

LED 광원에 따른 미세조류 *Haematococcus pluvialis*의 성장 특성

이건우^{1,3}, 김송이^{2,3}, 유용진^{1,4}, 이영복^{1,4}, 김진우^{2,3}, 김호섭^{1,4*}

¹선문대학교 나노과학과, ²선문대학교 식품과학과, ³선문대학교 차세대반도체기술연구소, ⁴씨이비티 (주)

Growth Characteristics of Microalgae *Haematococcus pluvialis* by LED Light Source

Geon Woo Lee^{1,3}, Song Yi Kim^{2,3}, Yong Jin Yoo^{1,4},
Young Bok Lee^{1,4}, Jin Woo Kim^{2,3}, Ho Seob Kim^{1,4*}

¹Department of Physics and Nano-science, Sun Moon University

²Department of Food Science, Sun Moon University

³Center for Next-Generation Semiconductor Technology, Sun Moon University

⁴CEBT Co. Ltd.

요약 본 연구에서는 미세조류 *Haematococcus pluvialis*의 성장에 미치는 배양 배지와 광원의 영향을 평가하기 위해 제한 성분 배지인 Modified Bold's Basal Medium (MBBM) 와 상업용 액체 비료 배지인 Neo, 그리고 파장이 서로 다른 7개의 광원을 사용하여 *H. pluvialis*를 39일 동안 배양하고 성장률을 비교하였다. 그 결과 제한 성분 배지인 MBBM에서 *H. pluvialis*의 성장은 fluorescent light 광원에서 세포 성장이 가장 높게 나타난 반면, blue+red LED에서 세포 성장이 가장 낮게 나타났다. 상업용 배지인 Neo에서 *H. pluvialis*의 성장은 fluorescent light 광원에서 세포 성장이 가장 높게 나타났으며, blue LED에서는 세포 성장이 가장 낮음이 확인되었다. 본 연구를 통해 MBBM 배지가 Neo 배지보다 우수한 결과를 나타내었으며 또한, MBBM 배지를 이용하여 fluorescent light에서 성장한 미세조류는 본 연구에서 가장 우수한 세포 성장 결과를 보였다. 이러한 결과는 이차대사산물 생산을 위한 *H. pluvialis* 배양에서 배지, 광원과 광량을 최적화한 것으로 미세조류 대량 배양에 기초 자료로써 유용하게 활용될 것이다.

Abstract This study evaluated the effects of the culture media and light sources on the growth of microalgae *Haematococcus pluvialis*. Limited ingredient medium, Modified Bold's Basic Medium (MBBM), commercial liquid fertilizer medium Neo, and seven different light sources with different wavelengths were used to incubate *H. pluvialis* for 39 days, and the growth rates were compared. As a result, the growth of *H. pluvialis*, a limited ingredient medium, produced the highest cell growth in the fluorescent light source while cell growth was the lowest in the blue+red LED. The growth of *H. pluvialis* in commercial medium Neo was highest in the fluorescent light source, and cell growth was lowest in the blue LED. In this study, the MBBM culture medium showed better results than the Neo culture medium. Microalgae grown in the fluorescent light source using the MBBM culture medium showed the best cell growth result in this study. The results were optimized for the culture medium, light source, and light quantity in *H. pluvialis* culture for the production of secondary metabolites and provide basic data for the mass culture of microalgae.

Keywords : Microalgae, *Haematococcus pluvialis*, LED light, Culture medium, Dry cell weight

본 논문은 중소벤처기업부와 한국산업기술진흥원의 "지역특화 산업육성사업(R&D P0004891)"으로 수행되었음.

*Corresponding Author : Ho Seob Kim(Sunmoon Univ.)

email: hskim3@sunmoon.ac.kr

Received June 26, 2020

Revised July 21, 2020

Accepted October 5, 2020

Published October 31, 2020

1. 서론

미세조류(Microalgae)는 광합성을 하는 수생 미생물로서 세계적으로 25,000여 종이 있으며, 한국에는 1,300여 종이 존재하며 건강 보조제품, 이산화탄소 고정, 폐수처리와 대체에너지 생산 등에 널리 활용되고 있다[1-4].

미세조류는 빛뿐만 아니라 CO₂, O₂, pH, 온도, 배지 성분, 교반속도 등 여러 가지 요인들에 의해서 세포 성장과 이차대사산물 생산량이 결정된다[5]. 미세조류 배양을 통한 이차대사산물 생산에서 있어 생산성을 높이고 균일한 제품 생산을 위해 LED를 광원으로 하는 실내배양이 옥외배양보다 선호되고 있는데, 미세조류의 성장에서 LED의 특정 광도 및 파장 그리고 pulse 등이 세포 성장과 더불어 이차대사산물 생산에 주요인자로 밝혀지고 있으며, 바이오매스, 아스타잔틴, β-카로틴 그리고 지질 등과 같은 다양한 유용 생리 활성 물질의 생산에 있어 광원 최적화를 통해 산물의 생산이 증대될 수 있다고 보고되고 있다[6].

여러 가지 미세조류 중, *Phaeodactylum tricornutum*, *Nitzschia sp.* 그리고 *Skeletonema sp.*의 경우 LED 단일 파장인 청색 파장(450 nm)에서 높은 세포 성장을 보였으며 *Chlorella vulgaris*의 경우 적색 파장(650 nm)에서 가장 높은 성장을 보인다고 알려졌으며[7], *Dunaliella salina*의 경우 LED 단일 파장인 청색 파장(470 nm)과 적색 파장(660 nm)의 비율이 1:3의 조건에서 세포 성장이 증진된다고 보고되고 있으며, 특히, 단일 LED 파장인 적색 파장(660 nm)을 이용해 배양한 경우에 β-카로틴의 함량을 증진할 수 있음이 밝혀졌다[8]. 또한, 세포 내 지질 함량이 높아 바이오디젤 생산 우수종으로 알려진 *Botryococcus braunii*의 경우 LED 단일 파장인 적색 파장(660 nm), 청색 파장(470 nm) 그리고 녹색 파장(525 nm)에 따라서 세포 내 지질 및 탄수화물의 함량에 변화를 줄 수 있음을 확인하였다[9]. 이러한 연구결과는 LED 광원의 영향과 함께 특정 파장을 이용하여 미세조류로부터 바이오매스와 지질과 같은 일차대사산물은 물론 이차대사산물의 생산도 증대될 수 있다는 것으로 광원의 선정이 중요하다는 것을 보여준다.

또한, 배지 조성이 미세조류 성장에 주요한 영향을 미친다는 많은 연구 결과가 발표되었는데 본 연구에 사용하는 *H. pluvialis*의 경우 Walne's culture medium (WCM)과 Guillard culture medium (GCM)에서 성장한 것을 비교했을 때, GCM을 성장 배지로 사용했을 경우 세포량의 증가가 더 우수하였으며 반면에 WCM에서

성장한 *H. pluvialis*의 경우에는 바이오매스(2.5×10^6 cell/mL) 생산량이 더 높다는 것이 보고되어 미세조류 배양에서 배지 선택이 중요함을 보여주고 있다[10].

미세조류로부터 생산되는 여러 가지 이차대사산물 중 아스타잔틴은 항산화력이 우수한 물질로 식품첨가물로서 가치가 높으며 항암 및 자외선 차단 등의 다양한 생리 활성 기능이 입증되어 아스타잔틴 생산에 대한 수요가 높아지고 있다[11]. 본 연구에서는 아스타잔틴 고생산 균주로 알려진 *H. pluvialis* 성장 증대를 위해 미세조류 배양용 최적화 배지인 Modified Bold's Basal Medium (MBBM) 배지와 상업용 액체 비료 배지인 Neo 배지를 이용하여 바이오매스 생산량을 비교하였다. 배양에 사용한 7가지의 광원으로 White LED (W12), Blue+Red (Blue와 Red 광원의 1:2 혼합, BR12), Blue LED (B450), Red1 LED (R640), Red2 LED (R660), Infra red LED (R741), Fluorescent light (F.L)을 선정하였으며, 배양에 필수인 광원과 배지 조성 변화에 따른 *H. pluvialis*의 성장을 흡광도와 건조세포중량을 통해 비교하였다. 본 연구에서는 아스타잔틴 고생산 균주인 *H. pluvialis*의 대량 배양에 필요한 배지 조성과 배양 조건을 확립함으로써 *H. pluvialis* 뿐만 아니라 다른 미세조류의 고농도 배양에 적합한 배지 선정과 배양 조건을 도출하여 세포 성장과 생산성을 향상시켜 이차대사산물의 상업화 규모 생산에 활용이 가능할 것으로 판단된다.

2. 재료 및 방법

2.1 배양 균주

본 연구에서 사용된 미세조류는 *Haematococcus pluvialis* 중 *H. pluvialis* B16으로 명칭된 균주로 Culture Collection of Algae at the University of Texas at Austin (Austin, TX, USA)[12]에서 분양받아 배양하였다. 중균접종을 위한 미세조류 배양을 위해 250 mL flask에 75 mL MBBM 배지를 넣고 멸균 후 정지 배양기에서 20 ± 1 °C에서 14일간 배양하였다.

2.2 현미경 관찰

*H. pluvialis*의 전자현미경 관찰을 위해 -60 °C로 1차로 2시간 이상 냉동하고 동결건조기(FDU-1200, Eyela, Japan)를 이용하여 진공도 10 Pa 이하, 온도는 약 -57 °C에서 약 2시간 이상 동결 건조하였다. 동결 건조된 샘플

플을 Ion Sputter Coater (MCM-100, SEC, Korea)을 이용하여 약 45초 동안 Au 플라즈마 코팅한 후, EPMA (JXA-8200, JEOL, Japan)에서 가속전압 15 kV, 배율 3,000배에서 관찰하였다.

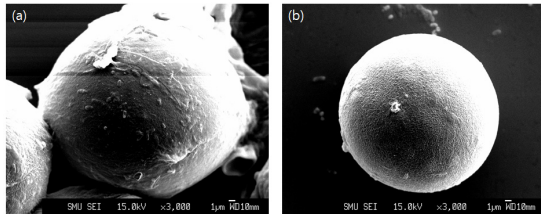


Fig. 1. SEM images show that (a),(b) *H. pluvialis* freeze-dried for over 2 hours and observed at 3000x magnification.

2.3 배양용 LED 광원

Fig. 2에서 보는 바와 같이 배양에 사용된 광원은 7가지 광원으로 White LED (W12) 파장의 범위는 400~640 nm이며 peak 파장은 539 nm와 455 nm이다. Blue+Red (BR12) LED는 Blue 1 : Red 2 비율의 혼합 LED로 파장의 범위는 430~480 nm이며 peak 파장은 665 nm와 461 nm이다. Blue LED (B450) 파장의 범위는 410~490 nm이며 peak 파장은 450 nm이다. Red LED는 3가지(R640, R660, R741)로 파장의 범위는 560~650 nm, 610~690 nm, 660~780 nm이고 각각의 peak 파장은 640 nm, 660 nm, 741 nm를 가진다. Fluorescent light 파장의 범위는 380~720 nm이며 peak 파장은 549 nm와 614 nm를 가진다.

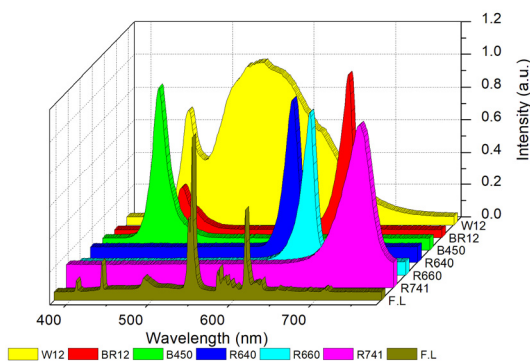


Fig. 2. Emission spectra of LED lights sources. white LED (W12), blue+red LED (BR12), blue LED (B450), red1 LED (R640), red2 LED (R660), infra red LED (R741), fluorescent light.

2.4 배양 배지

본 연구에서 *H. pluvialis*의 배양에 사용된 배지는 총 2종류로 Modified Bold's Basal Medium (MBBM) 배지와 Neo 배지를 사용하였다. MBBM 배지는 Bolds Basal Medium (BBM)[13]을 변형시킨 것으로 16가지 배양 성분으로 구성되어 사용하였다. MBBM 배지는 NaNO_3 (246.5 g/L), $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (24.99 g/L), $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ (73.95 g/L), K_2HPO_4 (74.9 g/L), KH_2PO_4 (75.6 g/L), NaCl (25.2 g/L), $\text{Co}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (0.4 g/L), KOH (30.8 g/L), EDTA-FeNa (24.8 g/L), $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ (1.6 g/L), $\text{Na}_2\text{MoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (1.2 g/L), H_3BO_3 (11.2 g/L), $\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ (1.4 g/L), 그리고 $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ (8.8 g/L)을 각각 1 mL와 $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ (2.5 g/L)와 $\text{Na}_2\text{EDTA} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (12.4 g/L)을 각각 2 mL을 950 mL 증류수에 최종적으로 1000 mL로 부피를 조절하여 배지를 제조하였다[14-15].

Neo 배지는 (Aquario, Namyangju-si, Korea)에서 생산하는 상업용 액체 비료 배지이며 Neo solution 1, Neo solution 2를 1:1비율로 혼합하여 사용하였다. Neo solution 1의 주요성분은 질소(N), 칼륨(K), 마그네슘(Mg) 그리고 인(P)으로 이루어져 있으며 Neo solution 2의 주요성분은 철(Fe), 붕소(B), 몰리브덴(Mo) 그리고 칼슘(Ca)으로 이뤄져 있으며 그 외 기타 필수 미세 원소 등이 포함되었다.

2.5 배양 조건 및 배양 성장 측정

배양액은 50 mL 배양 튜브(Daihan Scientific, Wonju-si, Korea)를 이용하여 배양 부피 30 mL로 진행하였으며, 온도는 20 ± 1 °C로 유지하며 39일간 배양하였다. 본 연구에서 모든 광원의 광량은 $150 \mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$ 로서 모든 실험에서 photometer (ILT1400-A, International Light Technologies, USA)를 이용하여 광량을 측정하였으며, 16시간:8시간 명/암주기에서 진행하였다. 세포 성장 측정을 위해 배양 튜브를 볼 텍스믹서(VM-10, Daihan Scientific Co., Ltd, Korea)로 약 10초 동안 교반시킨 후 세포 현탁액 1 mL을 취하여 UV/Vis 분광광도계(Optizen 2120 UV, Mecacy Ltd, Korea)를 이용하여 680 nm에서 흡광도를 측정하였다. 미세조류 성장 측정을 위해 배양 종료 후 원심분리기(SIB-O5RH, Jeong biotech, Korea)를 사용하여 10분간 8000 rpm으로 원심분리를 진행하여 세포를 분리한 후, 건조 오븐(FC 49, Lab house, Korea)에 60 °C에서 24시간 열풍 건조하여 세포량이 변화가 없음을 확인하고

분석용 전자저울(WBA-220, Daihan Scientific Co., Ltd, Korea)을 이용하여 건조세포중량을 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 광원에 따른 *H. pluvialis*의 성장

MBBM 배지에서 배양된 미세조류 *H. pluvialis*는 50 mL의 배양 튜브에 30 mL 배양 부피를 가지도록 7개의 배양 튜브에 접종하고 39일 동안 7종의 광원에서 배양을 진행하였다. 서로 다른 광원에서 성장하는 미세조류의 세포 성장 측정을 위해 미세조류 배양액을 균일하게 분취하여 분광광도계를 이용하여 흡광도를 3회씩 측정하였다. MBBM 배지를 이용하여 배양한 *H. pluvialis*는 초기 접종 때의 평균 흡광도 0.001과 배양 8일 흡광도를 비교하였을 때 배양 8일에서 약 10배 이하의 성장을 보이며, 초기 유도기에 성장 속도가 느린 것을 확인하였다. 배양 8일의 흡광도 값은 Blue LED (B450)에서 0.009, White LED (W12)에서 0.008, Infra red LED (R741)에서 0.006, Red2 LED (R660)에서 0.005, Red1 LED (R640)에서 0.004, 그리고 Blue+Red LED (BR12)에서 0.003의 흡광도 값이 측정되었으며, 배양 8일에 측정된 값이 0일과 큰 차이가 없는 것은 미세조류의 성장 특성 상 정체가 길어 세포 성장률이 낮음에 기인하는 것으로 보인다. 전체 배양 기간 중 Fluorescent light (F.L)의 성장이 가장 빠른 것으로 흡광도 0.001에서 0.152로 증가하였고, Blue+Red LED (BR12) 광원에서는 가장 느린 성장을 보여 최종 흡광도 값이 0.032로 관찰되었다.

Fig. 3은 MBBM 배지에서 7종 광원에서 성장한 *H. pluvialis*의 세포 성장을 측정한 평균 흡광도 그래프이다. 배양 39일의 최종 흡광도는 Fluorescent light에서 0.152, Red2 LED (R660)에서 0.125, Infra red LED (R741)에서 0.088, Red1 LED (R640)에서 0.085, Blue LED (B450)에서 0.070, White LED (W12)에서 0.063, 그리고 Blue+Red LED (BR12)에서 0.032로 측정되었다. 전체 배양 기간 중 Fluorescent light에서 성장이 가장 빠른 것으로 흡광도는 0.001에서 0.152로 약 152배의 세포량 증가가 있음이 확인되었으며 Blue+Red LED (BR12)에서 성장이 매우 느렸으며 흡광도 0.001에서 0.032로 약 32배 증가함이 관찰되었다. 최대 흡광도를 보인 Fluorescent light 광원과 최소 흡광도를 보인 Blue+Red LED (BR12)에서 세포량은 약 4.75배의 차이를 보여준다.

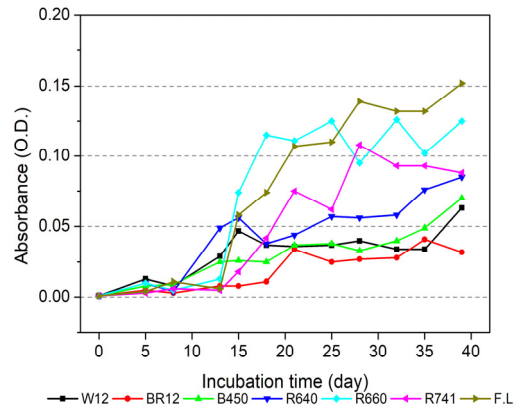


Fig. 3. Effect of LED light sources on MBBM culture medium of cell growth of *H. pluvialis* (mean graph after 3 measurements per sample; white LED (W12), blue+red LED (BR12), blue LED (B450), red1 LED (R640), red2 LED (R660), infra red LED (R741), fluorescent light (FL)).

Neo 배지에서 배양된 미세조류 *H. pluvialis*를 50 mL의 배양 튜브에 30 mL 배양 부피를 가지도록 7개의 배양 튜브에 접종하고 39일 동안 7종의 광원에서 각각 배양을 진행하였다. 서로 다른 광원에서 성장하는 미세조류의 세포 성장 측정을 위해 분광광도계를 이용하여 흡광도를 3회씩 측정하였다. 배양 8일까지, Neo 배지를 이용하여 배양한 *H. pluvialis*는 초기접종 때의 평균 흡광도 0.002와 모든 광원에서의 배양 8일과 비교하였을 때 약 6배 이하의 성장을 보이며 초기 유도기에 성장 속도가 느린 것을 확인하였다. 배양 8일 비교에서, Fluorescent light는 0.012, White LED (W12)에서 0.008, Blue+Red LED (BR12)에서 0.007, Blue LED (B450)에서 0.006, Infra red LED (R741)에서 0.005, Red2 LED (R660)에서 0.004, 그리고 Red1 LED (R640)에서 0.004의 흡광도가 측정되었으며, 배양 8일에 측정된 값이 0일과 큰 차이가 없는 것은 미세조류의 성장 특성 상 정체가 길어 세포 성장률이 낮음에 기인하는 것으로 보인다. 전체 배양 기간, Fluorescent light에서 성장이 가장 빠른 것으로 흡광도는 0.002에서 0.062로 증가하였고, Blue LED (B450)에서는 가장 느린 성장을 보여 최종 흡광도 0.029로 관찰되었다.

Fig. 4는 Neo 배지에서 7종 광원에서 성장한 *H. pluvialis*의 세포 성장을 측정한 평균 흡광도 그래프이다. 배양 39일의 최종 흡광도는 Fluorescent light에서 0.062, White LED (W12)에서 0.053, Infra red LED (R741)에서 0.050, Blue+Red LED (BR12)에서 0.040,

Red1 LED (R640)에서 0.038, Red2 LED (R660)에서 0.033, 그리고 Blue LED (B450)에서 0.029가 측정되었다. 전체 배양 기간, Fluorescent light에서 세포 성장이 가장 빠른 것으로 흡광도는 0.002에서 0.062로 약 31배의 세포량 증가가 있음이 확인되었으며, Blue LED (B450)에서 성장이 매우 느렸으며 흡광도는 0.002에서 0.029로 약 14.5배 증가함이 관찰되었다. 최대 흡광도를 가진 Fluorescent light와 최소 흡광도를 보인 Blue LED (B450)에서 세포량은 약 2.1배 차이를 보여준다. 이처럼 MBBM과 Neo 배지에서 배양된 *H. pluvialis* 세포 성장에 Fluorescent light가 세포 성장 증진에 효과가 있다고 생각한다. 이는 Tomohisa Katsuda et al.(2004)[16] 에서 보고한 결과인 Fluorescent light (400~740 nm, peak 550nm)에서 배양한 *H. pluvialis*와 유사한 결과를 보여준다.

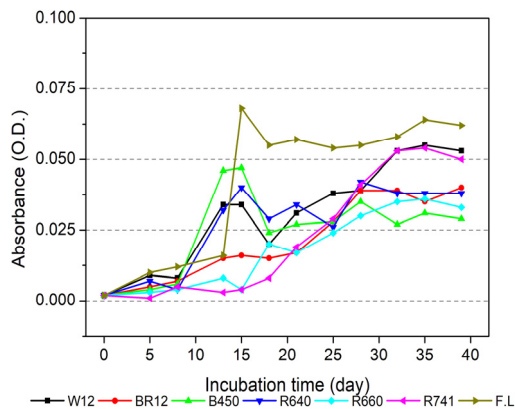


Fig. 4. Effect of LED light sources on Neo culture medium of cell growth of *H. pluvialis* (mean graph after 3 measurements per sample; white LED (W12), blue+red LED (BR12), blue LED (B450), red1 LED (R640), red2 LED (R660), infra red LED (R741), fluorescent light (FL)).

3.2 배양 배지에 조성에 따른 *H. pluvialis*의 성장 분석

Table 1은 MBBM, Neo 배지에서 배양 39일 후 최종 성장을 비교한 표이다. 배양 39일 후 최종 성장을 비교했을 때 MBBM 배지에서 *H. pluvialis*는 높은 성장을 나타냈으며 반면에 Neo 배지에서 성장한 미세조류가 상대적으로 낮은 성장을 보였다. 이러한 성장의 차이가 보이는 이유는 실험에 사용된 *H. pluvialis*의 분양 배지가 MBBM과 비슷한 성분을 가진 MB3N 배지를 사용하였

으며 MBBM과 비슷한 배지 조성에 적응되어 있어 MBBM 배지에서 높은 성장률을 보여준다고 판단된다. 미세조류는 배지의 성분에 따라 성장 특성이 서로 다르게 나타나며, 이러한 특성을 이용하여 최적의 성장을 보이는 배지 내 성분을 확보하는 연구가 수행되고 있다[10, 17-18].

Table 1. Final Optical Density of *H. pluvialis*.

Light source	MBBM	Neo
W12	0.063	0.053
BR12	0.032	0.040
B450	0.070	0.029
R640	0.085	0.038
R660	0.125	0.033
R741	0.088	0.050
F.L	0.152	0.062

3.3 배지에 따른 *H. pluvialis*의 건조세포중량

MBBM 배지와 Neo 배지에서 배양이 종료된 미세조류 *H. pluvialis*를 24시간 건조 후 건조세포중량을 측정하였다. 건조세포중량은 1 L를 기준으로 최소 113 mg에서 최대 847 mg으로 측정되었다. Fig. 5는 *H. pluvialis*의 건조세포중량을 1 L를 기준에 대한 그래프를 나타낸다. MBBM 배지, Blue LED (B450)에서 배양한 미세조류의 건조세포중량은 1 L를 기준으로 847 mg으로 가장 높게 확인되었다. 건조세포중량을 기준으로 할 때, 미세조류의 성장은 Blue LED (B450)에서 가장 높은 수치를 보여 Blue LED (B450)가 미세조류 성장을 촉진하는 결과를 보여줬다.

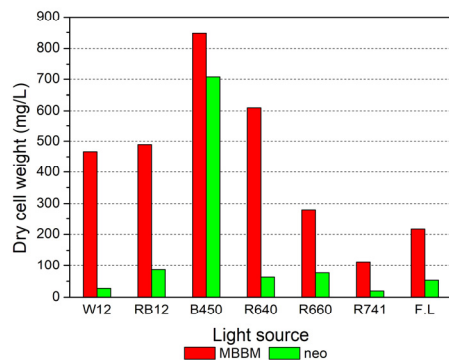


Fig. 5. Effect of light sources on *H. pluvialis* growth based on dry cell weight.

파장의 영향을 확인하기 위해 *H. pluvialis*는 MBBM 배지와 Neo 배지를 서로 다른 광원 파장에서 배양을 진행하였다. 배양 중에 흡광도를 이용한 세포 성장을 관찰

Table 2. Optical Density and Dry cell weight of *H. pluvialis*.

Light sources	Light Wavelength [nm]			MBBM		Neo	
	Range	1st peak	2nd peak	Optical Density (Max)	Dry Cell Weight (mg/L)	Optical Density (Max)	Dry cell weight (mg/L)
W12	400-640	539	455	0.063	467	0.055	27
BR12	430-680	665	461	0.041	490	0.040	87
B450	410-490	450	-	0.070	847	0.047	707
R640	560-650	640	-	0.085	610	0.042	63
R660	610-690	660	-	0.126	280	0.036	77
R741	660-780	741	-	0.108	113	0.054	20
F.L	380-720	549	614	0.152	217	0.064	53

하고, 배양 종료 후에는 건조세포중량을 측정하여 분석하였다. Table 2은 미세조류의 흡광도와 건조세포중량의 측정값을 보여준다. 최대 흡광도는 0.152이며 Fluorescent light와 MBBM 배지에서 성장한 경우이며, 가장 작은 흡광도는 0.036이며 Red2 LED (R660)과 Neo 배지에서 성장한 경우이다. 흡광도를 기준으로 할 때, 미세조류의 성장은 Fluorescent light에서 가장 높은 흡광도를 보여 Fluorescent light가 미세조류 성장을 촉진하는 결과를 보여줬다. MBBM 배지에서 건조세포중량의 평균은 437 mg/L 이며 Neo 배지에서 건조세포중량의 평균은 147.7 mg/L이다. MBBM에서의 건조세포중량은 Neo 배지에서보다 1 L 기준으로 약 3배 많은 것을 확인할 수 있으며 이러한 결과는 미세조류 배양에서 광원과 배지 선택이 주요함을 알 수 있다.

4. 결론

본 연구에서는 *H. pluvialis*를 2종류의 배지 (MBBM, Neo)와 광원의 파장이 서로 다른 7개의 광원에서 총 14 개의 *H. pluvialis*를 39일 동안 배양을 진행하였으며, 미세조류 성장 측정을 위해 배양 종료 후 건조세포중량을 측정하였다. 그 결과 MBBM 배지 *H. pluvialis*의 세포 성장은 Fluorescent light에서 흡광도는 0.152로 가장 높게 나타났으며, 건조세포중량의 경우 Blue LED (B450)에서 847 mg/L로 가장 많은 양을 확인하였다.

Neo 배지에서 성장한 *H. pluvialis*의 경우 Fluorescent light에서 흡광도는 0.062로 가장 높게 나타났으며, 건조세포중량의 경우 Blue LED (B450)에서 707 mg/L로 가장 높게 나타났다. 본 연구를 통해 MBBM 배지에서 성장한 *H. pluvialis*의 성장이 가장 우수하였으며, 그 중에서도 Fluorescent light의 세포 성장이 가장 높았다. 반면,

건조세포중량의 경우 Blue LED (B450)에서 가장 많은 양을 확인할 수 있었다.

이러한 실험 결과는 *H. pluvialis* 배양에서 배지, 광원 그리고 광량을 최적화한 것으로 미세조류 대량 배양을 위한 기초 자료로써 유용하게 활용될 것이다.

References

- [1] J. H. Kim, C. M. Choi, W. I. Kim, J. S. Lee, G. B. Lee, "Application of microalgae for managing agricultural water quality." *Korean Journal of Environmental Agriculture*, Vol.26, No.1, pp.7-16, Mar. 2007. DOI: <https://doi.org/10.5338/KJEA.2007.26.1.007>
- [2] S. P. Choi, S. J. Sim, "Microalgal bioconversion to organic resources form CO₂", *Prospectives of Industrial Chemistry*, Vol.15, No.2, pp.11-24, Apr. 2012.
- [3] H. M. Park, S. D. Lee, "The Effect of CO₂ fixation for microalgae based on CO₂ concentration and flow rate.", *Journal of Wetlands Research*, Vol.20, No.4, pp.363-369, Nov. 2018. DOI: <https://doi.org/10.17663/JWR.2018.20.4.363>
- [4] Y. J. Yoo, G. W. Lee, D. H. Baek, J. W. Kim, H. S. Kim, "Growth Evaluation of *Scenedesmus obliquus* Microalgae Using Raman Spectroscopy.", *Journal of the Korea Academia-Industrial Cooperation Society*, Vol.21, No.5, pp.223-229, May. 2020. DOI: <https://doi.org/10.5762/KAIS.2020.21.5.223>
- [5] H. J. Park, E. J. Jin, T. M. Jung, H. Joo, J. H. Lee, "Optimal culture conditions for photosynthetic microalgae *Nannochloropsis oculata*.", *Applied Chemistry for Engineering*, Vol.21, No.6, pp.659-663, Dec. 2010.
- [6] D. G. Kim, Y. E. Choi, "Microalgae cultivation using LED light.", *Korean Chemical Engineering Reserch*, Vol.52, No.1, pp.8-16, Feb. 2014. DOI: <https://doi.org/10.9713/kcer.2014.52.1.8>

[7] S. J. Oh, H. K. Kwon, J. Y. Jeon, H. S. Yang, "Effect of monochromatic light emitting diode on the growth of four microalgae species (*Chlorella vulgaris*, *Nitzschia sp.*, *Phaeodactylum tricorutum*, *Skeletonema sp.*).", *Journal of the Korean Society Marine Environment & Safety*, Vol.21, No.1, pp.1-8, Feb. 2015.
DOI: <http://dx.doi.org/10.7837/kosomes.2015.21.1.001>

[8] W. Fu, Ó. Guðmundsson, G. Paglia, G. Herjólfsson, Ó. S. Andrésón, "Enhancement of carotenoid biosynthesis in the green microalga *Dunaliella salina* with light-emitting diodes and adaptive laboratory evolution", *Applied Microbiology and Biotechnology*, Vol.97, No.6, pp.2395-2403, Mar. 2013.
DOI: <https://doi.org/10.1007/s00253-012-4502-5>

[9] M. Baba, F. Kikuta, I. Suzuki, M. M. Watanabe, Y. Shiraiwa, "Wavelength specificity of growth, photosynthesis, and hydrocarbon production in the oil-producing green alga *Botryococcus braunii*", *Bioresource Technology*, Vol.109, pp.266-270, Apr. 2012.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2011.05.059>

[10] D. S. Putri, S. Alaa, "The growth comparison of *Haematococcus pluvialis* in two different medium.", *Biota*, Vol.12, No.2, pp.90-97, Dec. 2019.
DOI: <https://doi.org/10.20414/ib.v12i2.202>

[11] S. Y. Kim, S. J. Jung, H. S. Kim, D. H. Gam, J. W. Kim, "Optimization of extraction conditions for astaxanthin from *haematococcus pluvialis*", *Korean Society for Biotechnology and Bioengineering Journal*, Vol.34, No.4, pp.346-351 Dec. 2019.
DOI: <http://dx.doi.org/10.7841/ksbbj.2019.34.4.346>

[12] R. C. Starr, J. A. Zeikus, "UTEX - The culture collection of algae at the university of texas at austin 1993 list of cultures.", *Journal of Phycology*, Vol.29, No.s2, pp.1-106, Apr. 1993.
DOI:<https://doi.org/10.1111/j.0022-3646.1993.00001.x>

[13] S. J. Joo, H. J. Hwang, S. Zhang, S. J. Hwang, "Effects of light condition in the continuous mass cultivation of microalgae *scenedesmus dimorphus*", *Korean Society of Water and Wastewater*, Vol.29, No.3, pp.319-323, Jun. 2015.
DOI: <https://doi.org/10.11001/jksww.2015.29.3.319>

[14] S. J. Joo, S. Zhang, K. J. Choi, S. M. Lee, S. J. Hwang, "Effects of sodium bicarbonate as an inorganic carbon source on the growth of *Scenedesmus dimorphus*", *Journal of Korean Society of Wastewater*, Vol.28, No.5, pp.555-560, Oct. 2014.
DOI: <http://dx.doi.org/10.11001/jksww.2014.28.5.555>

[15] Z. H. Kim, *Enhanced production of astaxanthin by Haematococcus pluvialis using effective illumination methods*, Master's thesis, Inha University, Incheon, Korea, pp.32-33, Feb. 2006.

[16] T. Katsuda, A. Lababpour, K. Shimahara, S. Katoh, "Astaxanthin production by *Haematococcus pluvialis* under illumination with LEDs.", *Enzyme and Microbial Technology*, Vol.35, No.1, pp.81-86, Jul. 2004.

DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enzmictec.2004.03.016>

[17] N. C. Choi, B. J. Kim, K. H. Cho, S. J. Lee, C. Y. Park, "An economic analysis on the application of low cost medium for *Spirulina sp.* mass production.", *J. of Advanced Engineering and Technology*, Vol.9, No.3, pp.267-273, Sep. 2016.

[18] E. J. Kim, W. S. Jung, S. H. Kim, H. G. Choi, S. J. Han, "Enhancing lipid production in the arctic microalga *Chlamydomonas sp.* KNM0029C by using statistical optimization of medium components", *Korean Society for Biotechnology and Bioengineering Journal*, Vol.34, No.3, pp.173-177, Sep. 2019.
DOI:<http://dx.doi.org/10.7841/ksbbj.2019.34.3.173>

이 건 우(Geon-Woo Lee)

[준회원]



- 2019년 8월 : 선문대학교 공과대학 정보디스플레이학과 (학사)
- 2019년 8월 ~ 현재 : 선문대학교 일반대학원 나노과학과 (석사)

<관심분야>

ICT, 반도체, 바이오

김 송 이(Song-Yi Kim)

[준회원]



- 2019년 2월 : 선문대학교 건강보 건대학 식품과학과 (학사)
- 2019년 8월 ~ 현재 : 선문대학교 일반대학원 응용생물과학과 (석사)

<관심분야>

발효, 바이오

유 용 진(Yong-Jin Yoo)

[준회원]



- 2016년 2월 : 선문대학교 공과대학 정보디스플레이학과 (학사)
- 2018년 8월 ~ 현재 : 선문대학교 일반대학원 나노과학과 (석사)

<관심분야>
ICT, 바이오

김 호 섭(Ho-Seob Kim)

[정회원]



- 1984년 2월 : 인하대학교 물리학과 (학사)
- 1992년 5월 : 미국 미주리주립대학교 물리학과 (박사)
- 1992년 5월 ~ 1997년 10월 : 미국 IBM T. J. Watson 연구소 연구원
- 1999년 3월 ~ 현재 : 선문대학교 디스플레이반도체공학과 교수

<관심분야>
반도체기술, 스마트팜

이 영 복(Young-Bok Lee)

[정회원]



- 2014년 2월 : 선문대학교 나노과학과 (석사)
- 2014년 2월 ~ 현재 : 선문대학교 나노과학과 (박사)

<관심분야>
반도체, 전자빔 기술

김 진 우(Jin-Woo Kim)

[정회원]



- 1997년 2월 : 인하대학교 생물공학과 (공학석사)
- 2000년 5월 : Colorado State Univ.(美) 화학공학과 (공학석사)
- 2004년 10월 : McGill Univ. (캐) Biosystems Engineering (박사)
- 2015년 3월 ~ 현재 : 선문대학교 식품과학과 교수

<관심분야>
생물, 바이오