

BM수를 활용한 클로렐라 배양과 작물 및 산란계 적용 연구

배대우* / 눈비산마을 농사담당

박준형 / 눈비산마을 사무담당

연구 필요성

최근 친환경 농자재로서의 클로렐라 연구 및 보급이 활발하다. 이는 우리사회에 크게 두 가지 수요가 존재하고 있음을 시사한다. 첫째는 친환경농업 자체에 대한 수요이고, 둘째는 친환경농업을 뒷받침해줄 적절한 기술 및 자재에 대한 수요다.

친환경농업 자체에 대한 수요와 관심이 높은 것은 시대적 흐름이 반영된 현상이라 할 수 있다. 어떻게든 살아가는 것이 우선인 시대에서, 더 잘 사는 것에 대한 고민과 선택이 가능한 시대로 이행하면서 농업 분야에서는 화학비료와 농약을 사용하던 기존의 방식(이하 ‘관행농업’)의 대안으로 친환경농업이 주목받게 된 것이다. 자연에 부담을 덜 주고 사람에게는 더 안전한 방식으로, 더 건강한 먹을거리를 생산하고 공급하는 친환경농업은 많은 소비자 와 생산자의 공감과 지지를 얻고 있다.

그러나 친환경농업이 실제로 이루어지고 있는 비율은 여전히 낮다. 친환경농업이 가진 가치성과는 별개로, 그것을 실행하는 데에 무언가 실질적인 어려움이 있다는 뜻이다. 이를 투입과 산출이라는 변수를 가지고 보면 관행농업보다 친환경농업이 투입되는 비용은 많

* 배대우: 충북 괴산군에 있는 눈비산마을에서 농사를 짓고 있다. 눈비산마을은 1968년 설립된 이래 농민을 돕고 농촌을 살기 좋게 만드는 데 이바지한다는 기본 정신을 지키며, 자연생태와 상생하는 농업을 실천하고 있다.

고, 산출되는 편익은 작다고 할 수 있을 것이다.

이렇게 친환경농업이 상대적으로 불리한 이유 중 하나는 관행농업보다 규모화를 피하기 어렵다는 점이다. 주로 소수의 전업농이 다수의 도시 소비자에게 농산물을 공급하는 비대칭적 산업 구조, 그리고 일반 물가보다 상대적으로 낮은 농산물 가격 조건에서 영농 규모화는 필연적이고 불가피하다. 그런데 대규모 땅을 친환경 방식으로 농사지으면 수익을 내기 어렵다. 예컨대 제초제 대신 부직포를 깔거나 손으로 김을 매고, 살충제 대신 천연 약제를 사용하거나 직접 벌레를 잡고, 화학비료 대신 천연퇴비를 사거나 만들어서 뿌리면 규모가 커질수록 노동시간이나 자재비용의 측면에서 감당할 수 없게 되어버리는 것이다.

더욱 효과적이고 저렴한 친환경 농자재에 대한 수요가 높아지는 것은 위와 같은 맥락에 기인한다. 규모화를 감당할 수 있게 수고를 줄여주면서도 값이 비싸지 않은 농자재가 필요한 것이다. 전에는 주로 식자재로 이용되었던 클로렐라가 농자재로서 주목받기 시작한 배경도 위와 다르지 않을 것이다.

다만 현재 농자재 분야의 클로렐라 연구 및 보급은 초기 단계라 할 수 있다. 클로렐라 자체가 농민에게 충분히 알려지지 않았고, 그 효과에 대한 경험 사례 역시 주변에 흔치 않다. 이에 우리는 클로렐라 배양 시설 및 기술을 갖추어 직접 경험을 해보고, 그 내용을 다른 농민과 나누고자 하였다. 한편 클로렐라가 효과가 있더라도 그 설비를 갖추어 배양하는 비용이 농민에게 부담으로 작용한다면 본래의 취지에 어긋난다. 따라서 우리는 더 값싸고 손쉬운, 대안적 배양 기술에 대한 모색도 병행하였다.

덧붙여 눈비산마을은 연구를 수행할 수 있는 물적 기반인 논밭과 양계장이 있고, 그 결과를 공유하기에 좋은 인적 네트워크를 갖추고 있다는 점에서 연구 수행에 적절하여 현장성 있는 연구가 될 수 있을 것으로 보았다. 그런 맥락에서 농민이 더 쉽게 귀 기울일 수 있고, 그들에게 실질적인 도움이 될 수 있을 것으로 생각하였다.

연구 방법 및 내용

연구는 배양, 발작물 적용, 산란계 적용, 자가배양기 제작 등 크게 네 부문으로 나누었다.

첫째, 배양 부문은 우선 농촌진흥청(이하 ‘농진청’)에서 개발하여 보급하고 있는 클로렐라 배양기(이하 ‘보급배양기’)와 배지(이하 ‘보급배지’)¹⁾ 등을 구입하여 표준방식대로 배양

해 보았다. 더불어 배지 외에 BM활성수²⁾(이하 ‘비엠수’), 보급용기 대신 일반 페트병, 생수 대신 지하수를 활용하여 배양할 수 있는지 등을 검토하였다.

둘째, 발작물 적용 부문에서는 클로렐라 배양액을 물에 희석하여 여러 작물에 엽면살포 하고, 그에 따른 병충해 방제 정도, 발아율, 성장률, 수확 후 저장성 등의 변화를 관찰하였다.

셋째, 산란계 적용 부문에서는 클로렐라 배양액을 닭의 음용수에 희석하여 섭취시키고, 그에 따른 산란율과 등외란발생율(이하 등외율)의 변화를 파악하였다.

넷째, 주변에서 쉽고 싸게 구할 수 있는 자재로 자가배양기를 제작하여 비용과 성능을 비교하고, 전문기관에 의뢰하여 배양액의 성분검사를 받아 보았다.

1. 배양

클로렐라가 농자재로 연구 및 보급된 지는 오래되지 않았고, 따라서 우리 농촌 주변에 클로렐라 배양시설 자체나 농사·축산 등에 적용해 본 경험사례가 흔치 않다. 이에 보급배양기, 배지 등 시설 및 자재를 직접 갖추어 표준방식대로 클로렐라를 배양해 보았다.

한편 보급배양기를 사용하면서도 일부 자재를 우리 주변에서 손쉽게 값싸게 구할 수 있는 것들로 대체할 수 있는지도 알아보았다. 우선 배지 대신 비엠수를 활용한 배양을 시도해 보았다. 비엠수는 농자재로 활용된 지가 비교적 오래되었고, 다수의 지역 농업기술센터에서 무료로 보급하고 있다. 특히 논비산마을은 자체적으로 비엠수 생산시설을 갖추어 그동안 산란계 사육과 발작물 농사에 이용해 왔다. 이 비엠수를 배지, 다시 말해 클로렐라의 먹이로 활용할 수 있다면 주기적으로 소모되는 배지의 구입비용을 절감할 수 있을 것으로 기대하였다. 같은 맥락에서 보급용기 대신 쓰고 남은 페트병을 사용해 보고, 생수 대신 지하수를 사용해 보았다.

1) 균, 세포 또는 식물체 배양에 필요한 영양소를 충분히 공급하고 적당한 삼투압, pH를 맞추어 준 것이다(농촌진흥청).
2) ‘B’는 박테리아(bacteria)를, ‘M’은 미네랄(mineral)을 의미한다. 비엠수 생산시설에서는 가축 분뇨나 퇴비 등의 생물성 폐기물을 물과 암석류 등과 함께 배양하는데, 물속의 미생물이 분뇨 등의 유기물을 먹고서 대사물질을 배출하고, 그 대사물질이 암석을 녹여 미네랄을 생성하게 된다. 그 결과 폐기물은 정화되고, 비엠수는 생명체에 유익한 물질을 다량 함유하게 된다.

가. 보급배양기 설치

농진청의 보급배양기 개발 과정에 참여하였고, 현재는 그 생산·공급을 맡은 업체에 보급 배양기를 주문하여 설치한 뒤 사용 및 관리법, 배양 원리 등을 배웠다.

처음에는 연중 배양에 유리할 것으로 보아 실내 공간에 배양기를 두었으나 별이 잘 들지 않아 배양 속도가 느리다는 단점이 있었다. 이에 별도의 조명을 설치하는 대신 배양기를 실외 공간으로 옮김으로써 배양 효율을 높였다.



실내 설치



실외 이전 설치

[그림 1] 보급배양기 설치

나. 비엠수 배양 실험

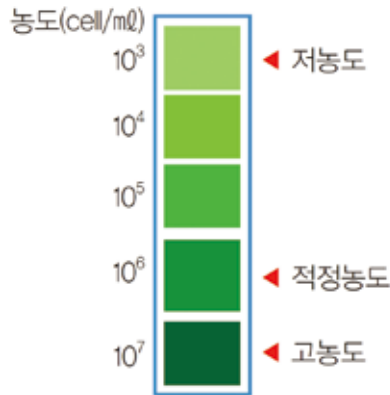
1) 1차 실험

3가지 샘플로 실험을 진행하였고, 각각 ‘비엠수원액 배양’, ‘비엠수배지 배양’, ‘혼합배지 배양’이라고 이름 붙였다. 첫째, 비엠수원액 배양은 생수와 배지 없이 비엠수 원액에 클로렐라 종균만 넣어 배양하였다. 둘째, 비엠수배지 배양은 생수에 비엠수를 배지로 소량 넣어 배양하였다. 셋째, 혼합배지 배양은 생수에 소량의 비엠수와 배지를 1:1로 넣어 배양하였다.

<표 1> 비엠수 배양 1차 실험

배양방법	배양액 조성
비엠수원액	비엠수 5L
비엠수배지	생수 4L+비엠수 20mL
혼합배지	생수 4L+비엠수 10mL+배지 10mL

배양 결과는 색도를 가지고 평가하였다. 농진청은 배양 중인 클로렐라의 색도로 세포수를 기능할 수 있는 조건표를 제공하고 있다.



자료: 농촌진흥청 국립농업과학원

[그림 2] 클로렐라 배양 색도 조건표

2) 2차 실험

2차 실험의 샘플은 각각 ‘표준 배양’, ‘혼합배지 배양’, ‘비엠수배지 배양’이다.

<표 2> 비엠수 배양 2차 실험

배양방법	배양액 조성
표준	생수 8L+배지 40mL
혼합배지	생수 8L+비엠수 20mL+배지 20mL
비엠수배지	생수 8L+비엠수 40mL

다. 페트병 배양 실험

비엠수 배양 실험과 동일하게 1차, 2차로 진행하되 배양용기로 페트병을 사용하고, 배양액을 페트병 용량에 맞게 조절하여 배양하였다.

1) 1차 실험

<표 3> 페트병 배양 1차 실험

배양방법	배양액 조성
비엠수원액	비엠수 2L
혼합배지	생수 2L+비엠수 5mL+배지 5mL
표준	생수 2L+배지 10mL

2) 2차 실험

<표 4> 페트병 배양 2차 실험

배양방법	배양액 조성
표준	생수 2L+배지 10mL
혼합배지	생수 2L+비엠수 5mL + 배지 5mL
비엠수배지	생수 2L+비엠수 10mL

라. 지하수 배양 실험

산란계 및 발작물 적용 실험에 사용할 클로렐라는 생수 대신 지하수를 이용해 배양하였다. 실험을 위해 약 3개월 동안 매일 2~3L의 배양액을 사용해야 했기 때문에 생수를 쓰기에 비용 부담이 컸다. 일반 농민도 클로렐라를 큰 규모의 농사나 축산에 이용하자면 마찬가지로 곤란함을 겪을 것이다. 만약 농촌에서 흔한 지하수를 이용하여 클로렐라를 배양할 수 있다면 큰 도움이 될 것으로 기대했다. 배지는 보급배지만을 사용하였다.

<표 5> 지하수 배양 실험

구분	배양액 조성
지하수	지하수 8L+배지 40mL

2. 발작물 적용

친환경 농사를 지으며 가장 어려운 부분은 풀과 벌레, 그리고 작물의 병이다. 앞에서도 이야기했듯 큰 규모로 친환경 농사를 짓자면 풀을 뽑고, 벌레를 쫓고, 병을 방지하는 데 드는 시간과 비용을 감당하기 어렵다. 따라서 농민이 새로운 친환경 농자재에 바라는 효과도 주로 위의 세 가지에 관한 것이다.

풀은 클로렐라로 어찌할 도리가 없지만, 병충해는 그 효과를 기대해 볼 만한 나뭇의 근거가 있다. 클로렐라가 작물에 작용하는 방식은 크게 두 가지로 볼 수 있는데, 하나는 뿌리로 흡수되어 양분으로 쓰이는 것이고, 다른 하나는 잎 표면에 도포되어 이물질에 대해 일종의 막으로 작용하는 것이다. 눈비산마을은 토양의 양분이 부족한 편이 아니기에 클로렐라를 토양관주로 공급해도 큰 효과를 보지 못할 것으로 판단하고, 전적으로 엽면살포를 시행하였다. 잎 표면에 묻은 클로렐라가 병균과 해충에 대한 방어막으로 작용한다면 방제 효과가 있을 것으로 여겼다. 추가로 씨앗의 발아율, 작물의 성장률, 수확 후 저장성 등도 관찰해 보았다.

가. 실험 구역 설정

비닐하우스와 노지 및 모종 포트에 구역을 설정하여 실험하였다. 다만 그중 모종 포트를 제외하고는 동일 조건의 실험 재배지를 조성하는 것이 현실적으로 쉽지 않았다. 땅의 거름기나 물 빠짐, 햇볕과 바람이 드는 정도 등의 다양한 조건을 균일하게 조성하고 유지하는 것은 매우 어려운 일이었다.



비닐하우스



노지



포트

[그림 3] 실험구역

나. 실험 수행 방식

- 1) 발작물 적용 실험에 쓰일 클로렐라는 지하수와 배지를 가지고 배양하였다.
- 2) 투여 방식은 엽면살포로 한정하였다. 자료조사 및 전문가 상담 결과, 토양관주보다는 엽면살포가 더 효과적이고 효율적일 것으로 판단하였다.
- 3) 1주일에 1~2회, 잎이 충분히 젖을 정도의 양을 뿌렸으며, 희석배율은 기본 500배로 하고 때에 따라 100배로 높이기도 하였다.
- 4) 비닐하우스나 노지에는 전동분무기로 살포하였고, 모종에는 물뿌리개로 뿌렸다.



전동분무기



물뿌리개와 클로렐라 배양액

[그림 4] 클로렐라 살포

다. 관찰항목과 대상작물

1) 병해 방제

비닐하우스에서 기르는 오이와 호박에 해마다 흰가루병이 생긴다. 흰가루병은 일종의 곰팡이가 잎 표면에 하얗게 퍼지는 것인데, 발병하면 잎이 노랗게 시들고, 자연스레 열매도 부실해진다. 클로렐라가 먼저, 혹은 우세하게 잎 표면에 자리 잡으면 흰가루병이 방제될 가능성이 있다고 보았다.

2) 충해 방제

비닐하우스에서 기르는 토마토에 매번 진딧물이 많이 생긴다. 진딧물은 식물의 즙을 빨아먹고, 병을 옮기며, 그을음이 생기게 해 광합성을 방해한다. 클로렐라가 진딧물을 막거나 쫓아내는 역할을 할 수 있지 않을까 기대해 보았다.

3) 발아율

모종 포트를 두 그룹으로 나누어 씨를 심고 한쪽에는 물 대신 클로렐라 희석액을 주었다. 샘플별로 싹이 얼마나 빨리 올라오고 얼마나 크게 자라는지 등을 비교·관찰하였고, 무작위 추출하여 모종 뿌리의 길이를 측정해 보기도 하였다.

4) 성장률

클로렐라를 엽면살포 하였기 때문에 양분으로 흡수되어 생육을 증진하는 효과는 기대하기 힘들다. 그렇지만 클로렐라가 다른 관찰항목들, 예컨대 병충해 방제 등에서 효과가 있다면 결과적으로 작물의 성장률이 향상될 것으로 예상할 수 있다. 클로렐라를 적용하는 모든 작물이 자라는 양상을 육안 관찰하였고, 특히 배추는 수확 후 각 샘플에서 무작위 추출하여 중량을 달아 비교해 보았다.

5) 저장성

기존의 연구 자료나 전문가의 의견을 살펴보았을 때 클로렐라가 가장 두드러지게 효과를 나타내는 부분으로 저장성 향상을 꼽을 수 있었다. 즉, 생육 과정에서 클로렐라를 살포한 작물이 수확 후에도 신선도를 더 오래 유지한다는 것이다. 배추 수확 후 샘플별로 일정한 양을 잘라 보관하며 무게가 줄어드는 속도를 비교하였다.

3. 산란계 적용

가. 관찰항목

산란계 사육의 성과를 평가하는 핵심 지표는 기간별 산란율과 등외율이다. 산란율은 해당 기간 생산된 달걀 개수를 닭의 마릿수로 나눈 값이고, 등외율은 정품으로 공급될 수 없는 달걀의 수를 전체 달걀 개수로 나눈 값이다. 닭의 건강 상태, 계사 내외의 환경 조건 등 제반 사항이 궁극적으로는 산란율과 등외율에 반영되어 나타나게 된다.

$$\text{산란율} = \frac{\text{전체 달걀 수}}{\text{전체 닭 수}} \quad (\text{수식 1})$$

$$\text{등외율} = \frac{\text{전체 달걀 수} - \text{정품 달걀 수}}{\text{전체 달걀 수}} \quad (\text{수식 2})$$

나. 실험 수행 방식

1) 2017년 8월 3일부터 10월 31일까지 약 3개월 동안, 동일한 일령의 계군을 실험구와 대조구로 나누어 실험구에만 클로렐라 배양액을 음용수에 희석하여 공급하였다.

2) 2016년 10월 4일에 병아리로 들어온 약 5,900마리(♀ 약 5,500마리/♂ 약 400마리)를 2동(대조구)과 5동(실험구)으로 나눠 키웠다.

3) 배양수로는 지하수를 사용하고, 배지는 보급배지만 사용하였다. 8L 용기 6개에 1주일 단위로 배양하였으며, 배양이 완료되면 일부만 덜어내어 저장하거나 사용하고, 나머지에 물과 배지를 보충하여 계속 배양하였다.

4) 1일 클로렐라 공급량 산정 방식

가) 닭의 1일 물 섭취량을 1천 마리당 대략 200~400L로 보고, 이에 따라 1마리당 1일 물 섭취량을 0.3L로 가정하여 계산하였다.

나) 5동 닭 마릿수: 약 2,690마리(♀ 약 2,500마리, ♂ 약 190마리), 5동 1일 물 소비량: 약 807L(=0.3L × 2,690마리).

다) 클로렐라 공급량

(1) 8월 3일~ 8월 31일: 1일 2L(희석배율 약 400배)

(2) 9월 1일~10월 31일: 1일 3L(희석배율 약 270배)

라) 투약의 다섯 가지 기본원칙(5R)에 따라 실험하였다.

(1) 정확한 약(Right drug): 지하수와 배지로 배양된 클로렐라

(2) 정확한 양(Right dose): 300~500배의 희석배율로 하루 1회 공급

(3) 정확한 경로(Right route): 음용수에 희석, 자동 급수라인을 통한 공급

(4) 정확한 환자(Right person): 눈비산마을 5동 계사의 전체 닭

(5) 정확한 시간(Right time): 물을 가장 많이 마시는 사료 공급 시간



실험 계사



자동 급수라인

[그림 5] 산란계 적용 실험

4. 자가배양기 제작

연구 기간의 후반부에는 그동안 보급배양기를 사용하여 배양, 발작물 적용, 산란계 적용 등을 진행하면서 느낀 점을 바탕으로 자가배양기 제작을 시도하였다. 보급배양기도 훌륭하지만 농민 각자의 여건과 편의에 맞게 응용하고 조정할 여지가 충분히 있어 보였다. 따라서 몇 가지 항목에 주안점을 두고 자가배양기를 설계하였고, 제작이 완료된 뒤에는 실제 배양을 하여 그 결과물에 대해서는 세포수 검사를 받아 보았다.

가. 제작 주안점

1) 용량과 크기

보급배양기는 10L들이 용기 6개에서 동시에 배양을 진행할 수 있다. 한번 배양하는 데 일주일 정도 걸리니, 일주일에 최대 60L의 클로렐라 배양액을 생산할 수 있는 것이다. 이는 발작물의 경우 대략 2만 평, 산란계의 경우 대략 1만 마리의 규모에 적용할 수 있는 양으로, 농가에는 다소 많은 양일 수 있다. 만약 한 농가가 사용하기에 적당한 용량으로 줄인다면 불필요한 비용도 절약하고, 더불어 기기의 크기도 줄어드니 공간 활용도도 높일 수 있을 것이다.

2) 온도

클로렐라 배양 적정온도는 15~40°C이며, 최적온도는 28~30°C이다. 배양기를 실외에 두거나 난방이 공급되지 않는 비닐하우스 등에 둘 경우 겨울에는 배양이 어렵다는 단점이 있다. 실제로 보급배양기를 천장이 있는 실외 공간에 두었는데, 11월부터 3월까지 약 5개월 동안 배양할 수 없었다. 따라서 클로렐라를 연중 이용하기 위해서는 배양기를 보온 내지 난방이 되는 실내로 옮기거나, 배양기 자체에 가온장치를 설치해야 한다. 그런데 실내로 옮기기에 보급배양기의 크기가 다소 크고 자체 가온장치, 예컨대 히터봉 등을 설치하기에는 보급배양기의 구조나 재질이 적당하지 않다. 실내에 두기에 좋고, 필요할 때 자체 가온을 할 수 있게 바꾼다면, 계절에 상관없이 클로렐라를 사용해야 하는 농가에 도움이 될 것이다.

3) 광원

주로 실내 공간에서 사용될 것을 고려해 LED조명등을 기본 장착하여 빛이 잘 들지 않을 때도 배양을 진행할 수 있게 한다. 또 배양용기의 두께를 줄여 빛이 고루 전달될 수 있게 하면 배양도 더 잘 되고 에너지 효율도 높일 수 있을 것이다.

4) 교차오염

보급용기는 투입구와 퇴출구가 하나로 되어 있어, 물과 배지를 넣고 빨 때 교차오염의 가능성이 높다. 특히 에어스톤과 에어라인이 뚜껑에 연결되어 있기 때문에 뚜껑을 열 때마다 그것들이 외부로 노출될 수밖에 없는 상황이다. 그리고 보급용기는 입구가 좁아 세척이 어렵고, 매번 에어스톤과 에어라인을 알코올 소독하는 데도 상당한 시간과 노력이 필요하다.

나. 배양 실험

자가배양기를 제작한 뒤 곧바로 배양을 시도하였다. 배양된 클로렐라는 같은 시기 보급배양기로 배양한 몇 가지 샘플과 함께 세포수 검사를 받아 배양기 성능을 비교하였다.

연구 결과

1. 배양

가. 비엠수 배양 실험

비엠수원액 배양은 결과가 일정하지 않았다. 대체로 농도는 진하게 배양되었지만, 색상이 노란 빛깔을 띠거나 거품이 끼는 경우가 있었다. 이는 비엠수 자체에 있던 호기성미생물이 대량으로 번식했기 때문일 가능성이 높다. 해결책으로 공기 대신 이산화탄소를 주입하는 방법이 있지만 비용 부담이 커 고려 대상에서 제외하였다.

한편 비엠수배지 배양과 혼합배지 배양은 색상 면에서는 양호한 편이었으나 대체로 농도가 충분히 진하지 않았다. 비엠수가 배지로 소량 사용되면 여타 미생물의 번식은 문제가 되지 않는 수준이나 클로렐라의 먹이로 쓰일 양분은 충분치 않다고 봐야 할 것 같다.

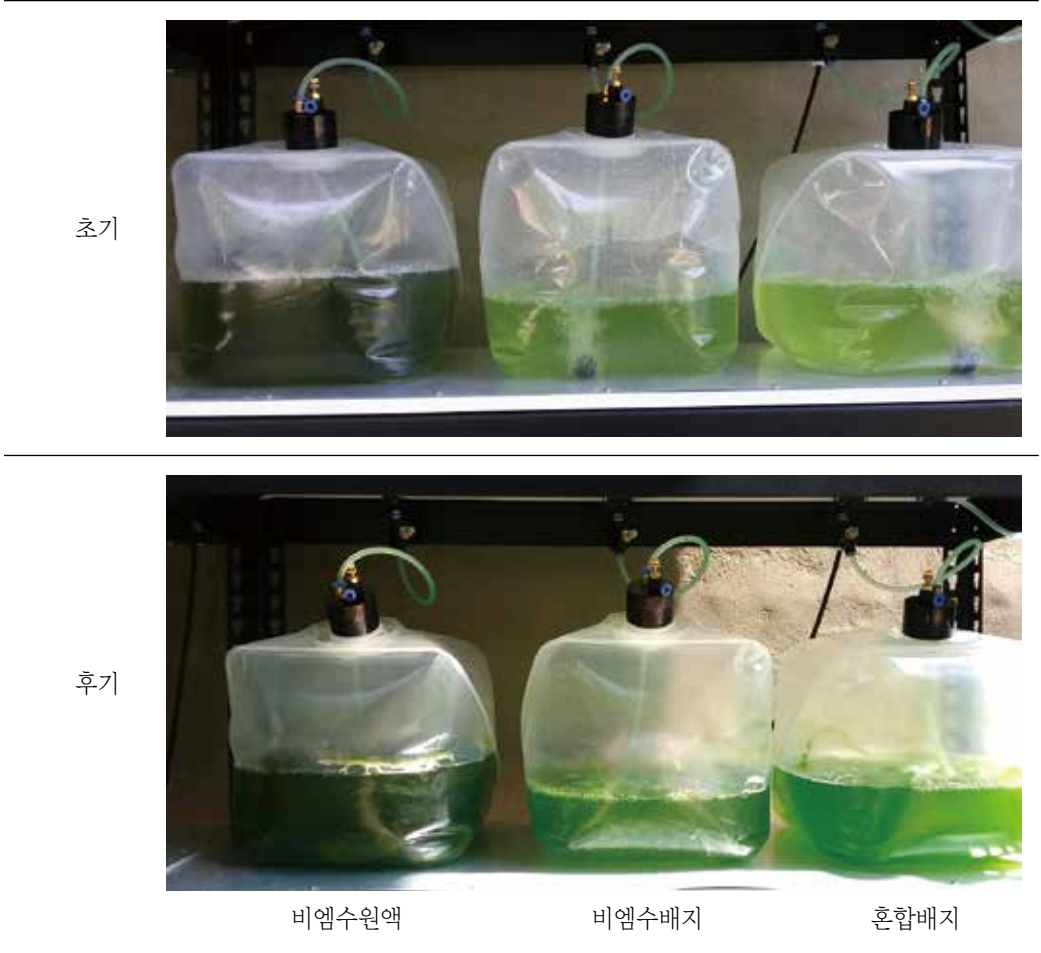
비엠수를 활용한 배양의 결과가 만족스럽지 않았으나 비엠수의 양을 비엠수원액 배양과 비엠수배지 배양 사이의 적당한 수준으로 하고, 나머지는 물로 보충하면 색상과 농도 면에서 양호한 결과를 얻을 수도 있을 것으로 예상된다.

덧붙이면 배양이 한 주기 완료되었을 때 배양액 전량을 빼낸 뒤 새로 배양하는 것보다, 일부를 남겨둔 채 물과 배지를 보충하여 배양을 이어가는 방식이 작업도 더 효율적이고 배양 결과도 더 안정적이었다.

1) 1차 실험

<표 6> 비엠수 배양 1차 실험 결과

배양방법	배양액 조성	배양 결과
비엠수원액	비엠수 5L	색상 불량. 농도 짙음. 거품 낀
비엠수배지	생수 4L+비엠수 20mL	색상 양호. 농도 열음
혼합배지	생수 4L+비엠수 10mL+배지 10mL	색상 양호. 농도 열음



[그림 6] 비엠수 배양 1차 실험 변화

2) 2차 실험

<표 7> 비엠수 배양 2차 실험 결과

배양방법	배양액 조성	배양 결과
표준	생수 8L+배지 40mL	색상 양호. 농도 짙음
혼합배지	생수 8L+비엠수 20mL+배지 20mL	색상 양호. 농도 열음
비엠수배지	생수 8L+비엠수 40mL	색상 양호. 농도 열음



[그림 7] 비엠수 배양 2차 실험 변화

나. 페트병 배양 실험

페트병을 배양용기로 이용하여 배양한 결과, 색도 면에서 보급용기에 준하는 결과를 얻었고, 오히려 보급용기보다 사용이 편리한 측면도 있었다.

보급용기의 재질은 저밀도 폴리에틸렌(LDPE)으로, 일종의 비닐팩이라 보면 된다. 따라서 모양이 고정되지 않는 데다 손잡이도 따로 없어, 물을 넣거나 배양액을 뺄 때 불편했다. 또 배양 후 저장할 때 보급용기 그대로 보관하기에는 비용 부담이 있고 적재도 용이하지 않다. 그래서 결국에는 페트병에 옮겨 담은 후 저장하게 되는 편이었다.

반면 페트병은 물을 넣고 배양액을 빼기 쉬우며, 배양액을 따로 옮겨 담을 필요 없이 그대로 저장하면 된다. 보급용기의 마개를 페트병 규격에 일치시키는 것을 고려해볼 수 있을 것 같다. 그러면 보급용기 외에 페트병도 자유롭게 사용할 수 있고, 그래서 농민에게 하나의 선택지가 더 생기니 바람직하다.

1) 1차 실험

<표 8> 페트병 배양 1차 실험 결과

배양방법	배양액 조성	배양 결과
표준	비엠수 2L	색상 불량. 농도 짙음
혼합배지	생수 2L+비엠수 5mL+배지 5mL	색상 양호. 농도 짙음
비엠수배지	생수 2L+배지 10mL	색상 양호. 농도 보통

초기



후기



비엠수원액

혼합배지

표준

[그림 8] 페트병 배양 1차 실험 변화

2) 2차 실험

<표 9> 페트병 배양 2차 실험 결과

배양방법	배양액 조성	배양 결과
표준	생수 2L+배지 10mL	색상 양호. 농도 짙음
혼합배지	생수 2L+비엠수 5mL+배지 5mL	색상 양호. 농도 짙음
비엠수배지	생수 2L+비엠수 10mL	색상 양호. 농도 옅음

초기



후기



표준

혼합배지

비엠수배지

[그림 9] 페트병 배양 2차 실험 변화

다. 지하수 배양 실험

지하수를 사용하여 배양한 결과, 색도가 양호했고 특별한 문제점이 발견되지 않았다. 물론 지하수의 성분은 지역과 농가마다 다를 것이고, 계절과 날씨에 따라서도 달라질 수 있

다. 그러나 클로렐라를 대량으로 생산해야 하는 경우 하나의 대안으로서 충분히 고려할 수 있을 듯하다.

<표 10> 지하수 배양 실험 결과

구분	배양액 조성	배양 결과
지하수	지하수 8L + 배지 40mL	색상 및 농도 양호

2. 발작물 적용

다양한 발작물에 주기적으로 클로렐라 희석액을 엽면살포 하였으나 전체적으로 기대했던 효과들이 나타나지 않았다. 비닐하우스 오이와 호박의 흰가루병을 예방하거나 치료하지 못했고, 비닐하우스 토마토의 진딧물 방제 효과도 없었다. 각종 모종의 발아율에도 별다른 영향을 못 미치는 듯했고, 노지 배추의 생육 증진이나 저장성 향상에서도 눈에 띄는 결과를 얻지 못했다.

가. 병해 방제



실험구(처리 후)



대조구

[그림 10] 호박 흰가루병 실험 결과

나. 충해 방제



실험구(처리 후)







대조구

[그림 11] 토마토 진딧물 실험 결과

다. 발아율

클로렐라 희석액 처리가 발아와 육묘에 미치는 영향을 살펴보았으나, 싹이 올라온 수와 크기 및 상태의 면에서 거의 차이가 없었고, 때로는 대조구가 우세하기도 하였다. 클로렐라 보다는 씨앗 자체의 품질이 발아율에 결정적인 영향을 미치는 듯했다. 배추 모종의 뿌리 길이 [그림 13]을 비교해 보기도 하였고, 그 결과 실험구가 우세하였으나 샘플 전체 특성을 반영한다고 보기 어려웠다.

구분	초기	후기
실험구		

구분	초기	후기
대조구		

[그림 12] 발아율 실험 결과



실험구(좌), 대조구(우)

[그림 13] 배추 모종 뿌리 길이 비교

라. 생육

노지 배추 생육기에 클로렐라 희석액을 100배, 500배로 엽면살포하고, 샘플별로 배추를 3포기씩 무작위 추출하여 중량을 달아보았으나 클로렐라의 생육증진에 미치는 효과를 파악하기 어려웠다. 작기 내내 살펴본 바로도 샘플 간 눈에 띄는 차이는 없었다.

<표 11> 배추 평균 생체중 비교

무처리 (kg/주)	클로렐라 100배 희석액 처리 (kg/주)	클로렐라 500배 희석액 처리 (kg/주)
2.9	2.8	2.5

마. 저장성

샘플별로 배추를 200g만큼 잘라내어 보관하며 시일에 따라 중량이 줄어드는 정도를 관찰하였다. 역시 클로렐라가 저장성 향상에 효과가 있다는 걸 파악하기에는 결과가 미진했다.

<표 12> 배추 저장 중 중량 변화

(단위: g)

처리 후 경과	무처리	클로렐라 100배 희석액 처리	클로렐라 500배 희석액 처리
초기	200 (100%)	200 (100%)	200 (100%)
중기	60 (70%)	50 (75%)	50 (75%)
후기	35 (83%)	35 (83%)	35 (83%)

주: ()는 중량손실률

3. 산란계 적용

약 3개월 동안 매일 닭이 마시는 물에 클로렐라를 희석해 공급했지만, 산란율이나 등외율에 미치는 영향이 뚜렷하게 드러나지 않았다. 눈비산마을의 기존 양계 방식이 이미 상당한 수준으로 최적화된 상태³⁾이기 때문에, 그 이상 크게 개선될 수 있는 여지가 없었던 것이 아닐까 자체적으로 추정하였다.

한편 눈비산마을 양계장에서 클로렐라 효과가 발현되지 못했다는 것이 양계 일반에 대한 클로렐라의 무효성을 의미하지는 않을 것이다. 다른 사육 방식 및 여건의 양계장에서는 또 다른 결과가 나올 수 있다고 생각한다. 그리고 실험 설계를 새롭게 할 수 있을 듯한데,

3) 눈비산마을의 양계장은 일본에서 유래한 야마기시 양계법을 근간으로 하여 조성 및 운영되고 있다. 약 8평 넓이의 통풍 잘 되는 평사형 계사에 120마리 내외의 닭이 암수 섞여 지낸다. 사료 외에도 생풀, 풀김치, 생균제 등을 먹이며, 음용수에는 비옴수 희석액이 첨가된다.

예를 들어 클로렐라의 희석배율을 높이거나 음용수 외에 계사 바닥에 분무기로 뿌려주는 것 등을 들 수 있다.

<표 13> 월별 산란율 및 등외율 수치

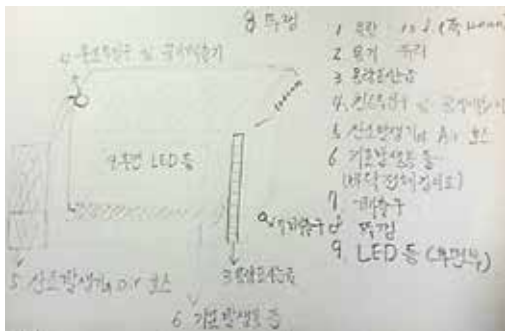
(단위: %)

구분	산란율			등외율		
	실험구 (5동)	대조구 (2동)	차이 ¹⁾ (실험구-대조구)	실험구 (5동)	대조구 (2동)	차이 ²⁾ (실험구-대조구)
8월	79.7	78.6	1.1%P	4.4	4.4	0.0%P
9월	83.0	83.1	-0.1%P	5.5	5.1	0.4%P
10월	83.2	83.4	-0.2%P	6.5	5.8	0.7%P
평균	82.0	81.7	0.3%P	5.5	5.1	0.4%P

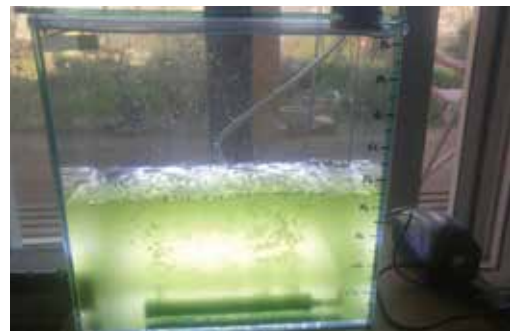
주1: 산란율의 실험구와 대조구 차이값은 양수이면 ‘긍정적’ 결과치
 주2: 등외율의 실험구와 대조구 차이값은 음수이면 ‘긍정적’ 결과치

4. 자가배양기 제작

자가배양기를 직접 설계하고, 수족관 제작 업체에 의뢰해 완성품을 받았다. 그리고 실제 배양을 해본 뒤 보급배양기를 이용한 다른 샘플과 함께 세포수 검사를 받았다. 그 결과 자가배양기는 배양 결과가 준수하였으며, 다루기 쉽고 가격이 저렴했다. 그뿐만 아니라 몇 가지 긍정적인 부대 효과도 있었다. 만약 보완 작업을 거쳐 양산형으로 개발된다면 공급가격은 더 내려가고, 기능적으로는 더 충실해질 수 있을 것으로 기대한다.



설계도



완성품

[그림 14] 자가배양기

가. 용량과 크기

자가배양기를 실내에서 사용하려면 먼저 배양기의 크기가 적당해야 한다. 기존 보급배양기의 용량은 최대 가동 시 어림잡아 대여섯 농가가 동시에 사용할 만한 양으로, 용량을 한 농가가 사용하기에 적당한 수준으로 줄임으로써 작게 만드는 것이 가능했다.

자가배양기의 용량을 10L로 줄이고, 부피가 보급배양기의 약 1/5로 작아지게 설계하였다. 실제로 자가배양기를 보면 그 모습이 가정에서 흔히 볼 수 있는 작은 수족관과 같아서 크기도 부담스럽지 않고, 겉으로 보기에 위화감이 느껴지지 않는다.

나. 온도

자가배양기는 실내공간, 더 나아가 주거공간에 둘 수 있기 때문에 겨울철에도 배양 적정 온도 내에 있을 수 있다. 또한 자가배양기의 용기 재질이 유리이기 때문에 필요 시 히터봉 설치도 가능하다.

다. 광원

보급배양기의 경우 조명이 용기 상부에 고정되어 있는 데 반해, 자가배양기의 LED조명 등은 용기 후면에 위치하며 위아래로 움직일 수 있고, 또한 용기의 두께 자체가 1/3 수준으로 얇아졌기 때문에 빛이 사방으로 골고루 전달될 수 있다.

라. 교차오염

자가배양기에 투입구와 퇴출구를 따로 설치하여 교차오염을 최대한 방지하고자 하였다. 육면체 용기의 상부 전체를 덮는 유리판 뚜껑을 열면 배양수나 배지 등을 넣을 수 있는 투입구가 된다. 투입구의 면적이 넓으므로 용기 내부 세척도 용이하다. 퇴출구는 용기 측면 하단에 설치하였다. 수도꼭지처럼 밸브로 여닫을 수 있어 배양이 완료된 클로렐라를 옮겨 담을 때 매우 편리하다.

한편 에어스톤과 에어라인을 뚜껑이 아닌 용기 바닥에 고정함으로써 배양 중에 뚜껑을 열었을 때 외부 노출을 최소화하였다.

마. 가격

자가배양기의 제조비용과 보급배양기의 가격은 <표 14>와 같다. 두 배양기의 용량 차이가 크기 때문에 값이 크게 차이가 나는 것은 당연한 부분일 수 있다. 그러나 보급배양기는 용량 선택의 여지가 없다는 점에서 소규모 농가에 불리하다. 한편 보급배양기 가격을 10L 당 가격으로 환산하면 LED조명등 미포함 가격은 보급배양기, LED조명등 포함 가격은 자가배양기가 저렴하다. 다만 이번에 만든 자가배양기는 주문제작된 것이기 때문에, 만약 향후에 대량생산된다면 가격이 더 내려갈 것이다.

<표 14> 자가배양기 제조비용 및 보급배양기 가격

(단위: 원)

구분	자가배양기(10L)	보급배양기(60L)	보급배양기(10L환산)
LED조명등 미포함	207,000	1,213,000	202,166
LED조명등 포함	235,000	1,913,000	318,833

바. 부대 효과 및 활용 방안

1) 공기정화기: 실내공기가 배양액을 거치면서 이산화탄소 일부가 산소로 전환되는 효과를 기대할 수 있다.

2) 가습기: 배양액의 증산작용으로 실내공간에 수분이 공급되는 효과를 기대할 수 있다.

3) 취침등 및 간접조명등: 야간에 배양기의 조명을 켜면 은은한 녹색의 빛이 나온다. 이를 통해 피로감을 낮춰주는 아늑한 분위기를 만들 수 있다.

4) 수경재배용 화분: 클로렐라 및 배지를 통해 영양공급이 가능하므로 수경재배용 화분으로 제작할 수 있다.

5) 실내장식 효과: 배양기 외관과 내부를 적절히 꾸미면 실내용 어항이나 수족관 못지않

은 인테리어 효과를 기대할 수 있다.

사. 자가배양기 클로렐라 세포수 조사

자가배양기를 시험 가동하는 동시에 보급배양기를 통해 샘플을 배양하여 각각의 세포수를 조사 및 비교하였다. 자가배양기에는 생수와 배지를 넣어 표준 배양하였고, 보급배양기로는 표준 배양, 비엠수원액 배양, 비엠수배지 배양, 혼합배지 배양을 하였다. 배양이 완료된 후에는 다섯 개의 샘플에서 시료를 채취하여 상지대학교 응용식물과학부 연구소에 의뢰, 세포수 검사를 받아보았다.

보통 클로렐라 배양액 1mL당 클로렐라 세포가 $10^6 \sim 10^7$ 개 있으면 사용 가능한 범위로 보는데, 자가배양기 표준 배양, 보급배양기 표준 배양, 보급배양기 비엠수원액 배양의 세포수는 적정 범위 내에 있었고, 보급배양기 비엠수배지 배양, 보급배양기 혼합배지 배양의 세포수는 앞의 세 가지 샘플의 약 1/3 정도로, 적정 수준에 못 미쳤다.

우선 동일 조건에서 자가배양기가 보급배양기만큼 배양 성능을 보인다는 점이 확인되었다. 더불어 앞서 배양 부문에서 색도를 통해 관찰한 바와 같이 비엠수배지 배양과 혼합배지 배양의 경우 배지가 가진 양분이 충분치 않아 농도 내지 세포수가 적정 수준에 못 미치는 것으로 보였다. 한편 이번에는 비엠수원액 배양이 색상이나 농도 및 세포수에서 모두 별 문제없이 이루어졌으며, 이는 비엠수를 이용한 클로렐라 배양의 가능성을 시사한다.

<표 15> 자가배양기 클로렐라 세포수

배양방법	클로렐라 세포 수(cell/mL)
자가배양기 표준	1.8×10^6
보급배양기 표준	1.9×10^6
보급배양기 비엠수원액	1.9×10^6
보급배양기 비엠수배지	6.0×10^5
보급배양기 혼합배지	7.5×10^5



[그림 15] 자가배양기 표준 배양



1. 자가배양기 표준 배양, 2. 보급배양기 표준 배양, 3. 보급배양기 비엠수원액 배양, 4. 보급배양기 비엠수배지 배양, 5. 보급배양기 혼합배지 배양

[그림 16] 배양 후 시료 채취

결론 및 기대효과

본 연구는 친환경 농자재로서 최근 활발히 연구 및 보급되고 있는 클로렐라에 주목하였다. 우선 클로렐라를 직접 배양하여 발작물 농사와 산란계 사육에 적용해 보았으며, 나아가 클로렐라를 더 손쉽게 값싸게 배양할 수 있는 방식을 찾아보고자 비엠수, 페트병 등을 활용

해 보고, 자가배양기도 제작했다. 그 결과 일부는 목표했던 성과를 얻었지만, 나머지는 기대했던 결과가 나오지 않았다. 우선 비엠수를 활용한 클로렐라 배양의 가능성을 봤고, 페트병이나 지하수를 활용한 배양도 성공적이었다. 그리고 자가배양기 제작 부문에서는 보급배양기 못지않은 성능에 가격과 편의성 면에서 한층 보완된 제품이 만들어져 만족스러웠다.

그러나 산란계 및 발작물 적용 부문에서는 눈에 띄는 효과를 보지 못했다. 클로렐라로 인해 대상에 발생한 일방향의 경향성을 확인할 수 없었던 것인데, 다시 말해 클로렐라 적용이 전적으로 ‘플러스’의 효과를 낸다거나, 혹은 ‘마이너스’의 효과를 낸다고 볼 근거가 나타나지 않은 것이다. 어떤 방향으로든 미미한 수준의 영향을 미쳤다고 봐야할 것 같다. 클로렐라를 농사 및 축산에 적용한 기존 연구 사례들에서 대부분 상당한 긍정적 성과가 있었던 것과 대조적이어서 당혹스럽기도 하였다.

다만 실험공간과 농사현장은 본질적으로 매우 다르다는 것을 주지할 필요는 있다. 실험공간은 근본적으로 관찰항목에 발생하는 변화를 최대한 포착해낼 수 있게 설계된다. 이를 위해 조작변인이 관찰대상에 미칠 것으로 예상되는 작용과 유사한 기능을 갖는 다른 요소는 가급적 배제할 것이다. 다시 말해 실험구와 대조구 간에, 조작변인 외에 다른 요소가 단지 무조건 같게만 유지하는 것이 전부가 아니라, 조작변인의 영향이 잘 드러나게끔 통제변인의 종류와 수준을 최적화하는 것이 중요하다는 것이다.

예컨대 클로렐라를 닭에게 먹여 그 영양분이 미치는 효과를 보려 한다면, 실험대상인 닭은 부득이하게 영양상으로 다소 부족한 상태여야 한다. 그렇지 않다면 클로렐라의 효과가 잘 드러나지 않거나, 오히려 반대의 결과가 나타날 수도 있다. 이런 맥락에서 농사현장은 실험의 엄밀한 결과를 도출하기에 부족한 측면이 있다. 기르는 작물이나 가축에게 형편 내에서 최대의, 또 나름의 판단으로 최적의 투입을 하면서 거기에 추가하여 실험해야 하기 때문이다.

또 다른 예로 전문연구기관이 관리하는 작물 실험용 밭에 가보면 관찰하려는 개체 수의 몇 배수를 기르고 있는 것을 볼 수 있다. 넓은 밭에서 정작 선택 및 측정되는 것은 몇 포기 되는 않는 것이다. 주로 밭의 가장자리에서 자라는 개체, 크기나 성질이 유별난 개체는 편향 개입의 여지가 있기 때문에 측정에서 배제된다. 그러나 농사현장에서는 이처럼 실험만을 위해 작물을 관리하기 어려우며, 실험구든 대조구든 최대한의 결실을 맺어야 하는 것이 우선이다.

다른 한편으로 연구자의 능력이 부족했던 탓도 크리라 생각한다. 과학적으로 실험을 설계 및 수행하고, 통계학적으로 결과를 해석할 수 있는 지식과 경험이 부족했다. 다만 인류가 농사를 짓기 시작한 이래, 수없는 시도를 해보고, 실패하고, 수정하고, 반복하고, 공유하면서 기술을 발전시켜온 과정도 일종의 과학이었다고 생각한다. 그때그때 잘못된 방식과 관점으로 '실험'을 수행했을 수도 있지만, 오랜 세월 동안 검증 및 배제의 과정을 거쳐 놀라운 기술 발전을 이루어 온 것이다. 따라서 이 연구가 미흡한 부분이 있었더라도 무의미한 투자와 노력은 아니었을 것으로 생각한다. 이 시도가 거름이 되어 다음번에는 어딘가의 누군가가 조금 더 실한 열매를 맺을 수도 있는 것이다. 앞으로 클로렐라를 비롯한 다양한 친환경 농자재들이 고안되고 개발되어 이용되기를 희망한다. 그리하여 농민에게 더 넓은 선택의 폭을 주게 되기를 바란다.

[참고자료]

1. 농사로. <http://www.nongsaro.go.kr>. 담수 클로렐라 자가 배양 따라하기.
2. 농촌진흥청. 2017. 『농업용 클로렐라 품목별 현장활용 방법』.
3. 농촌진흥청 국립농업과학원. 2015. 『클로렐라(담수녹조류) 배양방법 및 농업적 활용』.
4. 이승복. 2017. “클로렐라 농법의 현장 적용 사례 연구”. 공주대학교.