society on Water Quality* 25:682-688. [in Korean]
- Demirbas A. 2010. Use of algae as biofuel sources. *Energy Conversion and Management* 51:2738-2749.
- Doblin MA, Blackburn SI, Hallegraef GM. 2000. Intraspecific variation in the selenium requirement of different geographic strains of the toxic dinoflagellate *Gymnodinium catenatum*. *Journal of Plankton Research* 22:421-432.
- Guillard RRL. 1975. Culture of phytoplankton for feeding marine invertebrates. In Smith WL, Chanley MH. eds. pp. 29-60. *Culture of Marine Invertebrate Animals*, Plenum Press, New York, USA.
- Hernández I, Whitton BA. 1996. Retention of p - nitrophenol and 4 - methylumbelliferone by marine macroalgae and implications for measurement of alkaline phosphatase activity 1. *Journal of Phycology* 32:819-825.
- Hong JH. 2001. Cost - benefit analysis of alternative food waste recycling methods. *Economic Research* 22:285-301. [in Korean]
- Jeong J. 1993. Illustration of the freshwater algae of Korea: Academy books. Academybook, Seoul, Korea. [in Korean]
- Ji MK, Choi SK, Jo JH. 2016. Utilization of microalgal biomass resources: Focusing on bio (functional) materials. KEI 979-11-5980-061-0. [in Korean]
- Kang DH, Heo SJ, Oh C, Ju SJ, Jeon SM, Choi HW, Noh JH, Park SH, Kim TY. 2012. A review on major factors for microalgae biofuel commercialization. *Ocean and Polar Research* 34:365-384. [in Korean]
- Kim HS, Hwang SJ. 2004. Effects of nutrients and N/P ratio stoichiometry on phytoplankton growth in an eutrophic reservoir. *Korean Journal of Ecology and Environment* 37:36-46. [in Korean]
- Kim MH, Choj YH, Park WJ, Won CB, Shin DS, Lim KJ, Choi HD, 2011. Runoff characteristics of Non-point source pollutant loads generated on golf course. *Journal of Korean Society on Water Quality* 27:784-793. [in Korean]
- Kim NC, Kim DH. 2000. Effect of salinity concentration on aerobic composting of food waste. *Journal of the Korea Organic Resource Recycling Association* 8:124-129. [in Korean]
- Kim TI, Song JI, Yang CB, Kim MK. 2004. Studies on a factor affecting composts maturity during composting of swine manure. *Journal of Animal Science and Technology* 46:261-272. [in Korean]
- Kwon SI, So KH, Hong SG, Kim GY, Lee JT, Seong KS, Kim KR, Lee DB, Jung KY. 2009. The effect of continuous application of the food waste composts on the paddy field environment. *Journal of the Korea Organic Resource Recycling Association* 17:55-70. [in Korean]
- Lee CH, Kim SC, Park SJ, Kim MS, Oh TK. 2017. Effects of animal waste addition on food waste compost under co-composting. *Korean Journal of Soil Science and Fertilizer* 50:623-633. [in Korean]
- Lee CH, Park SJ, Kim MS, Yun SG, Ko BG, Lee DB, Kim SC, Oh TK. 2015. Characteristics of compost produced in food waste processing facility. *Korean Journal of Agricultural Science* 42:177-181. [in Korean]
- Lee HH, Jeon MK, Yoon MH. 2016. Pretreatment and enzymatic saccharification process of rapeseed straw for production of bioethanol. *Korean Journal of Agricultural Science* 43:641-649. [in Korean]
- Lee JH, Yeom KR, Yang JW, Choi YJ, Hwang HC, Jeon YJ, Lee CH, Choi BS, Oh TK, Park SJ. 2019. Comparing the composting characteristics of food waste supplemented with various bulking agents. *Korean Journal of Agricultural Science* 46:897-905. [in Korean]
- Lee JI, Lim DS. 2003. The economic analysis of food waste recycling system. *Korean Journal of Organic Resource Recycling* 11:46-53. [in Korean]
- Lee JS. 2011. A study on the food waste treatment methods in Korea. Inha University, Incheon, Korea. [in Korean]
- Lee ST, Ahn HJ. 2000. Treatment of the liquid fraction of food waste by *Saccharomyces carlsbergensis* and *Bacillus* sp. *Journal of Organic Resources Recycling Association symposium* 2000. [in Korean]

- ME (Ministry of Environment). 2017. Reduction of food waste and recycling, its performance and future. ME, Sejong, Korea. [in Korean]
- Nur SZ. 2020. Study on growth and heterocyst development of two filamentous cyanobacteria in relation to nitrogen availability. Master Thesis, Konkuk Univ., Seoul, Korea.
- Park JG. 2012. Algal flora of Korea-freshwater green algae (I). Ministry of Environment, Sejong, Korea. [in Korean]
- RDA (Rural Development Administrator). 2018. Fertilizer quality inspection methods and sampling standards. In Administrator RD, editor. RDA, Jeonju, Korea. [in Korean]
- Rippka R, Deruelles J, Waterbury JB, Herdman M, Stanier RY. 1979. Generic assignments, strain histories and properties of pure cultures of cyanobacteria. *Microbiology* 111:1-61.
- Shin DW, Joo HS, Seo EJ, Kim CY. 2017. Management strategies to reduce PM-2.5 emission: Emphasis-ammonia. In Report F, editor. Korean Environment Institute, Sejong, Korea. [in Korean]
- Stanier R, Kunisawa R, Mandel M, Cohen-Bazire G. 1971. Purification and properties of unicellular blue-green algae (order Chroococcales). *Bacteriological Reviews* 35:171-205.
- Sunda WG, Huntsman SA. 1995. Iron uptake and growth limitation in oceanic and coastal phytoplankton. *Marine Chemistry* 50:189-206.
- Yelloly J, Whitton B. 1996. Seasonal changes in ambient phosphate and phosphatase activities of the cyanobacterium *Rivularia atra* in intertidal pools at Tyne Sands, Scotland. *Hydrobiologia* 325:201-212.