

Research Article



CrossMark

Open Access

고형 클로렐라 시비에 대한 딸기유묘의 생육 반응

김영남^{1,2†}, 최준혁^{1†}, 최현지¹, 이금아², 윤영은², Vimalraj Kantharaj², 이용복^{1,2*}

¹경상국립대학교 응용생명과학부(BK21), ²경상국립대학교 농업생명과학연구원(IALS)

Growth Response of Strawberry Seedlings to Application of Solid Chlorella

Young-Nam Kim^{1,2†}, Jun Hyeok Choi^{1†}, Hyeonji Choe¹, Keum-Ah Lee², Young-Eun Yoon², Vimalraj Kantharaj² and Yong Bok Lee^{1,2*} (¹Division of Applied Life Science (BK21), Gyeongsang National University, Jinju 52828, Korea, ²Institute of Agriculture and Life Science (IALS), Gyeongsang National University, Jinju 52828, Korea)

Received: 07 December 2023/ Revised: 14 December 2023/ Accepted: 18 December 2023

Copyright © 2023 The Korean Society of Environmental Agriculture

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ORCID

Young-Nam Kim

<https://orcid.org/0000-0002-9745-6551>

Jun Hyeok Choi

<https://orcid.org/0000-0002-9352-4393>

Hyeonji Choe

<https://orcid.org/0000-0001-6895-2639>

Keum-Ah Lee

<https://orcid.org/0000-0001-5705-3099>

Young-Eun Yoon

<https://orcid.org/0000-0001-5423-9402>

Vimalraj Kantharaj

<https://orcid.org/0000-0002-2507-4220>

Yong Bok Lee

<https://orcid.org/0000-0002-7651-4556>

Abstract

A liquid-type chlorella (LC) produced by self-cultivation is used for strawberry cultivation by farmers in Korea. This study aimed to investigate seedling growth in two strawberry cultivars ‘Soraya’ and ‘Haruhi’ after applying solid-type chlorella (SC) in the greenhouse for 30 d. The treatments were as follows: Control, LC (0.2% of 1.0×10^7 cells/mL), $\frac{1}{4}$ SC (12.5 g/m²), $\frac{1}{2}$ SC (25 g/m²), and SC (50 g/m²). Compared to the control, in the $\frac{1}{2}$ SC treatment, dry weight of the seedlings increased at 30 days after treatment (DAT). Phosphorus content in the leaves of ‘Soraya’ seedlings of the SC treatment increased compared to that of the control. At 10 and 30 DAT, photosynthetic pigments including chlorophylls and carotenoids in the seedlings of both cultivars increased with the $\frac{1}{2}$ SC treatment.

These results indicate that the application of SC improved the growth of strawberry seedlings and could replace LC.

Key words: Eco-friendly agriculture, Growth performance, P availability, Photosynthesis, Solidified chlorella

서론

지난 한 세기동안 무기질 비료(inorganic fertilizer)는 전 세계의 작물 생산량 증진 및 품질 향상을 이끌어 왔으며, 특히 급증하는 세계 인구에 대비하여 식량안보(food security)를 보장하는데 큰 역할을 해오고 있다[1]. 하지만, 다양한 농약과 더불어 무기질 비료의 오남용은 토양 산성화, 양분 결핍, 병 발생, 중금속 오염, 생물다양성 감소 및 온실가스 발생 등을 유발하여 농경지 주변의 환경을 악화시키고 있으며, 이로 인해 토양 질과 건강성 그리고 작물의 생산성이 저감되고 있다[2]. 이에 대한 대안 중 하나로 최근 생물비료(Biofertilizer)의 활용 사례가 증가하고 있다. 생물비료는 주로 미생물(bacteria,

* Corresponding author: Yong Bok Lee
Phone: +82-55-772-1967; Fax: +82-55-772-1969;
E-mail: yblee@gnu.ac.kr

fungi), 조류(algae) 및 이로부터 유래되는 천연 화합물로 제조된 유기질 첨가제로, 질소고정, 인 무기화, 식물생장 촉진물질 및 병충해 방제 등과 같은 효과가 알려져 있다[3,4]. 또한 무기질 비료보다 경제적이고 친환경적인 농업자재로 평가되고 있어, 생물비료의 활용은 향후 지속가능한 농업을 위한 하나의 수단으로 부각되고 있다[4].

녹조류인 클로렐라(Chlorella)는 다양한 식물영양소(e.g., Ca, Mg, K, Fe, P, etc.) 뿐만 아니라 다당류(polysaccharides), 지질(lipids), 단백질(proteins), 색소(pigments) 및 항산화물질(e.g., phenolic, flavonoids etc.)과 같은 생리활성 화합물로 구성되어 있다[4,5]. 이러한 유익한 물질로 구성된 클로렐라는 현재 축산 및 양어장 사료 첨가제로 이용되고 있으며[6,7], 인간의 건강보조식품 원료로도 사용되고 있다[5]. 게다가 최근에는 클로렐라를 생물비료로 개발하여 국내외 농업 분야에 활용하고 있다[8,9]. 클로렐라 시비에 의한 작물생산성 및 품질 향상에 관련된 연구결과는 밀(*Triticum aestivum*), 토마토(*Solanum lycopersicum*), 배추(*Brassica oleracea*), 무(*Raphanus raphanistrum*), 시금치(*Spinacia oleracea*), 상추(*Lactuca sativa*), 양파(*Allium cepa*) 등 다양한 작물을 대상으로 보고되었다[10-14].

현재 국내의 많은 딸기(*Fragaria x ananassa*) 재배 농가에서도 이러한 클로렐라 시비 농법이 적용되고 있으며, 딸기의 생육증진 및 병충해 방제뿐만 아니라 과실의 당도 및 수확량 향상 등 긍정적 효과로 인해 딸기농가의 수익성이 증가하고 있다[4,11,15]. 또한 딸기 모종 생산에서도 클로렐라 시비를 통해 묘묘의 생육 및 발달 촉진을 유도하고 있다. 클로렐라 농법을 수행하는 대부분의 농가에서는 주로 클로렐라를 자가 배양하여 농작물에 직접 시비하고 있지만, 용존산소, 온도 및 수질 등 적절한 배양 환경조건을 맞추기가 어려워 클로렐라 배양 시 어려움이 많다. 이러한 기존의 액상형 클로렐라 시비 단점을 보완하기 위한 대안으로 고형 클로렐라 제작 및 활용방안이 고안되고 있다. 본 연구에 앞서 고형 클로렐라의 처리 후 딸기의 생육을 조사한 예비시험 결과, '설향'에서 초장이 증가하여 고형 클로렐라의 활용가능성을 확인하였다. 따라서 본 연구에서는 고형 클로렐라를 딸기묘 'Soraya' 및 'Haruhi'에 시비하여 작물의 생육 및 양분상태에 미치는 영향을 구명하고자 수행하였다.

재료 및 방법

포트 재배시험

본 연구를 수행하기 위해 대상작물로 두 가지 딸기(*Fragaria x ananassa* Duch.) 품종 'Soraya' (소라야)와 'Berry Pop Haruhi' (하루히)를 선정하였다. 딸기묘는 종자발아 후 지상부 길이가 약 5 cm인 개체를 품종별로 선별하여 원예용상토(코코피트 72%, 펄라이트 9.5%, 피트모스 8.5%, 질석 6%, 제올라이트 3.7% 등) 포트에 각각 60주씩 정식하였다.

액상 클로렐라(liquid chlorella, LC)는 농촌진흥청 국립농업과학원 유기농업과로부터 *Chlorella fusca* CHK0059 cell을

제공받아, 최적의 세포밀도(the optimal cell density, OCD)인 1.0×10^7 cells/mL 수준으로 자가 배양한 후 500배 희석(i.e., 0.2% OCD)하여 본 연구에 이용하였다. 고형 클로렐라(solid chlorella, SC)는 (주)FNB로부터 공여받아 재배시험을 수행하였다. 고형 클로렐라는 클로렐라(*C. fusca* CHK0059) 배양액 10배 농축 슬러리와 제올라이트, 밀기울 등을 혼합하여 제작하였다.

시험 처리구는 클로렐라의 종류 및 처리량에 따라 대조구(control), LC (50 mL/m², 0.2% OCD), ¼ SC (12.5 g/m²), ½ SC (25 g/m²) 및 SC (50 g/m²)로 구성하였다. 액상 클로렐라 시비는 매주 1회 처리하는 반면 고형 클로렐라는 공시작물 식재 전 원예용상토에 혼합하여 처리하였다. 또한 재배 시험 중 Hoagland 용액[2M KNO₃, 1M Ca(NO₃)₂·4H₂O, Fe·EDTA, 2M MgSO₄·7H₂O, 1M NH₄NO₃, H₃BO₃, MnCl₂·4H₂O, ZnSO₄·7H₂O, CuSO₄·5H₂O, Na₂MoO₄·2H₂O, 1M KH₂PO₄ (pH 6.0)]을 모든 처리구의 포트에 주 1회 저면관수하여 양분을 동일하게 공급하였으며, 병해충(흰가루병 등)은 *Bacillus subtilis* QST 713 수화제를 이용하여 1회 방제하였다.

본 재배시험은 2023년 9월 경상국립대학교 유리온실에서 30일 동안 수행되었다. 딸기묘 건물중(dry weight)은 정식 후 10일 간격으로 총 3회 조사되었으며, 광합성율과 엽록소(chlorophylls) 및 카로테노이드(carotenoids) 함량은 정식 후 10일 및 30일차에 측정되었다. 식물체 중 양분함량은 30일차 묘묘 개체를 대상으로 분석하였다. 모든 처리구의 재배시험은 4반복으로 수행되었다.

클로렐라 및 식물체 분석

고형 클로렐라 및 딸기묘 내 식물영양소(e.g., P, K, Ca, Mg, Fe, etc.) 농도는 질산(HNO₃)으로 습식 분해한 후 ICP-OES (OPTIMA 5300DV, PerkinElmer, USA)를 이용하여 측정하였다[16]. 질소 함량의 경우, 시료를 동결건조한 후 CN 분석기(EA IsoLink CN IRMS System, Thermo Fisher Scientific, USA)를 이용하여 정량하였다.

딸기 식물체의 광합성은 휴대용 형광계(MINI-PAM-II, Heinz Walz GmbH, Germany)로 측정된 최대 양자수율(the maximum PSII quantum yield, Fv/Fm)로 분석하였다. 엽록소 및 카로테노이드 함량은 신선한 잎 0.1 g을 80% 아세톤으로 추출한 후 UV Spectrometer (UV-160 A, Shimadzu, Japan)를 이용하여 분석하였다[17]. 총 엽록소(chlorophyll a + b) 및 카로테노이드 함량은 Kim et al.[1]에 제시된 공식에 따라 470, 645 및 663 nm 파장에서 측정된 추출물 흡광도 값을 이용하여 산출하였다.

통계 분석

클로렐라 처리구간 딸기묘 특성인자 차이를 비교분석하기 위해 일원분산분석(One-way ANOVA)과 사후검증(Tukey's HSD, $p < 0.05$)을 수행하였다. 모든 데이터의 통계분석은 Minitab16 (Minitab Inc., USA)을 이용하여 수행하였다.

Table 1. Characteristics of cell in liquid-type chlorella and solid-type chlorella used in this study

Type	N (%)	P (g/kg)	K (g/kg)	Ca (g/kg)	Mg (g/kg)	Fe (g/kg)	Cu (mg/kg)	Mn (mg/kg)	Si (mg/kg)	B (mg/kg)	Zn (mg/kg)
Cell	9.12	9.38	2.62	1.05	5.85	0.49	61.8	29.2	96.0	54.7	211
Solid	3.76	9.91	10.12	6.49	6.08	2.70	†	-	-	-	-

†Not detected.

결과 및 고찰

액상 및 고형 클로렐라 비료 성분분석

본 연구에서 사용된 액상 클로렐라 중 cell과 고형 클로렐라 비료의 특성은 Table 1과 같다. 액상 클로렐라 cell 내에는 N, P, K, Ca, Mg 등 다양한 무기영양소가 포함되어 있었다. 고형 클로렐라는 5×10^6 cells/g이 포함되어 있으며, 액상 클로렐라보다 적은 종류의 무기영양소가 검출되었지만 P (9.91 g/kg), K (10.12 g/kg), Ca (6.49 g/kg) 및 Mg (6.08 g/kg)와 같은 다량원소의 농도는 더 높았다. 이는 고형 클로렐라 제작 시 첨가된 물질의 성분에 의해 기인된 것으로 사료된다. 한편 액상 클로렐라 시비에 의해 투입되는 cell은 처리 후 토양 중에서 빠른 속도로 분해되어 이후 관개수유입에 의해 유실될 가능성이 높다[18]. 반면 고형 클로렐라의 경우, 시비 후 분해속도가 액상형보다 현저히 느리기 때문에 장기간 작물의 양분흡수율을 높일 수 있어 생물비료로써 높은 활용가치가 있을 것으로 판단된다[3]. 다만 차후 고형 클로렐라 시비효율을 높이기 위한 적정 시비량 산출이 필요하다.

고형 클로렐라 시비에 의한 딸기유묘 성장증진 효과

총 30일의 재배기간 동안 딸기유묘의 건물중을 측정할 결과, 고형 클로렐라 시비효과를 확인되었지만, 품종별, 부위별 그리고 시비량에 따라 그 효과는 상이하였다(Table 2). 소라야

의 지상부 건물중은 10일차 조사 시 ½ SC 및 SC 처리구에서, 20일차와 30일차 조사 시 ½ SC 처리구에서 대조구보다 증가하였다($p < 0.05$). 반면 하루이는 대조구와 비교할 때, 10일차 조사 시 ¼ SC, ½ SC 및 SC 처리구에서, 30일차 조사 시 ½ SC 처리구에서 지상부 건물중이 증가하였다($p < 0.05$). 30일 경과 후 조사에서 LC 처리구와 비교할 때, ½ SC 처리구에서 지상부 건물중이 증가하였다($p < 0.05$). 30일 경과 후 딸기 유묘의 지하부 건물중 조사 결과, 소라야는 ½ SC 및 SC 처리구(94% 및 97%)에서, 하루이는 SC 처리구(50%)에서 대조구보다 높았다($p < 0.05$).

Kim et al.[4]은 액상 *C. fusca* CHK0059 시비(0.2% OCD) 시 딸기 '금실' 품종에서 약 32% 정도, Kim et al.[11]은 0.4% OCD 처리 시 부추 및 시금치의 생중량이 각각 18% 및 31%로 증가된다고 보고하였다. 본 연구에서는 액상 *C. fusca* CHK0059 시비(0.2% OCD)에 따른 소라야 및 하루이의 지상부 증가효과가 확인되지 않았고, 이보다는 ½ SC 시비의 긍정적인 효과가 전반적으로 나타났다.

클로렐라를 포함한 생물비료는 주로 식물생장에 필요한 양분(N, P, K, etc.)을 공급해 줌으로써 작물의 생산성과 품질을 향상시킨다[4,8,11]. Kim et al.[4]은 *C. fusca* CHK0059 처리 후 딸기식물체의 biomass가 증가하였으며, 식물체 중 주요 영양소(N, P, K 및 Ca)는 biomass와 고도의 상관관계를 나타냈다($r=0.42-0.80$, $p < 0.05$). *C. fusca* CHK0059 처리 후

Table 2. Dry weight of strawberry seedlings of two cultivars, Soraya and Haruhi, grown under different chlorella treatments at 10, 20, and 30 days after initial application

Cultivar	Treatment	Day 10		Day 20		Day 30	
		Shoot	Root	Shoot	Root	Shoot	Root
Soraya	Control	1.27 (0.02)b	0.14 (0.01)b	1.41 (0.06)b	0.18 (0.03)b	4.73 (0.73)b	0.36 (0.05)b
	LC	1.30 (0.04)b	0.16 (0.01)ab	2.18 (0.24)ab	0.28 (0.04)ab	5.07 (0.19)b	0.42 (0.02)ab
	¼ SC	1.50 (0.12)ab	0.16 (0.01)ab	2.68 (0.35)ab	0.38 (0.07)a	6.98 (0.23)ab	0.65 (0.01)ab
	½ SC	1.67 (0.10)a	0.21 (0.04)ab	2.96 (0.39)a	0.40 (0.01)a	8.45 (1.18)a	0.70 (0.06)a
	SC	1.87 (0.19)a	0.23 (0.01)a	2.47 (0.36)ab	0.39 (0.02)a	7.47 (0.24)ab	0.71 (0.14)a
Haruhi	Control	0.51 (0.05)b	0.11 (0.01)a	2.22 (0.05)a	0.22 (0.06)a	5.81 (0.73)bc	0.44 (0.03)b
	LC	0.81 (0.13)ab	0.12 (0.01)a	3.34 (0.33)a	0.38 (0.02)a	6.16 (0.51)bc	0.51 (0.02)b
	¼ SC	0.87 (0.06)a	0.11 (0.01)a	2.44 (0.15)a	0.31 (0.02)a	4.68 (0.40)c	0.50 (0.03)b
	½ SC	0.98 (0.04)a	0.15 (0.02)a	2.78 (0.32)a	0.34 (0.07)a	8.49 (0.18)a	0.57 (0.05)ab
	SC	1.06 (0.05)a	0.14 (0.01)a	2.60 (0.28)a	0.33 (0.03)a	7.80 (0.28)ab	0.66 (0.02)a

Value in brackets are standard errors of the mean ($n=4$). Different letters in each column indicate significant difference among the treatments (Tukey's HSD, $p < 0.05$). LC: liquid chlorella (0.2% of 1.0×10^7 cells/mL), ¼ SC: 0.25 g solid chlorella, ½ SC: 0.5 g solid chlorella, SC: 1 g solid chlorella.

Table 3. Concentration of macro-elements in strawberry seedlings of two cultivars, Soraya and Haruhi, grown under different chlorella treatments at 10, 20, and 30 days after initial application

Cultivar	Treatment	N	P	K	Ca	Mg
		(%)	(g/kg)	(g/kg)	(g/kg)	(g/kg)
Soraya	Control	3.03 (0.03)a	7.71 (0.02)b	30.06 (1.20)a	14.33 (0.23)a	10.32 (0.29)a
	LC	3.10 (0.21)a	8.46 (0.05)a	29.73 (2.40)a	13.97 (0.26)a	10.35 (0.44)a
	¼ SC	3.04 (0.06)a	8.14 (0.06)ab	30.49 (0.51)a	13.56 (0.66)a	10.33 (0.23)a
	½ SC	2.85 (0.05)a	8.21 (0.32)ab	27.83 (0.83)a	13.06 (0.65)a	10.79 (0.07)a
	SC	2.89 (0.09)a	8.50 (0.18)a	31.86 (2.36)a	14.22 (0.68)a	10.74 (0.43)a
Haruhi	Control	3.32 (0.03)b	7.32 (0.05)ab	31.41 (0.31)a	13.86 (0.29)a	11.63 (0.33)a
	LC	3.49 (0.05)a	7.94 (0.22)a	30.05 (1.80)a	13.35 (0.24)a	10.80 (0.45)a
	¼ SC	3.35 (0.05)ab	7.65 (0.15)ab	33.49 (1.90)a	14.63 (0.62)a	11.90 (0.61)a
	½ SC	3.32 (0.02)ab	7.21 (0.11)b	30.36 (1.06)a	13.72 (0.67)a	10.51 (0.34)a
	SC	3.27 (0.04)b	7.63 (0.17)ab	31.83 (0.73)a	14.83 (0.18)a	11.21 (0.25)a

Value in brackets are standard errors of the mean (n=4). Different letters in each column indicate significant differences among the treatments (Tukey's HSD, $p < 0.05$). LC: liquid chlorella (0.2% of 1.0×10^7 cells/mL), ¼ SC: 0.25 g solid chlorella, ½ SC: 0.5 g solid chlorella, SC: 1 g solid chlorella.

식물체 중 P 함량과 biomass간 상관계수가 높았으며, 이는 P의 이용이 증대되어 작물의 성장촉진을 유도한 것으로 알려져 있다. 이와 유사하게 본 연구에서는 액상 *C. fusca* CHK0059 시비 처리구인 LC 처리구에서 소라야 유묘의 P 함량은 대조구보다 증가했으나($p < 0.05$), 하루히 유묘에서는 통계적 유의차가 나타나지 않았다($p > 0.05$, Table 3). 또한 SC 처리구 중 소라야 유묘에서 P 함량은 대조구보다 증대되었다. 식물의 필수영양소인 P는 에너지 전송 및 광합성 등 식물의 주요 대사기능을 유지하는데 매우 중요한 역할을 한다[19]. 식물체 내 P 결핍 시 황화현상(chlorosis) 및 생육발달 저해[4]가 야기되는 반면 증가된 P의 이용효율은 광합성 및 엽록소 함량을 증가시켜 전반적인 생리활성을 촉진하며, 이로 인해 작물의 생산성 및 품질을 향상시키고 환경스트레스에 대한 방어기작을 강화

시킨다[20,21]. 이에 반해 다른 식물영양소는 고형 클로렐라 처리에 의한 차이가 보이지 않았다($p > 0.05$).

고형 클로렐라 시비에 대한 딸기유묘의 생리적 반응

광합성율 및 광합성 색소 분석을 통해 고형 클로렐라 시비에 대한 딸기유묘의 생리적 반응 결과는 Fig. 1에서 보인 바와 같다. 소라야의 광합성율(Fv/Fm)은 처리구간 차이가 없는 반면($p > 0.05$) 하루히는 10일 차 조사 시 LC 및 ¼ SC 처리구에서, 30일 차 조사 시 ½ SC 처리구에서 Fv/Fm 값이 대조구보다 증가하였다($p < 0.05$).

딸기유묘의 엽록소 및 카로테노이드 함량 또한 고형 클로렐라 시비에 의해 증가되었다(Fig. 2). 하지만 품종별로 두 색소함량이 증가된 시기가 상이하였다. 소라야는 정식 후 10일

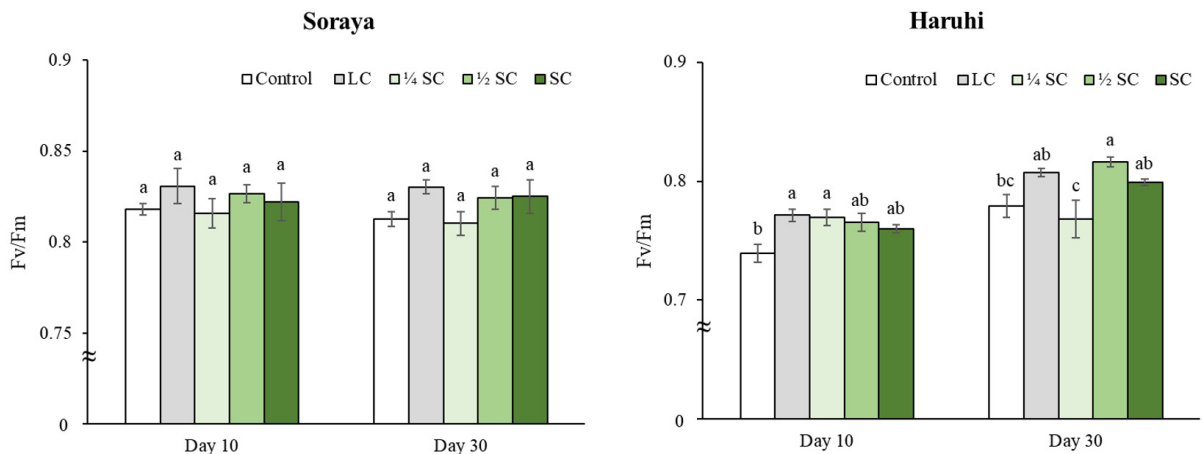


Fig. 1. The maximum PSII quantum yield (Fv/Fm) in leaves of strawberry seedlings grown under different chlorella treatments at 10 and 30 days after initial application. Data represent mean±standard errors (n=4). Different letters indicate significant differences among the treatments (Tukey's HSD, $p < 0.05$). LC: liquid chlorella (0.2% of 1.0×10^7 cells/mL), ¼ SC: 0.25 g solid chlorella, ½ SC: 0.5 g solid chlorella, SC: 1 g solid chlorella.

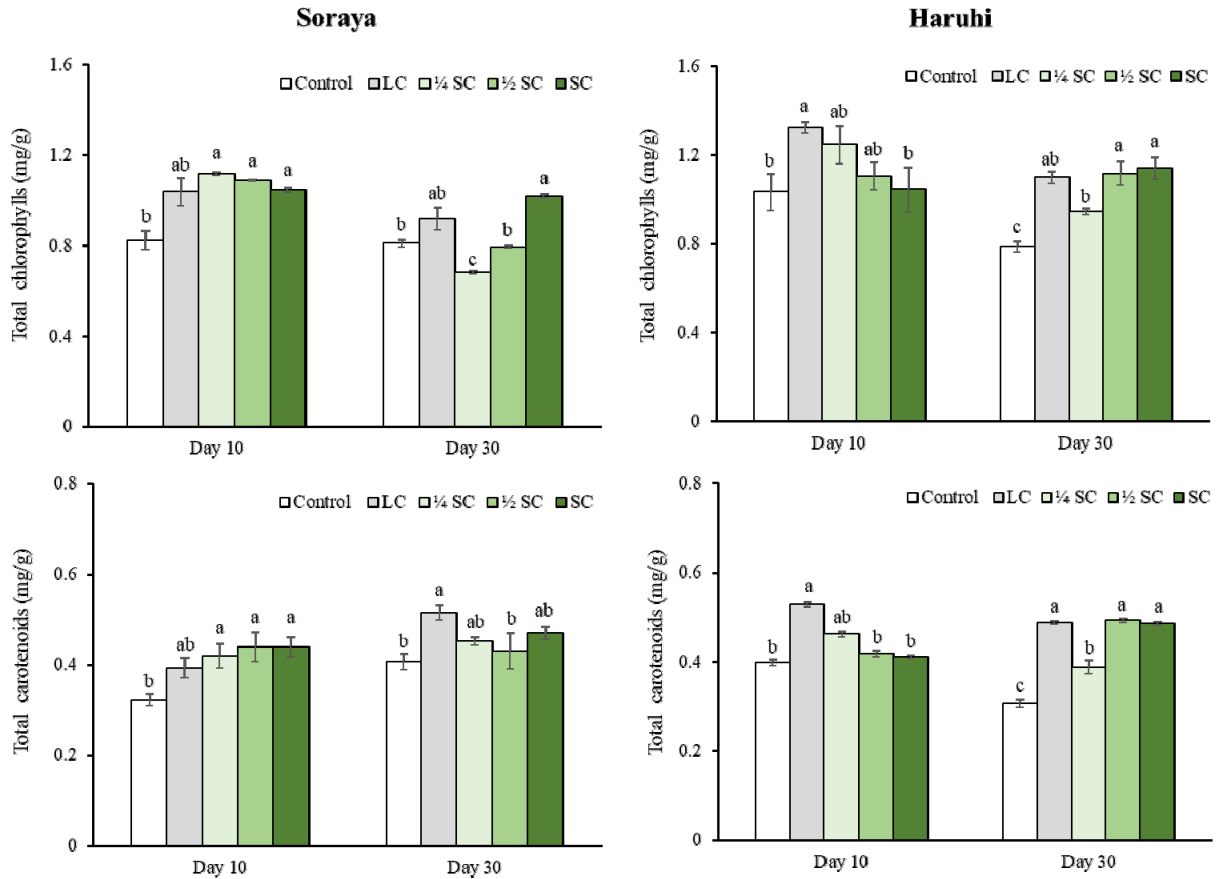


Fig. 2. Total chlorophyll and carotenoid contents in leaves of strawberry seedlings grown under different chlorella treatments at 10 and 30 days after initial application. Data represent mean±standard errors (n=4). Different letters indicate significant differences among the treatments (Tukey's HSD, $p < 0.05$). LC: liquid chlorella (0.2% of 1.0×10^7 cells/mL), 1/4 SC: 0.25 g solid chlorella, 1/2 SC: 0.5 g solid chlorella, SC: 1 g solid chlorella.

차 때 모든 고행 클로렐라 처리구에서 엽록소 및 카로테노이드 함량이, 하루히는 30일차 때 두 색소 함량이 대조구보다 증가하였다($p < 0.05$). 특히, 1/2 SC 및 SC 처리구에서 하루히 유묘의 엽록소 및 카로테노이드 함량은 대조구보다 각각 44% 및 58% 증가하였고, LC 처리구와 유사하였다. 액상 *C. fusca* 시비로 인해 딸기작물의 엽록소 함량이 증가된 사례는 이미 선행연구에서 보고된 바 있다[4,15]. 딸기 품종 중 '금살'에 0.2% *C. fusca*를 처리하는 경우 엽록소 함량이 약 20% 정도 증가하였고[4], '설향'에 0.4% *C. fusca* 처리 시 약 18% 정도 증가되었다[15].

본 연구의 결과로 볼 때, 고행 클로렐라 시비가 전반적으로 딸기 유묘의 생리활성에 긍정적인 영향을 주는 것으로 보이나, 그 효과는 품종별로 다르고 시비량에 따른 일정한 효과가 일어나지 않았다. 이는 아마도 딸기 유묘 품종별로 성장속도와 이에 따른 양분 이용률 차이에 기인된 것으로 보이며 또한 시비된 고행 클로렐라의 분해속도 차이 또한 영향을 미친 것으로 사료된다.

결론

본 연구를 통해 제작된 고행 클로렐라가 딸기 모종 생산 시 토양 생물비료로써 활용가치가 있음을 확인하였다. 비록 고행 클로렐라 시비효과가 성장단계별, 품종별 그리고 시비량에 따라 차이를 보였지만, 최종 수확시기인 포트시험 30일차 때 소라야 및 하루히 두 품종 모두 지상부 biomass가 대조구보다 0.5 g 고행 클로렐라(1/2 SC) 시비에 의해 증가되었다. 이는 고행 클로렐라 시비를 통해 근권에서 유도된 N, P 등의 양분 이용효율 증가가 아마도 유묘 생장기간 중 촉진제로 작용한 것으로 보이며, 그 효과는 액상 클로렐라 시비(LC)와 유사하거나 더 우수하게 나타났다. 더욱이 고행 클로렐라는 시비 및 보관방법 등이 액상보다 용이하기 때문에 딸기 모종 산업에 활용가치가 높을 것으로 기대된다. 단 품종 및 생육시기에 따라 고행 클로렐라의 시비효과가 상이할 것으로 예상되기 때문에, 차후 고행 클로렐라의 시비 효율성을 높이기 위한 연구가 필요할 것으로 사료된다.

Note

The authors declare no conflict of interest.

Acknowledgement

This work was carried out with the support of “Cooperative Research Program for Agriculture Science and Technology Development (Project No. PJ01564102 2023 or RS-2021-RD009112)” Rural Development Administration, Republic of Korea.

References

- Kim YN, Cho YS, Lee JH, Seo HR, Kim BH, Lee DB, Lee YB, Kim KH (2022) Short-term responses of soil organic carbon pool and crop performance to different fertilizer applications. *Agronomy*, 12, 1106. <https://doi.org/10.3390/agronomy12051106>.
- Savci S (2012) An agricultural pollutant: Chemical fertilizer. *International Journal of Environmental Science and Development*, 3, 73-80. <https://doi.org/10.7763/IJESD.2012.V3.191>.
- Thomas L, Singh I (2019) Microbial biofertilizers: Types and applications. *Biofertilizers for Sustainable Agriculture and Environment*, 55, 1-19. https://doi.org/10.1007/978-3-030-18933-4_1.
- Kim YN, Choi JH, Kim SY, Choe H, Shin Y, Yoon YE, Lee KA, Kim MJ, Lee YB (2022). Application effect of *Chlorella fusca* CHK0059 as a biofertilizer for strawberry cultivation. *Korean Journal of Environmental Agriculture*, 41(4), 282-287. <https://doi.org/10.5338/KJEA.2022.41.4.34>.
- Basheer S, Huo S, Zhu F, Qian J, Xu L, Cui F, Zou B (2020) Microalgae in human health and medicine, *Microalgae Biotechnology for Food, Health and High Value Products*, 149-174. https://doi.org/10.1007/978-981-15-0169-2_5.
- Kang HK, Choi HC, Kim DW, Hwangbo J, Na JC, Bang HT, Kim DW, Kim MJ, Mushtaq MMH et al. (2013) Effect of dietary chlorella supplementation on growth performance, immune response, and intestinal microflora concentration of broiler chickens. *Korean Journal of Poultry Science*, 40(3), 271-276. <https://doi.org/10.5536/KJPS.2013.40.3.271>.
- Bai SC, Cha YT (1997) Comparison of growth and body composition in olive flounder larvae (*Paralichthys olivaceus*) fed domestic experimental and imported commercial microparticulated diets. *Journal of Aquaculture*, 10, 87-95.
- Gonçalves AL (2021) The use of microalgae and cyanobacteria in the improvement of agricultural practices: A review on their biofertilising, biostimulating and biopesticide roles. *Applied Sciences*, 11, 871. <https://doi.org/10.3390/app11020871>.
- Ann SW, Lee JM, Cho YK (2020) Perilla leaf fertilization effect of fertilizer by *Chlorella* and seafood by-product fermentation. *Journal of Environmental Science International*, 29(4), 423-434. <https://doi.org/10.5322/JESI.2020.29.4.423>.
- Kim MJ, Shim CK, Kim YK, Jee HJ, Park JH, Hong SJ (2012) Effect of green algae, *Chlorella fusca* on improving seed germination and seedling growth in vegetable crop and minor cereal. *Korean Journal of Organic Agriculture*, 2012, 491-492.
- Kim MJ, Shim CK, Kim YK, Ko BG, Park JH, Hwang SG, Kim BH (2018) Effect of biostimulator *Chlorella fusca* on improving growth and qualities of Chinese chives and spinach in organic farm. *Plant Pathology Journal*, 34, 567-574. <https://doi.org/10.5423/PPJ.FT.11.2018.0254>.
- Faheed FA, Fattah ZA (2008) Effect of *Chlorella vulgaris* as bio-fertilizer on growth parameters and metabolic aspects of lettuce plant. *Journal of Agriculture and Social Science*, 4, 165-169.
- Lee SM, Ryu CM (2021) Algae as new kids in the beneficial plant microbiome. *Frontiers in Plant Science*, 12, 599742. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.599742>.
- Çakirsoy I, Miyamoto T, Ohtake N (2022) Physiology of microalgae and their application to sustainable agriculture: A mini-review. *Frontiers in Plant Science*, 13, 1005991. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.1005991>.
- Kim MJ, Shim CK, Ko BG, Kim J (2020) Effect of the microalga *Chlorella fusca* CHK0059 on strawberry PGPR and biological control of fusarium wilt disease in non-pesticide hydroponic strawberry cultivation. *Journal of Microbiology and Biotechnology*, 30, 708-716. <https://doi.org/10.4014/jmb.2001.01015>.
- Khalid AAH, Yaakob Z, Abdullah SRS, Takriff MS (2019) Analysis of the elemental composition and uptake mechanism of *Chlorella sorokiniana* for nutrient removal in agricultural wastewater under optimized response surface methodology (RSM) conditions. *Journal of Cleaner Production*, 210, 673-686. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.11.095>.
- Lichtenthaler HK (1987) Chlorophylls and carote-

- noids: Pigments of photosynthetic biomembranes. *Methods in Enzymology*, 148, 350-382.
18. Baweja P, Kumar S, Kumar G (2019) Organic fertilizer from algae: A novel approach towards sustainable agriculture. in: Giri B, Prasad R, Wu QS, Varma A, *Biofertilizers for Sustainable Agriculture and Environment*, 55, 353-370.
https://doi.org/10.1007/978-3-030-18933-4_16.
 19. Trejo-Téllez LI, Gómez-Merino FC (2014) Nutrient management in strawberry: Effects on yield, quality and plant health, in: Malone N, *Strawberries: Cultivation, Antioxidant Properties and Health Benefits*. pp. 239-267, Nova Science Publishers Inc., NY, USA.
 20. Moor U, Poldma P, Tonutare T, Karp K, Starast M, Vool E (2009) Effect of phosphite fertilization on growth, yield and fruit composition of strawberries. *Scientia Horticulturae*, 119, 264-269.
<https://doi.org/10.1016/j.scienta.2008.08.005>.
 21. Estrada-Ortiz E, Trejo-Téllez LI, Gómez-Merino FC, Núñez-Escobar R, Sandoval-Villa M (2012) Phosphite on growth and fruit quality in strawberry. *Acta Horticulturae*, 947, 277-282.