

2026
FBCC Standard
Cryopreservation
Protocol for Freshwater
Microalgae



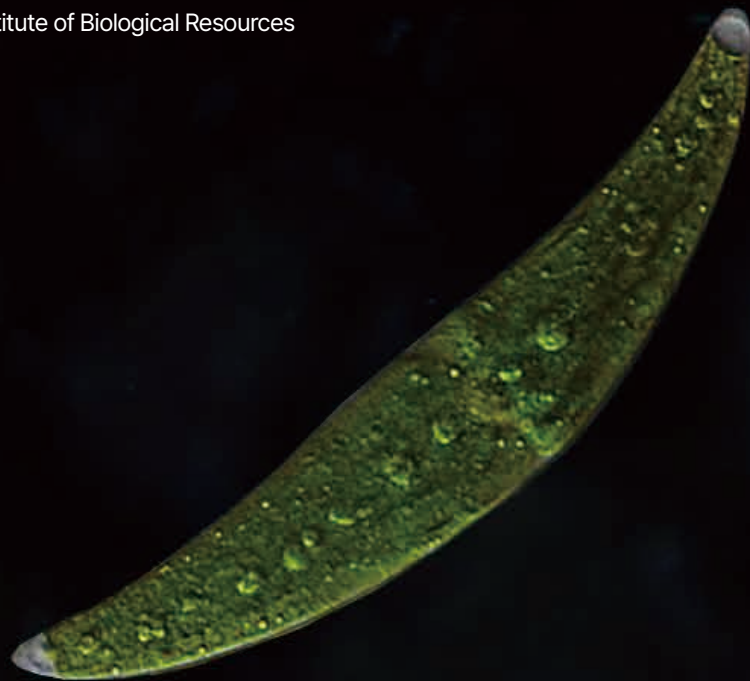
FBCC Standard Cryopreservation Protocol for Freshwater Microalgae:

미세조류 동결 보존 매뉴얼

| Homepage
<http://fbp.nnibr.re.kr/fbcc/>

| Made by
Nakdonggang National Institute of Biological Resources

| Date
31 July 2026





국립낙동강생물자원관

담수생물자원과 함께하는 지속가능한 녹색미래 선도

국립낙동강생물자원관은 국가 생물자원 조기 확보와 생물다양성 보전 및 생물자원의 지속 가능한 이용에 기여하고자 설립되었습니다. 담수 생물자원을 조사·발굴하고, 생물자원의 보전과 이용 기술 개발, 실용화 및 산업화를 지원합니다. 많은 사람이 담수생물의 중요성에 관심을 가질 수 있도록 전시관 및 다양한 교육 프로그램을 운영하고 있습니다.





국립낙동강생물자원관
Nakdonggang National Institute of Biological Resources

담수생물자원은행

FBC
Freshwater Bioresources Culture Collection



발 행 일 2026년 7월 31일

발 행 처 국립낙동강생물자원관
경상북도 상주시 도남 2길 137

저 자 남승원, 국립낙동강생물자원관 선임연구원
전용재, 부경대학교 미생물학과 교수
이재학, 국립낙동강생물자원관 연구원
임준호, 부경대학교 미생물학과 연구원
최성렬, 국립낙동강생물자원관 연구원
문지영, 국립낙동강생물자원관 연구원
김유호, 국립낙동강생물자원관 연구원
정유진, 국립낙동강생물자원관 책임연구원

문 의 seungwon10@nnibr.re.kr

출 판 사 예술기획
부산 동래구 총렬대로459번길 85 1층

ISBN 979-11-92202-25-9

비매품

본 결과물은 기후에너지환경부의 재원으로 한국환경산업기술원의 다부처 국가생명연구자원 선진화 사업의 지원을 받아 수행되었습니다.(RS-2021-KE001786)

이 책에 실린 내용은 국립낙동강생물자원관의 동의 없이 무단으로 전재 및 복제를 할 수 없습니다.

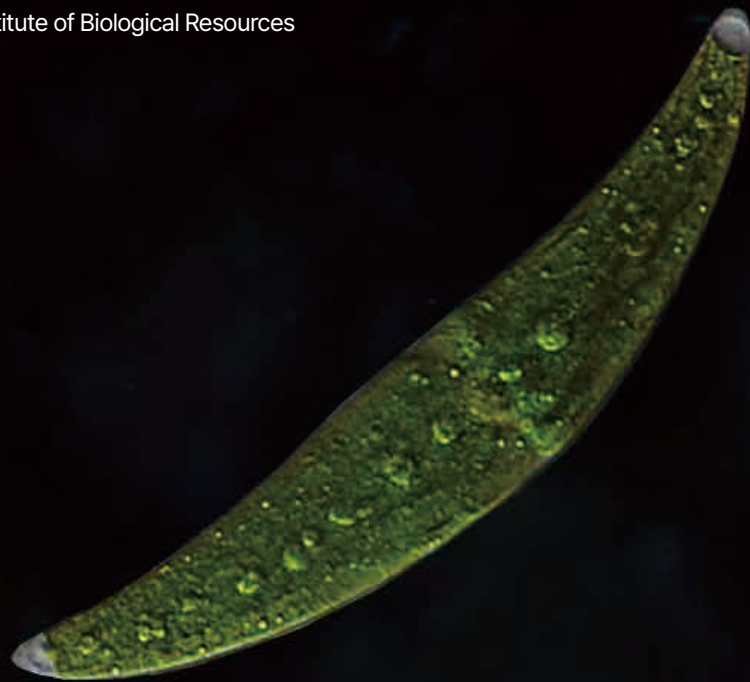
FBCC Standard Cryopreservation Protocol for Freshwater Microalgae:

미세조류 동결 보존 매뉴얼

| Homepage
<http://fbp.nnibr.re.kr/fbcc/>

| Made by
Nakdonggang National Institute of Biological Resources

| Date
31 July 2026





국립낙동강생물자원관

담수생물과 함께하는
세상으로 나아갑니다.

FBCC 연혁

- **2025** 2025 공공기관 고객만족도 조사우수(A) 등급(3년 연속)
- **2024** 생물자원은행 국제표준(ISO 20387)인정 획득
세계미생물자원센터연맹(WFCC) 회원 가입
- **2023** 품질경영시스템(ISO 9001) 인증 획득
공공기관 고객만족도 조사 '우수(A)' 등급 획득
- **2021** 다부처 국가생명연구자원 선진화 사업 수주
담수생물소재선진화 연구단 출범
- **2018** 생물다양성관리기관 지정(기탁·보존기관 등록)
- **2016** 담수생물자원은행 개소

주요기능



유용소재 확보

· 담수생물소재 다양성 확보 및 형태·분자계통 연구



유용정보 DB 구축

· 담수생물소재 유전정보 확보
· 기초 유용성 및 오믹스 정보 확보



보존 · 관리

· 담수생물소재 생체 및 동결 건조 보존
· 담수생물소재 품질관리 및 장기 보존 연구



기탁 · 분양

· 산학연 대상 기탁·분양서비스



교육서비스

· 미세조류 특화 교육

국립낙동강생물자원관 연혁

• 2026

06 공공기관 경영실적 평가 8년 연속 '우수'

• 2023

04 공공기관 고객만족도 6년 연속 '우수'

• 2021

11 안전경영시스템(KOSHA-MS) 인증

• 2020

02 「생물자원관의 설립 및 운영에 관한 법률」 개정·시행

• 2019

10 전시관 관람객 100만 명 돌파

07 식물표본수장고, 세계식물표본관 총량 등재

01 연구개발목적기관 지정

• 2018

01 서식지 외 보전기관 지정

• 2017

12 교육기부 우수기관, 가족친화인증 기관 인증

• 2016

02 기타공공기관 지정(공공기관의 운영에 관한 법률 제5조)

• 2015

01 「국립낙동강생물자원관의 설립 및 운영에 관한 법률」 제정

• 2011

02 국립낙동강생물자원관 건립 공사 추진

주요기능



담수생물 국가자산화

- 신종/미기록종 발굴
- 생물표본 확보
- 수장고 운영 등



담수생물 이용기술개발

- 추출물 등 소재 확보
- 유용성 분석
- 생물소재 분양
- 기술 개발·이전 등



생물다양성 보전 연구

- 담수생물다양성 조사
- 담수멸종위기종 보전
- 기후변화지표종 연구
- 탄소중립 연구 등



전시·교육

- 전시관 운영
- 교육 프로그램 운영
- 지역사회 협력 등

CONTENTS

발간사	8 p
머리말	9 p
담수 미세조류 동결 보존	11 p
배양주 정보 및 최적 동결 보존 조건(63 strains)	49 p
Phylum Chlorophyta 녹조류	
Class Chlorophyceae	
Order Sphaeropleales	
Family Hydrodictyaceae	
<i>Pediastrum duplex</i> FBCC-A669	50 p
<i>Stauridium tetras</i> FBCC-A398	51 p
Family Scenedesmaceae	
<i>Coelastrella thermophila</i> FBCC-A1349	52 p
<i>Coelastrella vacuolata</i> FBCC-A119	53 p
<i>Coelastrum reticulatum</i> FBCC-A1238	54 p
<i>Coelastrum rugosum</i> FBCC-A1202	55 p
<i>Desmodesmus</i> sp. FBCC-A889	56 p
<i>Desmodesmus abundans</i> FBCC-A975	57 p
<i>Desmodesmus communis</i> FBCC-A54	58 p
<i>Desmodesmus communis</i> FBCC-A726	59 p
<i>Desmodesmus communis</i> FBCC-A1433	60 p
<i>Desmodesmus opoliensis</i> var. <i>mononensis</i> FBCC-A995	61 p
<i>Pectinodesmus pectinatus</i> FBCC-A46	62 p
<i>Tetradesmus dimorphus</i> FBCC-A166	63 p
<i>Tetradesmus dimorphus</i> FBCC-A330	64 p
<i>Tetradesmus obliquus</i> FBCC-A900	65 p
<i>Westella botryoides</i> FBCC-A1169	66 p
Family Selenastraceae	
<i>Messastrum gracile</i> FBCC-A754	67 p
<i>Messastrum gracile</i> FBCC-A1056	68 p
<i>Monoraphidium capricornutum</i> FBCC-A907	69 p
<i>Monoraphidium contortum</i> FBCC-A171	70 p
<i>Monoraphidium intermedium</i> FBCC-A172	71 p
<i>Monoraphidium minutum</i> FBCC-A1359	72 p
<i>Monoraphidium nanum</i> FBCC-A1081	73 p
<i>Selenastrum bibraianum</i> FBCC-A275	74 p
<i>Ankistrodesmus bernardii</i> FBCC-A1040	75 p
<i>Ankistrodesmus falcatus</i> FBCC-A1240	76 p
<i>Ankistrodesmus fusiformis</i> FBCC-A1047	77 p
<i>Ankistrodesmus spiralis</i> FBCC-A1048	78 p
Order Volvocales	
Family Chlorococcaceae	
<i>Chlorococcum macrostigmatum</i> FBCC-A443	79 p
<i>Chlorococcum pamirum</i> FBCC-A113	80 p
Family Pleurastraceae	
<i>Pleurastrum microstigmatum</i> FBCC-A1226	81 p
Family Tetrabaenaceae	
<i>Tetrabaena socialis</i> FBCC-A1324	82 p
Family Volvocaceae	
<i>Eudorina unicocca</i> FBCC-A1323	83 p
Class Trebouxiophyceae	
Order Chlorellales	
Family Chlorellaceae	
<i>Chlorella</i> sp. FBCC-A442	84 p
<i>Chlorella</i> sp. FBCC-A1344	85 p

	<i>Dictyosphaerium ehrenbergianum</i> FBCC-A283	86 p
	<i>Dictyosphaerium lacustre</i> FBCC-A445	87 p
	<i>Micractinium pusillum</i> FBCC-A1191	88 p
	<i>Parachlorella kessleri</i> FBCC-A403	89 p
Order	Prasiolales	
	Family Stichococcaceae	
	<i>Deuterostichococcus marinus</i> FBCC-A176	90 p
	<i>Stichococcus bacillaris</i> FBCC-A178	91 p
	<i>Stichococcus bacillaris</i> FBCC-A265	92 p
Order	Trebouxiophyceae ordo incertae sedis	
	Family Trebouxiophyceae incertae sedis	
	<i>Chlorolobion braunii</i> FBCC-A1050	93 p
	<i>Chlorolobion lunulatum</i> FBCC-A170	94 p
Order	Watanabeales	
	Family Watanabeaceae	
	<i>Chloroidium ellipsoideum</i> FBCC-A790	95 p
Phylum	Charophyta 윤조류	
	Class Zygnematophyceae	
	Order Desmidiaceae	
	Family Closteriaceae	
	<i>Closterium pritchardianum</i> FBCC-A505	96 p
	<i>Closterium moniliferum</i> FBCC-A610	97 p
	Family Desmidiaceae	
	<i>Cosmarium costatum</i> FBCC-A619	98 p
	<i>Cosmarium decedens</i> FBCC-A621	99 p
	<i>Cosmarium impressulum</i> FBCC-A628	100 p
Order	Zygnematales	
	Family Mesotaeniaceae	
	<i>Netrium</i> sp. FBCC-A508	101 p
Phylum	Cyanobacteriophyta 남조류	
	Class Cyanophyceae	
	Order Chroococcales	
	Family Microcystaceae	
	<i>Microcystis aeruginosa</i> FBCC-A59	102 p
	<i>Microcystis protocystis</i> FBCC-A270	103 p
	<i>Synechocystis diplococca</i> FBCC-A1156	104 p
Order	Chroococcidiopsidales	
	Family Chroococcidiopsidaceae	
	<i>Chroococcidiopsis thermalis</i> FBCC-A344	105 p
Order	Nostocales	
	Family Aphanizomenonaceae	
	<i>Dolichospermum circinalis</i> FBCC-A103	106 p
	<i>Trichormus variabilis</i> FBCC-A106	107 p
Order	Pseudanabaenales	
	Family Pseudanabaenaceae	
	<i>Pseudanabaena amphigranulata</i> FBCC-A297	108 p
	<i>Pseudanabaena minima</i> FBCC-A254	109 p
	<i>Pseudanabaena mucicola</i> FBCC-A1147	110 p
Order	Synechococcales	
	Family Synechococcaceae	
	<i>Synechococcus epigloeicus</i> FBCC-A1152	111 p
	<i>Synechococcus nidulans</i> FBCC-A1153	112 p
부록		113 p



발간사

GREETING

담수 미세조류는 수생 생태계의 건강성을 유지하는 핵심 생물자원이자, 바이오 에너지·기능성 소재·환경 정화 등 미래 바이오산업의 중요한 소재로 주목받고 있습니다. 특히 기후변화와 자원 안보의 중요성이 커지는 시대에, 생물자원의 안정적 확보와 장기 보존 기술은 국가 경쟁력을 좌우하는 핵심 요소가 되고 있습니다.

국립낙동강생물자원관 담수생물자원은행(FBCC)은 국내 유일의 담수생물 전문 보존기관으로서, 담수 미세조류 자원의 수집·보존·관리 체계를 지속적으로 고도화해 왔습니다. 특히 초저온 동결 보존 기술은 유전적 안정성과 장기 활용성을 동시에 확보할 수 있는 핵심 기술로, 생물자원의 지속가능한 관리와 활용 기반 구축에 매우 중요한 의미를 갖고 있습니다.

이번에 발간하는 『FBCC Standard Cryopreservation Protocol: 담수 미세조류 동결 보존 매뉴얼』은 우리 기관이 그간 축적해 온 담수 미세조류의 동결 보존과 관련한 연구 성과와 현장 경험을 바탕으로 마련한 표준 절차서입니다. 본 매뉴얼이 연구와 산업현장에서 동결 보존 기술이 보다 쉽게 활용될 수 있도록 돕고, 국내 담수 미세조류 보존 체계의 표준화와 활용 확대에 기여하기를 기대합니다.

앞으로도 국립낙동강생물자원관은 과학적 근거에 기반한 생물자원 관리 기술 개발과 국가 생명연구자원 인프라 고도화를 지속적으로 추진하여, 미래 생물산업 발전과 국가 생물주권 강화에 기여해 나가겠습니다. 본 매뉴얼의 발간을 위해 힘써 주신 모든 연구진과 관계자 여러분께 깊이 감사드립니다.

2026년 07월
국립낙동강생물자원관장 **용석원**



머리말

FOREWORD

미세조류는 지구 생태계의 핵심 1차 생산자로서 생태·환경·산업 전반에서 중요한 역할을 담당하고 있습니다. 최근 바이오에너지, 친환경 소재, 고부가 기능성 물질, 수질 정화 등 미래 산업 분야의 자원으로서 가치가 더욱 부각되면서, 미세조류 기반 생명자원의 확보와 안정적 활용에 대한 관심 또한 빠르게 증가하고 있습니다. 이러한 흐름 속에서 표준화된 보존 기술, 그리고 장기 소재 관리 체계 구축의 중요성은 더욱 커지고 있습니다.

그러나 미세조류는 계통과 종별로 세포 구조, 대사 체계, 동결 내성, 삼투압 반응 등 형태적·생리적 특성이 크게 달라 보존 기술을 일괄적으로 적용하기 어렵습니다. 이러한 생물학적 특성의 다양성은 보존 조건에 대한 감수성에서도 뚜렷하게 나타나며, 결국 미세조류 보존기술은 단순한 기법의 적용을 넘어 종별 특성을 이해한 맞춤형 접근이 필수적임을 보여줍니다.

현재 동결 보존, 동결 건조, 저온 고체배양 등 다양한 기법이 활용되고 있지만, 그 성공 여부는 소재의 특성에 크게 좌우됩니다. 그럼에도 “왜 특정 조건에서 생존율이 높아지는가?”, “무엇이 장기적 안정성을 결정하는가?”와 같은 근본적인 질문은 여전히 충분히 규명되지 않았으며, 이러한 해석의 부족은 현장에서 보존 전략을 수립하는 데 지속적인 어려움으로 이어지고 있습니다.

본 매뉴얼은 이러한 간극을 줄이기 위해, 연구실과 현장에서 축적해 온 경험과 시행착오, 그리고 다양한 실험 성과를 바탕으로 미세조류 보존 기술의 원리와 실제 적용 방법을 체계적으로 정리하고자 하였습니다. 모든 질문에 완벽한 답을 제시할 수는 없지만, 이 매뉴얼이 연구자들의 고민을 덜어 주고 새로운 탐구의 출발점이 되기를 기대합니다.

국립낙동강생물자원관은 생물자원 확보와 보존을 통해 국가적 생물 다양성 보전과 미래 산업 기반 구축에 기여하고 있습니다. 본 매뉴얼이 이러한 사명에 작은 보탬이 되고, 다양한 미생물자원의 장기 보존 전략 수립에도 도움이 되기를 바랍니다.

끝으로, 본 매뉴얼의 발간을 위해 함께 애써 주신 모든 연구자와 관계자 여러분께 깊이 감사드립니다. 이 책이 미세조류 연구의 기반을 더욱 단단히 하고, 생명자원 관리 분야에서 폭넓게 활용되기를 기원합니다.

2026년 07월 대표저자

국립낙동강생물자원관 남승원
부경대학교 미생물학과 전용재

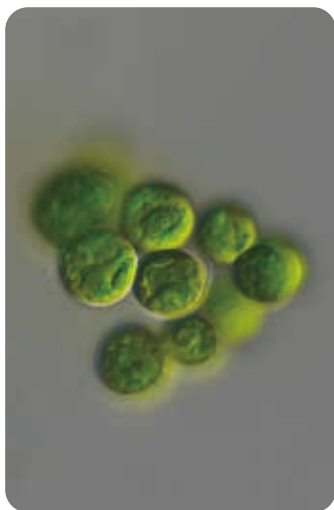


담수 미세조류 동결 보존

Cryopreservation of freshwater microalgae

미세조류의 다양성과 분포

Diversity and Distribution of Microalgae



미세조류는 다양한 환경에서 자생하는 광합성 미생물로, 선태, 양치, 종자식물을 제외한 대부분의 광합성 생물을 포괄한다. 약 10,000여 종의 화석종이 보고되었고 실제 종 수는 훨씬 많아 최대 100만 종까지 추정되고 있다(Guiry, 2012). 예를 들어 규조류만 해도 전 세계적으로 약 1만 종 이상이 보고되었으며, 와편모조류는 약 4,000여 종이 알려져 있다(Werner, 1977; Leblanc et al., 2012; Manning et al., 2021). 이처럼 미세조류는 녹조류, 규조류, 와편모조류 등 다양한 분류군을 포함하며 생태계 전반에 걸쳐 광범위하게 분포한다.

담수 미세조류의 생태학적 역할과 기능

Ecological Roles and Functions of Freshwater Microalgae

미세조류는 담수 생태계의 1차 생산자로서 핵심적 역할을 한다. 광합성을 통해 전 지구 광합성 생산량의 40~50%를 담당하며, 연간 약 45~50 Gt의 이산화탄소를 고정한다(Sommer et al., 2002; Kirchman, 2018; Vera-Vives et al., 2024). 이 과정에서 방출되는 산소는 수생태계뿐만 아니라 지구 대기의 산소 공급에도 기여한다. 또한 미세조류는 먹이사슬의 기초를 형성하여 어류·무척추동물 등의 먹이원으로 기능하며, 고차 소비자의 생존을 위한 영양분을 제공한다(Kang et al., 2003; Ma & Hu, 2024).

이처럼 담수 미세조류는 높은 광합성 생산력과 영양물질 순환 기여를 통해 탄소 고정과 생태계 기초 생물량 형성에 중요한 역할을 한다.

미세조류의 수질 정화 및 환경 개선 기능

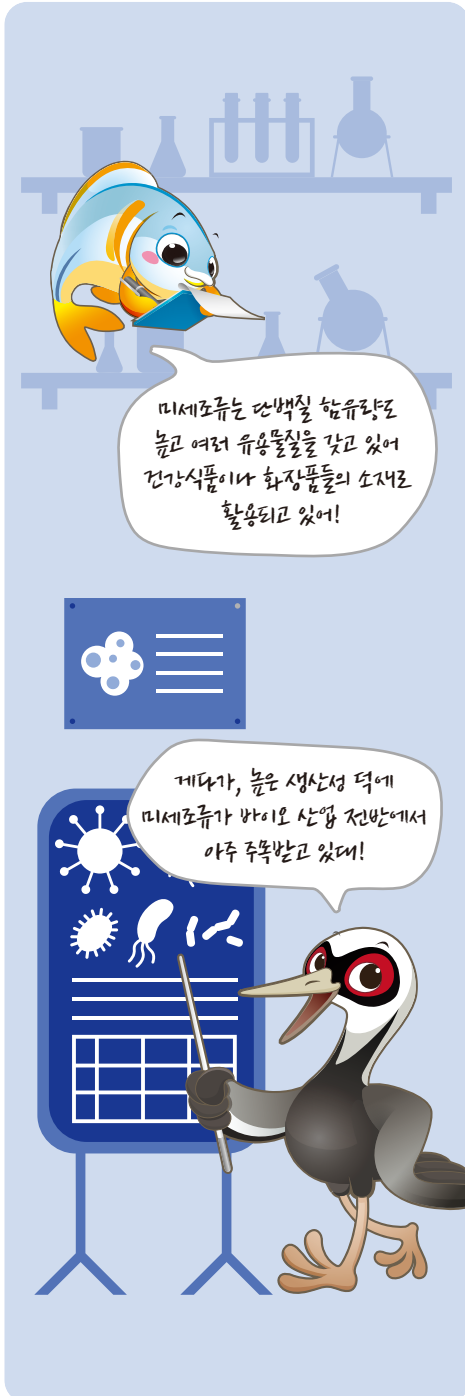
Water Purification and Environmental Improvement Functions of Microalgae



미세조류는 수질 환경 정화에도 기여한다. 질소(N)와 인(P) 같은 영양염류를 흡수하여 부영양화를 억제하며, 중금속과 같은 오염 물질을 생체 내에 축적함으로써 수질을 개선한다. 예를 들어 Baldisserotto 등(2020)의 연구에서 분리된 담수 녹조류는 하·폐수에서 암모니아성 질소를 약 85%, 인산염을 약 94%까지 제거하는 것으로 나타났다.

이처럼 미세조류는 높은 영양염류 제거 능력을 바탕으로 하천·호소의 부영양화를 완화하고 환경 오염 물질 농도를 낮추는 데 활용된다. 또한 미세조류의 종 분포와 다양성은 환경 변화에 민감하여 생태계 건강성을 측정하는 지표가 되기도 한다(Omar, 2010).





담수 미세조류의 산업적 가치

Industrial Value of Freshwater Microalgae

담수 미세조류는 생장 속도가 빠르고 단위 면적당 생산량이 높아 산업적으로도 중요한 자원이다. 예를 들어 *Chlorella* 등 일부 녹조류는 건조 중량의 절반 이상이 단백질로 구성되어 있다. 동일한 면적(1,000 m²)에서 3개월간 미세조류와 대두의 생산성을 비교하였을 때, 대두의 수확량은 약 350 kg에 불과한 반면 미세조류는 3,600 kg 이상의 바이오매스를 생산할 수 있어 기존 농작물 대비 높은 생산성을 보인다(Chen et al., 2022).

이러한 미세조류의 높은 생산성으로 인해 이들이 다양한 바이오 산업의 원천소재로 주목받고 있다. 특히, *Chlorella*와 *Spirulina* 등은 고단백 영양 성분과 비타민·미네랄 등이 풍부하여 인체용 건강보조 식품이나 동물과 양식용 사료로 널리 사용된다.

예를 들어 *Chlorella vulgaris*는 지속가능한 동물 사료 보충원으로 주목받고 있으며, *Spirulina platensis*는 전 세계적으로 인간과 가축의 보충제 또는 사료로 활용되고 있다(EI-Shall et al., 2023; Gadzama et al., 2025).

미세조류의 환경·산업적 응용

Environmental and Industrial Applications of Microalgae

환경정화 분야에서도 미세조류의 산업적 활용이 활발하다. 하·폐수 처리에서 미세조류를 활용하면 배출수 중의 영양염류를 효과적으로 제거할 수 있다(Baldisserotto et al., 2020).

폐수의 암모늄과 인산염을 조류가 흡수하여 성장에 이용함으로써 수질 정화와 동시에 부가가치가 있는 조류 바이오매스를 생산할 수 있으며, 이 밖에도 일부 미세조류는 중금속 흡착 능력이 뛰어나 토양과 수질 정화용으로 이용 가능하다. 의약·화장품 산업에서도 미세조류 유래 물질의 활용 가능성이 주목받고 있다. 미세조류는 항산화·항암·항염증·항균 등의 생리활성 물질(피코빌리프로틴, 다당류, 지방산, 비타민 등)을 합성하여 함유하고 있다(Coulombier et al., 2021).

이러한 화합물들은 활성산소 제거, 피부 보습, 노화 방지 등 다양한 기능을 가지므로 화장품 및 제약 소재로 응용된다. 실제로 *Chlorella* 추출물은 풍부한 항산화 성분 덕분에 피부 보습·항노화 기능성 화장품 개발에 활용되고 있다. 이처럼 미세조류 유래 바이오활성 물질은 화장품과 의약품 산업에 신소재로서 가치를 더해가고 있다.





Limitations of Conventional Preservation Methods 기존 보존 기법의 한계

연구와 산업에서 다양한 미세조류 배양주를 안정적으로 보존하는 것은 매우 중요하다. 그러나 전통적인 보존 방법은 여러 한계를 지닌다. 가장 대표적인 방식인 계대배양(sub-culturing)은 미세조류를 비롯한 많은 미생물을 위한 대중적이면서 보편적인 보존법이지만, 지속적으로 반복되는 작업이 필요하다. 일반적으로 2~3주마다 신선한 배지로 옮겨주어야 하는데, 이 과정은 지속적인 인력과 재화 그리고 사·공간을 요구하며 교차 오염 및 배양주 간 혼입 등의 위험이 커 효율성 및 소재 보존 안전성이 낮다(Ali et al., 2021; Prieto-Guevara et al., 2023).

또한 반복적인 배양 동안 유전적 부동(genetic drift)이나 표현형 변화가 발생할 수 있어 장기간 보존 시 배양주 특성이 불안정해질 우려가 존재한다(Sakurai & Kawasaki, 2018; Kapoore et al., 2019; Peng & Liang, 2020).



달이야 그거 알아? 기존에 쓰이던 미세조류 보존법인 계대배양은
손이 많이 간대! 그리고 오염이 발생할 위험도 높고, 시간이 지나면
배양주의 성질이 달라질 수도 있대

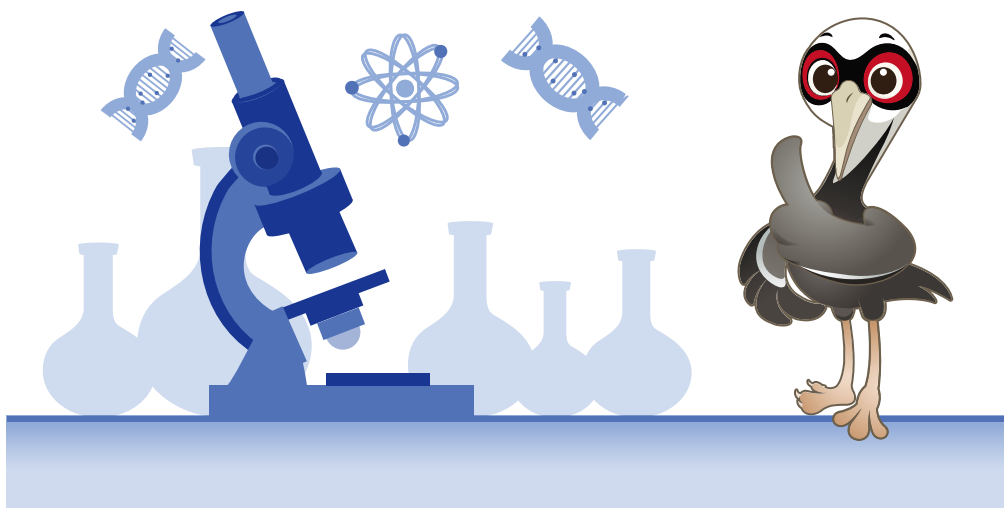
맞아! 동결 건조 방식으로 써봤지만, 미세조류는 너무 예민해서
대부분 살아남지 못한다고 해



그래서 지금은 이런 한계를 극복할 수 있는 새로운 보존 기술을
열심히 연구 중이라고해~ 미세조류를 안정적으로
오래 보관할 수 있다면, 산업에도 큰 도움이 될 수 있겠지?



두 번째 방식인 동결 건조(lyophilization)법은 박테리아나 효모처럼 일부 균류에서는 장기 보존이 가능하지만, 진핵 미세조류에서는 성공률이 매우 낮다. Kapoore 등(2019)의 연구에 따르면 미세조류를 동결 건조할 경우 생존율은 0.001% 미만으로 극도로 낮아 거의 복구가 불가능하다. 이는 동결·건조 과정에서 발생하는 세포 내외 얼음 결정에 의한 세포 구조 파괴 및 건조 스트레스에 의한 단백질 변성 등이 원인이다. 따라서 동결 건조는 대부분의 미세조류에 적합하지 않다. 이러한 한계로 인해 미세조류의 안정적 장기 보존을 위한 새로운 기술 개발이 요구된다.



초저온 동결 보존의 원리와 장점

초저온 동결 보존의 원리

principles of cryopreservation

초저온 동결 보존(cryopreservation)은 미세조류의 안정적 장기 보존을 위한 유력한 방법 중 하나이다. 동결 보존에서는 세포를 초저온(-80°C 이하)으로 급속 냉각하여 대사 활동을 사실상 정지시킨 상태로 보관한다(Prakash et al., 2020).

이렇게 보존된 배양주는 필요시 해동하여 재배양할 수 있으며, 이 과정에서 원래의 생리적·유전적 특성이 잘 유지될 수 있다(Boswell et al., 2021). 또한 동일한 공간에서 많은 배양주를 반영구적으로 저장할 수 있어 장기간 계대배양에 비해 관리 효율이 우수하다(Castro-Rios & Bermeo-Escobar, 2021).

동결 보존법의 핵심은 세포 손상을 최소화하는 것이다. 이를 위해 동결 보호제(Cryoprotective agent, CPA)를 사용한다. 일반적으로 동결 보호제는 침투성 동결 보호제와 비침투성 동결 보호제로 나뉜다. 침투성 동결 보호제는 디메틸설폭사이드(Dimethyl sulfoxide, DMSO), 메탄올, 글리세롤 등이 있으며 세포 내부로 침투하여 얼음 결정 형성을 억제하고 삼투 조절을 돕는다. 반면 비침투성 동결 보호제는 자당, 트레할로스, 폴리에틸렌글리콜 등으로 세포 외부에서 수분을 끌어당겨 세포를 탈수 상태로 유지함으로써 냉동 스트레스로부터 보호한다(McGann, 1978; Ali et al., 2021; Kato et al., 2023; Murray et al., 2024).

경우에 따라, 두 종류의 동결 보호제를 적절히 혼합하여 사용하면 각 물질의 보호 효과를 증대시킬 수 있다(Best, 2015; Poisson et al., 2018; Ribeiro et al., 2025).

동결 과정 또한 중요한 고려사항이다. 일반적으로 시행되는 단계적 동결법(2. 동결 보존, p.37 참조)은 세포 내 얼음 형성을 줄여 세포 손상을 줄이고 해동 후 생존율을 높인다. 또한, 해동 단계에서는 $37\text{--}40^{\circ}\text{C}$ 조건에서 빠르게 해동해야 세포 손상을 최소화할 수 있다(Prieto-Guevara et al., 2023).

초저온 동결 보존의 장점

Advantages of cryopreservation

이처럼 초저온 동결 보존은 세포 대사 활동을 멈추어 오랜 기간 동안 배양주를 안정적으로 유지하게 하며, 계대배양에 필요한 노동력과 오염 위험을 획기적으로 줄일 수 있다. 동결 보존 기술이 확립되면 연구자와 산업계는 고부가가치의 미세조류 배양자원을 필요할 때마다 해동하여 활용할 수 있어, 바이오연료·의약품 개발 등 다양한 분야에서 안정적인 자원 공급이 가능해진다. 또한 다양한 분류군에 대해 많은 자원을 보존하는 생물자원은행의 운영은 물론 국가 생물주권 확보 측면에서도 매우 중요한 기술이다.



담수 미세조류의 동결 보존과 표준화

Standardization of Cryopreservation for Freshwater Microalgae



전 세계적으로 여러 미세조류 보존기관이 초저온 동결 보존법을 적용하여 배양체를 보존하고 있다. 미국 텍사스대학교 오스틴 조류배양체은행(The Culture Collection of Algae at The University of Texas at Austin, UTEX)에서 보존 중인 미세조류 배양체는 3,025주이며, 이 중 797주(26.3%)를 동결 보존하고 있다. 또한 미국 국립 해양조류 및 미생물자원센터(National Center for Marine Algae and Microbiota, NCMA)에서는 2,753 미세조류 배양체 중에서 1,530주(55.6%)를 동결 보존하고 있다(2026년 6월 기준).

이러한 기관들은 계대배양의 한계를 보완하기 위해 메탄올, 디메틸 설펡사이드, 글리세롤 등의 동결 보호제와 냉각속도 제어동결기(Controlled rate freezer, CRF)를 활용한 동결 보존 프로토콜을 표준화하고 있다.

우리나라에서도 동결 보존 기술을
개발 중이고 알긴산 마이크로캡슐과 같은
새로운 방법으로 재배양률을
높이고 있다고해!



국내 미세조류 동결 보존 연구 동향

Domestic Research Trends in Microalgae Cryopreservation

국내에서도 관련 연구가 점차 활성화되고 있다. 국립낙동강생물자원관은 2016년부터 담수 미세조류의 동결 보존 기술 개발에 착수하여, 여러 담수 조류에 대한 최적의 동결 보호제와 냉각 조건을 탐색하는 연구를 진행해 왔다.

또한 2021년부터는 '다부처 국가 생명연구 자원 선진화 사업'의 일환으로 담수 미세조류 장기 보존 기술을 연구 중이며, 전통적 계대배양의 자원 소모와 장기 보존의 어려움을 해결하기 위한 종별 최적 동결 보존 프로토콜을 마련하고 있다. 최근에는 미세조류 동결법 개선을 위해 알긴산염 마이크로캡슐을 지지체로 활용하여 미세조류의 재배양률을 개선한 연구 결과도 발표하였다 (Park et al., 2020).

이러한 국내외 사례는 미세조류 동결 보존 기술이 미개척 분야임에도 불구하고 빠르게 발전하고 있음을 보여준다.





담수 미세조류는 생물다양성에 기반한 생태계 전반의 건강성 유지와 생물소재 관련 바이오 산업적 측면에서 매우 중요한 자원이다. 그러나 기존 보존법의 한계로 인해 다양한 유용 배양주를 안정적으로 관리하기 어려웠다. 이에 초저온 동결 보존 기술은 각 미세조류의 특성에 맞춘 표준화된 절차를 제공함으로써, 학술연구자와 산업 종사자들이 쉽게 활용할 수 있는 솔루션이 될 것이다. 본 절차서는 동결 전 순수 배양체 확보에서 동결, 해동, 보존 효율 평가에 이르기까지 전 과정을 다루어, 관련 분야의 누구나 쉽게 따라 할 수 있도록 고안되었다.

이를 통해 다양한 미세조류 종의 유전적 안정성을 유지하면서 장기 보존이 가능해지고, 바이오 연료·식품·의약품 개발 등에서 안정적인 원료 공급 기반이 구축될 것이다. 또한 국가 생물주권 강화와 지속 가능한 생물자원 관리에 기여하여, 우리나라의 생물다양성 보전 및 산업 경쟁력 향상에 크게 이바지할 것으로 기대된다.



담수 미세조류는 생태계 건강을 유지하는 데 중요하고,
바이오 산업에서도 활용도가 높은 자원이야. 하지만
기존 보존 방법으로는 배양주를 안정적으로 관리하기 어려웠어.

그래서 미세조류를 오래 보관할 수 있는
초저온 동결 보존 기술이 활용되고 있어.



이 방법을 사용하면 미세조류의 유전적 안정성을 유지하면서
장기 보존이 가능해. 또 바이오연료, 식품, 의약품 개발에
필요한 안정적인 생물자원 확보에도 도움이 될 거야.



미세조류는 아주 작지만, 생태계의 균형을 지켜주는 소중한 존재야.
이전 초저온 동결 보존 기술로 이런 미세조류를 오래 지켜낼 수 있어



정말 대단하지? 이렇게 지켜낸 미세조류가
앞으로는 식품, 의약품, 에너지까지
우리 삶을 바꾸는 힘이 될 거야



동결 보존 방법

동결 보존 실험 절차 모식도

미세조류 배양체



순수분리



생장분석

최적 배양 조건 탐색

흡광도 평가: 마이크로플레이트 리더
생균수 평가: 자동세포계수기

배양 배지

BG-11, BBM, MBBM, DY-V, TAP

배양 온도

13~33°C

배양 광도

20~108 $\mu\text{mol} \cdot \text{photons}/\text{m}^2\text{s}$

최적 동결 조건 탐색

세포 농도

1×10^5 , 1×10^6 , 1×10^7 cells/mL

암조건 처리

해동 후 24시간 동안 명조건/암조건에서 배양

동결 온도 제어

사용 기기: 초저온 냉동고, 냉각 속도 제어 동결기
최종 보존 온도: -80°C(초저온 냉동고), -150°C 이하(액체질소탱크)

급속 동결

20°C → -150°C 이하

1단계 동결

20°C → -80°C(분당 -1°C)

2단계 동결

20°C → -80°C(분당 -1°C, -80°C 20분간 유지) → -150°C 이하

3단계 동결

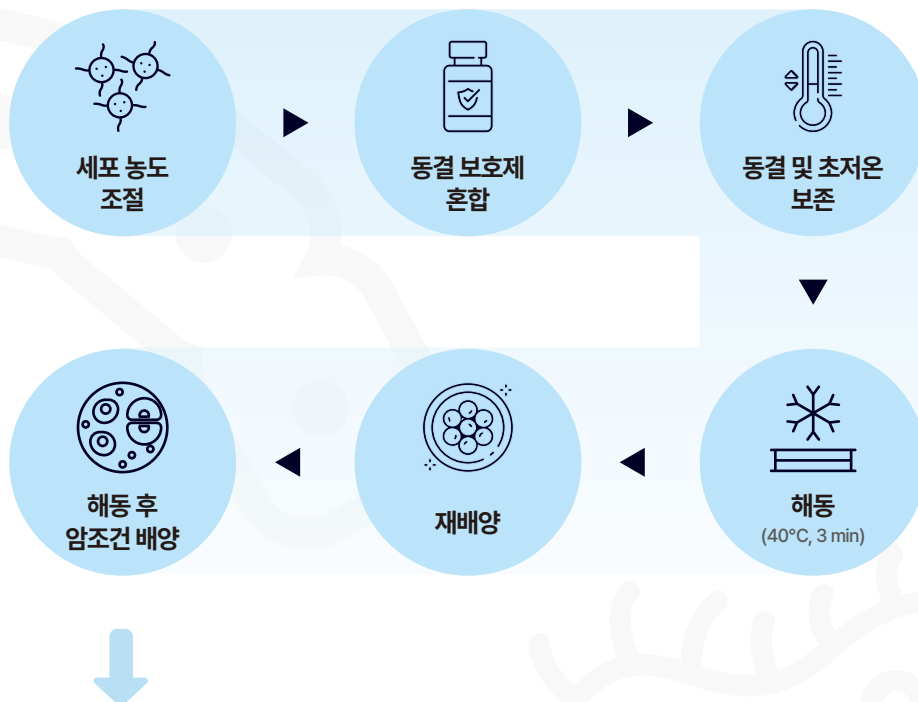
20°C → -40°C(분당 -1°C, -80°C 20분간 유지) → -80°C(분당 -1°C, -80°C 20분간 유지) → -150°C 이하

동결 보호제

종류: MeOH, DMSO, Glycerol
농도: 5%, 10%, 15%, 20%

동결 보호제 독성평가
: 육안 평가, 세포 수 측정

동결 보존 및 해동



동결 보존 평가

회복률	동결 전·후, 일정 기간 배양을 통한 흡광도 혹은 세포수 측정
생존율	형광 활성화 세포 분류법이나 형광 염색을 통한 동결 전·후 생존율 측정 세포를 검경하거나 자동 세포계수기를 이용하여 동결 전·후 세포수 비교
집락형성	동결 전·후 집락 수 비교
안정성	엽록소와 지질 등의 생리학적 안정성 평가 광학현미경을 이용한 형태학적 안정성 평가

자, 우리 이제 본격적인
동결 보존 실험을 하러 가볼까?



1. 동결 배양 소재 준비

1.1. 미세조류 순수 분리

실험목적: 동결 보존 실험의 정확성과 재현성을 확보하기 위해 순수 분리된 미세조류 배양체가 필요하다. 만약 미세조류 배양체에 다른 미세조류나 세균이 혼재 되어있는 경우, 동결 보존 실험에 앞서 순수 분리 과정을 수행해야 한다.



동결 보존 실험을 제대로 하려면
먼저 미세조류를 깨끗하게 분리해야 해.
다른 미생물이 섞여 있으면 결과가 달라질 수도 있거든.

그래서 순수하게 분리된 배양체가 꼭 필요하구나!
실험 전에 한 번 더 확인해야겠네.



맞아, 작은 차이 하나가 큰 영향을 주니까.
순수분리를 잘 해두면, 훨씬 정확한 결과를 얻을 수 있어.
실험의 시작은 언제나 '깨끗한 준비'부터야.

1.1.1. 도립현미경법

- 도립현미경 하에서 미세 유리관(파스퇴르 피펫)을 이용하여 세포를 분리하고 세척한다.
- 분리 및 세척 과정을 여러 차례 반복하여 세균이나 다른 미세조류를 분리한다.
- 분리한 세포는 새로운 세포 배양판에 접종하여 배양한다.
- 세포가 성장하면 플라스크에 접종하여 배양한다.



▲ [그림 1-1] 미세 유리관을 이용한 미세조류 단종 분리 수행 과정

1.1.2. 획선 도말법(Streaking)

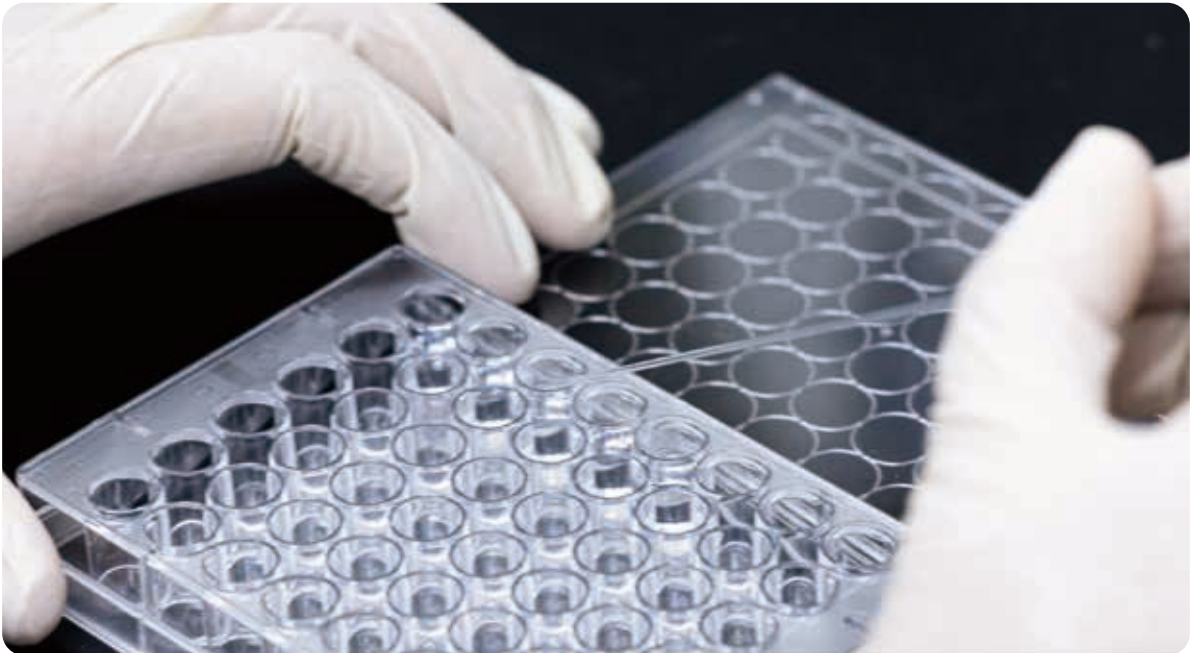
- 액체배지에 1.8% 한천을 첨가하여 고체배지를 제작한다.
- 고체배지에 미세조류 배양액을 획선 도말한다.
- 3~4주 동안 배양하고 형성된 집락이 단종 분리 상태가 될 때까지 반복 수행한다.



▲ [그림 1-2] 고체배지에 획선 도말을 하는 모습

1.1.3. 항생제 처리

- 미세조류를 도말한 고체배지에 항생제¹⁾ 디스크를 올려 억제환 형성 여부를 확인한다.
1) 페니실린, 엔로플록사신, 스트렙토마이신, 세파렉신 등을 사용한다.
- 억제환이 형성된 항생제는 미세조류 배양액에 첨가하여, 생장 및 형태 변화를 관찰하고 항생제 감수성 여부를 평가한다.
- 미세조류가 해당 항생제에 감수성을 보이지 않을 경우, 배양액을 고체배지에 도말하여 단일 집락 형성 여부를 통해 단종 분리 상태를 확인한다.²⁾
2) 단, 항생제를 통해 공생균을 완전히 제거하는 것은 매우 어렵고, 제거하더라도 미세조류의 생장이 느려지거나 중단되는 경우가 흔히 발생하여 일반적으로 권장되지 않는다.
- 이후, 분리된 세포는 세포 배양판에서 배양한 뒤, 플라스크로 옮겨 계대배양한다.



▲ [그림 1-3] 분리한 미세조류를 96 세포 배양판에 접종하는 모습

1.2. 미세조류 배양

실험목적 : 동결 보존에 앞서 단종 분리된 미세조류를 충분히 확보하고,
해동 후 신속하게 세포를 회복할 수 있는 최적 배양 조건을 탐색한다.



미세조류의 최적 조건을 찾으려면
온도는 15도에서 30도 사이로 조절하고,
빛의 세기는 20~216 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$ 로 맞춰줘야 해.

그렇구나! 꽤 섬세하네!
그럼 이렇게 맞춘 상태로 미세조류를 며칠정도 배양해야지.
각 조건별로 성장 차이를 비교할 수 있어?



보통은 5일 동안 광배양기에서 자라게 해.
광생물반응기를 쏘 때는 96 세포 배양판에 분주해서,
각 조건별로 성장 차이를 비교할 수 있지.

아하! 이제 알겠어
그래야 진짜 '최적 배양 조건'을 찾을 수 있겠네!

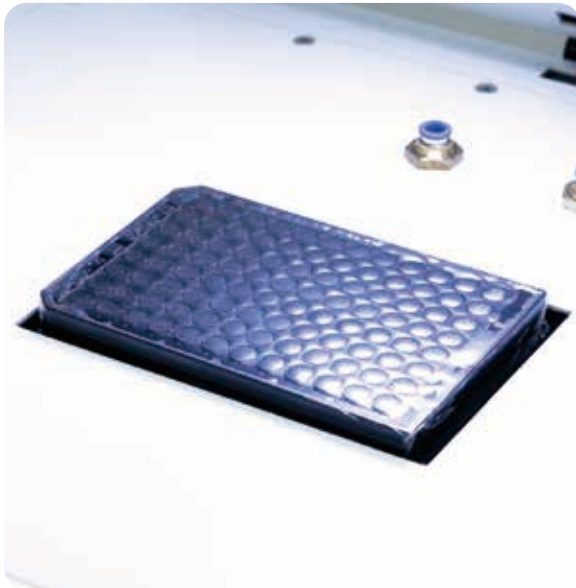


1.2.1. 미세조류 최적 배양 온도, 광도 탐색

- 미세조류를 플라스크에 분주한 후, 시험 온도 범위는 15~30°C 광도 범위는 20~216 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$ 로 설정된 한 광배양기에서 5일간 배양한다.
- 광생물반응기 사용 시, 미세조류를 96 세포 배양판에 분주하고, 아래의 조건으로 맞추어 배양한다.

1.2.2. 미세조류 최적 배양 배지 탐색

- 배양 배지(Table 1)에 미세조류 초기 접종 세포수를 측정 후 배양한다.
- 각 시료는 1.2.1에서 탐색한 최적 온도 및 광도 조건으로 광배양기에서 1주간 배양한다.
- 2일 간격으로 세포수를 측정(1.3. 참고)하여 성장 경향을 확인하고, 흡광도가 가장 높은 해당 배양주의 최적 배양 배지로 선정한다.



▲ [그림 1-4] (좌상) 광생물반응기에 사용되는 세포 배양판, (좌하) 광생물반응기 배양조건, (우) 광생물반응기

● 표 1. 미세조류 배양에 사용되는 배지 조성(BG-11, BBM, MBBM, DY-V, TAP)

Component	Culture medium				
	BG-11	BBM	MBBM	DY-V	TAP
NaNO₃	1500 mg/L	250 mg/L	750 mg/L	20 mg/L	
	1.76×10^{-2} M	2.94×10^{-3} M	8.82×10^{-3} M	2.35×10^{-4} M	
CaCl₂ · 2H₂O	27 mg/L	25 mg/L	25 mg/L	75 mg/L	50 mg/L
	1.87×10^{-4} M	1.70×10^{-4} M	1.70×10^{-4} M	5.10×10^{-4} M	3.40×10^{-4} M
MgSO₄ · 7H₂O	75 mg/L	75 mg/L	75 mg/L	50 mg/L	100 mg/L
	3.04×10^{-4} M	3.04×10^{-4} M	3.04×10^{-4} M	2.03×10^{-4} M	4.06×10^{-4} M
K₂HPO₄ · 3H₂O	51.12 mg/L	98.27 mg/L	75 mg/L		144 mg/L
	2.24×10^{-4} M	4.31×10^{-4} M	3.29×10^{-4} M		6.31×10^{-3} M
KH₂PO₄		175 mg/L	175 mg/L		50 mg/L
		1.29×10^{-3} M	1.29×10^{-3} M		3.67×10^{-4} M
NaCl		25 mg/L	25 mg/L		
		4.28×10^{-4} M	4.28×10^{-4} M		
NH₄Cl				2.68 mg/L	380 mg/L
				5.01×10^{-5} M	7.01×10^{-3} M
(NH₄)₆Mo₇O₂₄ · 4H₂O					10 mg/L
					8.09×10^{-6} M
NaH₂PO₄ · H₂O				5 mg/L	
				3.62×10^{-5} M	
EDTA	1 mg/L	50 mg/L			
	3.42×10^{-6} M	1.71×10^{-4} M			
Na₂EDTA · 2H₂O			4.98 mg/L	8 mg/L	50 mg/L
			1.34×10^{-5} M	2.15×10^{-5} M	1.34×10^{-4} M
Na₂CO₃	20 mg/L				
	1.89×10^{-4} M				
KCl				3 mg/L	
				4.02×10^{-5} M	
KOH		31 mg/L			
		5.52×10^{-4} M			
H₃BO₃	2.86 mg/L	11.42 mg/L		0.8 mg/L	10 mg/L
	4.63×10^{-5} M	1.85×10^{-4} M		1.29×10^{-5} M	1.62×10^{-4} M

Component	Culture medium				
	BG-11	BBM	MBBM	DY-V	TAP
MnCl₂·4H₂O	1.81 mg/L	1.44 mg/L	0.246 mg/L	0.2 mg/L	50 mg/L
	9.15 x 10 ⁻⁶ M	7.28 x 10 ⁻⁶ M	1.24 x 10 ⁻⁶ M	1.01 x 10 ⁻⁶ M	2.53 x 10 ⁻⁴ M
ZnSO₄·7H₂O	0.22 mg/L	8.82 mg/L		0.04 mg/L	20 mg/L
	7.72 x 10 ⁻⁶ M	3.07 x 10 ⁻⁵ M		1.39 x 10 ⁻⁷ M	6.69 x 10 ⁻⁵ M
Na₂MoO₄·2H₂O	0.391 mg/L		0.024 mg/L	0.017 mg/L	
	1.61 x 10 ⁻⁶ M		9.92 x 10 ⁻⁸ M	8.27 x 10 ⁻⁸ M	
NiCl₂·6H₂O		0.003 mg/L			
		1.26 x 10 ⁻⁸ M			
Na₂SiO₃·9H₂O				14 mg/L	
				4.93 x 10 ⁻⁵ M	
Na₃VO₄·10H₂O				0.002 mg/L	
				5.46 x 10 ⁻⁹ M	
Na₂·SeO₃		0.002 mg/L			
		1.16 x 10 ⁻⁸ M			
H₂·SeO₃				0.004 mg/L	
				3.1 x 10 ⁻⁸ M	
CoCl₂·6H₂O			0.012 mg/L	0.008 mg/L	20 mg/L
			5.04 x 10 ⁻⁸ M	3.36 x 10 ⁻⁸ M	8.41 x 10 ⁻⁵ M
FeSO₄·7H₂O		4.98 mg/L			50 mg/L
		1.79 x 10 ⁻⁵ M			1.8 x 10 ⁻⁴ M
CuSO₄·5H₂O	0.079 mg/L	1.57 mg/L			20 mg/L
	3.16 x 10 ⁻⁷ M	6.29 x 10 ⁻⁶ M			8.01 x 10 ⁻⁵ M
Co(NO₃)·6H₂O		0.49 mg/L			
		1.68 x 10 ⁻⁶ M			
FeCl₃·6H₂O			0.582 mg/L	1 mg/L	
			2.15 x 10 ⁻⁶ M	3.7 x 10 ⁻⁶ M	
ZnCl₂			0.03 mg/L		
			2.2 x 10 ⁻⁷ M		
MoO₃		0.631 mg/L			
		4.38 x 10 ⁻⁶ M			

Component	Culture medium				
	BG-11	BBM	MBBM	DY-V	TAP
KI		0.003 mg/L			
		1.81×10^{-8} M			
SnCl ₄		0.001 mg/L			
		3.84×10^{-9} M			
VOSO ₄ ·3H ₂ O		0.002 mg/L			
		1.09×10^{-8} M			
Ferric Ammonium Citrate	12 mg/L				
	4.29×10^{-5} M				
MES Buffer				200 mg/L	
				1.08×10^{-3} M	
Tris					2420 mg/L
					2×10^{-2} M
Glacial acetic acid					1100 mg/L
					1.83×10^{-2} M
Biotin (vit. H)				0.0005 mg/L	
				2.05×10^{-9} M	
Thiamine·HCl (vit. B ₁)			1.2 mg/L	0.1 mg/L	
			3.56×10^{-6} M	2.96×10^{-7} M	
Cyanocobalamin (vit. B ₁₂)			0.01 mg/L	0.0005 mg/L	
			7.38×10^{-9} M	3.69×10^{-10} M	
Final pH	7.1	6.6	6.6	6.8	6.8-7.2

1.3. 미세조류 생장 측정법

실험목적 : 다양한 배양 조건에서 미세조류의 생장 특성을 정량적으로 평가하기 위해 시료나 조건에 맞는 측정법을 선택하여 수행한다.



미세조류 세포 수는 세즈윅 라프터 챔버나 혈구계수기를 사용해 현미경으로 격자 안 세포를 직접 세어 측정해.

자동화된 세포계수기를 사용하면 많은 시료를 한 번에 처리하고 생존율도 함께 확인할 수 있어 훨씬 효율적이야.



1.3.1. 세포수 측정

1.3.1.1. 미세조류 고정

- 200~300 mL 정제수에 요오드화 칼륨(KI) 20 g을 녹인 후, 요오드(I₂) 10 g을 첨가한다.
- 최종적으로 정제수를 1 L 보충하여 희석한 후, 아세트산(CH₃COOH) 20 mL를 첨가하여 빛이 없는 환경에서 보관한다. (루골 용액)
- 미세조류 시료에 루골 용액의 농도가 1~2%가 되도록 첨가하여 고정한다.
- 고정된 시료를 유리 실린더에 넣고, 시료 높이 2 mm당 1시간의 비율로 침전시킨다.
- 침전이 완료된 시료의 상층액을 제거한 후, 위의 고정 과정을 2~3회 반복한다.

1.3.1.2. 세즈윅 라프터 챔버를 이용한 세포수 측정

사용 대상: 크기가 크고 모양이 뚜렷한 미세조류(예: 녹조류, 윤조류 등)

- 세즈윅 라프터 챔버에는 1.3.1.1.을 통해 고정한 미세조류 시료 1 mL를 주입한다.
- 24 x 60 mm 커버글라스를 덮은 뒤, 세포가 충분히 침전될 때까지 기다린다(약 15분).
- 1,000개의 격자 중 일정 영역을 광학현미경으로 격자 내 세포수를 계수 한다.
- 한 격자당 약 10~50개 세포가 되도록 시료를 희석하거나 농축하여 조절한다.

$$\bullet \text{ cells/mL} = \frac{C}{A \times D \times N} \times 10^3 \times f$$

C = 계수된 세포 수의 합

A = 격자의 면적(1 mm²)

D = 검경한 격자의 깊이(1 mm)

N = 검경한 격자의 개수

f = 희석배수

1.3.1.3. 혈구계수기를 이용한 세포수 측정

사용 대상: 크기가 작고 둥근 형태의 미세조류(예: 남조류 등)

- 혈구계수기에 전용 커버클라스를 덮고, V자 홈을 통해 10 μL 의 시료를 천천히 주입한다. ³⁾
3) 시료는 모세관 현상에 의해 자동으로 챔버에 퍼지며, 세포가 침전될 때까지 기다린다.
- 9개의 큰 격자 중, 모서리 부분의 4개의 격자 혹은 중앙 격자를 포함한 5개 격자에 있는 세포수를 광학현미경을 통해 계수한다.
큰 격자 한 개의 부피는 0.1 mm^3 (0.1 μL)이며, 격자 당 20~200개의 세포가 되도록 희석하거나 농축하여 이를 조절한다.

$$\bullet \text{ cells/mL} = \frac{C}{N} \times f \times 10^4$$

C = 계수된 세포 수의 합

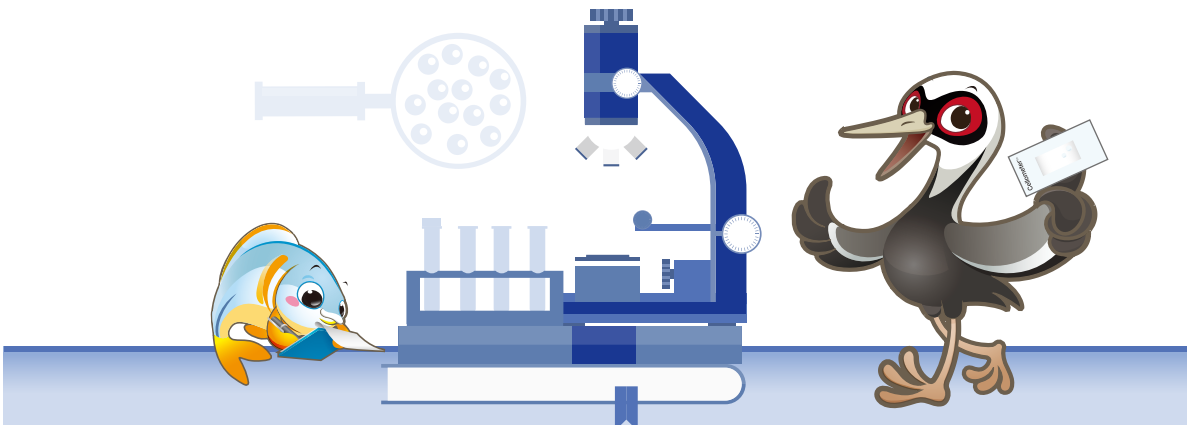
N = 검경한 격자의 개수

f = 희석배수

1.3.1.4. 자동 세포계수기(automated cell counter)을 이용한 세포수 측정

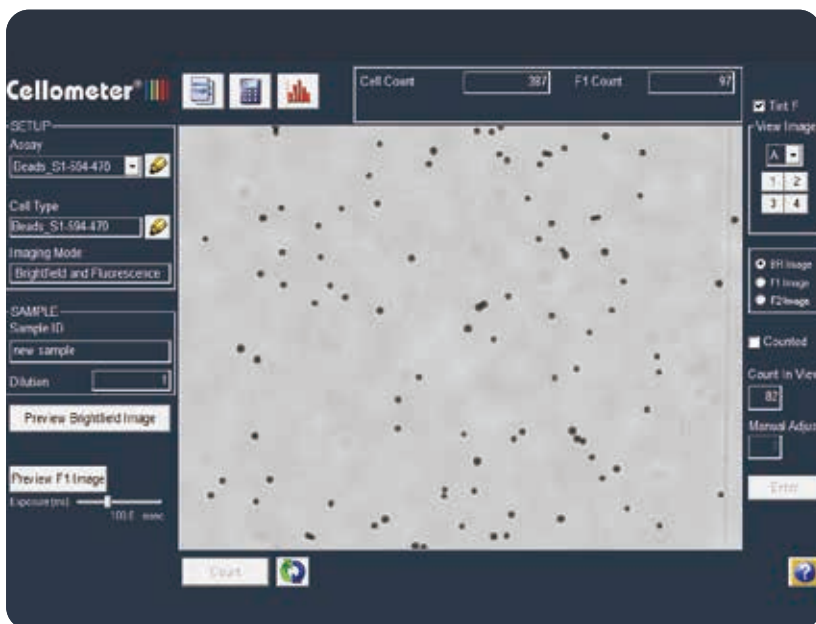
사용 대상: 자동화된 방식으로 많은 양의 시료를 처리하거나, 생존율을 확인할 때

- 기기명: SPECTRUM-SYS2-10X (Revvity사)
- SD100 counting chamber의 윗면 보호 필름을 제거한다.
그 후 균일하게 혼합된 시료 20 μL 를 한쪽 채널에 천천히 주입한다.
→ 시료는 모세관 현상으로 자동으로 퍼지며, 다른 주입구는 공기 배출용으로 비워둔다.
- 아랫면의 보호 필름을 제거한 후, 시료가 주입된 면이 기기 내부를 향하도록 장착한다.
- 소프트웨어에서 세포 유형을 선택한 후, 'Preview' 기능을 이용하여 초점을 맞춘 뒤 'Count'를 눌러 분석을 시작한다.
- 분석 결과에서 'Live concentration'은 살아있는 세포의 농도를, 'Viability'는 생존율을 의미한다.





▲ [그림 1-5] (좌) 혈구계수기, 세즈웁 라프트 챔버, (우) 광학현미경을 이용한 세포수 측정



▲ [그림 1-6] 자동 세포계수기를 이용한 세포수 측정

1.3.2. 흡광도 측정

- 미세조류 시료 0.2 mL를 96 세포 배양판에 분주한다.
- 마이크로플레이트 리더를 이용하여 680 nm 파장에서 흡광도를 측정한다.
- 실험 전, 여러 농도의 시료에서 세포수(1.3.1. 참고)와 흡광도를 동시에 측정하여 상관관계식을 도출한다.
- 엑셀에서 X축은 흡광도 값을 Y축은 세포수로 설정하여 산점도로 그린 후, 추세도를 추가하고 선형 회귀식을 표시하여 상관관계식을 도출한다.
- 측정한 흡광도 값을 위에서 구한 상관관계식을 이용하여 세포수를 계산한다.



▲ [그림 1-7] 마이크로플레이트 리더를 이용한 흡광도 측정

2. 동결 보존

2.1. 최적 동결 세포 농도 탐색

실험목적 : 동결 및 해동 과정에서 세포 손상을 최소화하면서 최대한의 생존율과 회복률을 확보할 수 있는 세포 농도를 규명한다.



미세조류를 동결 보존할 때는 세포 농도로 중요한 요소야.
보통 mL당 1×10^5 , 1×10^6 , 1×10^7 개의 세포 농도가 대표적으로 사용돼.

그래서 최적 동결 세포 농도를 찾기 위해,
각 농도로 준비한 미세조류를 동결 보호제 없이 약 1주일 동안 동결 보존한 뒤
해동하고 재배양하여 생존율과 성장 상태를 비교해.



이때 실험에 맞는 농도를 만들기 위해
세포를 농축하거나 배양액으로 희석해서 세포수를 조절할 수 있어.
이 과정을 통해 가장 안정적인 동결 보존 조건을 찾게 되는 거야.

- 미세조류 동결 보존에서 사용되는 대표적인 세포 농도는 mL 당 1×10^5 , 1×10^6 , 1×10^7 개의 세포수로 알려져 있다.
- 세포 농도를 맞추기 위하여 세포를 농축시키거나 희석하여 세포수를 조절한다.
- 2.1.에서 도출된 최적 세포 농도 조건과 동결 온도 제어(2.2.2., 2.2.3. 참고)를 수행한 후 1주일간 동결 보호제 없이 동결 보존 및 재배양을 수행(2.4. 참고)하여 최적 조건을 선정한다.

2.2. 최적 동결 온도 제어 탐색

실험목적 : 냉각 속도와 보존 온도를 최적화하여 세포 손상을 최소화하고 재현성 있는 동결 보존 조건을 확립한다.



이제는 아마 찾은 최저 온도 값을 이용해서 최저 동결 온도 제어 방법들을 시험해 볼 차례야. 온도를 일정하게 낮춰주면, 세포가 갑자기 얼면서 손상되는 걸 막을 수 있대.

1단계, 2단계, 3단계 동결 보존법을 통해 최저의 동결 온도 제어 방식을 찾는거야.



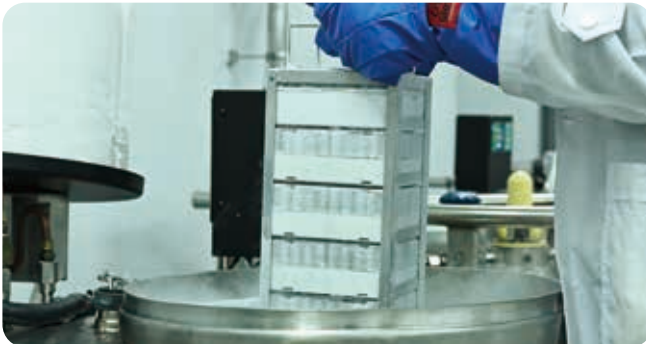
그리고 마지막엔 -80°C 의 초저온 냉동고나 -150°C 이하의 액체질소 탱크로 옮겨서 보존을 하지! 이러한 낮은 온도에서는 세포의 대사 활동이 거의 중단되어 세포의 특성을 장기간 안정적으로 유지할 수 있대!

2.2.1. 최종 보존 온도

- 최종 보존 온도는 -80°C 와 -150°C 이하 두 가지로 구분하여, -80°C 는 초저온 냉동고에서 보존하고 ⁴⁾ -150°C 는 액체질소탱크를 이용하여 보존한다. ⁵⁾

4) 초저온 냉동고는 운용 및 유지관리가 용이하지만, 장기 보존 안정성은 액체질소탱크보다 상대적으로 낮다.

5) 세포 대사를 효과적으로 정지시켜 상대적으로 장기 보존에 유리하다.



▲ [그림 2-1] 초저온 냉동고 및 액체질소탱크를 이용한 미세조류 보존

2.2.2. 동결 온도 제어법

- 동결 온도 제어는 냉각 속도를 조절하여 세포 내 수분이 빠져나갈 시간을 확보함으로써 동결 과정에서 세포 내부에 얼음결정이 형성되는 것을 최소화한다.
- 동결 보존 과정에서 일반적으로 분당 1~5°C의 속도로 온도를 하강시키며, 분당 1°C의 냉각 속도가 가장 보편적인 방법이다.

2.2.2.1. 급속 동결

동결 온도 제어 없이 초저온 냉동고 또는 액체질소탱크에 보존한다.

2.2.2.2. 1 단계 동결

- 1단계 동결은 상온에서 -80°C까지 분당 1~5°C의 속도로 약 100분간 냉각하여 동결 온도를 제어한 후, 초저온 냉동고 또는 액체질소탱크에 보존한다.

2.2.2.3. 2 단계 동결

- 2단계 동결은 상온에서 -80°C까지 분당 1~5°C의 속도로 약 100분간 냉각하여 동결 온도를 제어한 후, 20분간 시료를 -80°C에 둔다.
- 장기 보존은 초저온 냉동고 혹은 액체질소탱크로 옮겨 진행한다.

2.2.2.4. 3 단계 동결

- 3단계 동결은 상온에서 -40°C까지 분당 1~5°C의 속도로 약 60분간 냉각하여 동결 온도를 제어한 후, -40°C에서 20분간 시료를 유지한다.
- -80°C까지 분당 1~5°C의 속도로 약 40분간 냉각하여 동결 온도를 제어한 후, 20분간 시료를 -80°C에 둔다.
- 장기 보존은 초저온 냉동고 혹은 액체질소탱크로 옮겨 진행한다.

● 표 2. 단계별 동결 온도 제어 방법

급속 동결	20°C → 초저온 냉동고 혹은 액체질소탱크
1 단계 동결	20°C → -80°C(분당 1~5°C 냉각) → 초저온 냉동고 혹은 액체질소탱크
2 단계 동결	20°C → -80°C(분당 1~5°C 냉각, -80°C 20분간 유지) → 초저온 냉동고 혹은 액체질소탱크
3 단계 동결	20°C → -40°C(분당 1~5°C 냉각, -40°C 20분간 유지) → -80°C (분당 1~5°C 냉각, -80°C 20분간 유지) → 초저온 냉동고 혹은 액체질소탱크

2.2.3. 동결 온도 제어 방법

- 동결 온도 제어는 완속 동결 용기(freezing container) 혹은 냉각 속도 제어 동결기(controlled rate freezer, CRF)를 통해 실시된다.

2.2.3.1. 완속 동결 용기를 활용하는 방법

- 제품명: Mr. Frosty⁶⁾, Nalgene 5100-0001
 - 동결 용기 내부에 이소프로판올 250 mL을 넣어 준비한다.
 - 1.2 ~ 2.0 mL 튜브에 동결할 시료를 넣고 완속 동결 용기에 수납한다.
 - 시료가 수납된 완속 동결 용기를 초저온 냉동고에 넣어 시료를 동결한다.
- 6) 상대적으로 유지비용이 저렴하고 사용이 간편하지만, 다양한 동결 조건을 적용하기 어렵다.

2.2.3.2. 냉각 속도 제어 동결기를 활용하는 방법

- 냉각 속도 제어 동결기를 액체질소탱크와 연결한 후, 프로그램을 통해 원하는 동결 온도 제어 조건(2.2.2. 참고)을 설정하여 냉각을 수행한다. ⁷⁾
- 7) 설정한 속도와 유지 시간을 세밀하게 조절할 수 있는 기기로, 동결 용기보다 다양한 조건으로 냉각이 가능하다.



▲ [그림 2-2] 냉각 속도 제어 동결기(controlled rate freezer, CRF)

2.3. 최적 동결 보호제 탐색

실험목적 : 동결 및 해동 과정에서 세포 손상을 최소화하고, 높은 생존율과 회복률을 확보할 수 있는 보호제를 규명하기 위해 수행한다.



동결 보존에서는 동결 보호제가 중요해.
메탄올이나 디메틸설폭사이드 같은 침투성 보호제는 세포 안으로 들어가
얼음 결정 생성을 억제하지만 독성이 있어서 농도 조절이 필요해.

그래서 슈크로스나 폴리비닐알코올 같은 비침투성 보호제를
함께 사용하기도 해. 세포 밖에서 작용해서
독성은 낮지만 효과는 보조적인 편이야.



아~ 그래서 침투성 보호제만 쓰기보다는 조합해서 사용하는 거구나!
효과는 유지하면서 독성 부담을 줄일 수 있겠네.

- 2.1. 및 2.2.의 조건을 바탕으로 다양한 동결 보호제를 처리한다. 1주일간 동결 보존 및 재배양(2.4.2.1. 참고)하여 최적 동결 보호제를 선정한다.
- 침투성 동결 보호제(2.3.1.1. 참고)를 사용한다. 효과가 낮을 경우에는, 비침투성 동결 보호제(2.3.1.2. 참고)를 혼합하여 사용한다.
- 1.8 mL 동결용 바이알에 0.5 mL의 세포 배양액(2.1의 2배 농도)과 0.5 mL 동결 보호제(2배 농도)를 혼합한다.
- 동결 보호제는 세포 독성을 유발할 수 있으므로, 독성평가(2.3.2. 참고)를 실시하여 가용 최대 농도를 탐색한다.

2.3.1. 침투성 동결 보호제 및 비침투성 동결 보호제

· 동결 보호제는 자유 물 분자와 수소결합을 형성하고 얼음 결정 생성을 억제하여 세포 손상을 감소시킨다.

2.3.1.1. 침투성 동결 보호제

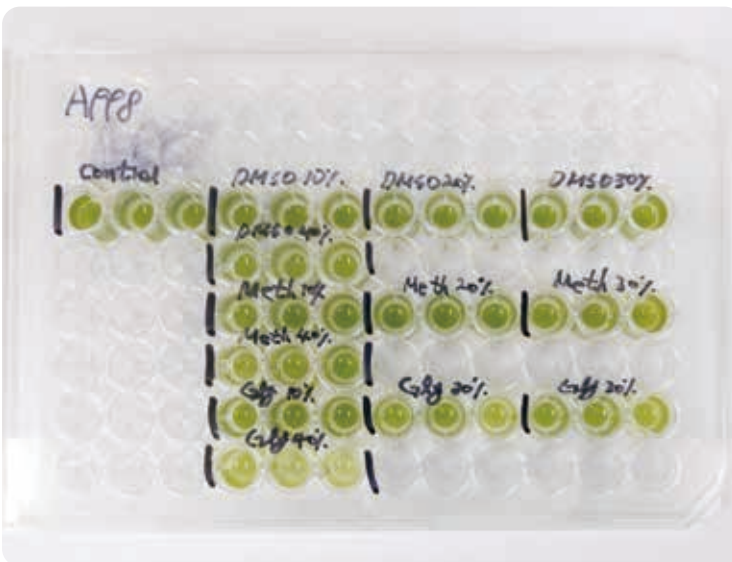
- 세포막을 통과하여 세포 내외부의 얼음 결정 생성을 억제하고 삼투압 조절에 기여한다.
- 비침투성 동결 보호제와 비교하였을 때 대체로 효과가 뛰어나 자주 사용된다.
- 세포 독성이 있어 독성평가가 필요하다.
- 메탄올(MeOH), 디메틸설폭사이드(DMSO), 글리세롤(Glycerol)이 사용되고 있으며 분류군에 따라 효과의 차이가 있다.

2.3.1.2. 비침투성 동결 보호제

- 분자량이 커서 세포막을 통과하지 않으며 세포 외부에서 얼음 결정 생성을 억제한다.
- 효과는 침투성 동결 보호제에 비해 떨어지나, 낮은 세포 독성을 보이기에 침투성 동결 보호제와 혼합하여 많이 사용한다.
- 슈크로스, 폴리비닐알코올(PVA), 항동결 단백질(Antifreeze protein, AFP) 등이 있다.

2.3.2. 동결 보호제 독성평가

· 미세조류를 0~50% 농도의 동결 보호제에 1주일간 처리한 후, 세포수(1.3. 참고)와 형태 변화를 관찰하여 세포 독성이 없는 최대 농도를 설정한다.



▲ [그림 2-3] 미세조류 동결 보호제 독성평가

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
A	Samples: A998											
B	Wavelengths: 680 / Elapsed time: 8 hours											
B	Actual Temperature: 26.8											
C	2.32	2.31	2.19	1.95	1.99	2.01	1.98	1.85	1.99	1.83	1.78	1.84
D				1.49	1.52	1.56						
E				2.07	2.11	2.02	2.02	2.08	1.91	1.87	1.94	2.05
F				1.56	1.48	1.83						
G				1.95	1.93	1.91	1.27	1.35	0.95	1.29	1.26	1.00
H				1.00	0.98	0.9						

2.4. 해동 및 동결 평가

실험목적: 동결 조건이 적절한지 검증하고, 최적의 보존 방법을 확립하기 위해 수행한다.



해동은 40°C로 예열된 항온수조에서 약 3분 정도 진행하고,
해동이 끝나면 시료를 배양배지에 옮겨 재배양을 수행하는 거지?

맞아, 그리고 사이토스 그린 같은 형광염료를 사용하면
환생된 세포만 빛나서 살아있는 세포와 죽은 세포를 구별하고
생존율을 확인하는 데 도움이 돼.



2.4.1. 해동방법

- 항온수조를 40°C로 예열한 후 동결을 수행한 시료를 약 3분간 해동시킨다. 이때 시료의 온도가 너무 상승하지 않도록 주의 한다.
- 해동된 시료 1 mL는 9 mL의 배양 배지(1.2.2. 참고)에 접종하여 배양(1.2.1. 참고)한다.



▲ [그림 2-4] 동결 보존체 급속해동

2.4.2. 평가 항목

- 재배양률, 생존율, 형태 변화, 지질 함량, 엽록소 함량이 있다.



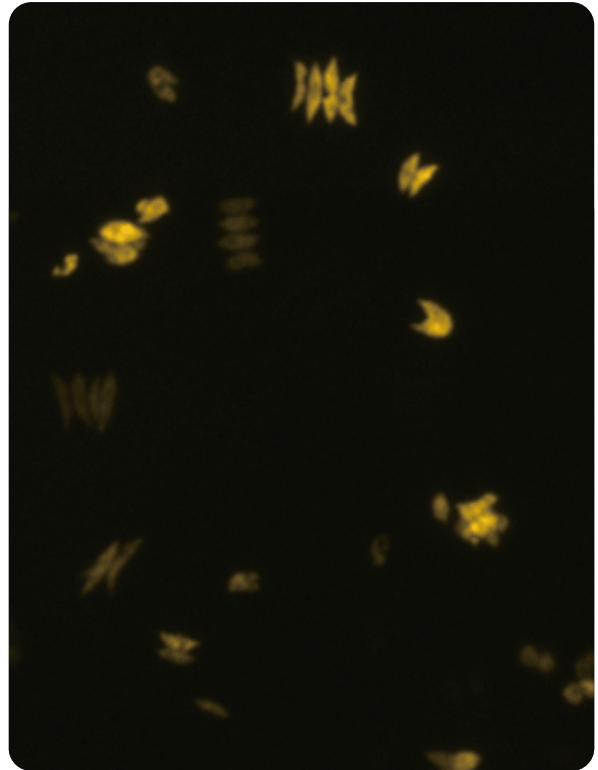
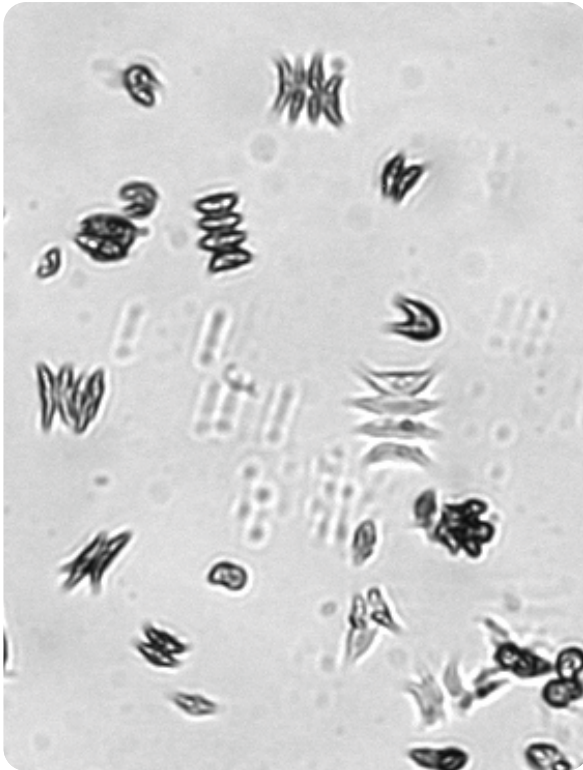
생존/사멸 세포 분별 계수법

1. 세포계수기

- 세포계수기(1.3.1.4. 참고)를 이용하여 생존율을 측정한다.

2. 형광염료 기반 계수법

- SYTOX Green Nucleic Acid Stain은 미세조류의 손상된 세포막만을 투과하여 형광을 띠기에 생존율 측정에 사용할 수 있다.
- 1 mL 미세조류 시료에 1 μ L의 1 μ M 사이토스 그린(5 mM 디메틸설폭사이드로 희석)을 암조건에서 10분간 염색시킨다.
- 광학현미경과 형광현미경의 표준 FITC 필터(EX: 488 nm, EM: 530 nm)를 이용하여 생존수를 측정(1.3.1.2. 참고)한다.
- 혹은 Flow Cytometer(FACS)에서 FITC 채널(530/30 nm)와 SSC-A를 측정하여 X축을 FITC 채널로 한다. Fluorescence가 103 이상을 사멸한 세포, 그 이하를 살아있는 세포로 설정하여 생존율을 측정한다.
- 실험에 앞서, 100°C 처리로 사멸시킨 세포를 혼합하여 0%, 25%, 50%, 75%, 100% 생존율 표준 샘플을 제작하여, 사멸한 세포의 형광값을 보정한다.



▲ [그림 2-5] (좌) 미세조류 광학현미경, 및 (우) 형광현미경

2.4.2.1. 재배양률

- 일정 기간 동안 2일 간격으로 세포수를 측정(1.3. 참고)하여 재배양률을 구한다.

$$\bullet \text{ Recovery rate(\%)} = \frac{N_t - N_0}{N_{\text{pret}} - N_{\text{pre0}}} \times 100$$

N_t : 동결 후 t일차 세포수
 N_0 : 동결 후 0일차 세포수
 N_{pret} : 동결 전 t일차 세포수
 N_{pre0} : 동결 전 0일차 세포수

2.4.2.2. 생존율

- 생존/사멸 세포 분별 계수법(2.4. 참고)을 통해 측정한다.

- 생존율을 다음과 같은 공식을 이용하여 구한다.

$$\bullet \text{ Viability(\%)} = \frac{V_{\text{post}}}{V_{\text{pre}}} \times 100$$

V_{post} : 동결 후 생존율
 V_{pre} : 동결 전 생존율

2.4.2.3. 성장률(μ)

- 일정 기간 동안 세포수를 측정(1.3. 참고)하여 성장률을 구한다.

$$\bullet \mu = \frac{\ln(N_t) - \ln(N_0)}{t} \times 100$$

μ : 성장률
 N_t : t시간 후 세포수
 N_0 : 초기 세포수
t: 경과 시간

2.4.2.4. 형태 변화

광학현미경을 통하여 미세조류 동결 후 형태, 재배양 과정의 형태를 확인하여 동결 전 형태와 비교한다.

2.4.2.5. 지질 함량

- 동결 시료를 희석하여 총 흡광도 0.1 이하로 조정한다.
- 1 mL 시료에 Nile red stock(250 mg/L, DMSO로 희석) 40 μ L를 첨가한 후, 암 조건에서 5분간 반응시킨다.
- 마이크로플레이트 리더로 490 nm excitation, 585 nm emission 조건에서 형광을 측정한다.
- 아래의 식을 이용하여 지질함량을 계산한다.

$$\bullet \text{ Lipid(\%)} = \frac{F_{\text{post}}}{F_{\text{pre}}} \times 100$$

F_{post} : 동결 후 형광값

F_{pre} : 동결 전 형광값

2.4.2.6. 엽록소 함량

- 동결 전 샘플과 동일한 농도의 시료 1 mL를 원심분리(14000 rpm, 5분)한 후, 상등액을 제거한다.
- 90% 아세톤 1 mL를 첨가하여 교반한 후, 암조건에서 24시간 반응시킨다.
- 원심분리(14000 rpm, 5분)한 후 상등액을 630, 645, 665 nm의 파장에서 흡광도를 측정하여 다음식으로 엽록소 함량을 측정한다.

$$\bullet \text{ Chlorophyll A(mg / L)} \\ = 11.6 \times A_{665} - 1.31 \times A_{645} - 0.14 \times A_{630}$$

A_{665} : 665 nm 파장에서의 흡광도

A_{645} : 645 nm 파장에서의 흡광도

A_{630} : 630 nm 파장에서의 흡광도

- 동결 후 엽록소 함량을 동결 전 엽록소 함량으로 나누어 비교한다.

$$\bullet \text{ Chlorophyll A(\%)} = \frac{C_{\text{post}}}{C_{\text{pre}}} \times 100$$

C_{post} : 동결 후 엽록소 함량

C_{pre} : 동결 전 엽록소 함량

2.5. 장기 동결 보존

12개월 동안 3개월 주기로 미세조류를 해동하여 평가(2.4.2. 참고)를 진행한다.
이후에는 12개월 주기로 시료를 확인한다.



장기 보존한 미세조류는 그냥 보관만 해선 안 되고, 3개월마다 한 번씩 꺼내서 상태를 꼭 점검해야 해, 해동했을 때 얼마나 건강하게 살아났는지가 중요한 판단 기준이거든.

그렇구나! 해동한 뒤에 바로 성장하는 모습로 확인해야겠네?
세포모양이 변화진 않았는지 꼼꼼하게 살펴보는게 좋겠다!



맞아. 그래서 생존율뿐만 아니라 회복 속도, 재배양하면서 나타나는 작은 변화까지 기록해 두는 게 정말 중요해.
이 데이터가 장기 보존 안정성을 평가하는 핵심 자료가 되지.

그럼 이 과정을 1년 동안 계속 반복하면서
주기적으로 지표를 찾아두면,
정말 안정적인 보존 조건인지 명확하게 알 수 있겠네!



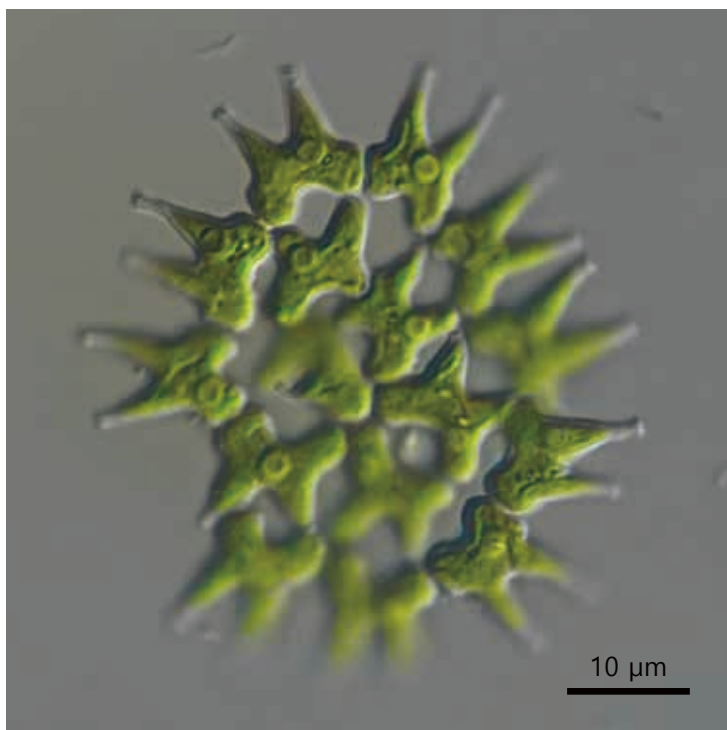
응! 그리고 1년 동안 안정적으로 잘 유지되는 게 확인되면
다음부터는 1년에 한 번만 체크해도 충분하데. 이렇게
확인해야 '안전하게' 보존되고 있다는 걸 확인할 수 있지.

배양주 정보 및 최적 동결 보존 조건

Strain Information and Optimal Cryopreservation Conditions

Pediastrum duplex

Meyen 1829



배양주 정보 및 최적 동결 보존 조건

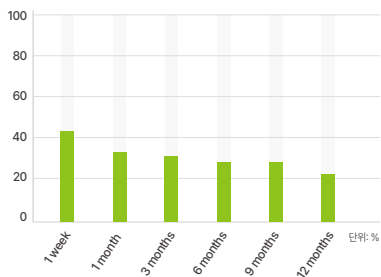
자원은행번호	FBCC-A669	
배양조건	배지	BG-11
	온도	25°C
동결 보호제	10% DMSO	
동결 온도 제어	급속 동결	
해동	온도	40°C
	시간	3분

분류체계

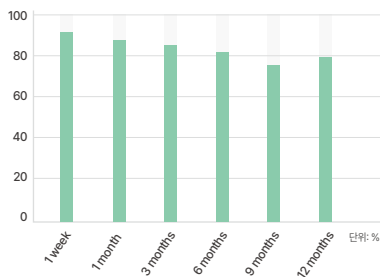
Phylum	Chlorophyta
Class	Chlorophyceae
Order	Sphaeropleales
Family	Hydrodictyaceae
Genus	<i>Pediastrum</i>
Species	<i>P. duplex</i>

해동 후 평가 결과

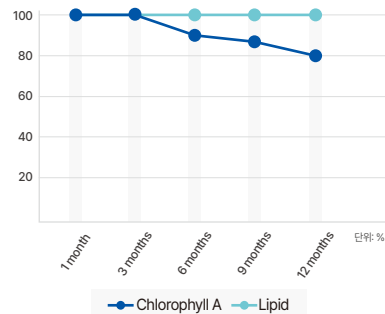
• 재배양률



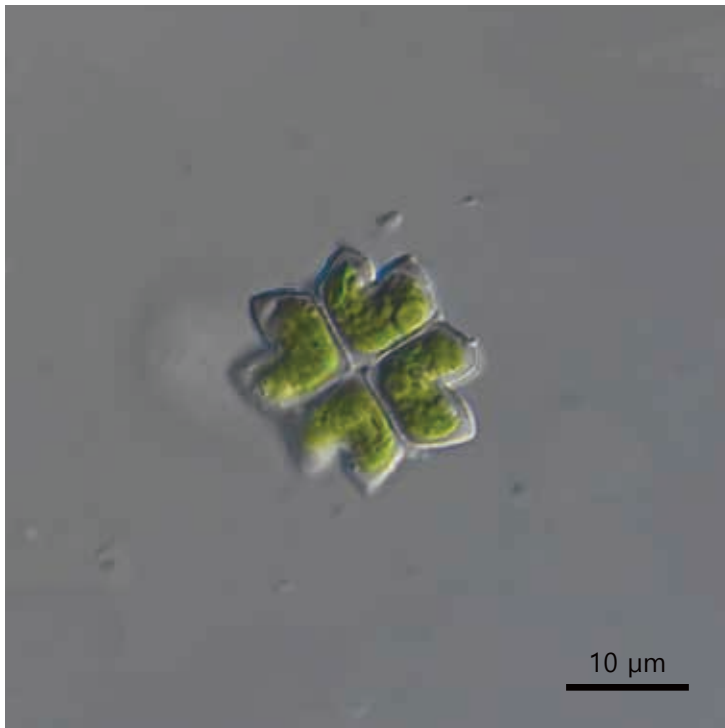
• 생존율



• 엽록소, 지질 함량



Stauridium tetras (Ehrenberg) E.Hegewald 2005



배양주 정보 및 최적 동결 보존 조건

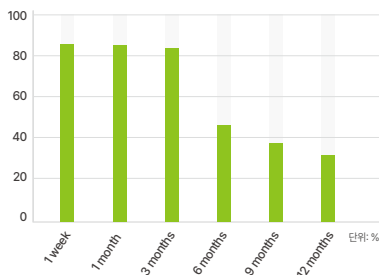
자원은행번호	FBCC-A398	
배양조건	배지	TAP
	온도	20°C
동결 보호제	5% DMSO	
동결 온도 제어	3단계 동결	
해동	온도	40°C
	시간	3분

분류체계

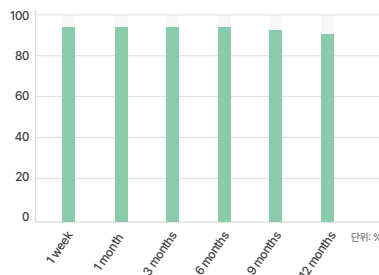
Phylum	Chlorophyta
Class	Chlorophyceae
Order	Sphaeropleales
Family	Hydrodictyceae
Genus	<i>Stauridium</i>
Species	<i>S. tetras</i>

해동 후 평가 결과

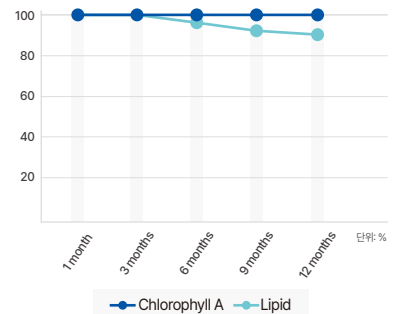
• 재배양률



• 생존율

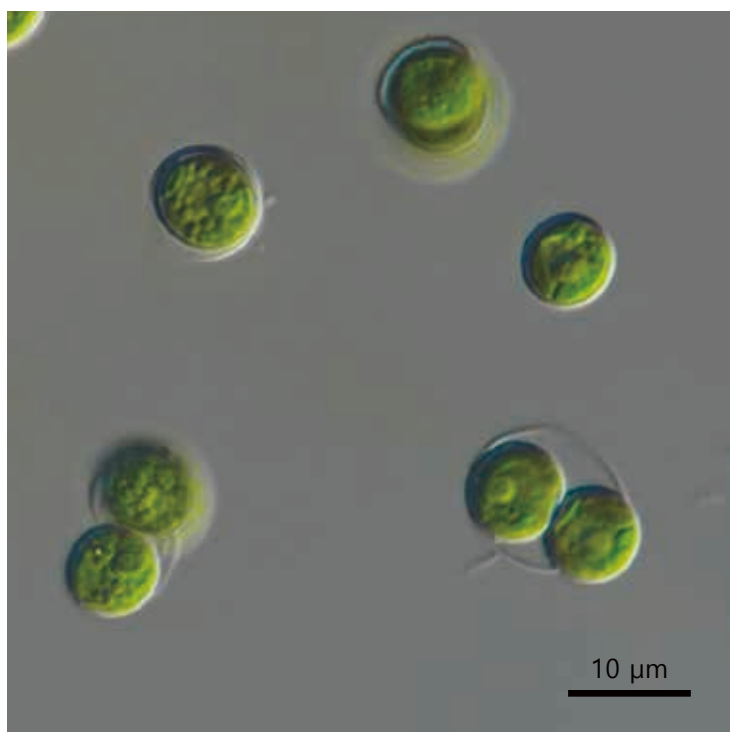


• 엽록소, 지질 함량



Coelastrella thermophila

Qinghua Wang, Huiyin Song, Xudong Liu, Guoxiang Liu & Zhengyu Hu 2019



배양주 정보 및 최적 동결 보존 조건

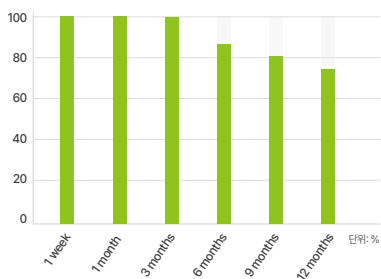
자원은행번호	FBCC-A1349	
배양조건	배지	TAP
	온도	25°C
동결 보호제	20% DMSO	
동결 온도 제어	3단계 동결	
해동	온도	40°C
	시간	3분

분류체계

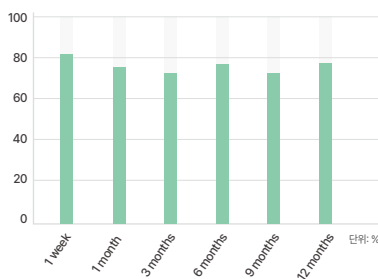
Phylum	Chlorophyta
Class	Chlorophyceae
Order	Sphaeropleales
Family	Scenedesmaceae
Genus	Coelastrella
Species	<i>C. thermophila</i>

해동 후 평가 결과

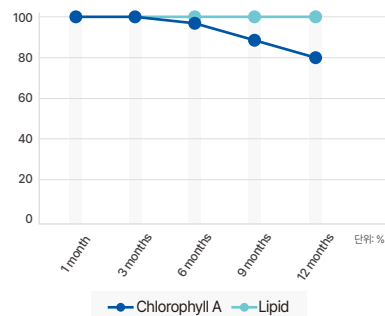
• 재배양률



• 생존율



• 엽록소, 지질 함량



Coelastrella vacuolata

(I.Shihira & R.W.Krauss) Hegewald & N.Hanagata 2002



배양주 정보 및 최적 동결 보존 조건

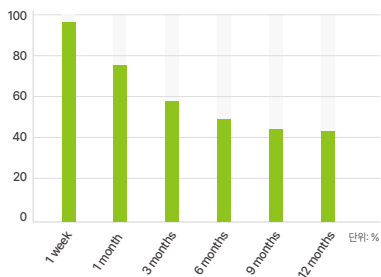
자원은행번호	FBCC-A119	
배양조건	배지	TAP
	온도	25°C
동결 보호제	20% DMSO	
동결 온도 제어	3단계 동결	
해동	온도	40°C
	시간	3분

분류체계

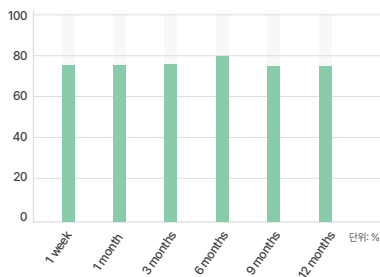
Phylum	Chlorophyta
Class	Chlorophyceae
Order	Sphaeropleales
Family	Scenedesmaceae
Genus	<i>Coelastrella</i>
Species	<i>C. vacuolata</i>

해동 후 평가 결과

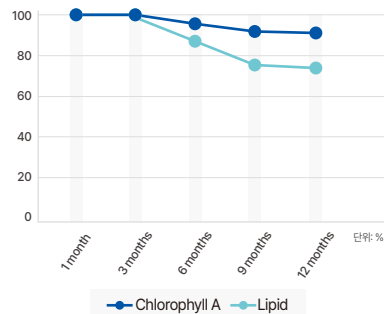
• 재배양률



• 생존율

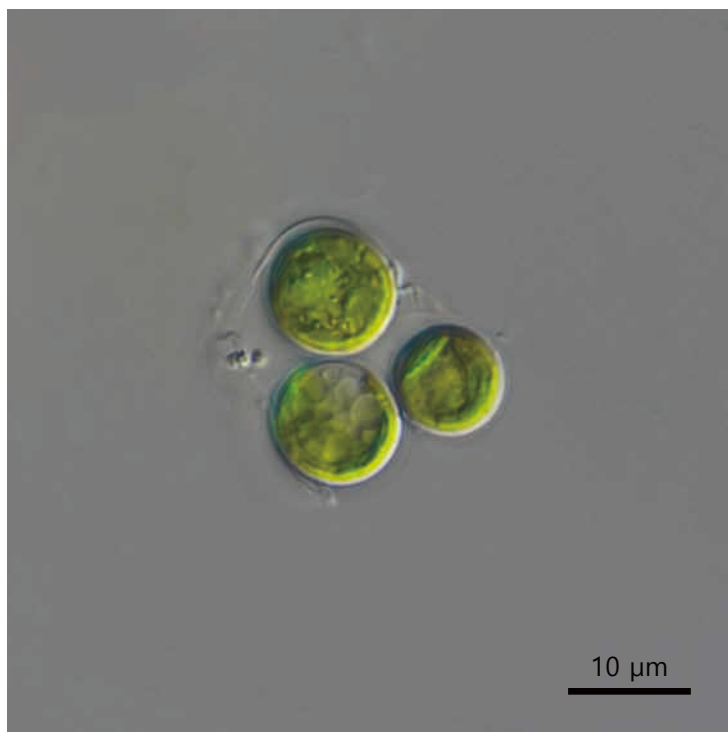


• 엽록소, 지질 함량



Coelastrum reticulatum

(P.A.Dangeard) Senn 1899



배양주 정보 및 최적 동결 보존 조건

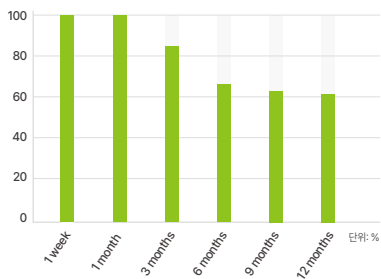
자원은행번호	FBCC-A1238	
배양조건	배지	BG-11
	온도	20°C
동결 보호제	10% DMSO	
동결 온도 제어	급속 동결	
해동	온도	40°C
	시간	3분

분류체계

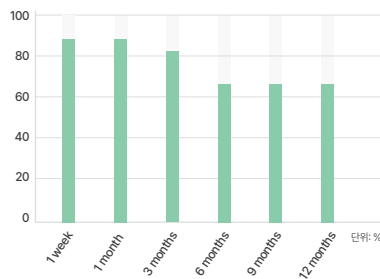
Phylum	Chlorophyta
Class	Chlorophyceae
Order	Sphaeropleales
Family	Scenedesmaceae
Genus	<i>Coelastrum</i>
Species	<i>C. reticulatum</i>

해동 후 평가 결과

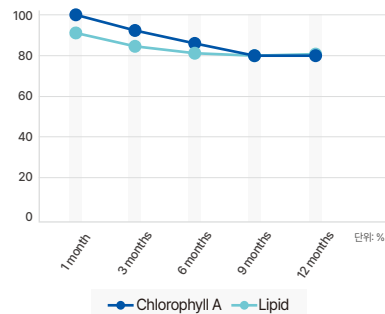
• 재배양률



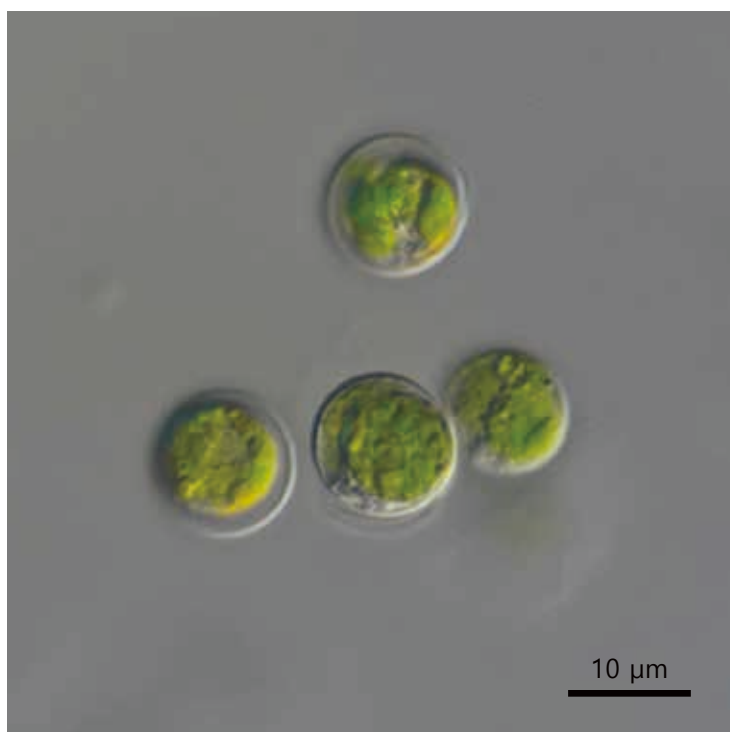
• 생존율



• 엽록소, 지질 함량



Coelastrum rugosum (Rich) P.M.Tsarenko 2011



배양주 정보 및 최적 동결 보존 조건

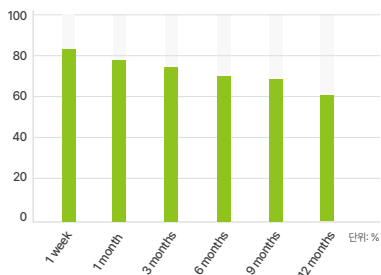
자원은행번호	FBCC-A1202	
배양조건	배지	BG-11
	온도	20°C
동결 보호제	10% DMSO	
동결 온도 제어	3단계 동결	
해동	온도	40°C
	시간	3분

분류체계

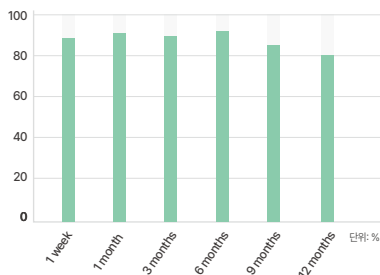
Phylum	Chlorophyta
Class	Chlorophyceae
Order	Sphaeropleales
Family	Scenedesmaceae
Genus	<i>Coelastrum</i>
Species	<i>C. rugosum</i>

해동 후 평가 결과

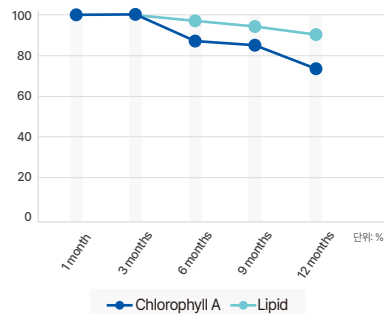
• 재배양률



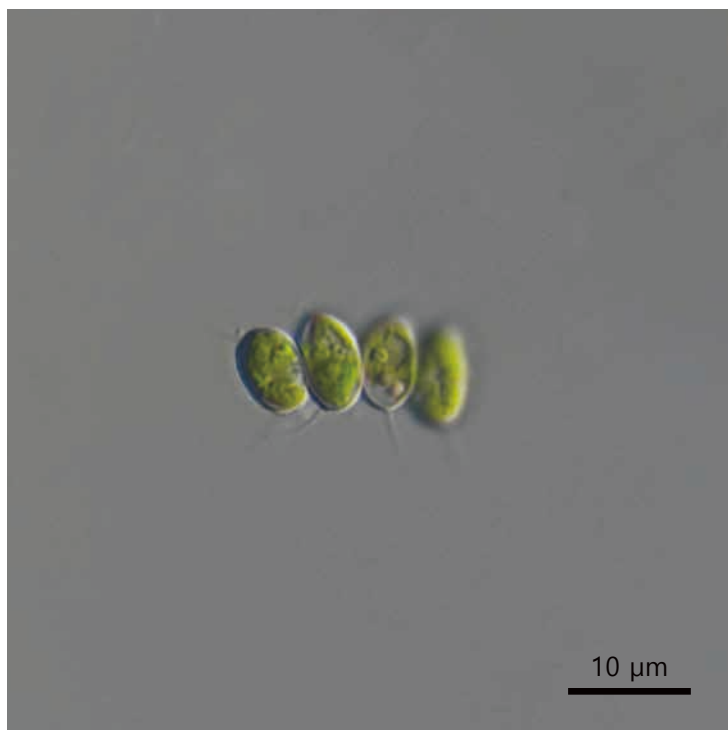
• 생존율



• 엽록소, 지질 함량



Desmodesmus sp.



배양주 정보 및 최적 동결 보존 조건

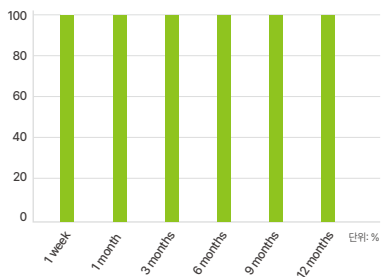
자원은행번호	FBCC-A889	
배양조건	배지	BG-11
	온도	20°C
동결 보호제	10% DMSO	
동결 온도 제어	3단계 동결	
해동	온도	40°C
	시간	3분

분류체계

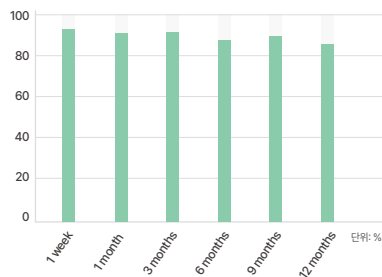
Phylum	Chlorophyta
Class	Chlorophyceae
Order	Sphaeropleales
Family	Selenastraceae
Genus	<i>Desmodesmus</i>
Species	<i>Desmodesmus</i> sp.

해동 후 평가 결과

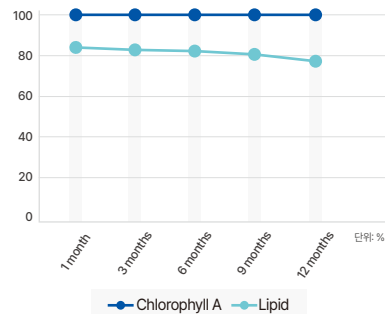
• 재배양률



• 생존율

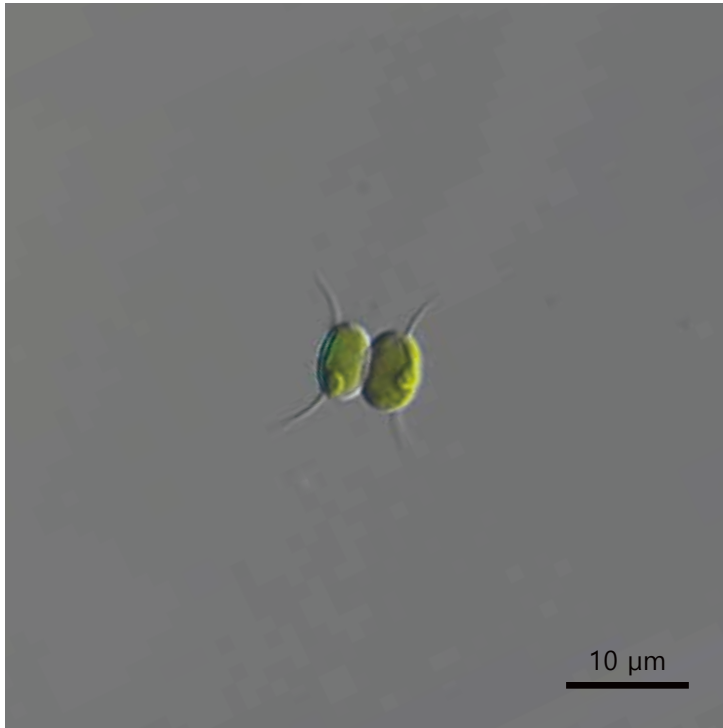


• 엽록소, 지질 함량



Desmodesmus abundans

(Kirchner) E.H.Hegewald 2000



배양주 정보 및 최적 동결 보존 조건

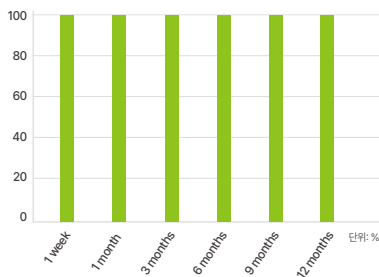
자원은행번호	FBCC-A975	
배양조건	배지	BBM
	온도	20°C
동결 보호제	10% MeOH	
동결 온도 제어	3단계 동결	
해동	온도	40°C
	시간	3분

분류체계

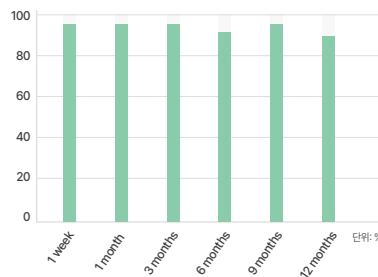
Phylum	Chlorophyta
Class	Chlorophyceae
Order	Sphaeropleales
Family	Scenedesmaceae
Genus	<i>Desmodesmus</i>
Species	<i>D. abundans</i>

해동 후 평가 결과

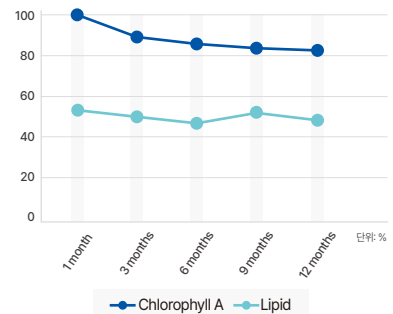
• 재배양률



• 생존율

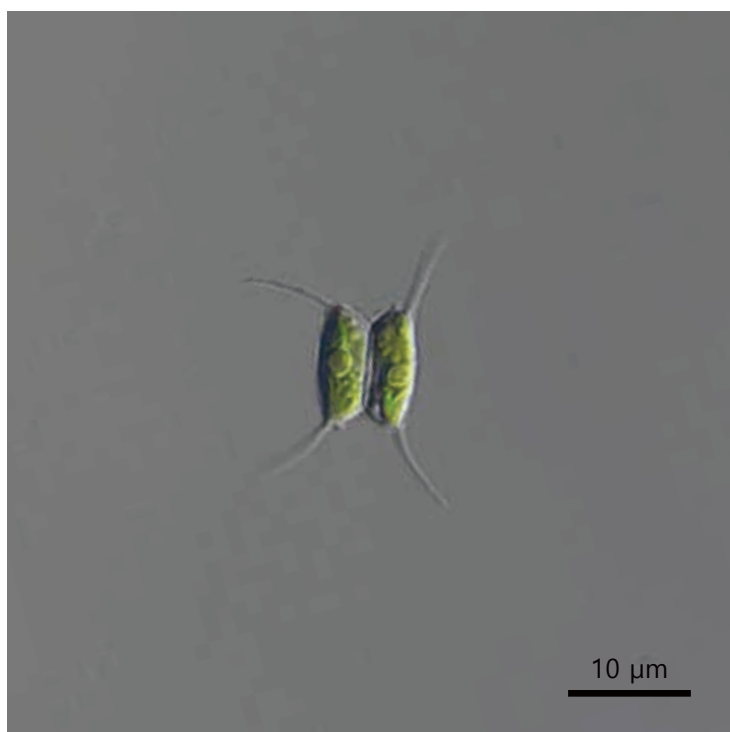


• 엽록소, 지질 함량



Desmodesmus communis

(Kirchner) E.H.Hegewald 2000



배양주 정보 및 최적 동결 보존 조건

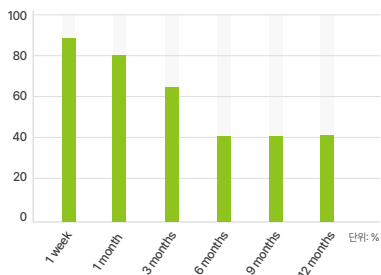
자원은행번호	FBCC-A54	
배양조건	배지	BG-11
	온도	20°C
동결 보호제	10% MeOH	
동결 온도 제어	3단계 동결	
해동	온도	40°C
	시간	3분

분류체계

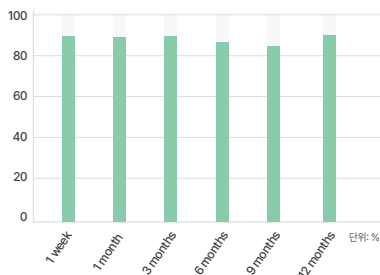
Phylum	Chlorophyta
Class	Chlorophyceae
Order	Sphaeropleales
Family	Scenedesmaceae
Genus	<i>Desmodesmus</i>
Species	<i>D. communis</i>

해동 후 평가 결과

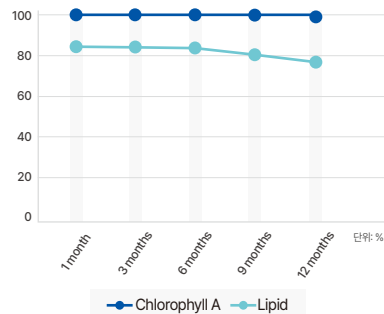
• 재배양률



• 생존율

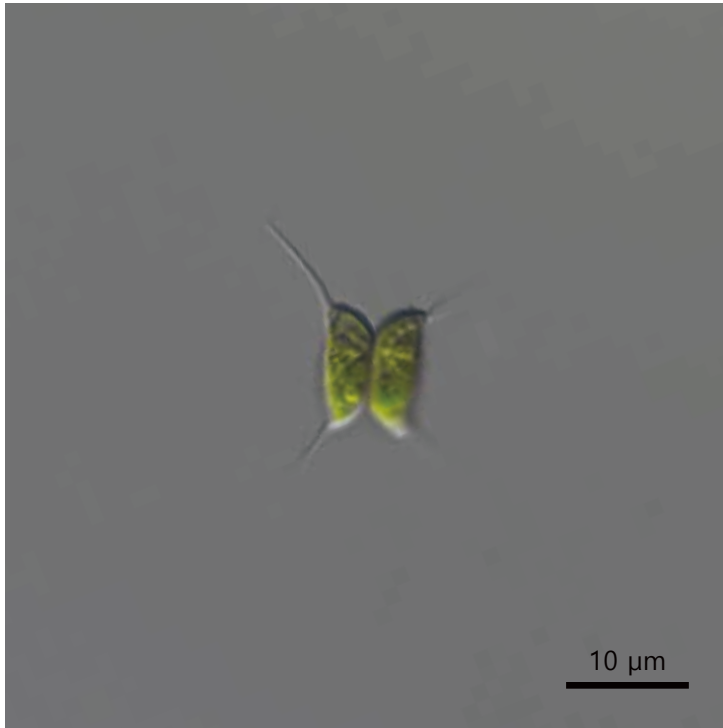


• 엽록소, 지질 함량



Desmodesmus communis

(Kirchner) E.H.Hegewald 2000



배양주 정보 및 최적 동결 보존 조건

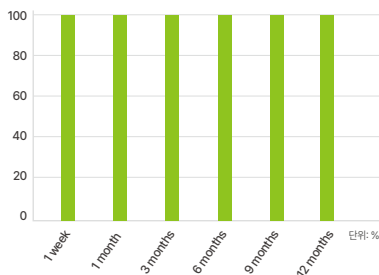
자원은행번호	FBCC-A726	
배양조건	배지	BG-11
	온도	20°C
동결 보호제	10% DMSO	
동결 온도 제어	1단계 동결	
해동	온도	40°C
	시간	3분

분류체계

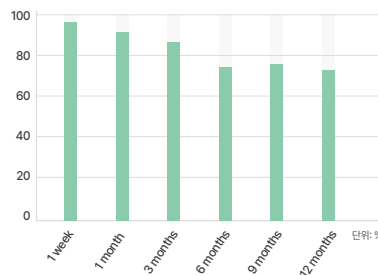
Phylum	Chlorophyta
Class	Chlorophyceae
Order	Sphaeropleales
Family	Scenedesmaceae
Genus	<i>Desmodesmus</i>
Species	<i>D. communis</i>

해동 후 평가 결과

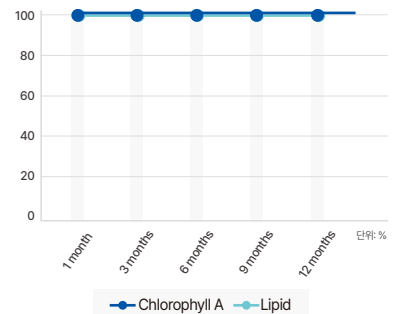
• 재배양률



• 생존율

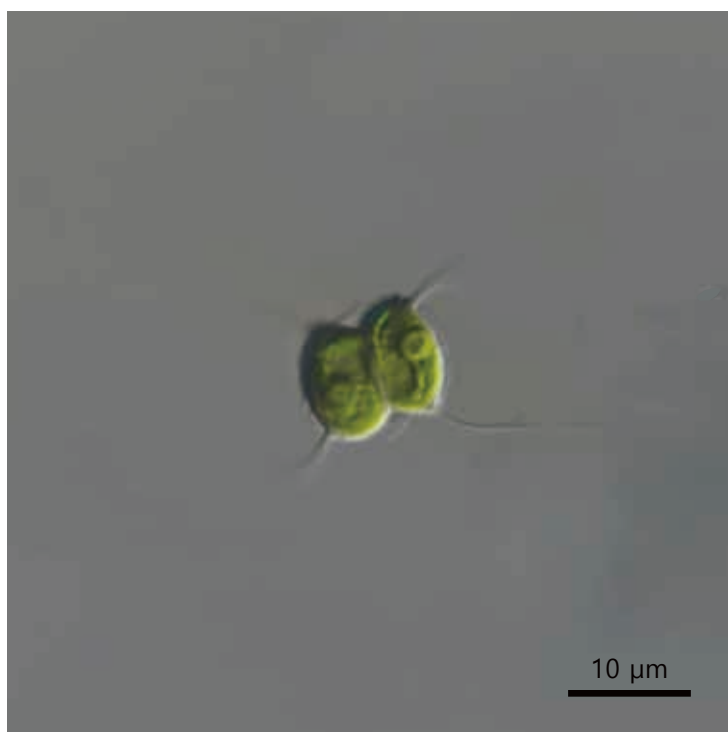


• 엽록소, 지질 함량



Desmodesmus communis

(Kirchner) E.H.Hegewald 2000



배양주 정보 및 최적 동결 보존 조건

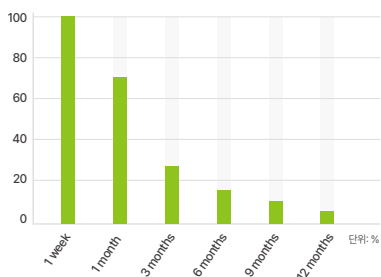
자원은행번호	FBCC-A1433	
배양조건	배지	DY-V
	온도	15°C
동결 보호제	10% DMSO	
동결 온도 제어	1단계 동결	
해동	온도	40°C
	시간	3분

분류체계

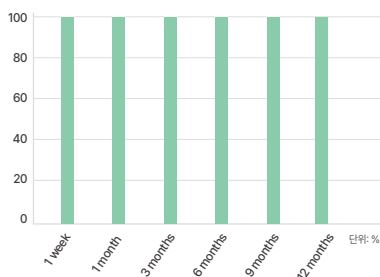
Phylum	Chlorophyta
Class	Chlorophyceae
Order	Sphaeropleales
Family	Scenedesmaceae
Genus	<i>Desmodesmus</i>
Species	<i>D. communis</i>

해동 후 평가 결과

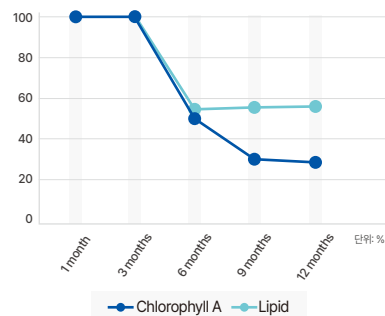
• 재배양률



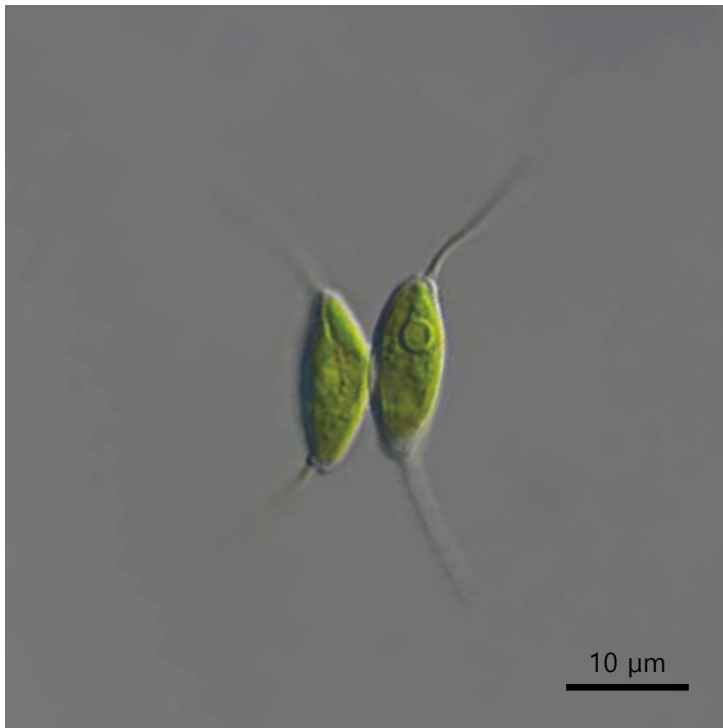
• 생존율



• 엽록소, 지질 함량



Desmodesmus opoliensis var. *mononensis* (Chodat) E.Hegewald 2000



배양주 정보 및 최적 동결 보존 조건

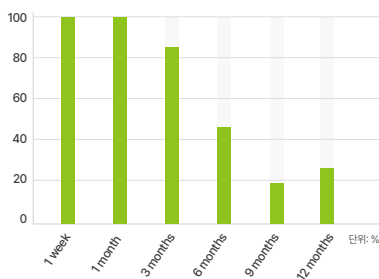
자원은행번호	FBCC-A995	
배양조건	배지	BG-11
	온도	25°C
동결 보호제	10% DMSO	
동결 온도 제어	1단계 동결	
해동	온도	40°C
	시간	3분

분류체계

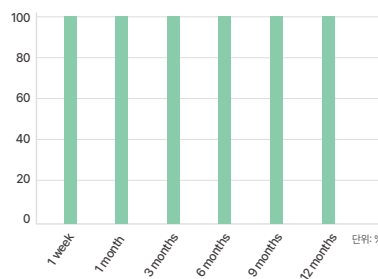
Phylum	Chlorophyta
Class	Chlorophyceae
Order	Sphaeropleales
Family	Scenedesmaceae
Genus	<i>Desmodesmus</i>
Species	<i>D. opoliensis</i> var. <i>mononensis</i>

해동 후 평가 결과

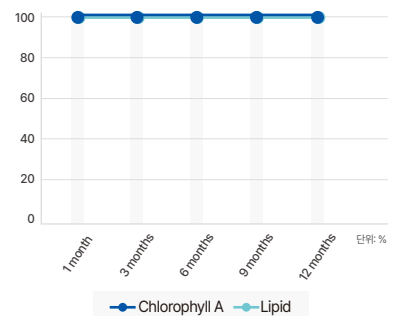
• 재배양률



• 생존율

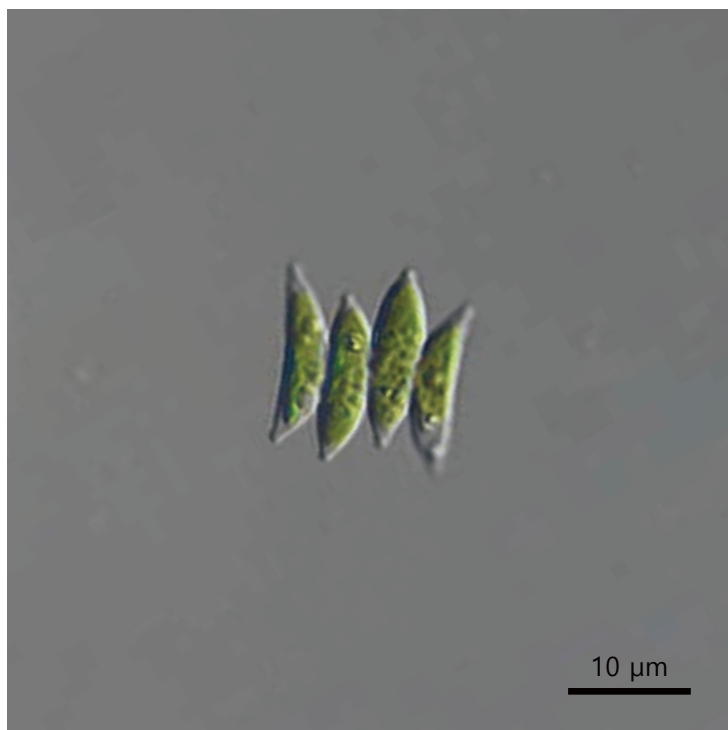


• 엽록소, 지질 함량



Pectinodesmus pectinatus

(Meyen) E.Hegewald, M.Wolf, Al.Keller, Friedl & Krienitz 2010



배양주 정보 및 최적 동결 보존 조건

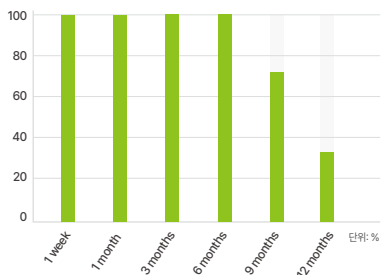
자원은행번호	FBCC-A46	
배양조건	배지	BBM
	온도	20°C
동결 보호제	10% DMSO	
동결 온도 제어	1단계 동결	
해동	온도	40°C
	시간	3분

분류체계

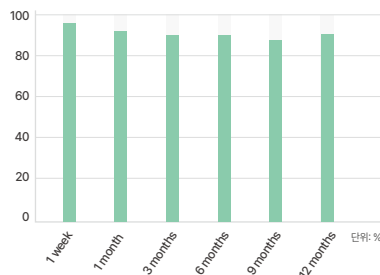
Phylum	Chlorophyta
Class	Chlorophyceae
Order	Sphaeropleales
Family	Scenedesmaceae
Genus	<i>Pectinodesmus</i>
Species	<i>P. pectinatus</i>

해동 후 평가 결과

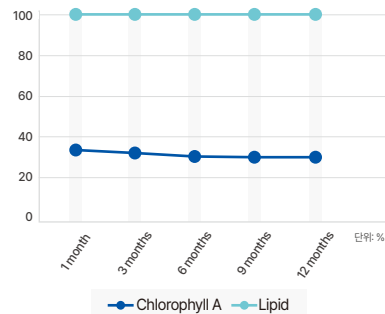
• 재배양률



• 생존율

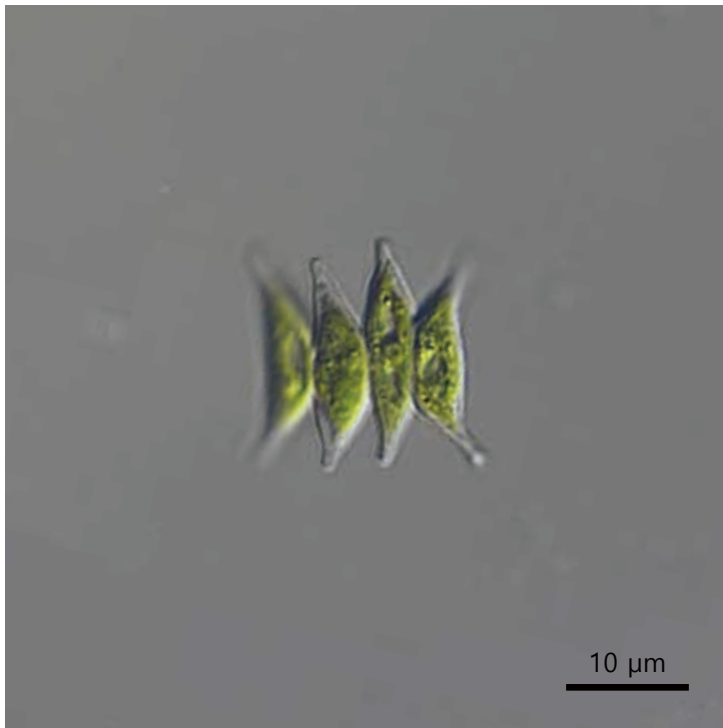


• 엽록소, 지질 함량



Tetradesmus dimorphus

(Turpin) M.J.Wynne 2016



배양주 정보 및 최적 동결 보존 조건

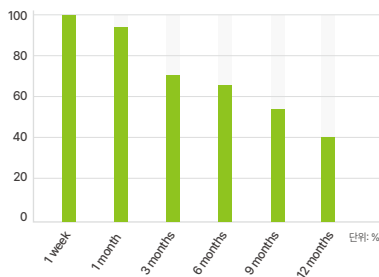
자원은행번호	FBCC-A166	
배양조건	배지	BG-11
	온도	20°C
동결 보호제	10% MeOH	
동결 온도 제어	1단계 동결	
해동	온도	40°C
	시간	3분

분류체계

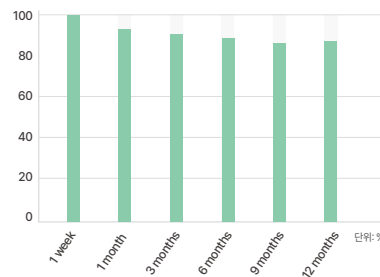
Phylum	Chlorophyta
Class	Chlorophyceae
Order	Sphaeropleales
Family	Scenedesmaceae
Genus	<i>Tetradesmus</i>
Species	<i>T. dimorphus</i>

해동 후 평가 결과

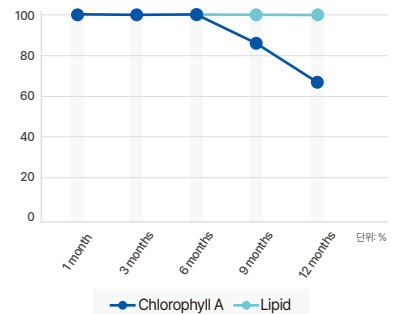
• 재배양률



• 생존율

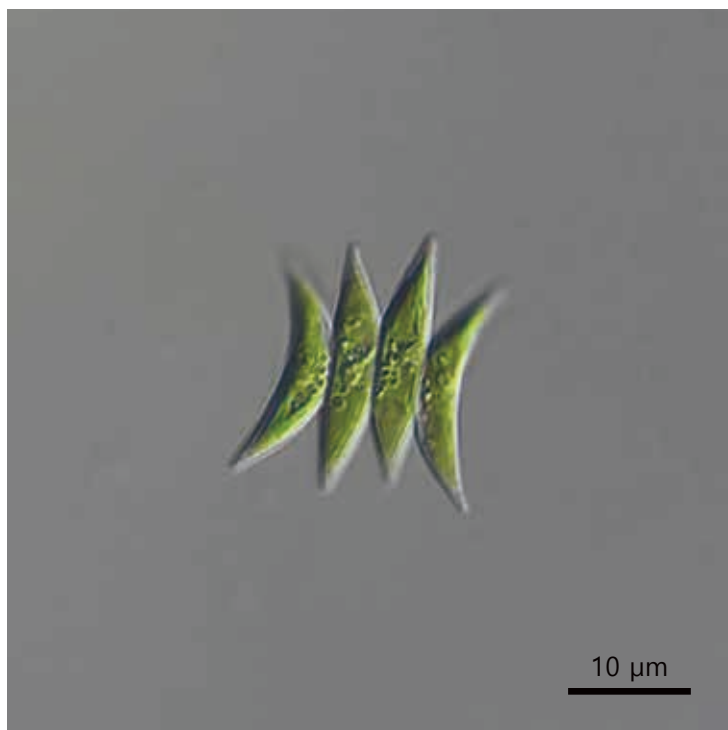


• 엽록소, 지질 함량



Tetradesmus dimorphus

(Turpin) M.J.Wynne 2016



배양주 정보 및 최적 동결 보존 조건

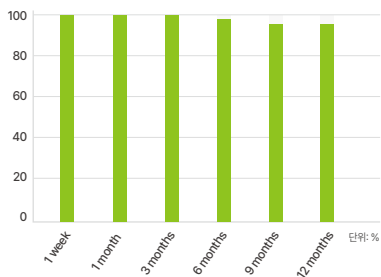
자원은행번호	FBCC-A330	
배양조건	배지	BG-11
	온도	20°C
동결 보호제	10% DMSO	
동결 온도 제어	1단계 동결	
해동	온도	40°C
	시간	3분

분류체계

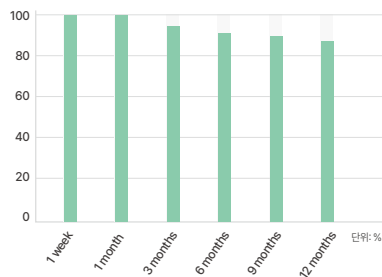
Phylum	Chlorophyta
Class	Chlorophyceae
Order	Sphaeropleales
Family	Scenedesmaceae
Genus	<i>Tetradesmus</i>
Species	<i>T. dimorphus</i>

해동 후 평가 결과

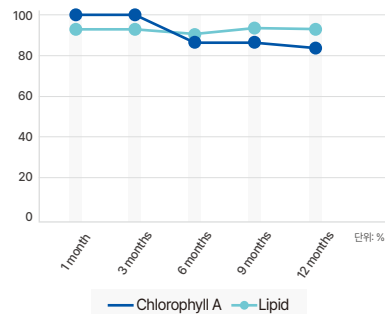
• 재배양률



• 생존율

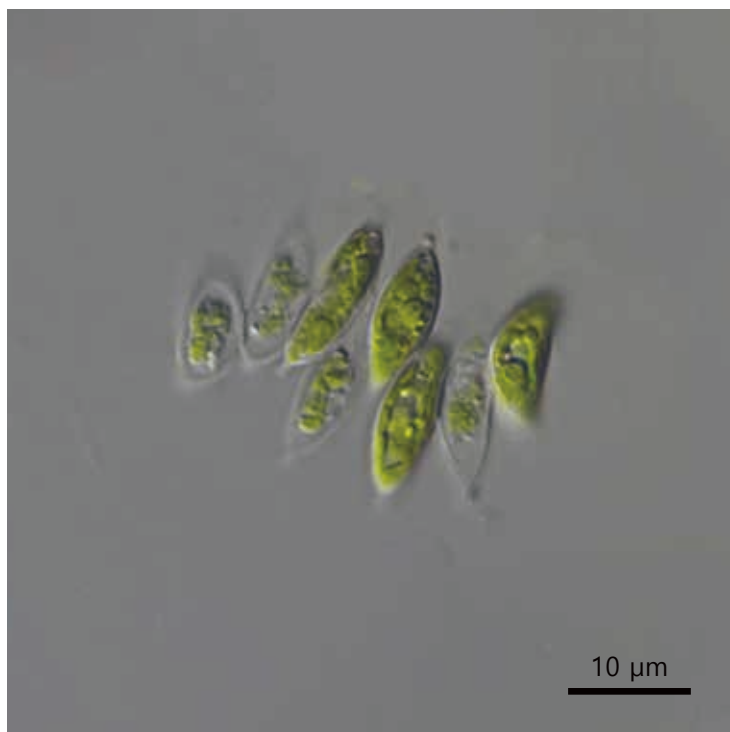


• 엽록소, 지질 함량



Tetradesmus obliquus

(Turpin) Hegewald & Hanagata 2000



배양주 정보 및 최적 동결 보존 조건

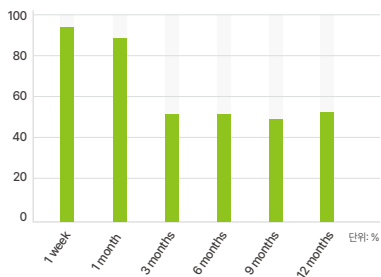
자원은행번호	FBCC-A900	
배양조건	배지	BG-11
	온도	25°C
동결 보호제	10% DMSO	
동결 온도 제어	1단계 동결	
해동	온도	40°C
	시간	3분

분류체계

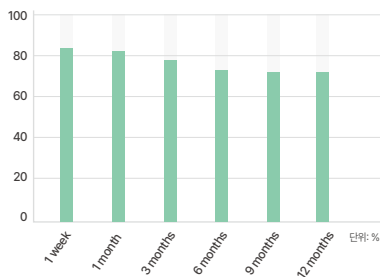
Phylum	Chlorophyta
Class	Chlorophyceae
Order	Sphaeropleales
Family	Scenedesmaceae
Genus	<i>Tetradesmus</i>
Species	<i>T. obliquus</i>

해동 후 평가 결과

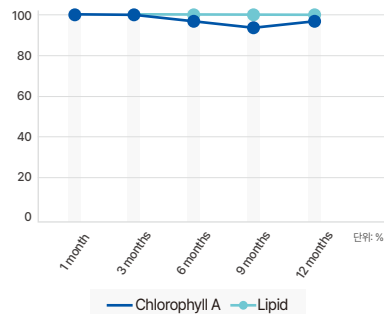
• 재배양률



• 생존율

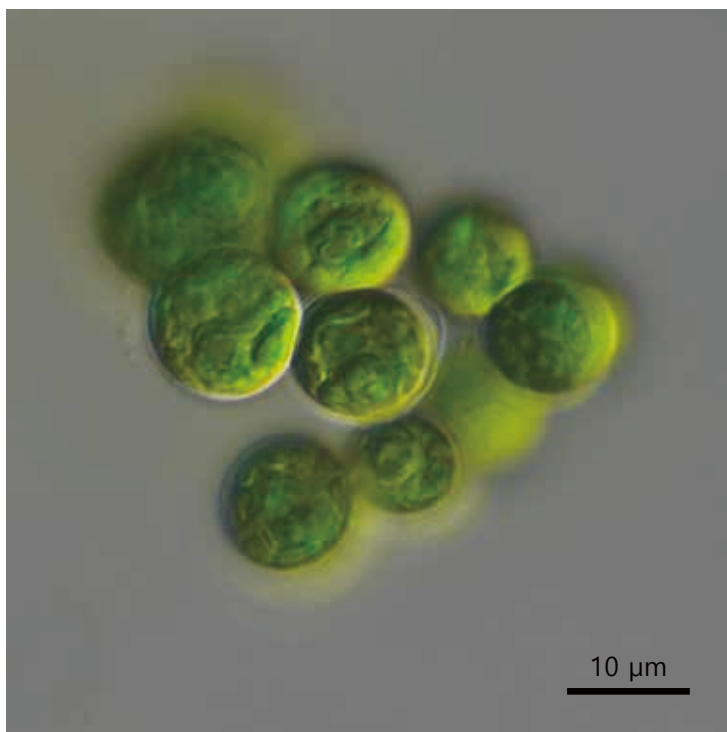


• 엽록소, 지질 함량



Westella botryoides

(West) De Wildeman 1897



배양주 정보 및 최적 동결 보존 조건

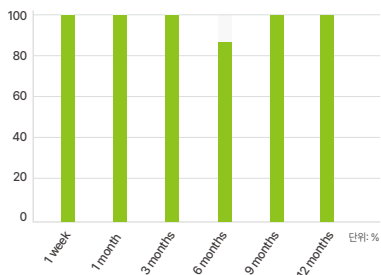
자원은행번호	FBCC-A1169	
배양조건	배지	DY-V
	온도	15°C
동결 보호제	5% DMSO	
동결 온도 제어	3단계 동결	
해동	온도	40°C
	시간	3분

분류체계

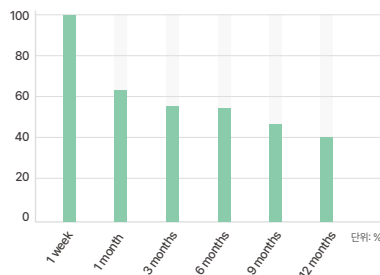
Phylum	Chlorophyta
Class	Chlorophyceae
Order	Sphaeropleales
Family	Scenedesmaceae
Genus	<i>Westella</i>
Species	<i>W. botryoides</i>

해동 후 평가 결과

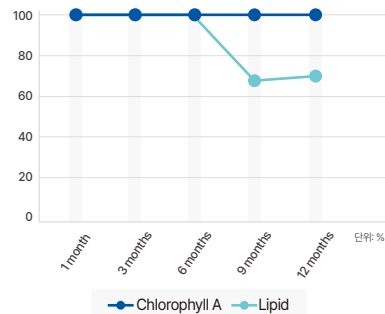
• 재배양률



• 생존율

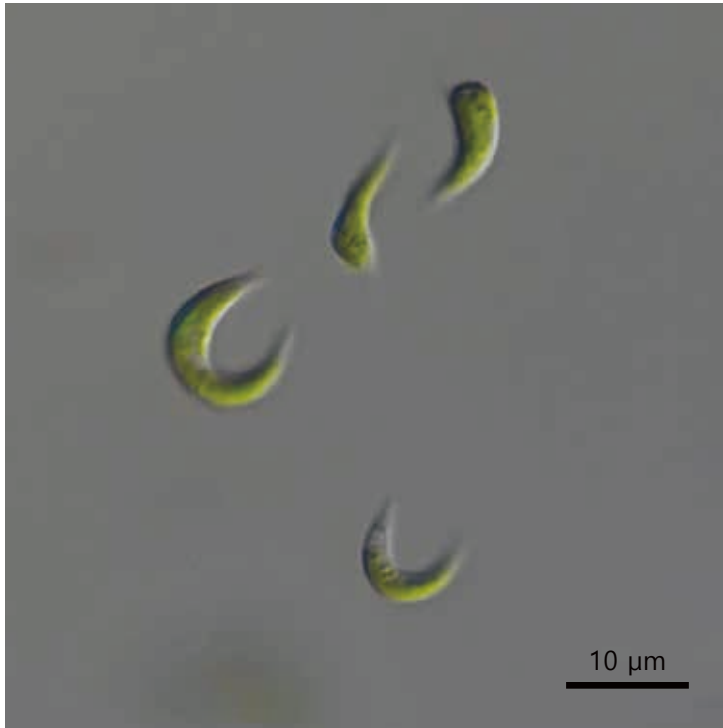


• 엽록소, 지질 함량



Messastrum gracile

(Reinsch) T.S.Garcia 2021



배양주 정보 및 최적 동결 보존 조건

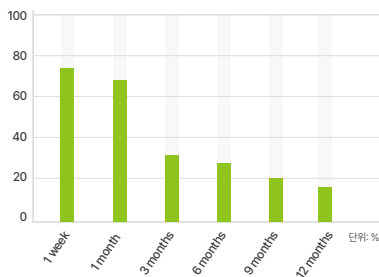
자원은행번호	FBCC-A754	
배양조건	배지	DY-V
	온도	20°C
동결 보호제	5% DMSO	
동결 온도 제어	2단계 동결	
해동	온도	40°C
	시간	3분

분류체계

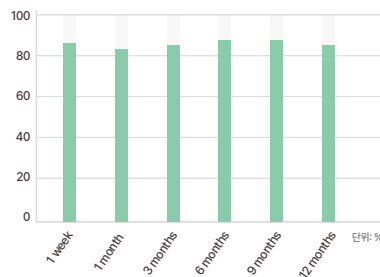
Phylum	Chlorophyta
Class	Chlorophyceae
Order	Sphaeropleales
Family	Selenastraceae
Genus	Messastrum
Species	<i>M. gracile</i>

해동 후 평가 결과

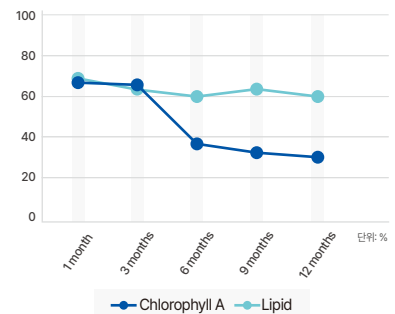
• 재배양률



• 생존율

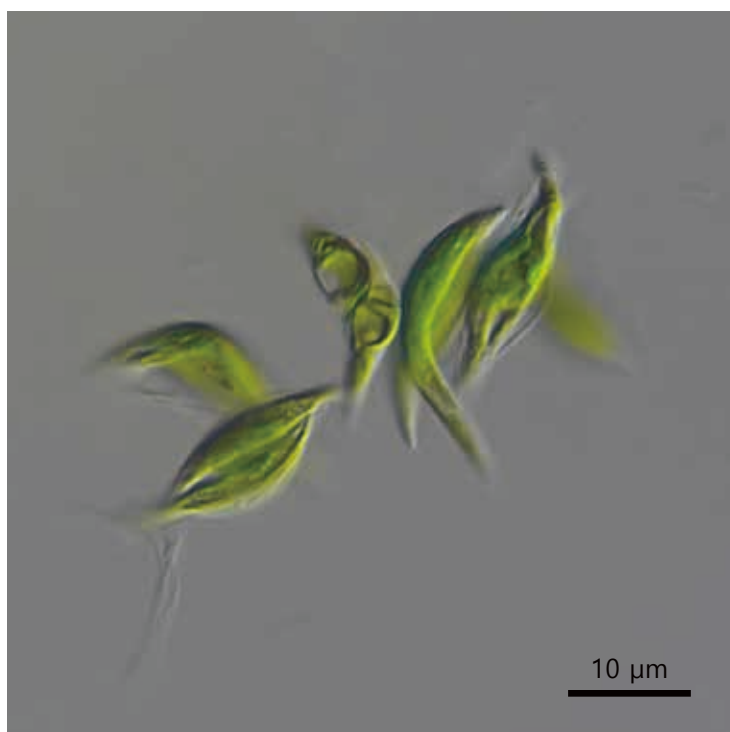


• 엽록소, 지질 함량



Messastrum gracile

(Reinsch) T.S.Garcia 2021



배양주 정보 및 최적 동결 보존 조건

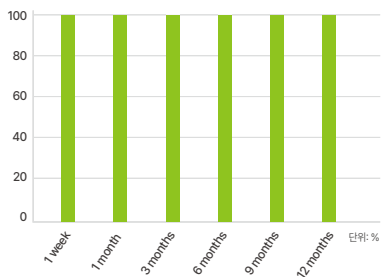
자원은행번호	FBCC-A1056	
배양조건	배지	BG-11
	온도	20°C
동결 보호제	20% DMSO	
동결 온도 제어	1단계 동결	
해동	온도	40°C
	시간	3분

분류체계

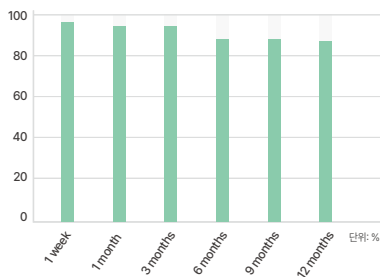
Phylum	Chlorophyta
Class	Chlorophyceae
Order	Sphaeropleales
Family	Selenastraceae
Genus	Messastrum
Species	<i>M. gracile</i>

해동 후 평가 결과

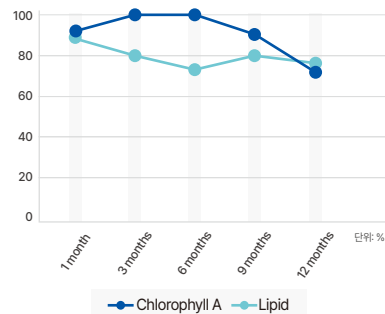
• 재배양률



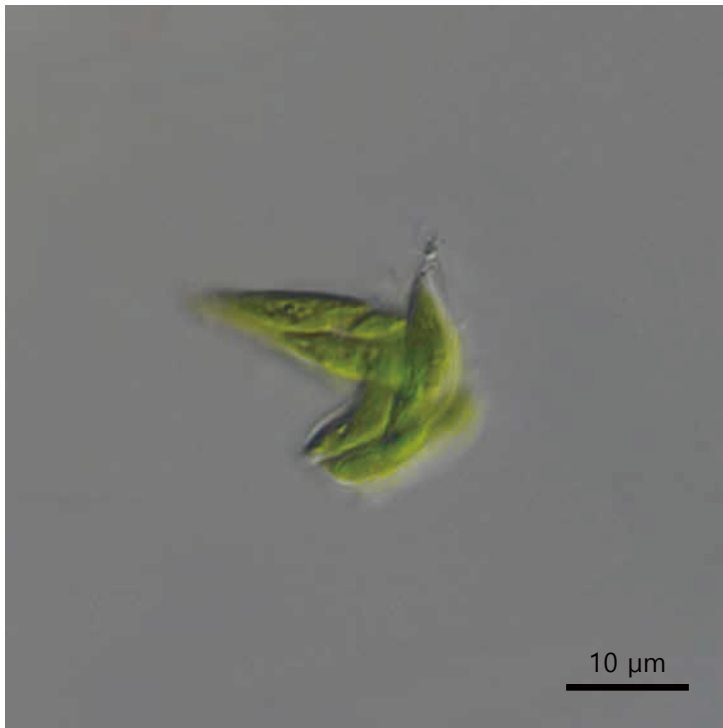
• 생존율



• 엽록소, 지질 함량



Monoraphidium capricornutum (Printz) Nygaard 1977



배양주 정보 및 최적 동결 보존 조건

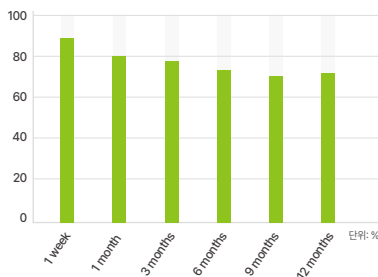
자원은행번호	FBCC-A907	
배양조건	배지	BG-11
	온도	20°C
동결 보호제	10% DMSO	
동결 온도 제어	급속 동결	
해동	온도	40°C
	시간	3분

분류체계

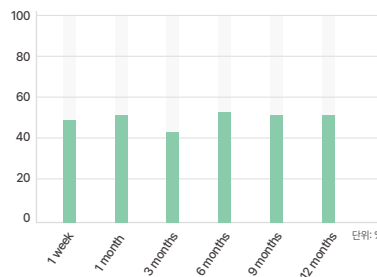
Phylum	Chlorophyta
Class	Chlorophyceae
Order	Sphaeropleales
Family	Selenastraceae
Genus	<i>Monoraphidium</i>
Species	<i>M. capricornutum</i>

해동 후 평가 결과

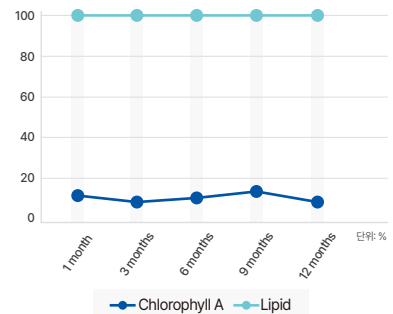
• 재배양률



• 생존율



• 엽록소, 지질 함량



Monoraphidium contortum

(Thuret) Komárková-Legnerová 1969



배양주 정보 및 최적 동결 보존 조건

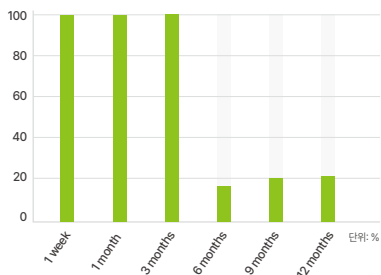
자원은행번호	FBCC-A171	
배양조건	배지	BG-11
	온도	20°C
동결 보호제	No CPAs	
동결 온도 제어	급속 동결	
해동	온도	40°C
	시간	3분

분류체계

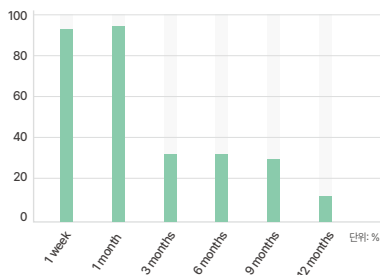
Phylum	Chlorophyta
Class	Chlorophyceae
Order	Sphaeropleales
Family	Selenastraceae
Genus	<i>Monoraphidium</i>
Species	<i>M. contortum</i>

해동 후 평가 결과

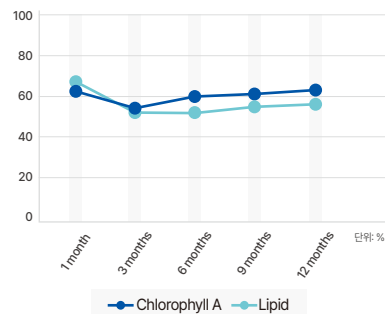
• 재배양률



• 생존율

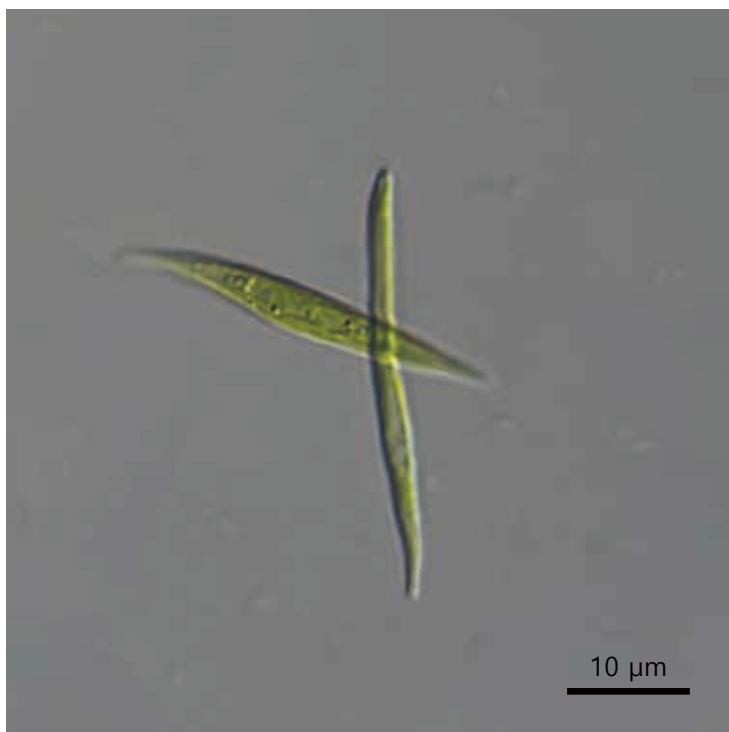


• 엽록소, 지질 함량



Monoraphidium intermedium

Hindák 1984



배양주 정보 및 최적 동결 보존 조건

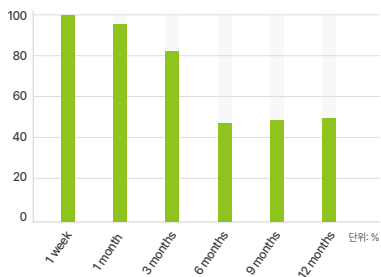
자원은행번호	FBCC-A172	
배양조건	배지	BBM
	온도	20°C
동결 보호제	10% DMSO	
동결 온도 제어	3단계 동결	
해동	온도	40°C
	시간	3분

분류체계

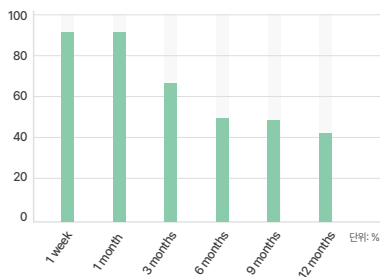
Phylum	Chlorophyta
Class	Chlorophyceae
Order	Sphaeropleales
Family	Selenastraceae
Genus	<i>Monoraphidium</i>
Species	<i>M. intermedium</i>

해동 후 평가 결과

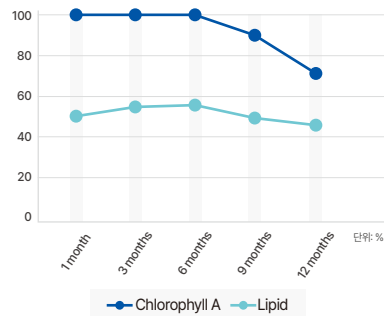
• 재배양률



• 생존율



• 엽록소, 지질 함량



Monoraphidium minutum

(Nägeli) Komárková-Legnerová 1969



배양주 정보 및 최적 동결 보존 조건

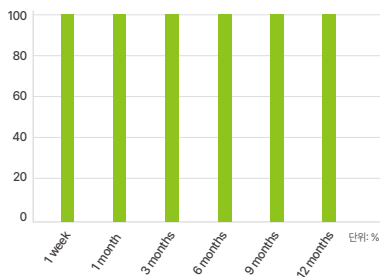
자원은행번호	FBCC-A1359	
배양조건	배지	BBM
	온도	20°C
동결 보호제	10% DMSO	
동결 온도 제어	3단계 동결	
해동	온도	40°C
	시간	3분

분류체계

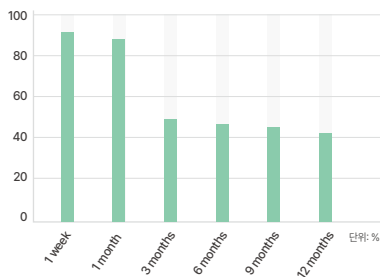
Phylum	Chlorophyta
Class	Chlorophyceae
Order	Sphaeropleales
Family	Selenastraceae
Genus	<i>Monoraphidium</i>
Species	<i>M. minutum</i>

해동 후 평가 결과

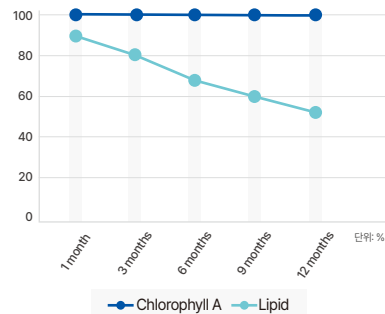
• 재배양률



• 생존율

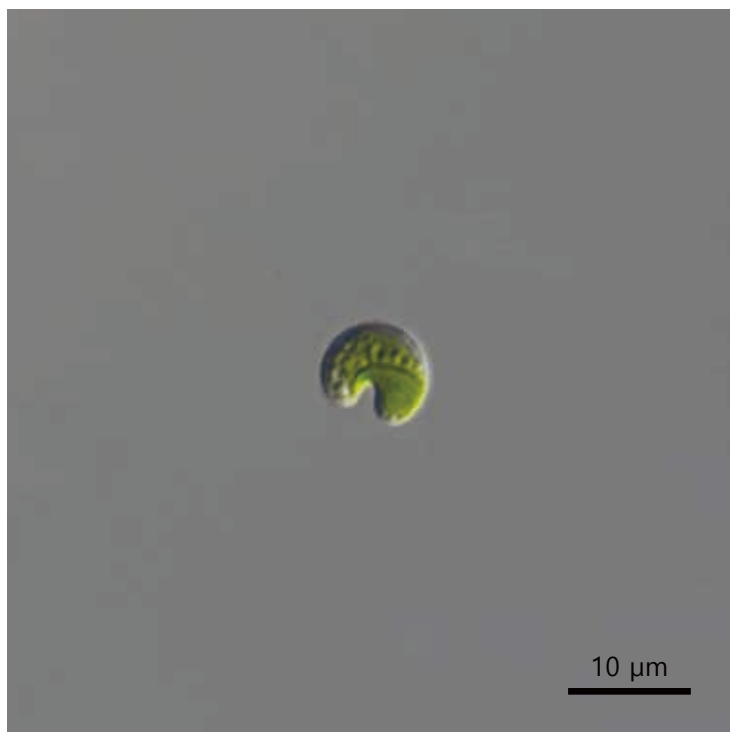


• 엽록소, 지질 함량



Monoraphidium nanum

(Ettl) Hindák 1980



배양주 정보 및 최적 동결 보존 조건

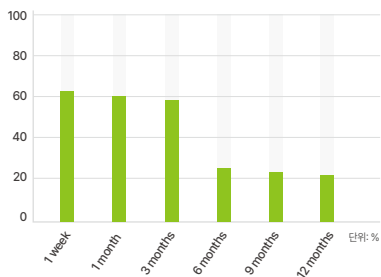
자원은행번호	FBCC-A1081	
배양조건	배지	BBM
	온도	20°C
동결 보호제	20% DMSO	
동결 온도 제어	1단계 동결	
해동	온도	40°C
	시간	3분

분류체계

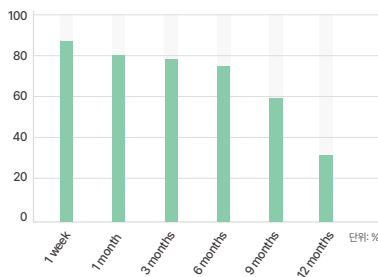
Phylum	Chlorophyta
Class	Chlorophyceae
Order	Sphaeropleales
Family	Selenastraceae
Genus	<i>Monoraphidium</i>
Species	<i>M. nanum</i>

해동 후 평가 결과

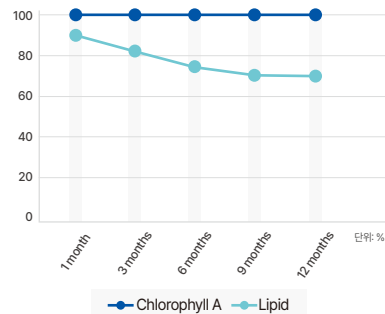
• 재배양률



• 생존율



• 엽록소, 지질 함량



Selenastrum bibraianum

Reinsch 1866



배양주 정보 및 최적 동결 보존 조건

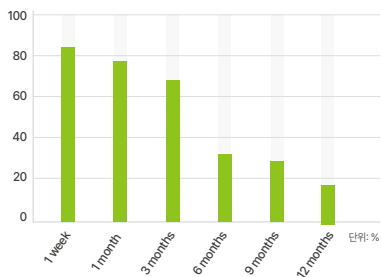
자원은행번호	FBCC-A275	
배양조건	배지	BBM
	온도	20°C
동결 보호제	20% DMSO	
동결 온도 제어	1단계 동결	
해동	온도	40°C
	시간	3분

분류체계

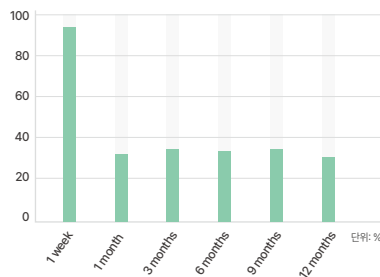
Phylum	Chlorophyta
Class	Chlorophyceae
Order	Sphaeropleales
Family	Selenastraceae
Genus	<i>Selenastrum</i>
Species	<i>S. bibraianum</i>

해동 후 평가 결과

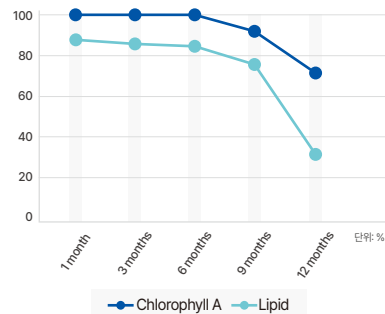
• 재배양률



• 생존율



• 엽록소, 지질 함량



Ankistrodesmus bernardii

Komárek 1983



배양주 정보 및 최적 동결 보존 조건

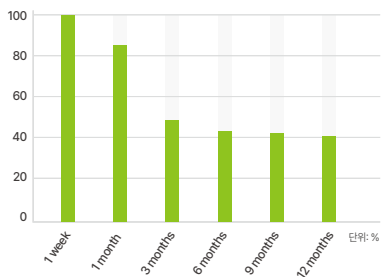
자원은행번호	FBCC-A1040	
배양조건	배지	BBM
	온도	20°C
동결 보호제	20% DMSO	
동결 온도 제어	1단계 동결	
해동	온도	40°C
	시간	3분

분류체계

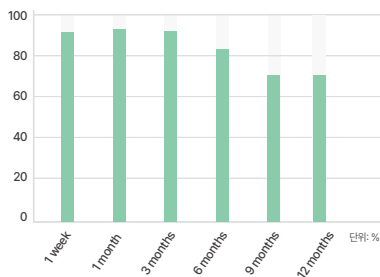
Phylum	Chlorophyta
Class	Chlorophyceae
Order	Sphaeropleales
Family	Selenastraceae
Genus	<i>Ankistrodesmus</i>
Species	<i>A. bernardii</i>

해동 후 평가 결과

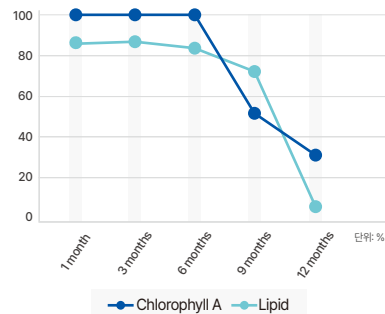
• 재배양률



• 생존율



• 엽록소, 지질 함량



Ankistrodesmus falcatus

(Corda) Ralfs 1848



배양주 정보 및 최적 동결 보존 조건

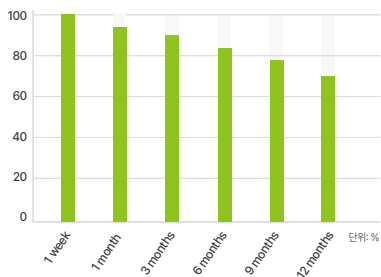
자원은행번호	FBCC-A1240	
배양조건	배지	TAP
	온도	20°C
동결 보호제	15% DMSO	
동결 온도 제어	3단계 동결	
해동	온도	40°C
	시간	3분

분류체계

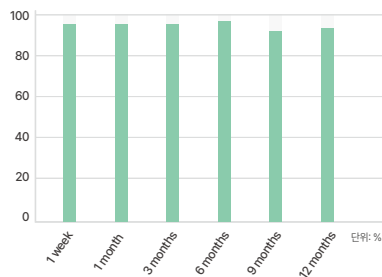
Phylum	Chlorophyta
Class	Chlorophyceae
Order	Sphaeropleales
Family	Selenastraceae
Genus	<i>Ankistrodesmus</i>
Species	<i>A. falcatus</i>

해동 후 평가 결과

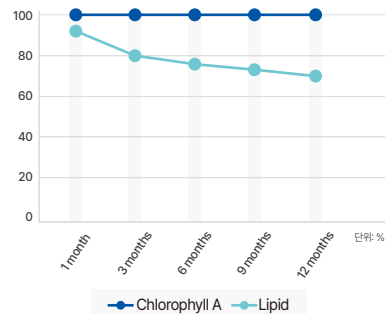
• 재배양률



• 생존율

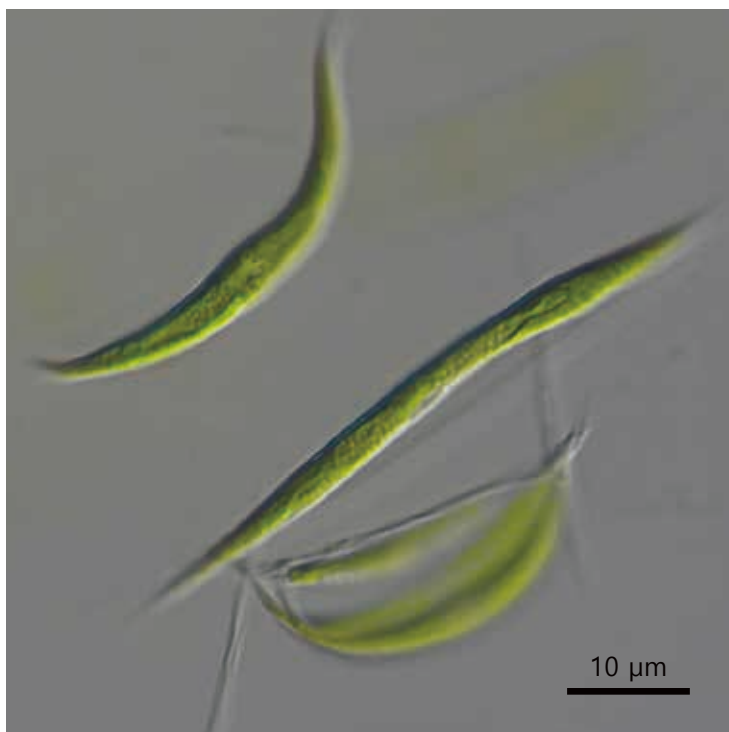


• 엽록소, 지질 함량



Ankistrodesmus fusiformis

Corda 1838



배양주 정보 및 최적 동결 보존 조건

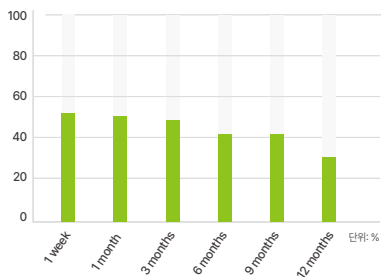
자원은행번호	FBCC-A1047	
배양조건	배지	TAP
	온도	20°C
동결 보호제	20% DMSO	
동결 온도 제어	1단계 동결	
해동	온도	40°C
	시간	3분

분류체계

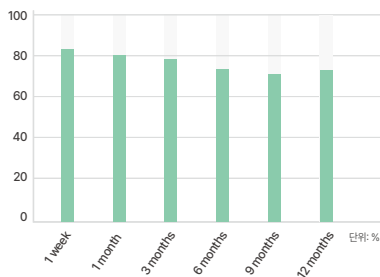
Phylum	Chlorophyta
Class	Chlorophyceae
Order	Sphaeropleales
Family	Selenastraceae
Genus	<i>Ankistrodesmus</i>
Species	<i>A. fusiformis</i>

해동 후 평가 결과

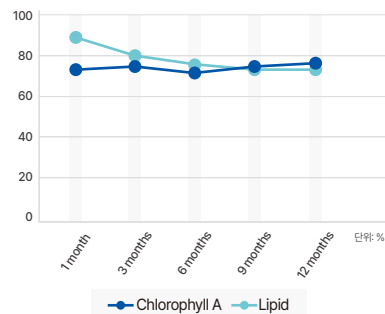
• 재배양률



• 생존율

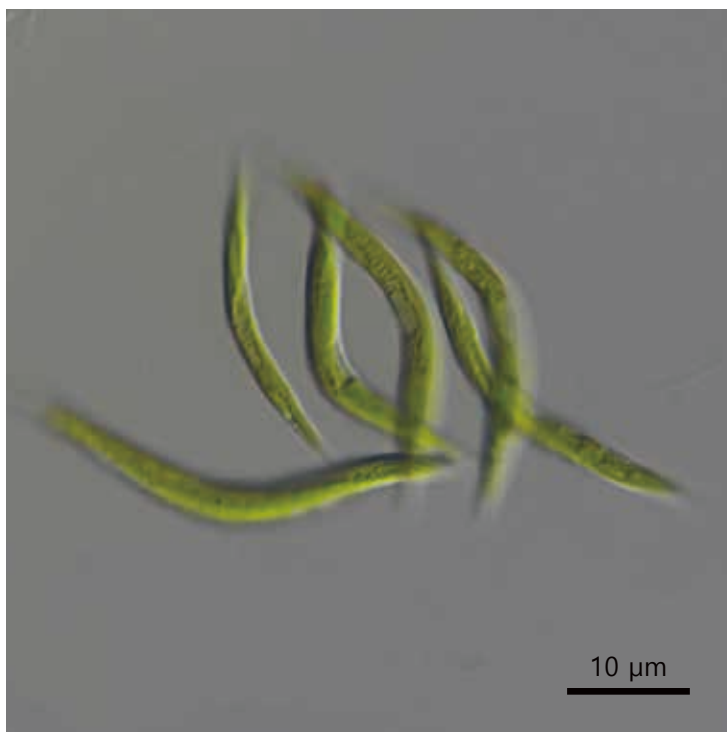


• 엽록소, 지질 함량



Ankistrodesmus spiralis

(W.B.Turner) Lemmermann 1908



배양주 정보 및 최적 동결 보존 조건

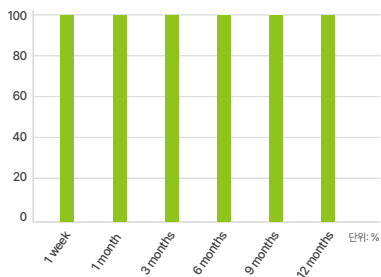
자원은행번호	FBCC-A1048	
배양조건	배지	BG-11
	온도	20°C
동결 보호제	20% DMSO	
동결 온도 제어	1단계 동결	
해동	온도	40°C
	시간	3분

분류체계

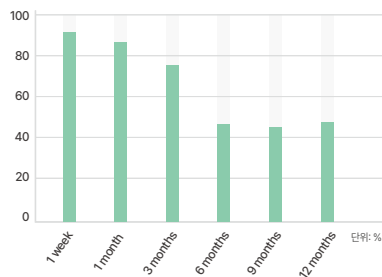
Phylum	Chlorophyta
Class	Chlorophyceae
Order	Sphaeropleales
Family	Selenastraceae
Genus	<i>Ankistrodesmus</i>
Species	<i>A. spiralis</i>

해동 후 평가 결과

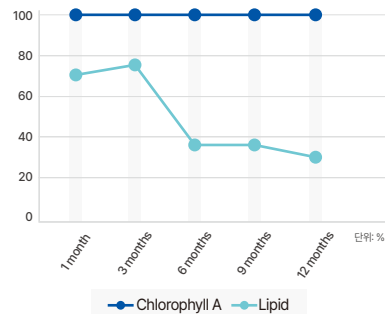
• 재배양률



• 생존율



• 엽록소, 지질 함량



Chlorococcum macrostigmatum

R.C.Starr 1954



배양주 정보 및 최적 동결 보존 조건

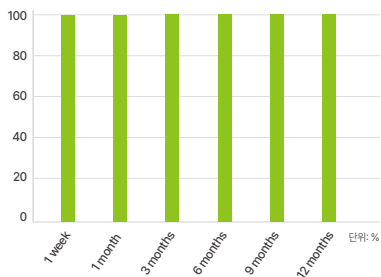
자원은행번호	FBCC-A443	
배양조건	배지	BBM
	온도	15°C
동결 보호제	10% MeOH	
동결 온도 제어	1단계 동결	
해동	온도	40°C
	시간	3분

분류체계

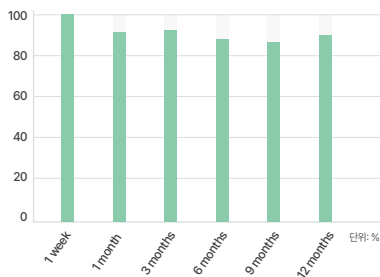
Phylum	Chlorophyta
Class	Chlorophyceae
Order	Volvocales
Family	Chlorococcaceae
Genus	<i>Chlorococcum</i>
Species	<i>C. macrostigmatum</i>

해동 후 평가 결과

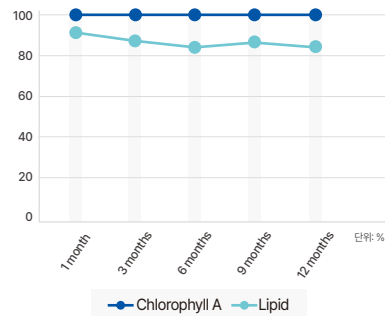
• 재배양률



• 생존율

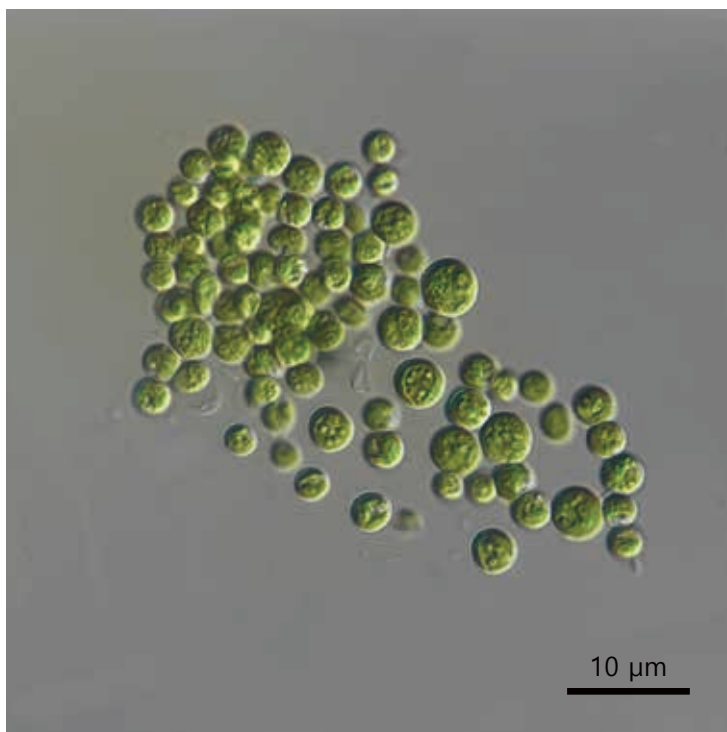


• 엽록소, 지질 함량



Chlorococcum pamirum

P.A.Archibald 1988



배양주 정보 및 최적 동결 보존 조건

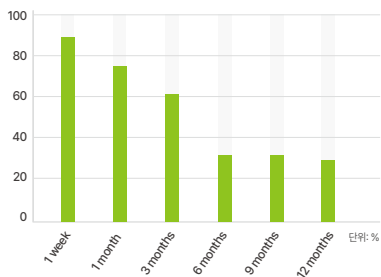
자원은행번호	FBCC-A113	
배양조건	배지	BG-11
	온도	30°C
동결 보호제	No CPAs	
동결 온도 제어	급속 동결	
해동	온도	40°C
	시간	3분

분류체계

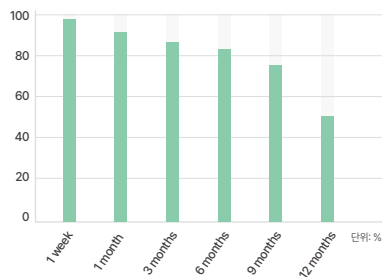
Phylum	Chlorophyta
Class	Chlorophyceae
Order	Volvocales
Family	Chlorococcaceae
Genus	<i>Chlorococcum</i>
Species	<i>C. pamirum</i>

해동 후 평가 결과

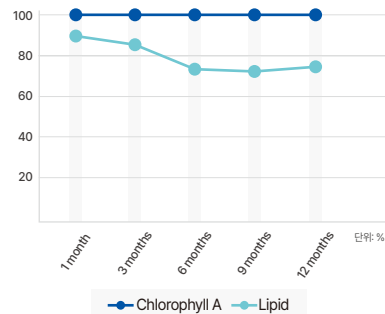
• 재배양률



• 생존율

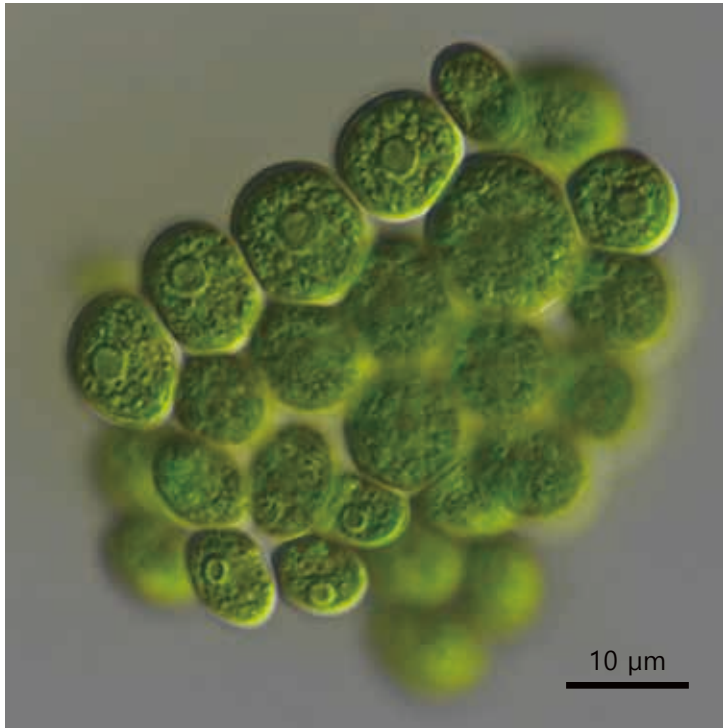


• 엽록소, 지질 함량



Pleurastrum microstigmatum

Sciuto, M.A.Wolf, Mistri & Moro 2023



배양주 정보 및 최적 동결 보존 조건

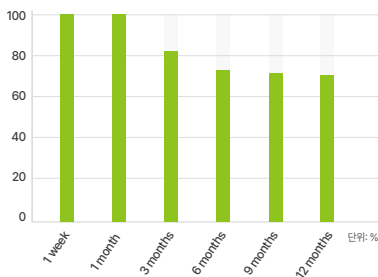
자원은행번호	FBCC-A1226	
배양조건	배지	TAP
	온도	20°C
동결 보호제	20% MeOH	
동결 온도 제어	1단계 동결	
해동	온도	40°C
	시간	3분

분류체계

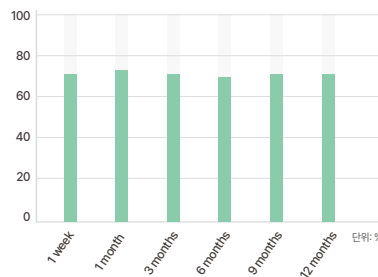
Phylum	Chlorophyta
Class	Chlorophyceae
Order	Volvocales
Family	Pleurastraceae
Genus	<i>Pleurastrum</i>
Species	<i>P. microstigmatum</i>

해동 후 평가 결과

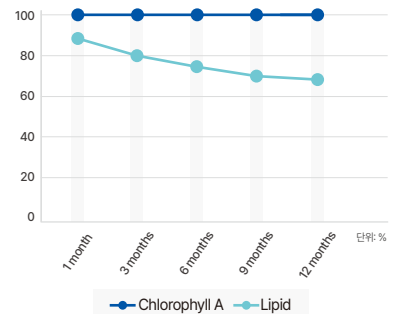
• 재배양률



• 생존율

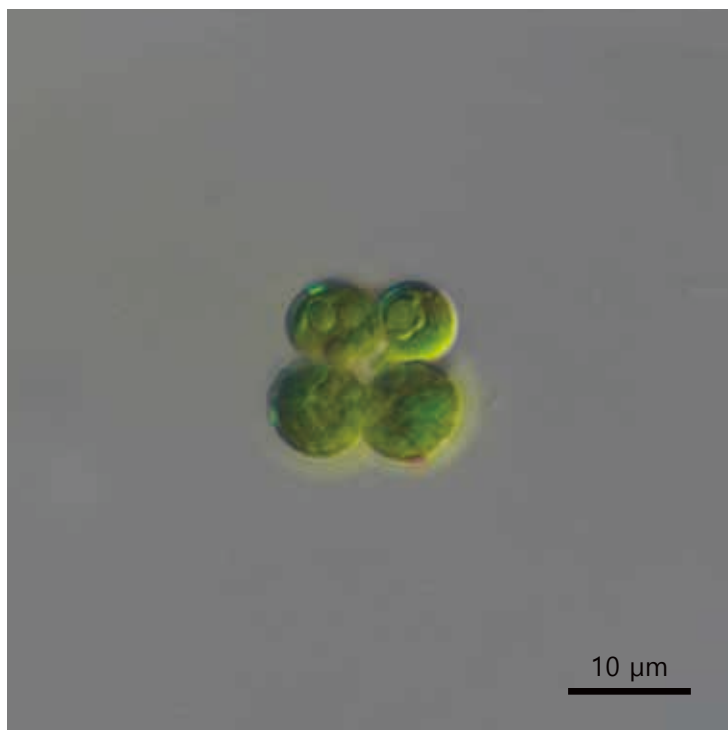


• 엽록소, 지질 함량



Tetrabaena socialis

(Dujardin) H.Nozaki & M.Itoh 1994



배양주 정보 및 최적 동결 보존 조건

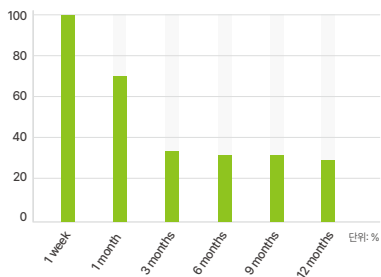
자원은행번호	FBCC-A1324	
배양조건	배지	MBBM
	온도	15°C
동결 보호제	40% MeOH	
동결 온도 제어	2단계 동결	
해동	온도	40°C
	시간	3분

분류체계

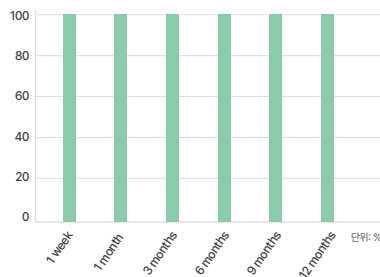
Phylum	Chlorophyta
Class	Chlorophyceae
Order	Volvocales
Family	Tetrabaenaceae
Genus	<i>Tetrabaena</i>
Species	<i>T. socialis</i>

해동 후 평가 결과

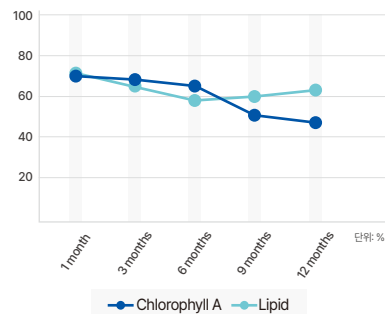
• 재배양률



• 생존율



• 엽록소, 지질 함량



Eudorina unicocca

G.M.Smith 1931



배양주 정보 및 최적 동결 보존 조건

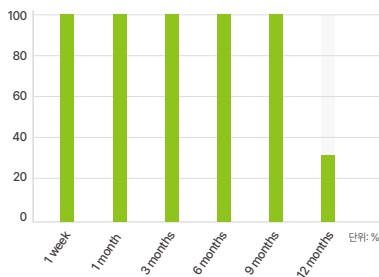
자원은행번호	FBCC-A1323	
배양조건	배지	BG-11
	온도	15°C
동결 보호제	10% DMSO	
동결 온도 제어	급속 동결	
해동	온도	40°C
	시간	3분

분류체계

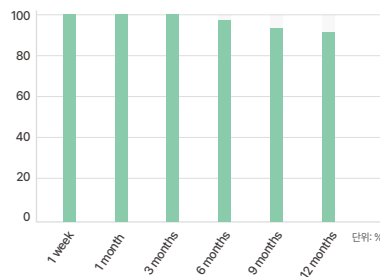
Phylum	Chlorophyta
Class	Chlorophyceae
Order	Volvocales
Family	Volvocaceae
Genus	<i>Eudorina</i>
Species	<i>E. unicocca</i>

해동 후 평가 결과

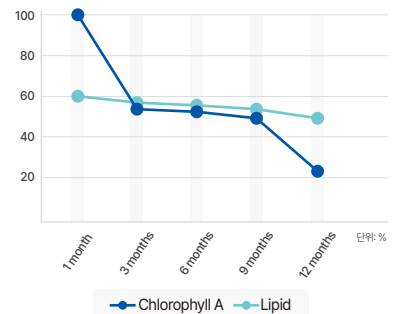
• 재배양률



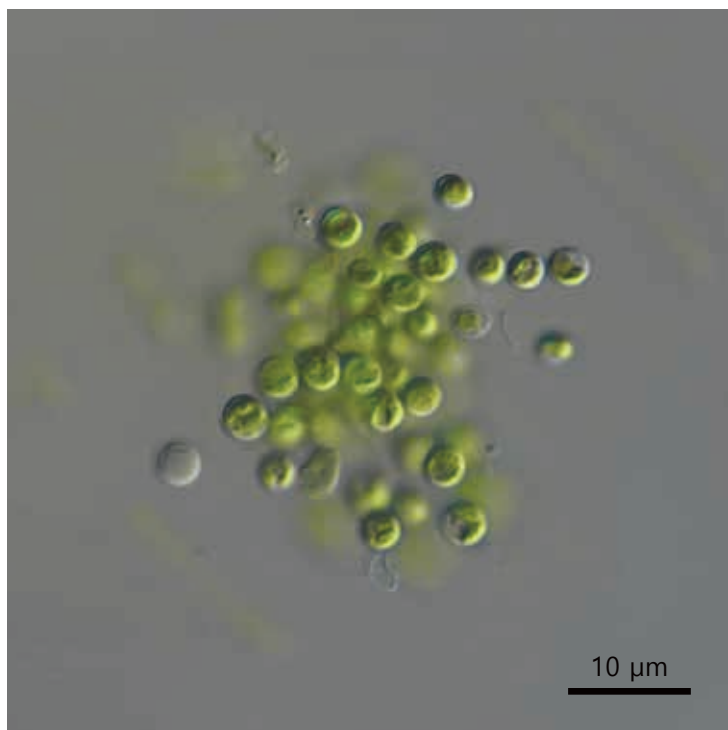
• 생존율



• 엽록소, 지질 함량



Chlorella sp.



배양주 정보 및 최적 동결 보존 조건

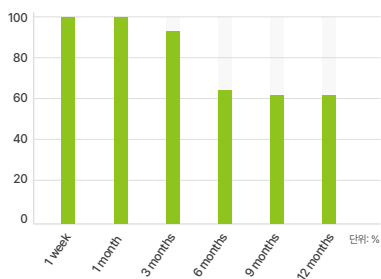
자원은행번호	FBCC-A442	
배양조건	배지	BG-11
	온도	20°C
동결 보호제	10% DMSO	
동결 온도 제어	1단계 동결	
해동	온도	40°C
	시간	3분

분류체계

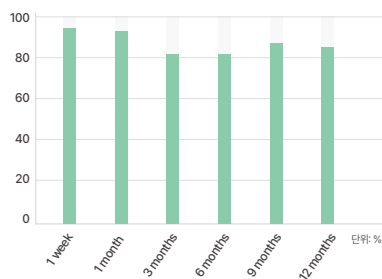
Phylum	Chlorophyta
Class	Trebouxiophyceae
Order	Chlorellales
Family	Chlorellaceae
Genus	<i>Chlorella</i>
Species	<i>Chlorella</i> sp.

해동 후 평가 결과

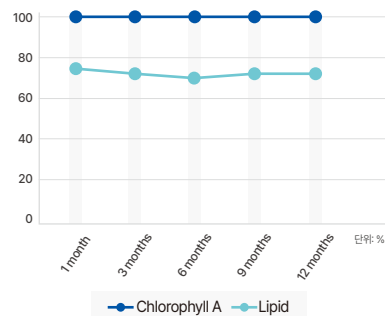
• 재배양률



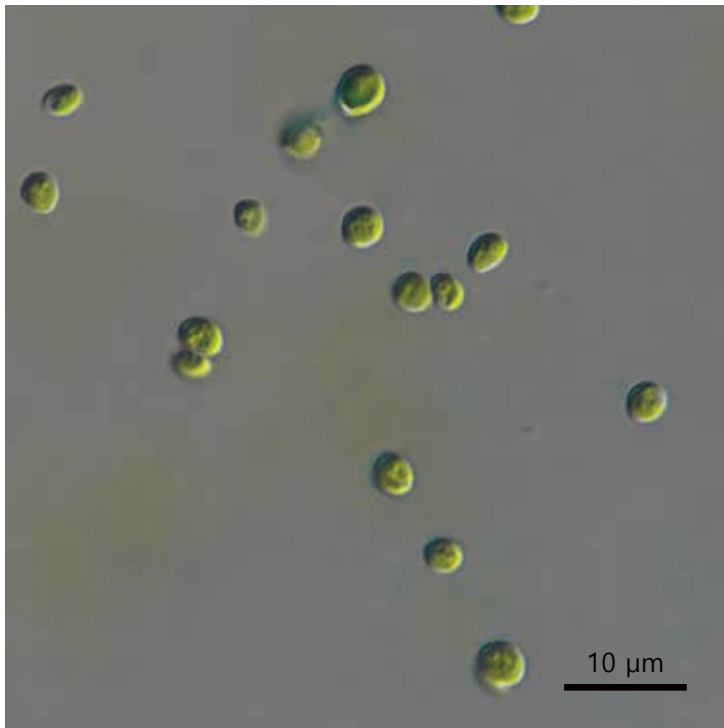
• 생존율



• 엽록소, 지질 함량



Chlorella sp.



배양주 정보 및 최적 동결 보존 조건

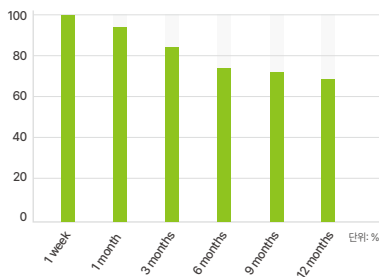
자원은행번호	FBCC-A1344	
배양조건	배지	BG-11
	온도	20°C
동결 보호제	10% DMSO	
동결 온도 제어	1단계 동결	
해동	온도	40°C
	시간	3분

분류체계

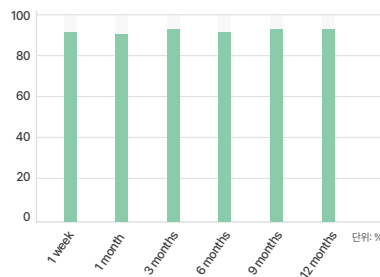
Phylum	Chlorophyta
Class	Trebouxiophyceae
Order	Chlorellales
Family	Chlorellaceae
Genus	<i>Chlorella</i>
Species	<i>Chlorella</i> sp.

해동 후 평가 결과

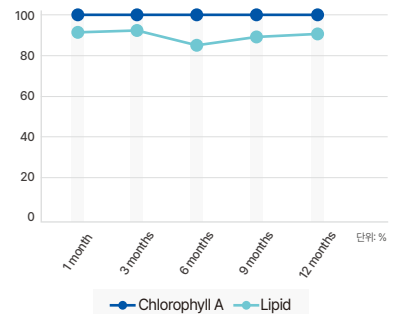
• 재배양률



• 생존율



• 엽록소, 지질 함량



Dictyosphaerium ehrenbergianum

Nägeli 1849



배양주 정보 및 최적 동결 보존 조건

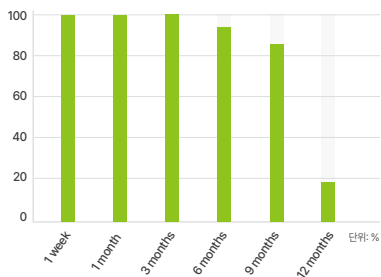
자원은행번호	FBCC-A283	
배양조건	배지	BG-11
	온도	20°C
동결 보호제	5% DMSO	
동결 온도 제어	3단계 동결	
해동	온도	40°C
	시간	3분

분류체계

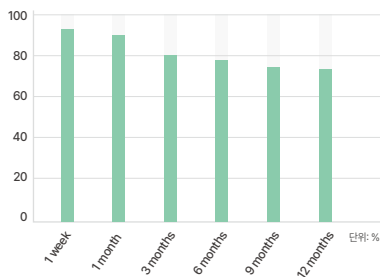
Phylum	Chlorophyta
Class	Trebouxiophyceae
Order	Chlorellales
Family	Chlorellaceae
Genus	<i>Dictyosphaerium</i>
Species	<i>D. ehrenbergianum</i>

해동 후 평가 결과

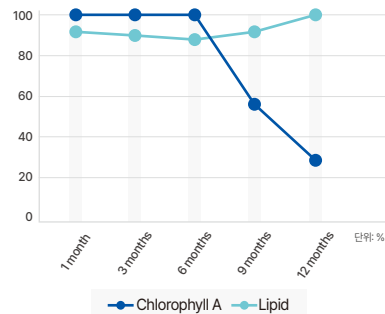
• 재배양률



• 생존율

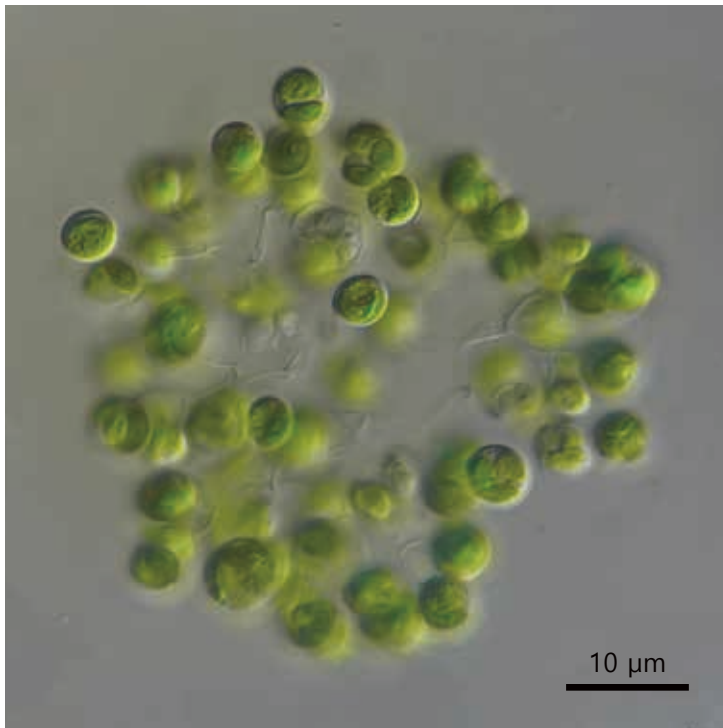


• 엽록소, 지질 함량



Dictyosphaerium lacustre

C.Bock, Proschold & Krienitz 2011



배양주 정보 및 최적 동결 보존 조건

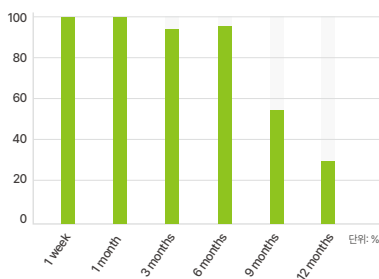
자원은행번호	FBCC-A445	
배양조건	배지	BBM
	온도	20°C
동결 보호제	10% MeOH	
동결 온도 제어	3단계 동결	
해동	온도	40°C
	시간	3분

분류체계

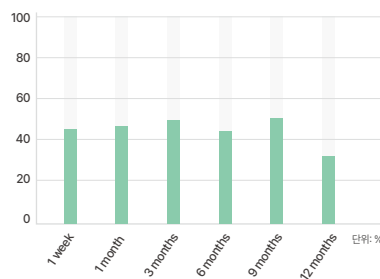
Phylum	Chlorophyta
Class	Trebouxiophyceae
Order	Chlorellales
Family	Chlorellaceae
Genus	<i>Dictyosphaerium</i>
Species	<i>D. lacustre</i>

해동 후 평가 결과

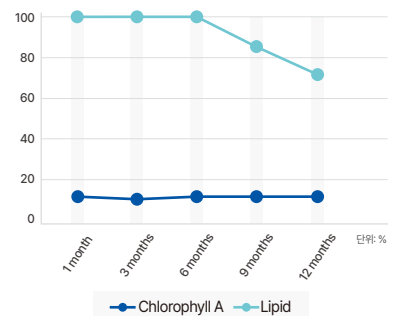
• 재배양률



• 생존율

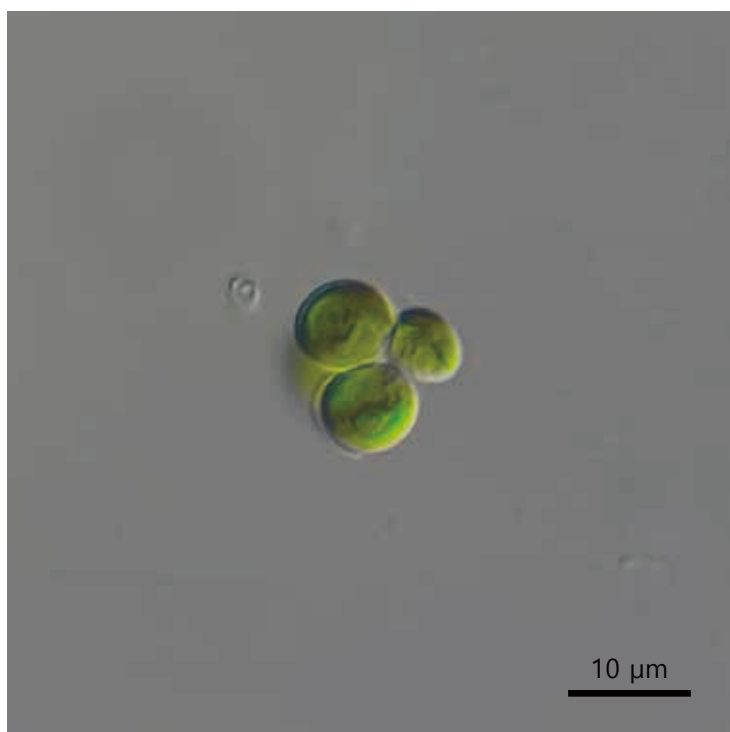


• 엽록소, 지질 함량



Micractinium pusillum

Fresenius 1858



배양주 정보 및 최적 동결 보존 조건

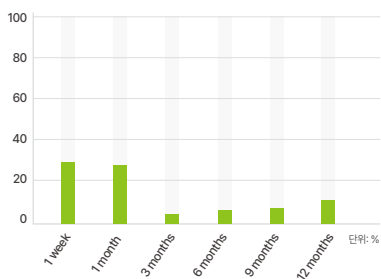
자원은행번호	FBCC-A1191	
배양조건	배지	DY-V
	온도	20°C
동결 보호제	10% MeOH	
동결 온도 제어	급속 동결	
해동	온도	40°C
	시간	3분

분류체계

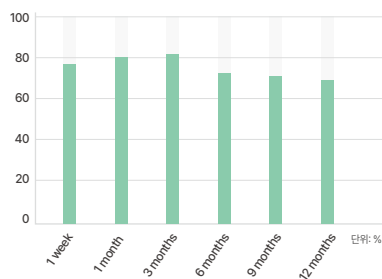
Phylum	Chlorophyta
Class	Trebouxiophyceae
Order	Chlorellales
Family	Chlorellaceae
Genus	<i>Micractinium</i>
Species	<i>M. pusillum</i>

해동 후 평가 결과

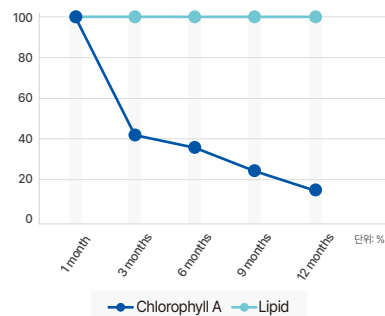
• 재배양률



• 생존율

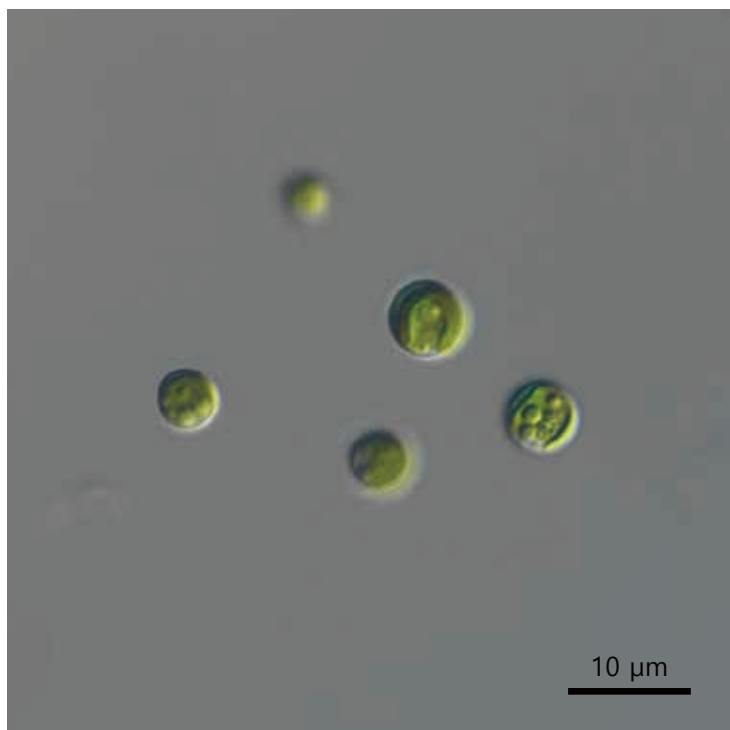


• 엽록소, 지질 함량



Parachlorella kessleri

(Fott & Nováková) Krienitz, E.H.Hegewald, Hepperle, V.Huss, T.Rohr & M.Wolf 2004



배양주 정보 및 최적 동결 보존 조건

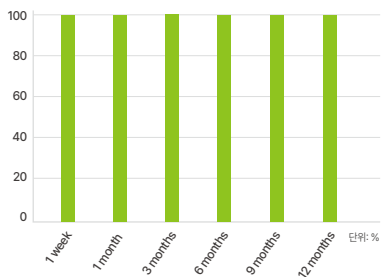
자원은행번호	FBCC-A403	
배양조건	배지	BBM
	온도	20°C
동결 보호제	10% MeOH	
동결 온도 제어	1단계 동결	
해동	온도	40°C
	시간	3분

분류체계

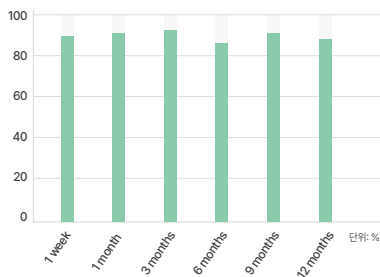
Phylum	Chlorophyta
Class	Trebouxiophyceae
Order	Chlorellales
Family	Chlorellaceae
Genus	Parachlorella
Species	P. kessleri

해동 후 평가 결과

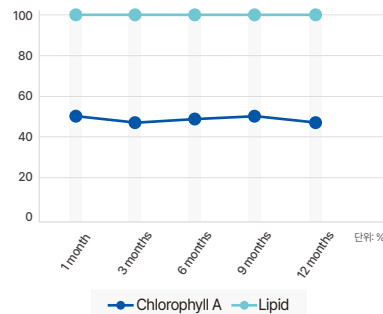
• 재배양률



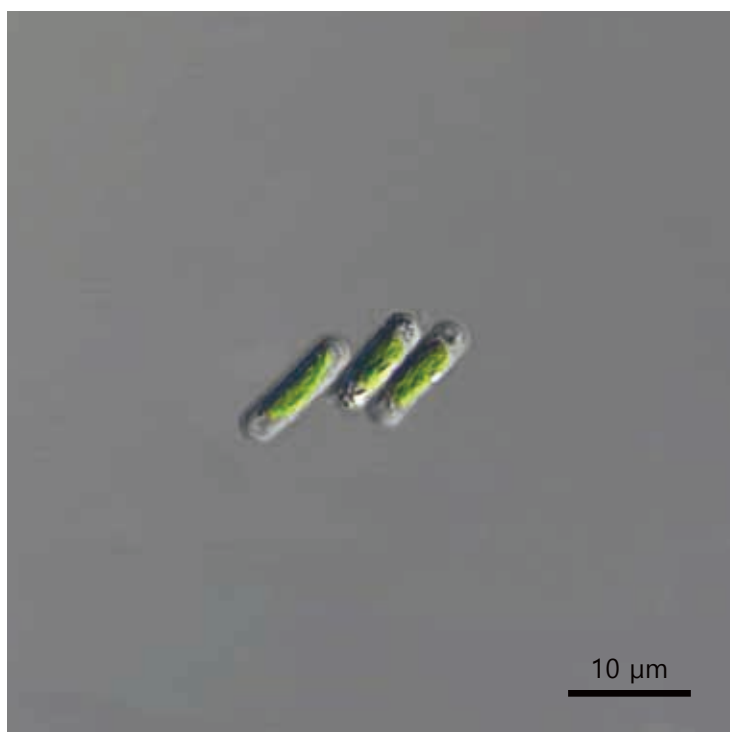
• 생존율



• 엽록소, 지질 함량



Deuterostichococcus marinus (Deason) Pröschold & Darienko 2020



배양주 정보 및 최적 동결 보존 조건

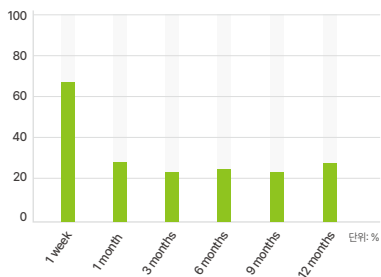
자원은행번호	FBCC-A176	
배양조건	배지	BBM
	온도	20°C
동결 보호제	10% DMSO	
동결 온도 제어	3단계 동결	
해동	온도	40°C
	시간	3분

분류체계

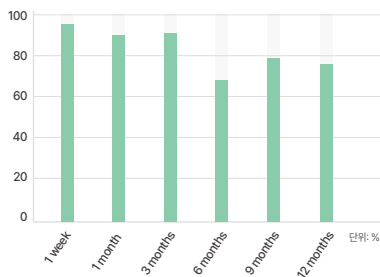
Phylum	Chlorophyta
Class	Trebouxiophyceae
Order	Prasiolales
Family	Stichococcaceae
Genus	<i>Deuterostichococcus</i>
Species	<i>D. marinus</i>

해동 후 평가 결과

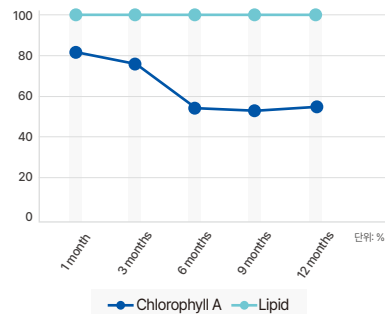
• 재배양률



• 생존율

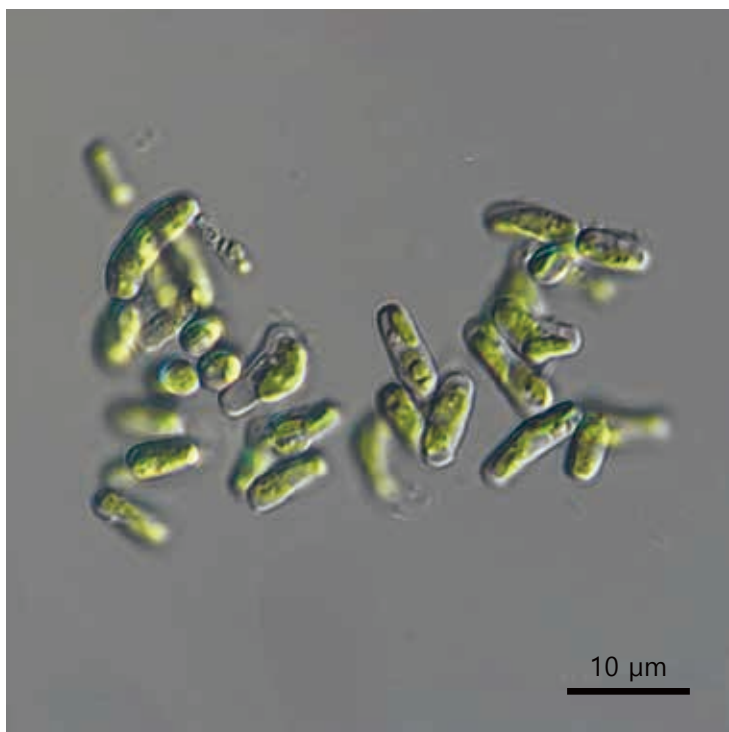


• 엽록소, 지질 함량



Stichococcus bacillaris

Nägeli 1849



배양주 정보 및 최적 동결 보존 조건

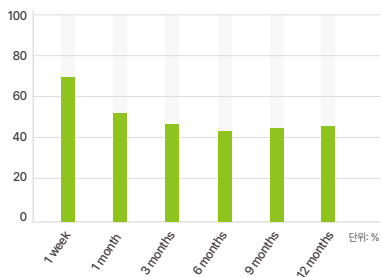
자원은행번호	FBCC-A178	
배양조건	배지	BBM
	온도	20°C
동결 보호제	10% DMSO	
동결 온도 제어	3단계 동결	
해동	온도	40°C
	시간	3분

분류체계

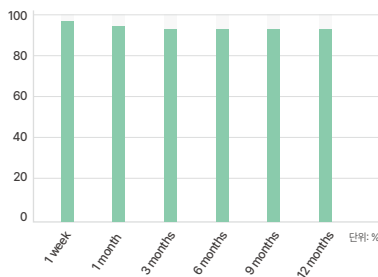
Phylum	Chlorophyta
Class	Trebouxiophyceae
Order	Prasiolales
Family	Stichococcaceae
Genus	<i>Stichococcus</i>
Species	<i>S. bacillaris</i>

해동 후 평가 결과

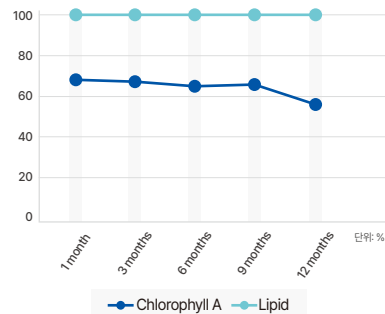
• 재배양률



• 생존율



• 엽록소, 지질 함량



Stichococcus bacillaris

Nägeli 1849



배양주 정보 및 최적 동결 보존 조건

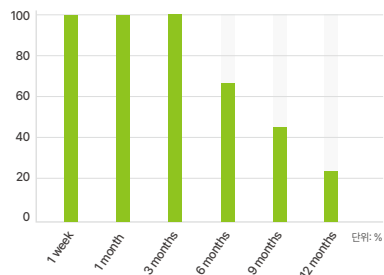
자원은행번호	FBCC-A265	
배양조건	배지	BG-11
	온도	20°C
동결 보호제	5% DMSO	
동결 온도 제어	3단계 동결	
해동	온도	40°C
	시간	3분

분류체계

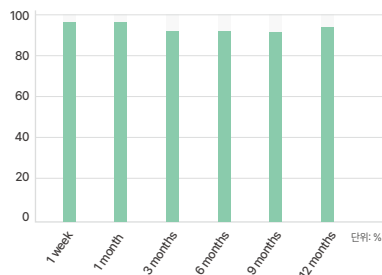
Phylum	Chlorophyta
Class	Trebouxiophyceae
Order	Prasiolales
Family	Stichococcaceae
Genus	<i>Stichococcus</i>
Species	<i>S. bacillaris</i>

해동 후 평가 결과

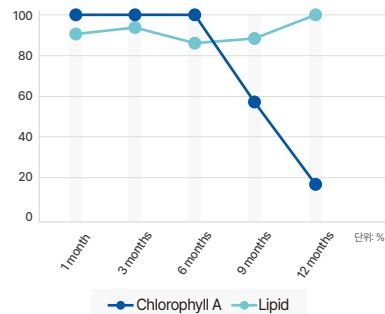
• 재배양률



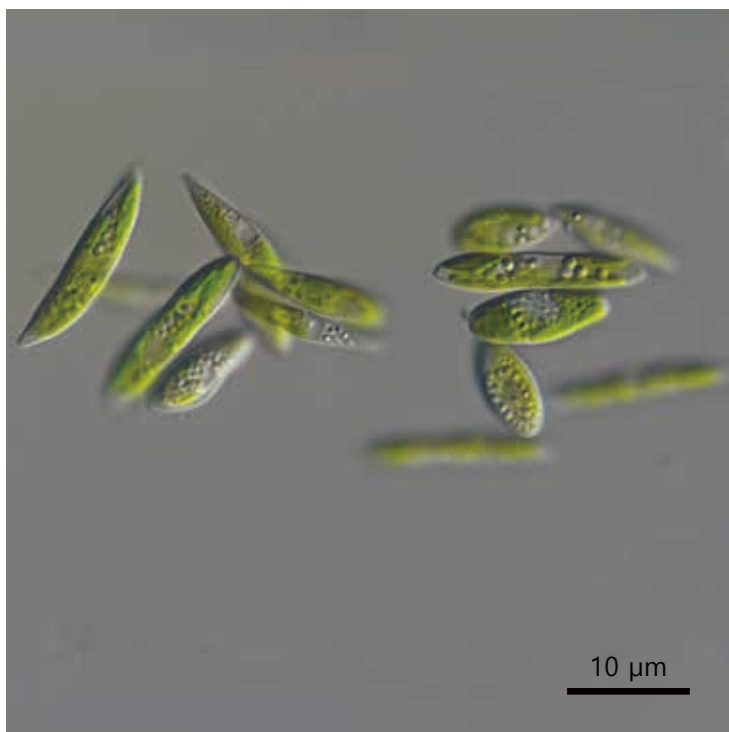
• 생존율



• 엽록소, 지질 함량



Chlorolobion braunii (Nägeli) Komárek 1979



배양주 정보 및 최적 동결 보존 조건

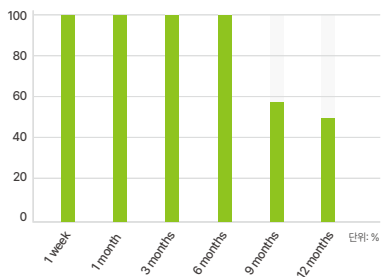
자원은행번호	FBCC-A1050	
배양조건	배지	BG-11
	온도	20°C
동결 보호제	10% MeOH	
동결 온도 제어	1단계 동결	
해동	온도	40°C
	시간	3분

분류체계

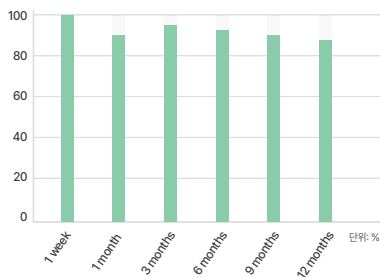
Phylum	Chlorophyta
Class	Trebouxiophyceae
Order	Trebouxiophyceae ordo incertae sedis
Family	Trebouxiophyceae incertae sedis
Genus	<i>Chlorolobion</i>
Species	<i>C. braunii</i>

해동 후 평가 결과

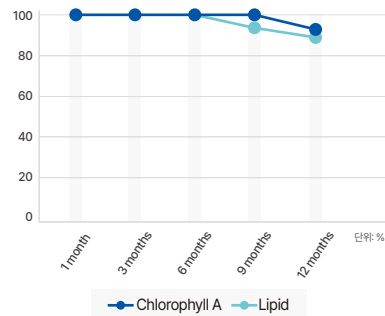
• 재배양률



• 생존율

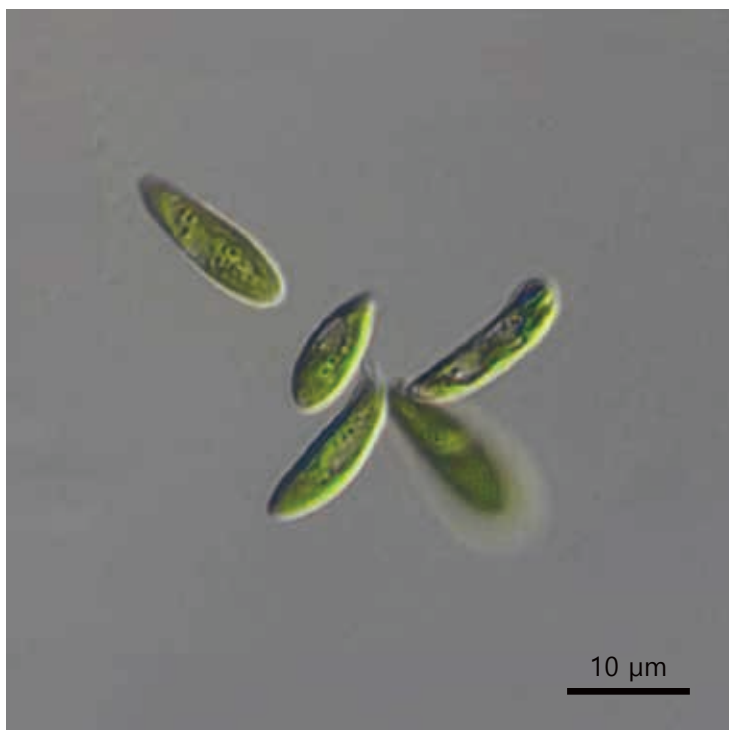


• 엽록소, 지질 함량



Chlorolobion lunulatum

Hindák 1970



배양주 정보 및 최적 동결 보존 조건

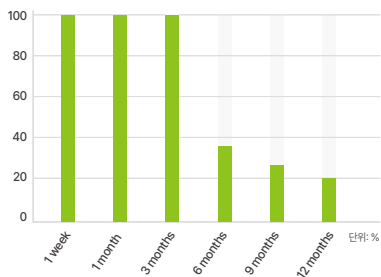
자원은행번호	FBCC-A170	
배양조건	배지	BBM
	온도	20°C
동결 보호제	5% MeOH	
동결 온도 제어	2단계 동결	
해동	온도	40°C
	시간	3분

분류체계

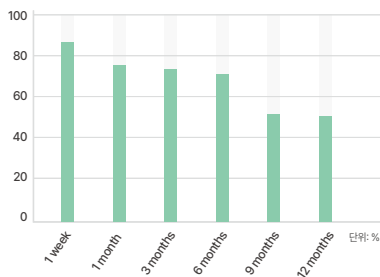
Phylum	Chlorophyta
Class	Trebouxiophyceae
Order	Trebouxiophyceae ordo incertae sedis
Family	Trebouxiophyceae incertae sedis
Genus	<i>Chlorolobion</i>
Species	<i>C. lunulatum</i>

해동 후 평가 결과

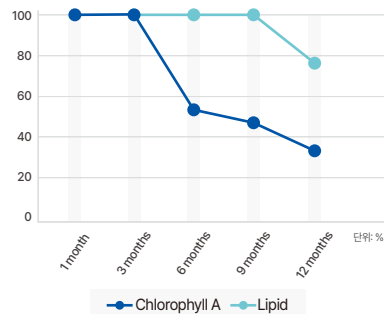
• 재배양률



• 생존율



• 엽록소, 지질 함량



Chloroidium ellipsoideum

(Gerneck) Darienko & al. 2010



배양주 정보 및 최적 동결 보존 조건

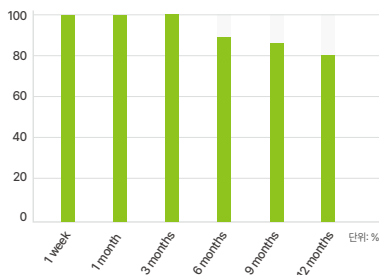
자원은행번호	FBCC-A790	
배양조건	배지	BBM
	온도	15°C
동결 보호제	10% MeOH	
동결 온도 제어	급속 동결	
해동	온도	40°C
	시간	3분

분류체계

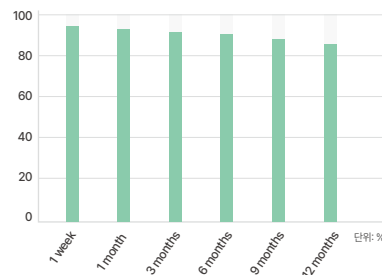
Phylum	Chlorophyta
Class	Trebouxiophyceae
Order	Watanabeales
Family	Watanabeaceae
Genus	<i>Chloroidium</i>
Species	<i>C. ellipsoideum</i>

해동 후 평가 결과

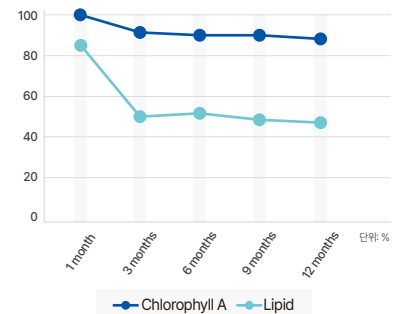
• 재배양률



• 생존율

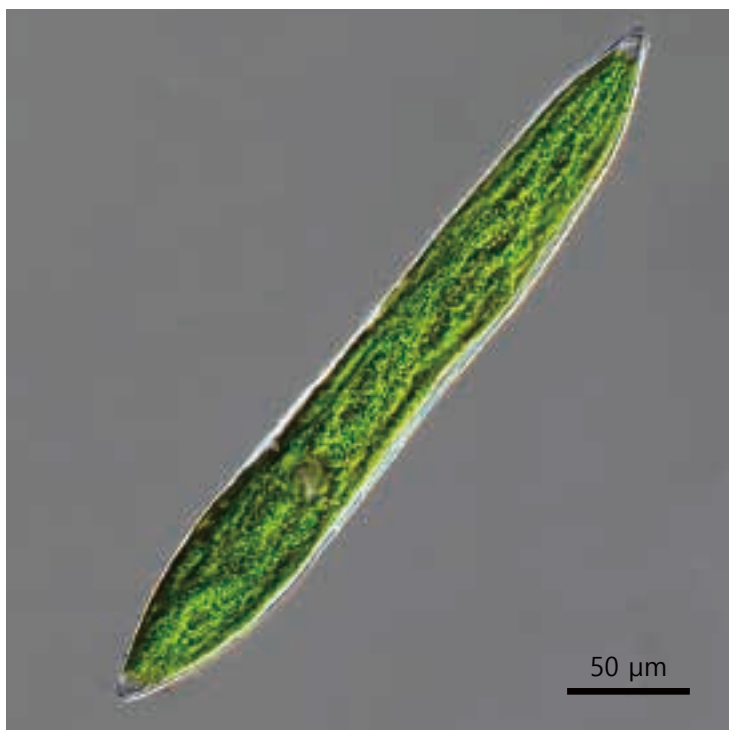


• 엽록소, 지질 함량



Closterium pritchardianum

W.Archer 1862



배양주 정보 및 최적 동결 보존 조건

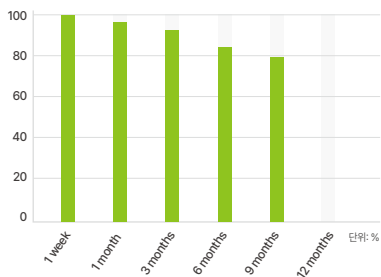
자원은행번호	FBCC-A505	
배양조건	배지	MBBM
	온도	20°C
동결 보호제	20% DMSO	
동결 온도 제어	2단계 동결	
해동	온도	40°C
	시간	3분

분류체계

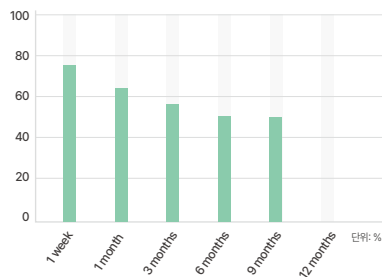
Phylum	Charophyta
Class	Zygnematophyceae
Order	Desmiales
Family	Closteriaceae
Genus	<i>Closterium</i>
Species	<i>C. pritchardianum</i>

해동 후 평가 결과

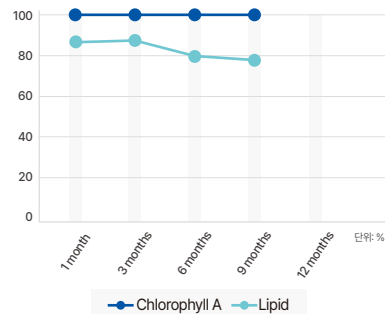
• 재배양률



• 생존율



• 엽록소, 지질 함량



Closterium moniliferum

Ehrenberg ex Ralfs 1848



배양주 정보 및 최적 동결 보존 조건

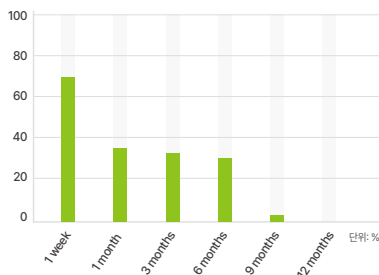
자원은행번호	FBCC-A610	
배양조건	배지	BBM
	온도	20°C
동결 보호제	10% DMSO+1M Sucrose	
동결 온도 제어	2단계 동결	
해동	온도	40°C
	시간	3분

분류체계

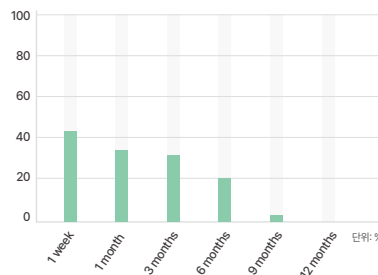
Phylum	Charophyta
Class	Zygnematophyceae
Order	Desmidiaceae
Family	Closteriaceae
Genus	<i>Closterium</i>
Species	<i>C. moniliferum</i>

해동 후 평가 결과

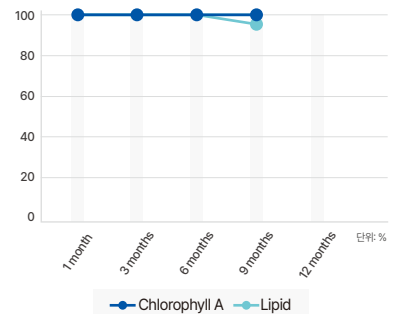
• 재배양률



• 생존율

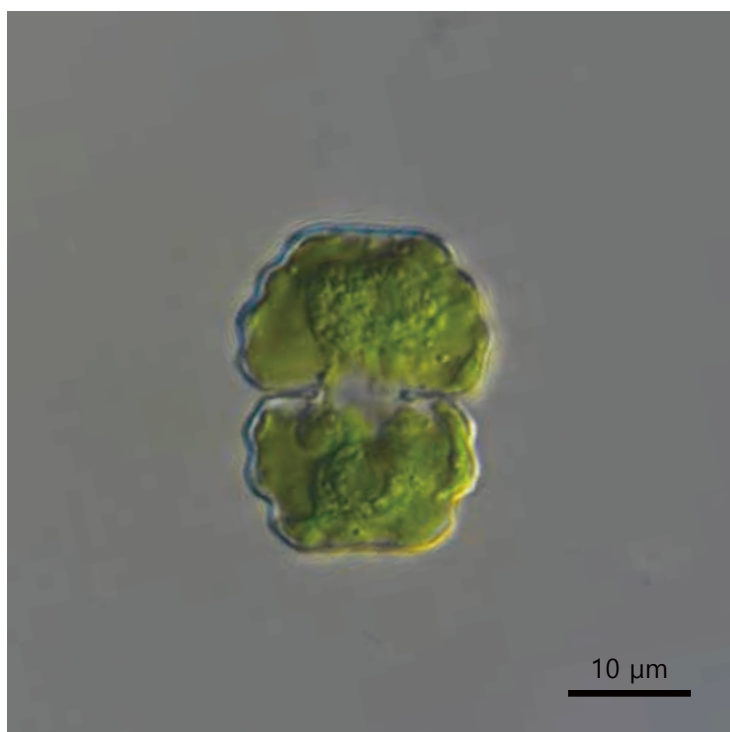


• 엽록소, 지질 함량



Cosmarium costatum

(Nordstedt) Nordstedt 1875



배양주 정보 및 최적 동결 보존 조건

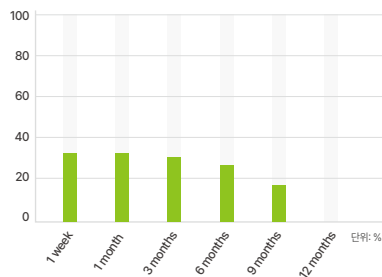
자원은행번호	FBCC-A619	
배양조건	배지	MBBM
	온도	20°C
동결 보호제	20% MeOH	
동결 온도 제어	1단계 동결	
해동	온도	40°C
	시간	3분

분류체계

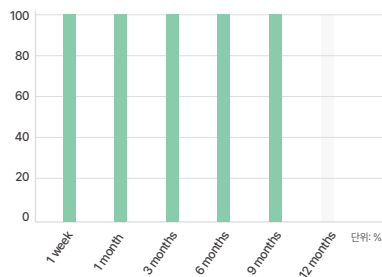
Phylum	Charophyta
Class	Zygnematophyceae
Order	Desmiales
Family	Desmidiaceae
Genus	<i>Cosmarium</i>
Species	<i>C. costatum</i>

해동 후 평가 결과

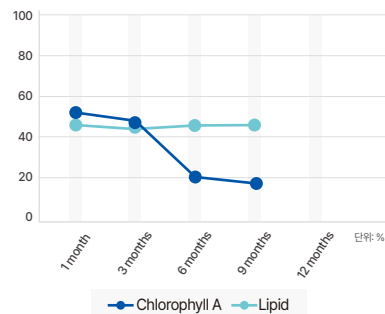
• 재배양률



• 생존율

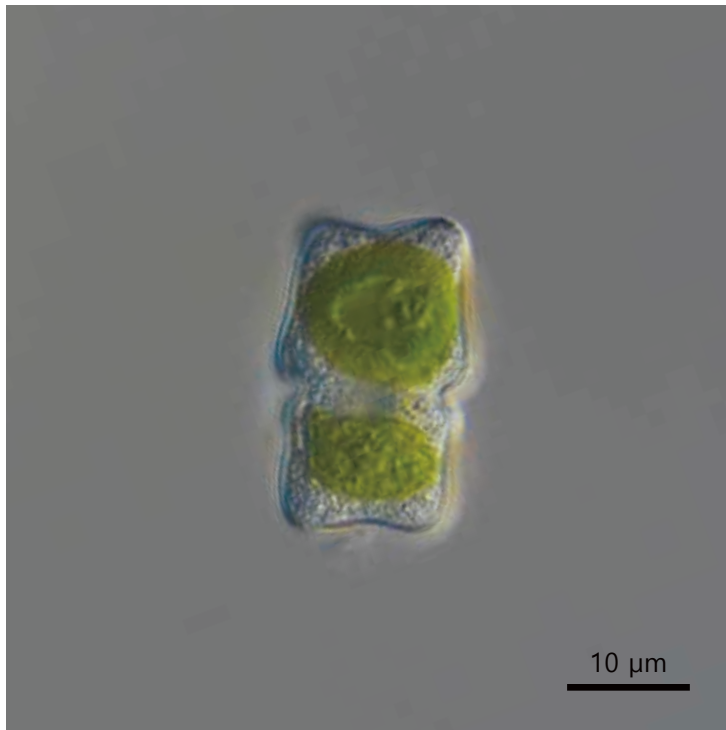


• 엽록소, 지질 함량



Cosmarium decedens

(Reinsch) Raciborski 1889



배양주 정보 및 최적 동결 보존 조건

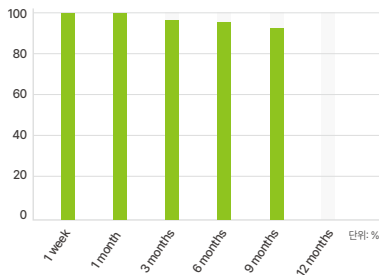
자원은행번호	FBCC-A621	
배양조건	배지	BBM
	온도	20°C
동결 보호제	5% DMSO+0.5M Sucrose	
동결 온도 제어	2단계 동결	
해동	온도	40°C
	시간	3분

분류체계

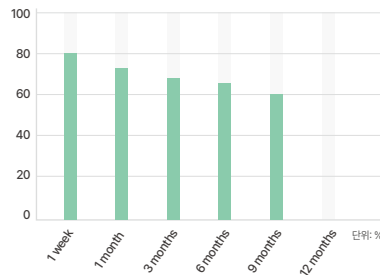
Phylum	Charophyta
Class	Zygnematophyceae
Order	Desmiales
Family	Desmidiaceae
Genus	<i>Cosmarium</i>
Species	<i>C. decedens</i>

해동 후 평가 결과

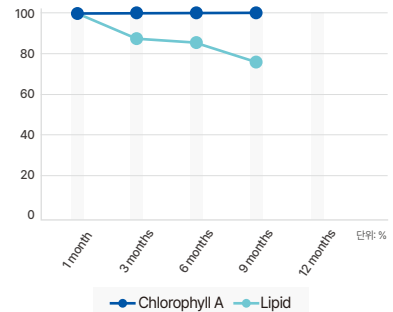
• 재배양률



• 생존율

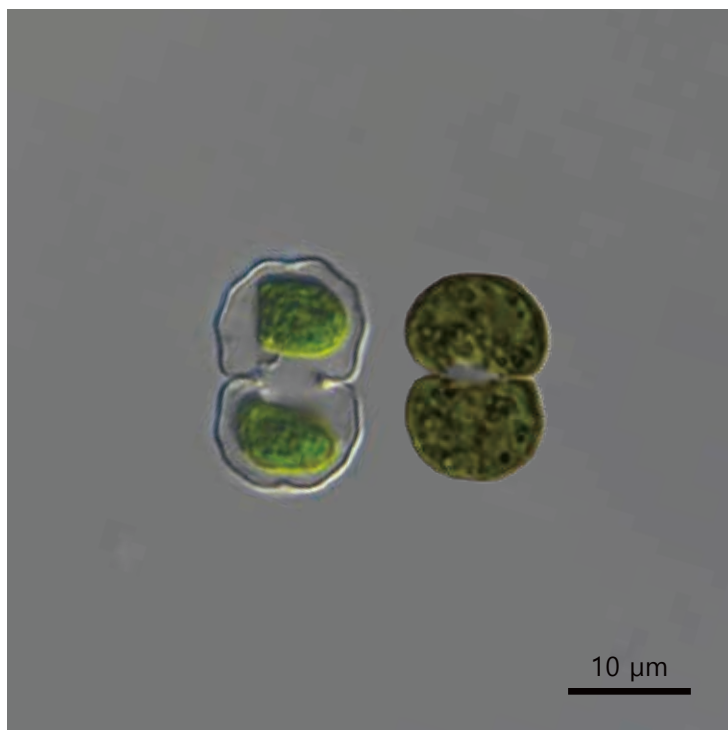


• 엽록소, 지질 함량



Cosmarium impressulum

Elfving 1881



배양주 정보 및 최적 동결 보존 조건

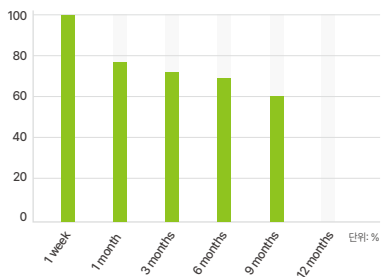
자원은행번호	FBCC-A628	
배양조건	배지	MBBM
	온도	20°C
동결 보호제	10% DMSO	
동결 온도 제어	2단계 동결	
해동	온도	40°C
	시간	3분

분류체계

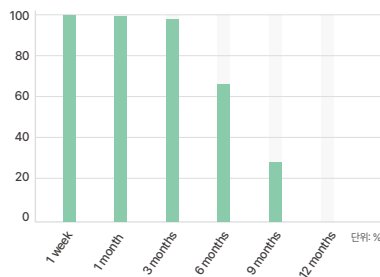
Phylum	Charophyta
Class	Zygnematophyceae
Order	Desmidiiales
Family	Desmidiaceae
Genus	<i>Cosmarium</i>
Species	<i>C. impressulum</i>

해동 후 평가 결과

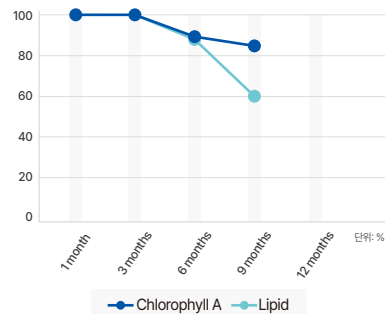
• 재배양률



• 생존율



• 엽록소, 지질 함량



Netrium sp.



배양주 정보 및 최적 동결 보존 조건

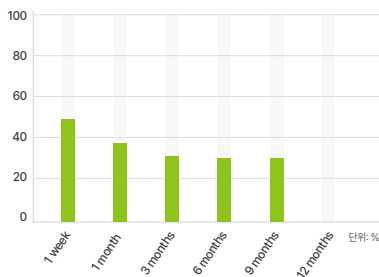
자원은행번호	FBCC-A508	
배양조건	배지	BBM
	온도	20°C
동결 보호제	30% MeOH	
동결 온도 제어	2단계 동결	
해동	온도	40°C
	시간	3분

분류체계

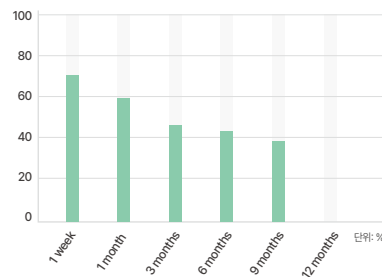
Phylum	Charophyta
Class	Zygnematophyceae
Order	Zygnematales
Family	Mesotaeniaceae
Genus	Netrium
Species	Netrium sp.

해동 후 평가 결과

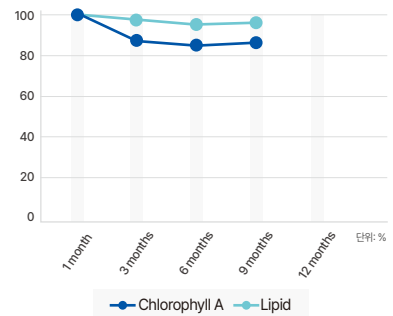
• 재배양률



• 생존율

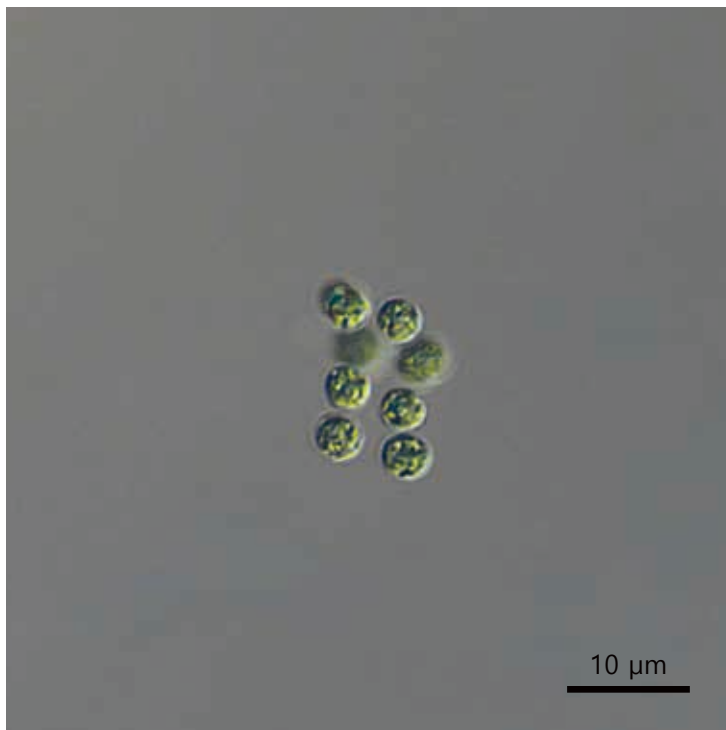


• 엽록소, 지질 함량



Microcystis aeruginosa

(Kützinger) Kützinger 1846



배양주 정보 및 최적 동결 보존 조건

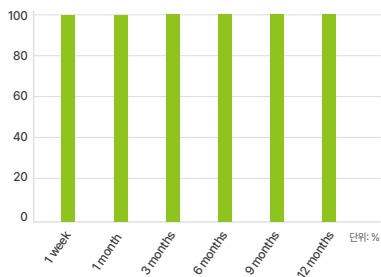
자원은행번호	FBCC-A59	
배양조건	배지	DY-V
	온도	20°C
동결 보호제	10% MeOH	
동결 온도 제어	3단계 동결	
해동	온도	40°C
	시간	3분

분류체계

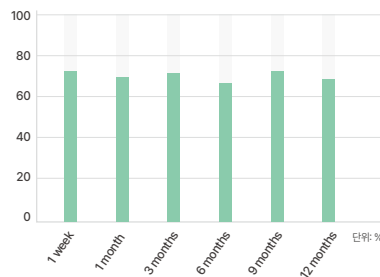
Phylum	Cyanobacteriophyta
Class	Cyanophyceae
Order	Chroococcales
Family	Microcystaceae
Genus	<i>Microcystis</i>
Species	<i>M. aeruginosa</i>

해동 후 평가 결과

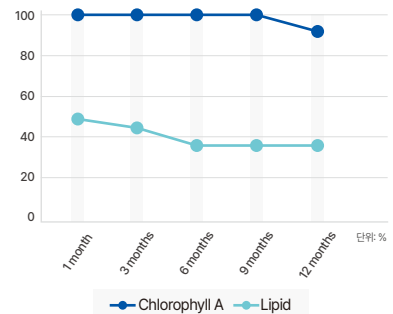
• 재배양률



• 생존율

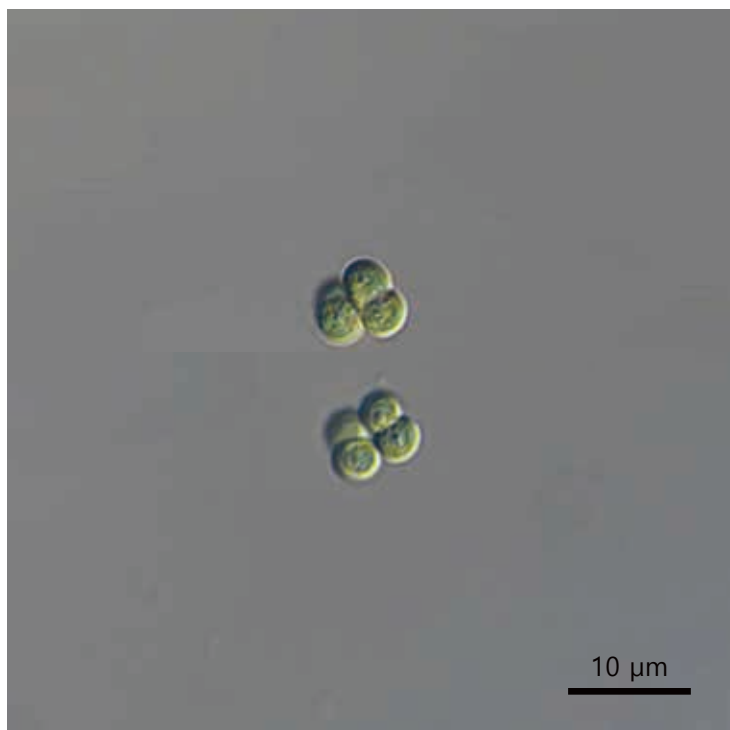


• 엽록소, 지질 함량



Microcystis protocystis

W.B.Crow 1923



배양주 정보 및 최적 동결 보존 조건

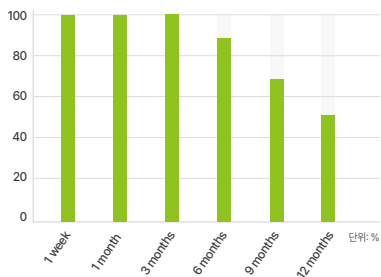
자원은행번호	FBCC-A270	
배양조건	배지	MBBM
	온도	20°C
동결 보호제	20% Glycerol	
동결 온도 제어	급속 동결	
해동	온도	40°C
	시간	3분

분류체계

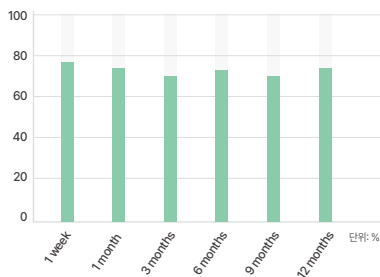
Phylum	Cyanobacteriophyta
Class	Cyanophyceae
Order	Chroococcales
Family	Microcystaceae
Genus	<i>Microcystis</i>
Species	<i>M. protocystis</i>

해동 후 평가 결과

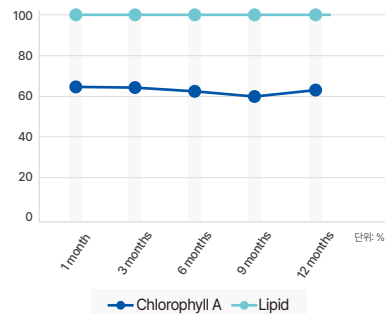
• 재배양률



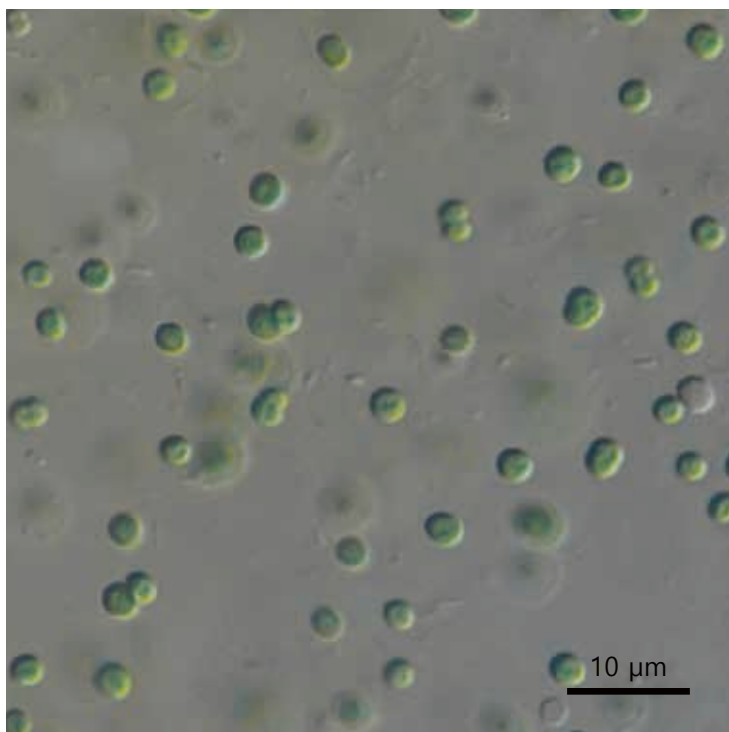
• 생존율



• 엽록소, 지질 함량



Synechocystis diplococca (Pringsheim) Bourrelly 1970



배양주 정보 및 최적 동결 보존 조건

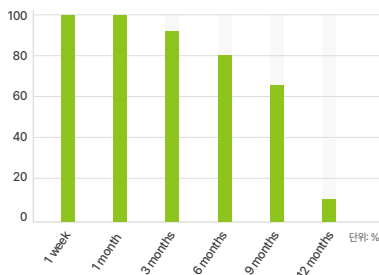
자원은행번호	FBCC-A1156	
배양조건	배지	BG-11
	온도	20°C
동결 보호제	20% Glycerol	
동결 온도 제어	급속 동결	
해동	온도	40°C
	시간	3분

분류체계

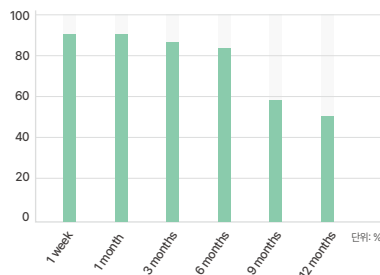
Phylum	Cyanobacteriophyta
Class	Cyanophyceae
Order	Chroococcales
Family	Microcystaceae
Genus	<i>Synechocystis</i>
Species	<i>S. diplococca</i>

해동 후 평가 결과

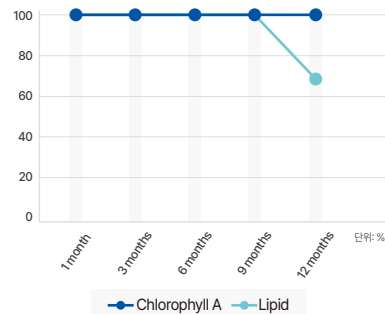
• 재배양률



• 생존율

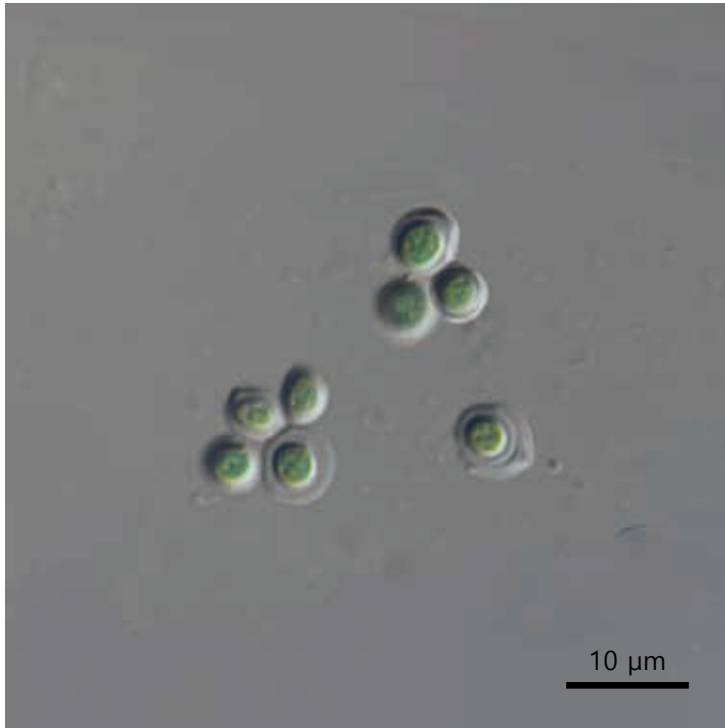


• 엽록소, 지질 함량



Chroococcidiopsis thermalis

Geitler 1933



배양주 정보 및 최적 동결 보존 조건

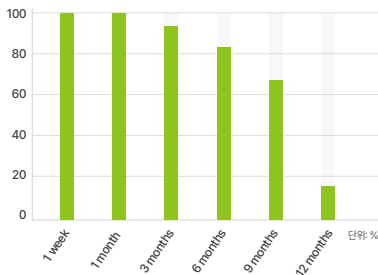
자원은행번호	FBCC-A344	
배양조건	배지	BG-11
	온도	20°C
동결 보호제	20% Glycerol	
동결 온도 제어	1단계 동결	
해동	온도	40°C
	시간	3분

분류체계

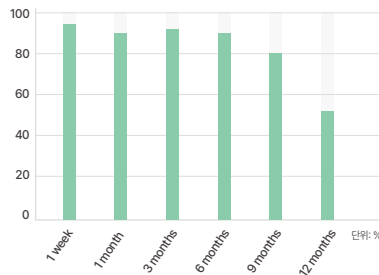
Phylum	Cyanobacteriophyta
Class	Cyanophyceae
Order	Chroococcidiopsidales
Family	Chroococcidiopsidaceae
Genus	<i>Chroococcidiopsis</i>
Species	<i>C. thermalis</i>

해동 후 평가 결과

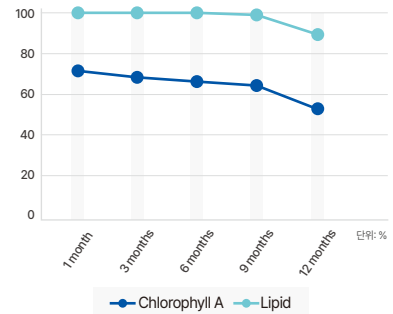
• 재배양률



• 생존율



• 엽록소, 지질 함량



Dolichospermum circinalis

(Rabenhorst ex Bornet & Flahault) Wacklin, Hoffmann & Komárek 2009



배양주 정보 및 최적 동결 보존 조건

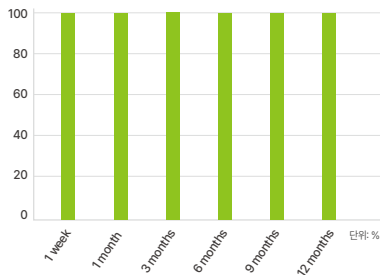
자원은행번호	FBCC-A103	
배양조건	배지	BBM
	온도	20°C
동결 보호제	10% DMSO	
동결 온도 제어	급속 동결	
해동	온도	40°C
	시간	3분

분류체계

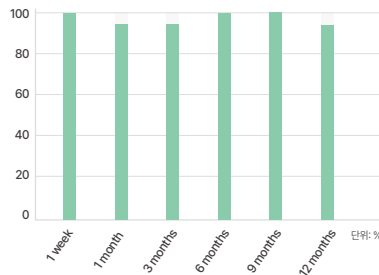
Phylum	Cyanobacteriophyta
Class	Cyanophyceae
Order	Nostocales
Family	Aphanizomenonaceae
Genus	<i>Dolichospermum</i>
Species	<i>D. circinalis</i>

해동 후 평가 결과

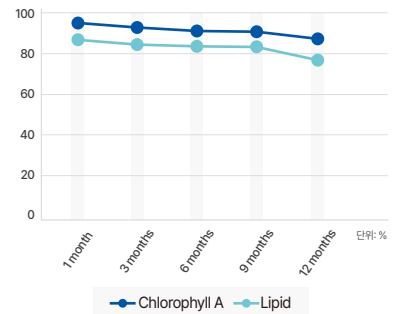
• 재배양률



• 생존율

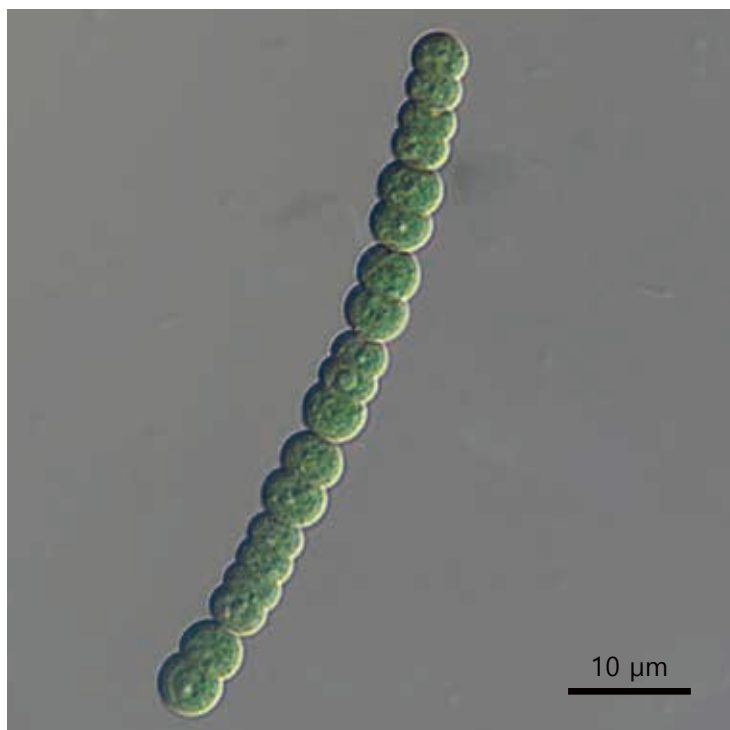


• 엽록소, 지질 함량



Trichormus variabilis

(Kützinger ex Bornet & Flahault) Komárek & Anagnostidis 1989



배양주 정보 및 최적 동결 보존 조건

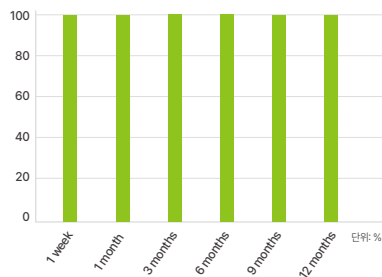
자원은행번호	FBCC-A106	
배양조건	배지	BBM
	온도	20°C
동결 보호제	10% MeOH	
동결 온도 제어	3단계 동결	
해동	온도	40°C
	시간	3분

분류체계

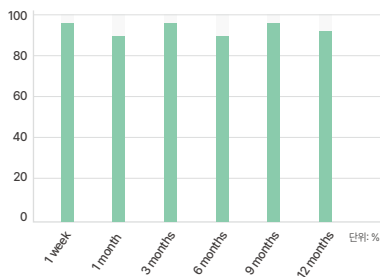
Phylum	Cyanobacteriophyta
Class	Cyanophyceae
Order	Nostocales
Family	Aphanizomenonaceae
Genus	Trichormus
Species	<i>T. variabilis</i>

해동 후 평가 결과

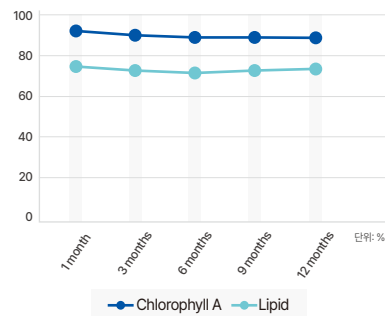
• 재배양률



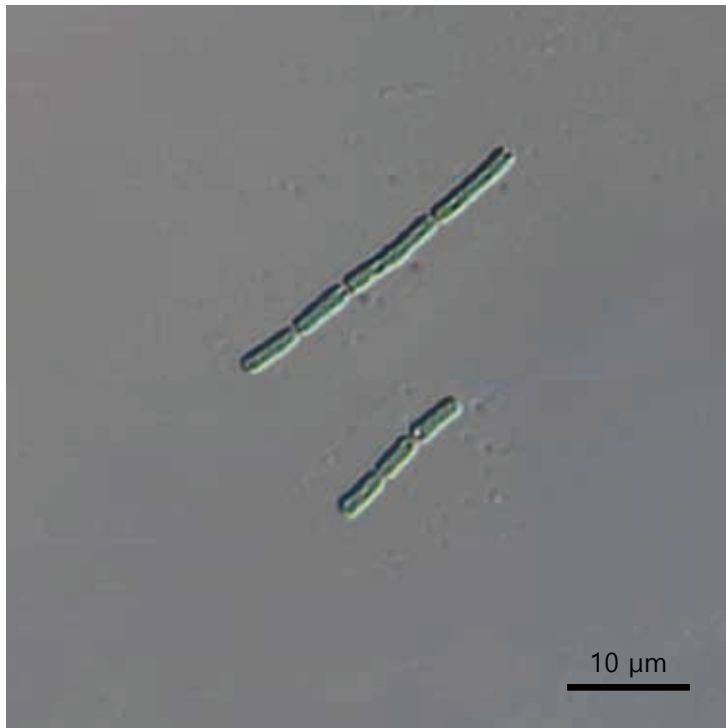
• 생존율



• 엽록소, 지질 함량



Pseudanabaena amphigranulata (Goor) Anagnostidis 2001



배양주 정보 및 최적 동결 보존 조건

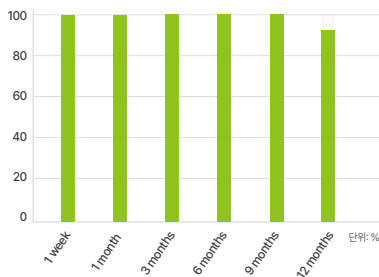
자원은행번호	FBCC-A297	
배양조건	배지	BG-11
	온도	20°C
동결 보호제	10% DMSO	
동결 온도 제어	3단계 동결	
해동	온도	40°C
	시간	3분

분류체계

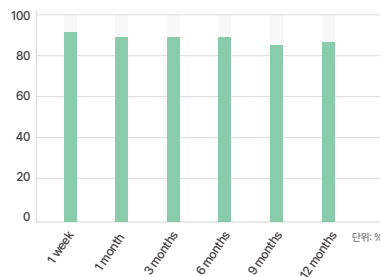
Phylum	Cyanobacteriophyta
Class	Cyanophyceae
Order	Pseudanabaenales
Family	Pseudanabaenaceae
Genus	<i>Pseudanabaena</i>
Species	<i>P. amphigranulata</i>

해동 후 평가 결과

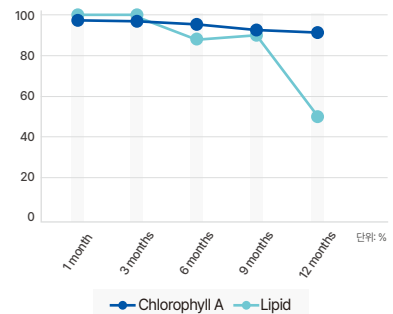
• 재배양률



• 생존율

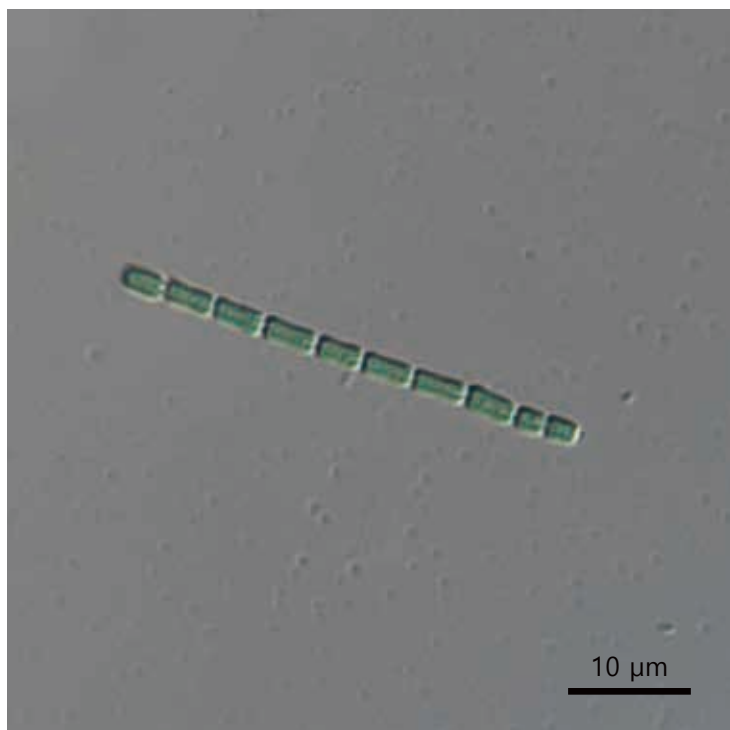


• 엽록소, 지질 함량



Pseudanabaena minima

(G.S.An) Anagnostidis 2001



배양주 정보 및 최적 동결 보존 조건

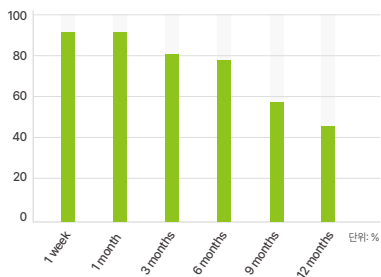
자원은행번호	FBCC-A254	
배양조건	배지	BBM
	온도	20°C
동결 보호제	10% DMSO	
동결 온도 제어	급속 동결	
해동	온도	40°C
	시간	3분

분류체계

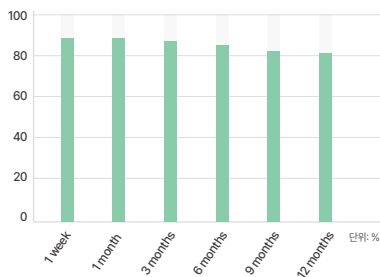
Phylum	Cyanobacteriophyta
Class	Cyanophyceae
Order	Pseudanabaenales
Family	Pseudanabaenaceae
Genus	<i>Pseudanabaena</i>
Species	<i>P. minima</i>

해동 후 평가 결과

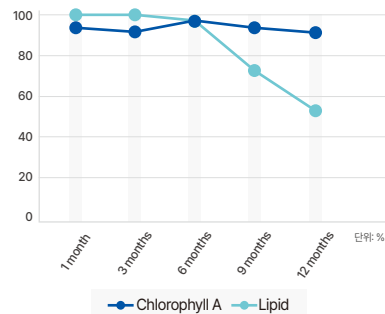
• 재배양률



• 생존율



• 엽록소, 지질 함량



Pseudanabaena mucicola

(Naumann & Huber-Pestalozzi) Schwabe 1964



배양주 정보 및 최적 동결 보존 조건

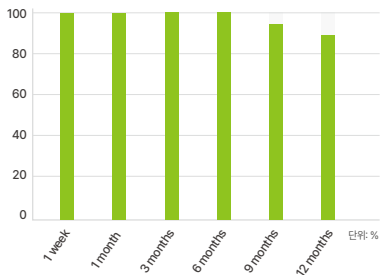
자원은행번호	FBCC-A1147	
배양조건	배지	BG-11
	온도	20°C
동결 보호제	20% Glycerol	
동결 온도 제어	3단계 동결	
해동	온도	40°C
	시간	3분

분류체계

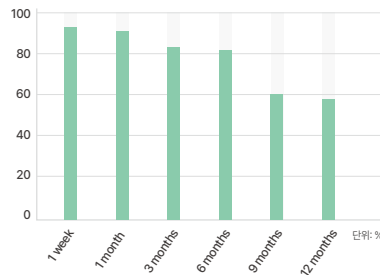
Phylum	Cyanobacteriophyta
Class	Cyanophyceae
Order	Pseudanabaenales
Family	Pseudanabaenaceae
Genus	<i>Pseudanabaena</i>
Species	<i>P. mucicola</i>

해동 후 평가 결과

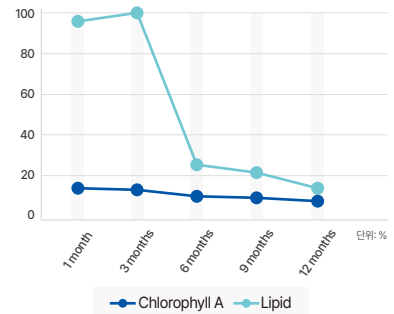
• 재배양률



• 생존율

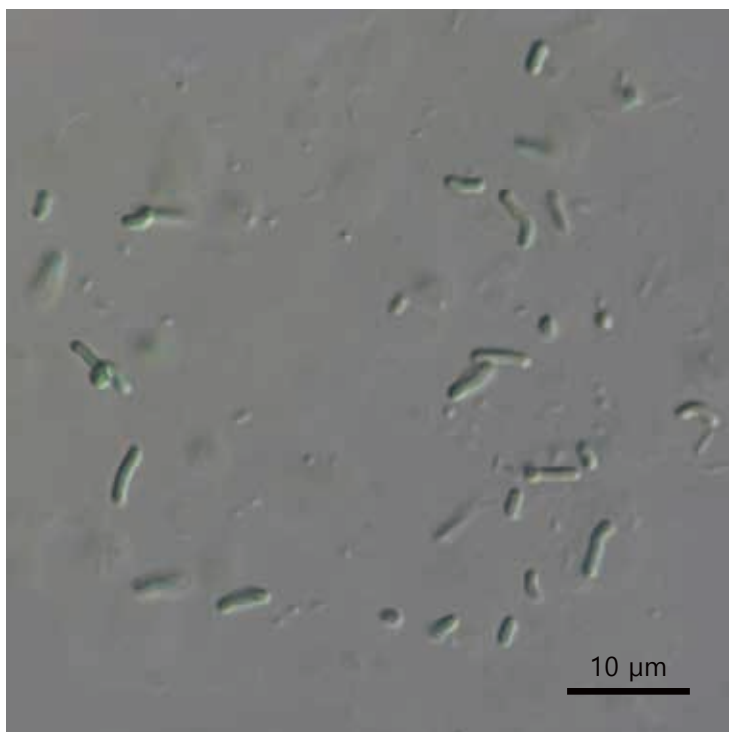


• 엽록소, 지질 함량



Synechococcus epigloeicus

Hindák 1996



배양주 정보 및 최적 동결 보존 조건

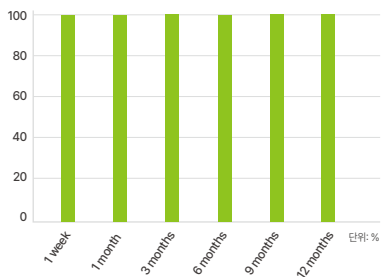
자원은행번호	FBCC-A1152	
배양조건	배지	BG-11
	온도	20°C
동결 보호제	20% Glycerol	
동결 온도 제어	2단계 동결	
해동	온도	40°C
	시간	3분

분류체계

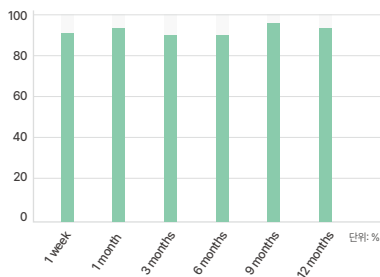
Phylum	Cyanobacteriophyta
Class	Cyanophyceae
Order	Synechococcales
Family	Synechococcaceae
Genus	<i>Synechococcus</i>
Species	<i>S. epigloeicus</i>

해동 후 평가 결과

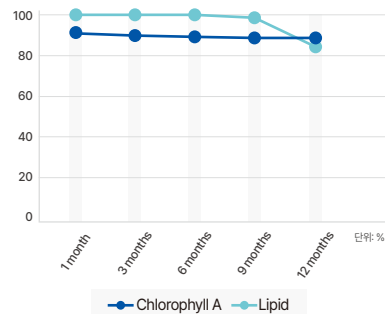
• 재배양률



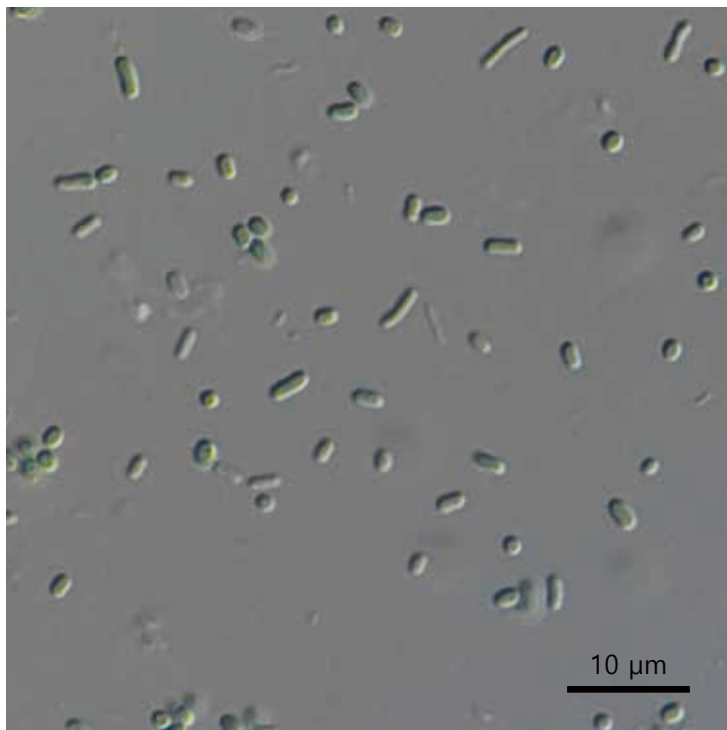
• 생존율



• 엽록소, 지질 함량



Synechococcus nidulans (Pringsheim) Komárek 1970



배양주 정보 및 최적 동결 보존 조건

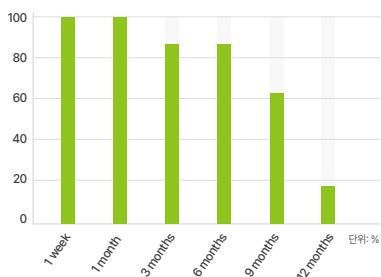
자원은행번호	FBCC-A1153	
배양조건	배지	BG-11
	온도	20°C
동결 보호제	20% Glycerol	
동결 온도 제어	3단계 동결	
해동	온도	40°C
	시간	3분

분류체계

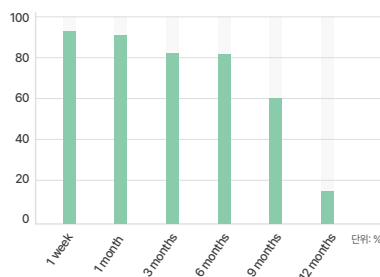
Phylum	Cyanobacteriophyta
Class	Cyanophyceae
Order	Synechococcales
Family	Synechococcaceae
Genus	<i>Synechococcus</i>
Species	<i>S. nidulans</i>

해동 후 평가 결과

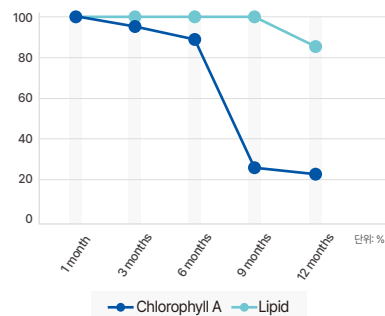
• 재배양률



• 생존율



• 엽록소, 지질 함량



부록

Appendix

부록 1. 참고문헌

- 1) Ali, P., Fucich, D., Shah, A. A., Hasan, F., & Chen, F. (2021). Cryopreservation of cyanobacteria and eukaryotic microalgae using exopolysaccharide extracted from a glacier bacterium. *Microorganisms*, 9(2), 395.
- 2) Baldisserotto, C., Demaria, S., Accoto, O., Marchesini, R., Zanella, M., Benetti, L., Avolio, F., Maglie, M., Ferroni, L., & Pancaldi, S. (2020). Removal of nitrogen and phosphorus from thickening effluent of an urban wastewater treatment plant by an isolated green microalga. *Plants*, 9(12), 1802.
- 3) Best, B. P. (2015). Cryoprotectant toxicity: facts, issues, and questions. *Rejuvenation research*, 18(5), 422–436.
- 4) Boswell, J., Lindsey, C. R., Cook, E., Rosenzweig, F., & Herron, M. (2021). Cryopreservation of clonal and polyclonal populations of *Chlamydomonas reinhardtii*. *Biology Methods and Protocols*, 6(1), bpab011.
- 5) Castro-Rios, K., & Bermeo-Escobar, L. P. (2021). Methods for the culture conservation of edible and medicinal fungi. *Journal of microbiology, biotechnology and food sciences*, 10(4), 620–625.
- 6) Chen, F., Qian, J., He, Y., Leng, Y., & Zhou, W. (2022). Could *Chlorella pyrenoidosa* be exploited as an alternative nutrition source in aquaculture feed? A study on the nutritional values and anti-nutritional factors. *Frontiers in Nutrition*, 9, 1069760.
- 7) Coulombier, N., Jauffrais, T., & Lebouvier, N. (2021). Antioxidant compounds from microalgae: A review. *Marine drugs*, 19(10), 549.
- 8) El-Shall, N. A., Jiang, S., Farag, M. R., Azzam, M., Al-Abdullatif, A. A., Alhotan, R., Dhama, K., Hassan, F., & Alagawany, M. (2023). Potential of *Spirulina platensis* as a feed supplement for poultry to enhance growth performance and immune modulation. *Frontiers in immunology*, 14, 1072787.
- 9) Gadzama, I. U., Ray, S., Méité, R., Mugweru, I. M., Gondo, T., Rahman, M. A., Redoy, M. R. A., Rohani, M. F., Kholif, A. E., Salahuddin, M., & Brito, A. F. (2025). *Chlorella vulgaris* as a Livestock Supplement and Animal Feed: A Comprehensive Review. *Animals*, 15(6), 879.
- 10) Guiry, M. D. (2012). How many species of algae are there?. *Journal of phycology*, 48(5), 1057–1063.
- 11) Kang, C. K., Kim, J. B., Lee, K. S., Kim, J. B., Lee, P. Y., & Hong, J. S. (2003). Trophic importance of benthic microalgae to macrozoobenthos in coastal bay systems in Korea: dual stable C and N isotope analyses. *Marine Ecology Progress Series*, 259, 79–92.
- 12) Kapoore, R. V., Huete-Ortega, M., Day, J. G., Okurowska, K., Slocombe, S. P., Stanley, M. S., & Vaidyanathan, S. (2019). Effects of cryopreservation on viability and functional stability of an industrially relevant alga. *Scientific Reports*, 9(1), 2093.
- 13) Kato, Y., Matsuda, Y., Uto, T., Tanaka, D., Ishibashi, K., Ishizaki, T., Ohta, A., Kobayashi, A., Hazawa, M., Wong, R. W., Ninomiya, K., Takahashi, K., Hirata, E., & Kuroda, K. (2023). Cell-compatible isotonic freezing media enabled by thermo-responsive osmolyte-adsorption/exclusion polymer matrices. *Communications Chemistry*, 6(1), 260.
- 14) Kirchman, D. L. (2018). Microbial primary production and phototrophy. *Processes in Microbial Ecology*, Oxford University Press, 55–78.
- 15) Leblanc, K., Aristegui, J., Armand, L., Assmy, P., Beker, B., Bode, A., Breton, E., Cornet, V., Gibson, J., Gosselin, M.-P., Kopczynska, E., Marshall, H., Pelloquin, J., Piontkovski, S., Poulton, A. J., Quéguiner, B., Schiebel, R., Shipe, R., Stefels, J., van Leeuwe, M. A., Varela, M., Widdicombe, C., & Yallop, M. (2012). A global diatom database—abundance, biovolume and biomass in the world ocean. *Earth System Science Data*, 4(1), 149–165.
- 16) Ma, M., & Hu, Q. (2024). Microalgae as feed sources and feed additives for sustainable aquaculture: Prospects and challenges. *Reviews in Aquaculture*, 16(2), 818–835.
- 17) Manning, T., Thilagaraj, A. V., Mouradov, D., Piola, R., Grandison, C., Gordon, M., Shimeta, J., & Mouradov, A. (2021). Diversity of dinoflagellate assemblages in coastal temperate and offshore tropical waters of Australia. *BMC Ecology and Evolution*, 21(1), 27.
- 18) McGann, L. E. (1978). Differing actions of penetrating and nonpenetrating cryoprotective agents. *Cryobiology*, 15(4), 382–390.

- 19) Murray, A., Kilbride, P., & Gibson, M. I. (2024). Trehalose in cryopreservation. Applications, mechanisms and intracellular delivery opportunities. *RSC Medicinal Chemistry*, 15(9), 2980-2995.
- 20) Omar, W. M. W. (2010). Perspectives on the use of algae as biological indicators for monitoring and protecting aquatic environments, with special reference to Malaysian freshwater ecosystems. *Tropical Life Sciences Research*, 21(2), 51.
- 21) Park, M., Kim, Z. H., Nam, S. W., Lee, S. D., Yun, S. M., Kwon, D. R., & Lee, C. S. (2020). Characterization of filamentous cyanobacteria encapsulated in alginate microcapsules. *Microbiology and Biotechnology Letters*, 48(2), 205-214.
- 22) Peng, M., & Liang, Z. (2020). Degeneration of industrial bacteria caused by genetic instability. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 36(8), 119.
- 23) Poisson, J. S., Acker, J. P., Briard, J. G., Meyer, J. E., & Ben, R. N. (2018). Modulating intracellular ice growth with cell-permeating small-molecule ice recrystallization inhibitors. *Langmuir*, 35(23), 7452-7458.
- 24) Prakash, O., Nimonkar, Y., & Desai, D. (2020). A recent overview of microbes and microbiome preservation. *Indian Journal of Microbiology*, 60(3), 297-309.
- 25) Prieto-Guevara, M., Alarcón-Furnieles, J., Jiménez-Velásquez, C., Hernández-Julio, Y., Espinosa-Araujo, J., & Atencio-García, V. (2023). Cryopreservation of the Microalgae *Scenedesmus* sp. *Cells*, 12(4), 562.
- 26) Ribeiro, R. B., Rodrigues, A. Q., de Aguiar, B. A., Silva, J. K. O., de a Carvalho da Costa, M. V. R., dos Santos Bezerra, J. L., Ferreira, Y. B., da Silva, I. G. M., Piau, T. B., Lucci, C. M., Báo, S. N., Goulart, J. T., Bellozi, P. M. Q., & Paulini, F. (2025). Evaluation of Different Cryoprotectant Combinations in Vitrification and Slow Freezing for Ovarian Tissue Preservation in Domestic Cats. *Reproduction in Domestic Animals*, 60(4), e70064.
- 27) Sakurai, K., & Kawasaki, H. (2018). Genetic variation during long-term preservation of bacteria in public culture collections. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 68(5), 1815-1821.
- 28) Sommer, U., Stibor, H., Katechakis, A., Sommer, F., & Hansen, T. (2002). Pelagic food web configurations at different levels of nutrient richness and their implications for the ratio fish production: primary production. *Hydrobiologia*, 484(1), 11-20.
- 29) Vera-Vives, A. M., Michelberger, T., Morosinotto, T., & Perin, G. (2024). Assessment of photosynthetic activity in dense microalgae cultures using oxygen production. *Plant Physiology and Biochemistry*, 208, 108510.
- 30) Werner, D. (1977). The biology of diatoms. *Bot. Monogr.*, V. 13. University of California Press, Berkeley and New York. 498 p.

부록 2. 색인

A

<i>Ankistrodesmus bernardii</i> FBCC-A1040	75 p
<i>Ankistrodesmus falcatus</i> FBCC-A1240	76 p
<i>Ankistrodesmus fusiformis</i> FBCC-A1047	77 p
<i>Ankistrodesmus spiralis</i> FBCC-A1048	78 p

C

<i>Chlorella</i> sp. FBCC-A442	84 p
<i>Chlorella</i> sp. FBCC-A1344	85 p
<i>Chlorococcum macrostigmatum</i> FBCC-A443	79 p
<i>Chlorococcum pamirum</i> FBCC-A113	80 p
<i>Chlorolobion braunii</i> FBCC-A1050	93 p
<i>Chlorolobion lunulatum</i> FBCC-A170	94 p
<i>Chloroidium ellipsoideum</i> FBCC-A790	95 p
<i>Chroococcidiopsis thermalis</i> FBCC-A344	105 p
<i>Closterium moniliferum</i> FBCC-A610	97 p
<i>Closterium pritchardianum</i> FBCC-A505	96 p
<i>Coelastrella thermophila</i> FBCC-A1349	52 p
<i>Coelastrella vacuolata</i> FBCC-A119	53 p
<i>Coelastrum reticulatum</i> FBCC-A1238	54 p
<i>Coelastrum rugosum</i> FBCC-A1202	55 p
<i>Cosmarium costatum</i> FBCC-A619	98 p
<i>Cosmarium decedens</i> FBCC-A621	99 p
<i>Cosmarium impressulum</i> FBCC-A628	100 p

D

<i>Desmodesmus abundans</i> FBCC-A975	57 p
<i>Desmodesmus communis</i> FBCC-A54	58 p
<i>Desmodesmus communis</i> FBCC-A726	59 p
<i>Desmodesmus communis</i> FBCC-A1433	60 p
<i>Desmodesmus opoliensis</i> var. <i>mononensis</i> FBCC-A995	61 p
<i>Desmodesmus</i> sp. FBCC-A889	56 p
<i>Deuterostichococcus marinus</i> FBCC-A176	90 p
<i>Dictyosphaerium ehrenbergianum</i> FBCC-A283	86 p
<i>Dictyosphaerium lacustre</i> FBCC-A445	87 p
<i>Dolichospermum circinalis</i> FBCC-A103	106 p

E

<i>Eudorina unicocca</i> FBCC-A1323	83 p
-------------------------------------	------

M

<i>Messastrum gracile</i> FBCC-A754	67 p
<i>Messastrum gracile</i> FBCC-A1056	68 p
<i>Micractinium pusillum</i> FBCC-A1191	88 p
<i>Microcystis aeruginosa</i> FBCC-A59	102 p
<i>Microcystis protocystis</i> FBCC-A270	103 p
<i>Monoraphidium capricornutum</i> FBCC-A907	69 p
<i>Monoraphidium contortum</i> FBCC-A171	70 p
<i>Monoraphidium intermedium</i> FBCC-A172	71 p
<i>Monoraphidium minutum</i> FBCC-A1359	72 p
<i>Monoraphidium nanum</i> FBCC-A1081	73 p

N

<i>Netrium</i> sp. FBCC-A508	101 p
------------------------------	-------

P

<i>Parachlorella kessleri</i> FBCC-A403	89 p
<i>Pectinodesmus pectinatus</i> FBCC-A46	62 p
<i>Pediastrum duplex</i> FBCC-A669	50 p
<i>Pleurastrum microstigmatum</i> FBCC-A1226	81 p
<i>Pseudanabaena amphigranulata</i> FBCC-A297	108 p
<i>Pseudanabaena minima</i> FBCC-A254	109 p
<i>Pseudanabaena mucicola</i> FBCC-A1147	110 p

S

<i>Selenastrum bibraianum</i> FBCC-A275	74 p
<i>Stauridium tetras</i> FBCC-A398	51 p
<i>Stichococcus bacillaris</i> FBCC-A178	91 p
<i>Stichococcus bacillaris</i> FBCC-A265	92 p
<i>Synechococcus epigloeicus</i> FBCC-A1152	111 p
<i>Synechococcus nidulans</i> FBCC-A1153	112 p
<i>Synechocystis diplococca</i> FBCC-A1156	104 p

T

<i>Tetrabaena socialis</i> FBCC-A1324	82 p
<i>Tetradesmus dimorphus</i> FBCC-A166	63 p
<i>Tetradesmus dimorphus</i> FBCC-A330	64 p
<i>Tetradesmus obliquus</i> FBCC-A900	65 p
<i>Trichormus variabilis</i> FBCC-A106	107 p

W

<i>Westella botryoides</i> FBCC-A1169	66 p
---------------------------------------	------



일러두기

01

수록된 각 미세조류의 설명에는 자원은행번호(FBCC No.), 분류체계(Classification), 학명(Scientific name), 배양 조건(Culture conditions), 동결 조건(Freezing conditions), 해동 후 평가 결과(Post-thaw evaluation results)를 수록하였다.

02

각 배양체의 학명은 기탁자가 동정하여 FBCC에 등록한 학명을 기준으로 하였으며, AlgaeBase(<http://algaebase.org>)를 참고하여 최신(2026년 6월 기준) 학명과 분류체계를 반영하였다.

03

동결 조건 및 해동 후 평가정보는 기후에너지환경부에서 시행한 다부처 국가생명연구자원 선진화사업 연구개발과제의 연구자료를 사용하였다.



