

다유전자 분석을 통한 한국산 녹조류 *Desmodesmus*속의 계통

유영채^{1,2}, 이남주³, 전가영¹, 이옥민^{3,*}, 양은찬^{1,2,*}

¹한국해양과학기술원 해양생태연구센터, ²국가연구소대학교 해양과학과, ³경기대학교 생명과학과

Phylogeny of *Desmodesmus* (Scenedesmaceae, Chlorophyceae) in Korea based on multigene data analysis

Yeong Chae Yoo^{1,2}, Nam-Ju Lee³, Ga Yeong Jeon¹, Ok-Min Lee^{3,*} and Eun Chan Yang^{1,2,*}

¹Marine Ecosystem Research Center, Korea Institute of Ocean Science & Technology, Busan 49111, Republic of Korea

²Department of Ocean Science, Korea National University of Science and Technology, Daejeon 34113, Republic of Korea

³Department of Life Science, College of Natural Science, Kyonggi University, Suwon 16277, Republic of Korea

Contribution to Environmental Biology

- This study provides a species list and a multigene phylogeny of *Desmodesmus* in Korea.
- The new gene data will be useful for taxonomic and ecological studies of scenedesmacean green algae.

*Co-corresponding authors

Ok-Min Lee

Tel. 031-249-9643

E-mail. omlee@kgu.ac.kr

Eun Chan Yang

Tel. 054-664-3262

E-mail. ecyang@kiost.ac.kr

Received: 8 August 2023

Revised: 22 September 2023

Revision accepted: 30 October 2023

Abstract: The genus *Desmodesmus* (Chodat) S.S. An, T. Friedl & E. Hegewald is ubiquitous in freshwater ecosystems, such as rivers, ponds, and wetlands. The actual species diversity and distribution of the genus is unknown because of morphological plasticity affected by habitats. Currently, 38 *Desmodesmus* species have been reported in Korea most of which transferred from the genus *Scenedesmus* recently, however, no phylogenetic relationships have been studied yet. Despite the challenges in analyzing relationships among *Desmodesmus* species through the morphology, ecology, and original description, this study focused on examining species-level relationships using the FBCC culture strains isolated from Korea. A total of 299 sequences (66 of 18S rRNA, 47 of atpB, 67 of petA, 52 of rbcL, and 67 of tufA) were newly determined and used for phylogenetic analysis. Four plastid genes tend to have higher variation than 18S rRNA in the variable sites and P-distance. From the combined phylogeny, the *Desmodesmus* included six clades such as Clade-1: *D. pseudoserratus* and *D. serratus*, Clade-2: *D. communis*, *D. dispar*, *D. maximus*, *D. pannonicus*, unidentified *Desmodesmus* sp., Clade-3: *D. bicaudatus* and *D. intermedius*, Clade-4: *D. microspina*, *D. multivariabilis*, *D. pleiomorphus*, *D. subspicatus*, Clade-5: *D. abundans*, *D. kissii*, and *D. spinosus*, and Clade-6: *D. armatus*, *D. armatus* var. *longispina*, *D. opoliensis*, unidentified *Desmodesmus* spp. The new sequence data from FBCC strains will be used to identify species and study the molecular ecology of scenedesmacean green algae in freshwater ecosystems. The phylogenetic information from this study will expand our understanding of *Desmodesmus* species diversity in Korea.

Keywords: *Desmodesmus*, multigenes, Phylogeny, Scenedesmaceae

1. 서 론

Desmodesmus (Chodat) S.S. An, T. Friedl & E. Hegewald는 담수생태계에 흔히 분포하는 군체성 뗏목말과 (Scenedesmaceae Oltmanns) 녹조류이다 (Prescott 1962; Hegewald and Silva 1988; Kim 2015a). 본 속은 세포벽 미세구조(4개로 구성된 sporopolleninic wall layers 및 최외곽 sporopolleninic layer상 특유 장식 구조) 및 세포 돌기(spines)를 가지며 (Hegewald 1978), ITS-2 rDNA 2차 구조적 특징 (An *et al.* 1999)을 기준으로 *Scenedesmus* Meyen (뗏목말속)와 구분된다. *Desmodesmus*속 내 종 식별형질(세포 배열 및 형태, 세포벽 구조, 돌기, 미세구조 등 외부 형태)은 분포 환경의 영향을 받을 수 있으며 종간 뚜렷한 구분이 어려워 (Trainor and Egan 1990; Trainor 1998) ITS-2 rDNA 염기서열 비교를 통한 종 구분이 이루어지고 있다 (Hegewald 2000; Van Hannen *et al.* 2002; Johnson *et al.* 2007; Kim 2015a).

핵 유전자 small subunit ribosomal RNA (18S rRNA) 염기서열 자료는 뗏목말을 포함한 다양한 녹조류의 계통 연구에 이용되었으며 (e.g., Lewis 1997), 특히 ITS-2 rDNA 자료는 뗏목말과 속 및 종간 (*Coelastrum*속, *Comasiella*속, *Desmodesmus*속, *Pectinodesmus*속 및 *Scotiellopsis*속) 계통 연구 (Hegewald *et al.* 2010; Kaufnerová and Eliáš 2013)와 *Desmodesmus*속 및 뗏목말속 종 구분 기준 (Jeon *et al.* 2006; Johnson *et al.* 2007) 등으로 이용되었다. 그러나 유전적 다양성이 잘 알려지지 않은 뗏목말속과 *Desmodesmus*속 종의 동정에 18S rRNA와 ITS-2 같은 보존적인 유전자 정보를 이용한 결과는 제한적인 결과를 보여줄 수 있다. 최근 뗏목말과 연구에서는 색소체 *rbcl*, *tufA*, 16S rRNA 등 다유전자 자료를 이용한 주요 종 [*Scenedesmus quadricauda* (Turpin) Brébisson, *Tetradesmus deserticola* L.A. Lewis & Flechtner, 및 *T. obliquus* (Turpin) M.J. Wynne 등]의 DNA barcoding도 시도되고 있다 (Zou *et al.* 2016; Mai *et al.* 2023). 따라서, 형태적 가변성으로 종 동정이 어려운 뗏목말과 미세조류의 분류 및 계통관계 연구를 위한 다양한 유전자 분석의 시도가 필요하다 (Zou *et al.* 2016).

전 세계 뗏목말과 녹조류는 단세포에서 군체성에 이르는 다양한 형태로, 3개 아과 (Coelastroideae, Desmodesmoideae 및 Scenedesmoideae) 40속 약 380종을 포함하는데 이 중 뗏목말속 (159종)과 *Desmodesmus*속 (66종)

이 가장 잘 알려져 있다 (Guiry and Guiry 2023). 우리나라의 뗏목말과는 3아과 17속 119종이 알려져 있으며, 뗏목말속 38종 *Desmodesmus*속 38종 등을 포함한다 (Lee and Kim 2015; Guiry and Guiry 2023; Supplementary Table S1). 우리나라 뗏목말과 녹조류의 다양성에 관한 연구는 주로 신종 또는 미기록종 기재를 중심으로 수행되었다 (Shin *et al.* 2013; Kim 2015b; Bang *et al.* 2018). 예를 들어, *Desmodesmus abundans* (Kirchner) E.H. Hegewald (이명 *Scenedesmus nanus* Chodat으로 발표됨), *D. costato-granulatus* (Skuja) Hegewald, *D. lunatus* (West & G.S. West) E. Hegewald, *D. multicauda* (Masjuk) P.M. Tsarenko, *D. spinulatus* (Biswas) E. Hegewald 등 각 종의 외부형태 및 분포지 생태정보를 포함한 분류학적 기재가 지속되고 있으나, 새로운 분자마커의 개발 및 다유전자 정보 분석을 통한 계통관계 연구는 매우 미비하다. 본 연구는 국립낙동강생물자원관 담수생물자원은행이 보유한 우리나라 *Desmodesmus*속 녹조류 25종 70배양주를 대상으로, 4개 분자마커 (색소체 *petA*, *rbcl*, *tufA* 및 핵 18S rRNA) 정보를 비교분석하고, 대상종 간 유연관계 추론을 목표로 한다.

2. 재료 및 방법

2.1. 배양주 확보 및 형태관찰

본 연구를 위한 *Desmodesmus*속 70개 배양주는 국립낙동강생물자원관 담수생물자원은행 (FBCC; <https://fbp.nnibr.re.kr/fbcc/>)으로부터 분양받았다 (Table 1). 모든 배양주는 멸균한 3차 증류수와 Bold Modified Basal 배지 (50× liquid; Sigma-Aldrich, Burlington, MA, USA)를 49:1로 배합한 배양액을 이용하여 기본 배양조건 (light/dark 16:8 및 20°C)에서 유지하였다. 각 배양주의 형태는 400~1,000배율의 광학현미경 (Axio Imager A2; Carl Zeiss, Oberkochen, Germany)을 이용하여 관찰하였으며, AxioCam HRC 카메라 (Carl Zeiss, Oberkochen, Germany)로 촬영하였다.

2.2. 유전자 정보 확보 및 계통분석

2~3주 동안 충분히 자란 배양주는 원심분리하여 약 0.005~0.5467 g의 세포를 확보하였다. Total genomic DNA

Table 1. Material list used in the present study

Taxa	Strain ID	LM image	GenBank accession number				
			18S rRNA	atpB	petA	rbcL	tufA
<i>Desmodesmus abundans</i> (Kirchner) E.H. Hegewald							
	FBCC-A0975	Fig. 1A	OR581287	OR566684	OR566731	OR566798	OR566850
	FBCC-A0991	-	OR581288	OR566685	OR566732	OR566799	OR566851
	FBCC-A1465	-	OR581289	-	OR566733	OR566800	OR566852
<i>Desmodesmus armatus</i> (Chodat) E.H. Hegewald							
	FBCC-A0714	-	OR581290	OR566686	OR566734	OR566801	OR566853
	FBCC-A0715	-	OR581291	OR566687	OR566735	OR566802	OR566854
	FBCC-A0872	Fig. 1B	OR581292	OR566688	OR566736	-	OR566855
	FBCC-A0873	-	OR581293	OR566689	OR566737	OR566803	OR566856
	FBCC-A0978	Fig. 1C	OR581294	OR566690	OR566738	-	OR566857
	FBCC-A0979	-	OR581295	OR566691	OR566739	-	OR566858
	FBCC-A0981	Fig. 1D	OR581296	-	OR566740	-	OR566859
	FBCC-A0983	-	-	OR566692	OR566741	-	OR566860
	FBCC-A1016	-	OR581297	OR566693	OR566742	-	OR566861
	FBCC-A1175	-	OR581298	OR566694	OR566743	OR566804	OR566862
	FBCC-A1219	-	OR581299	-	OR566744	OR566805	OR566863
	FBCC-A1328	-	OR581300	OR566695	OR566745	OR566806	OR566864
	FBCC-A1334	-	OR581301	OR566696	OR566746	-	OR566865
<i>Desmodesmus armatus</i> var. <i>longispina</i> (Chodat) E. Hegewald							
	FBCC-A0245	Fig. 1E	OR581302	OR566697	OR566747	OR566807	OR566866
	FBCC-A0700	-	OR581303	OR566698	OR566748	OR566808	OR566867
	FBCC-A0701	-	OR581304	OR566699	OR566749	OR566809	OR566868
	FBCC-A1018	-	OR581305	OR566700	OR566750	OR566810	OR566869
	FBCC-A1320	-	OR581306	OR566701	OR566751	OR566811	OR566870
<i>Desmodesmus bicaudatus</i> (Dedusenko) P.M. Tsarenko							
	FBCC-A0985	-	-	OR566702	OR566752	OR566812	OR566871
<i>Desmodesmus communis</i> (E.Hegewald) E. Hegewald							
	FBCC-A0053	-	OR581307	OR566703	OR566753	OR566813	OR566872
	FBCC-A0406	Fig. 1F	OR581308	OR566704	OR566754	OR566814	OR566873
	FBCC-A0691	Fig. 1G	OR581309	OR566705	-	OR566815	OR566874
	FBCC-A0726	Fig. 1H	-	OR566706	-	OR566816	-
<i>Desmodesmus dispar</i> (Brébisson) E. Hegewald							
	FBCC-A0692	Fig. 1I	OR581312	-	OR566757	OR566817	OR566877
<i>Desmodesmus intermedius</i> (Chodat) E. Hegewald							
	FBCC-A0028	-	OR581313	-	OR566758	OR566818	OR566878
<i>Desmodesmus maximus</i> (West & G.S. West) Hegewald							
	FBCC-A0043	Fig. 1K	OR581314	OR566707	OR566759	OR566819	OR566879
	FBCC-A0454	Fig. 1L	OR581315	OR566708	OR566760	OR566820	OR566880
	FBCC-A0694	-	OR581316	-	OR566761	OR566821	OR566881
	FBCC-A0807	-	OR581317	-	OR566762	OR566822	OR566882
<i>Desmodesmus microspina</i> (Chodat) P.M. Tsarenko							
	FBCC-A0369	Fig. 2A	OR581318	-	OR566763	OR566823	OR566883
	FBCC-A0992	Fig. 2B	OR581319	-	OR566764	OR566824	OR566884
<i>Desmodesmus multivariabilis</i> E. Hegewald, Antal Schmidt, A. Braband, & P.M. Tsarenko							
	FBCC-A1279	-	OR581320	OR566709	OR566765	OR566825	OR566885
	FBCC-A1332	-	OR581321	OR566710	OR566766	-	OR566886

Table 1. Continued

Taxa	Strain ID	LM image	GenBank accession number				
			18S rRNA	atpB	petA	rbcL	tufA
<i>Desmodesmus opoliensis</i> (P.G. Richter) E. Hegewald							
	FBCC-A0001	Fig. 2C	OR581322	-	OR566767	OR566826	OR566887
	FBCC-A0123	-	OR581323	OR566711	OR566768	-	OR566888
	FBCC-A0696	Fig. 2D	OR581324	-	OR566769	OR566827	OR566889
	FBCC-A0808	-	-	OR566712	OR566770	OR566828	OR566890
	FBCC-A0886	-	OR581325	OR566713	OR566771	-	OR566891
	FBCC-A0994	Fig. 2E	OR581326	OR566714	OR566772	OR566829	OR566892
	FBCC-A0995	-	OR581327	OR566715	OR566773	OR566830	OR566893
	FBCC-A0998	Fig. 2F	OR581328	OR566716	OR566774	-	OR566894
	FBCC-A1015	-	OR581329	OR566717	OR566775	OR566831	OR566895
	FBCC-A1212	-	OR581330	-	OR566776	OR566832	-
<i>Desmodesmus pannonicus</i> (Hortobágyi) E. Hegewald							
	FBCC-A0716	-	OR581331	OR566718	OR566777	OR566833	OR566896
	FBCC-A0717	-	OR581332	OR566719	OR566778	OR566834	OR566897
<i>Desmodesmus pleiomorphus</i> (Hindák) E. Hegewald							
	FBCC-A1278	-	OR581333	OR566720	OR566779	OR566835	OR566898
<i>Desmodesmus serratus</i> (Corda) S.S. An, Friedl & E. Hegewald							
	FBCC-A0698	Fig. 2G	OR581334	-	OR566780	OR566836	OR566899
	FBCC-A0999	Fig. 2H	OR581335	-	OR566781	OR566837	OR566900
<i>Desmodesmus spinosus</i> (Chodat) E. Hegewald							
	FBCC-A1003	Fig. 2I	OR581336	-	-	-	OR566901
	FBCC-A1004	-	OR581337	-	OR566782	-	OR566902
	FBCC-A1005	-	OR581338	-	OR566783	-	OR566903
<i>Desmodesmus subspicatus</i> (Chodat) E. Hegewald & A.W.F. Schmidt							
	FBCC-A0056	-	OR581339	OR566721	OR566784	-	OR566904
Unidentified <i>Desmodesmus</i> sp. 1							
	FBCC-A0515	-	OR581340	OR566722	OR566785	OR566838	OR566905
Unidentified <i>Desmodesmus</i> sp. 2							
	FBCC-A1236	-	OR581341	OR566723	OR566786	OR566839	-
Unidentified <i>Desmodesmus</i> sp. 3							
	FBCC-A0724	Fig. 2J	OR581342	-	OR566787	OR566840	OR566906
	FBCC-A0725	-	OR581343	OR566724	OR566788	-	OR566907
Unidentified <i>Desmodesmus</i> sp. 4							
	FBCC-A1009	-	OR581344	-	OR566789	OR566841	OR566908
	FBCC-A1277	Fig. 1J	OR581345	-	OR566790	OR566842	OR566909
	FBCC-A1285	-	OR581346	OR566725	OR566791	OR566843	OR566910
	FBCC-A1291	-	OR581347	-	OR566792	OR566844	OR566911
Unidentified <i>Desmodesmus</i> sp. 5							
	FBCC-A1293	-	OR581348	OR566726	OR566793	OR566845	OR566912
Unidentified <i>Desmodesmus</i> sp. 6							
	FBCC-A1011	Fig. 2K	OR581349	OR566727	OR566794	OR566846	OR566913
Unidentified <i>Desmodesmus</i> sp. 7							
	FBCC-A1292	-	OR581350	OR566728	OR566795	OR566847	OR566914
Unidentified <i>Desmodesmus</i> sp. 8							
	FBCC-A0428	-	OR581351	OR566729	OR566796	OR566848	OR566915
Unidentified <i>Desmodesmus</i> sp. 9							
	FBCC-A0427	-	OR581352	OR566730	OR566797	OR566849	OR566916

Table 1. Continued

Taxa	Strain ID	LM image	GenBank accession number				
			18S rRNA	atpB	petA	rbcL	tufA
Unidentified <i>Desmodesmus</i> sp. 10							
	FBCC-A0718	-	OR581310	-	OR566755	-	OR566875
	FBCC-A0719	-	OR581311	-	OR566756	-	OR566876
Outgroups							
<i>Coelastrella saipanensis</i> N. Hanagata							
	FACHB-2294	-	MH176093	-	-	-	-
	-	-	-	NC_042181	NC_042181	NC_042181	NC_042181
<i>Hariotina reticulata</i> P.A. Dangeard							
	UTEX LB 1365	-	-	KY792679	KY792679	KY792679	KY792679
<i>Hariotina</i> sp.							
	MMOGRB0030F	-	-	KX131180	KX131180	KX131180	KX131180
<i>Pectinodesmus pectinatus</i> (Meyen) E. Hegewald, M. Wolf, Al. Keller, Friedl & Krienitz							
	An 111A	-	AB037092	-	-	-	-
	-	-	-	NC_036668	NC_036668	NC_036668	NC_036668
<i>Tetradesmus obliquus</i> (Turpin) M.J. Wynne							
	UTEX 393	-	-	NC_008101	NC_008101	NC_008101	NC_008101

추출에는 LaboPass™ Tissue Genomic DNA Isolation Kit Mini (Cosmogenetech, Seoul, Korea)를 사용하였다. 추출한 genomic DNA의 순도 및 농도는 Nanodrop™ One Spectrophotometer (Thermo Fisher Scientific, Waltham, MA, USA)를 사용하여 측정 한 후 -20°C에서 보관하였다. 핵 유전자 18S rRNA, 색소체 유전자 *atpB* (ATP synthase CF1 beta subunit), *petA* (cytochrome f), *rbcL* (ribulose-1,5-bisphosphate carboxylase/oxygenase large subunit) 및 *tufA* (elongation factor Tu)의 증폭 및 시퀀싱을 위해 새로운 프라이머를 제작하였다(Table 2). 각 유전자의 증폭 과정은 AccuPower® PCR PreMix (Bioneer, Daejeon, Korea)를 사용하여 최종 부피 20 µL로 PCR 반응하였다. PCR 반응은 최초 95°C에서 3분간 pre-denaturation 한 후, 95°C에서 30초간 denaturation, 48~54°C에서 30초간 annealing, 72°C에서 1분간 extension하는 과정을 30회 반복한 후 72°C에서 5분간 final-extension으로 반응을 종결하였다. PCR 증폭산물의 정제는 Applied Biosystems™ ExoSAP-IT™ Express PCR Product Cleanup Reagent (Thermo Fisher Scientific, Waltham, MA, USA)을 이용하였다. 시퀀싱은 (주)바이오닉스(BIONICS, Seoul, Korea)에서 제공하는 Sanger 시퀀싱 서비스를 이용하였다. Geneious Prime v.2023 (<http://www.geneious.com>;

Biomatters, Auckland, New Zealand)을 사용하여 정방향 및 역방향 electropherograms을 확인하며 불확실한 서열을 제거한 뒤 consensus sequence를 결정하였다. 새로운 유전자 서열은 모두 GenBank에 등록하였다(Table 1).

핵 18S rRNA의 정렬은 Geneious Prime v.2023의 Clustal Omega (-t RNA 옵션)를, 색소체 *atpB*, *petA*, *rbcL* 및 *tufA*의 정렬은 아미노산 서열(Translation alignment, hypothetical translation with transl_table 11 옵션)을 기준으로 정렬하였으며 정렬 결과는 직접 검토 및 교정하였다. 최적의 계통수 구축을 위해 18S rRNA와 *rbcL* 유전자의 intron 및 정렬이 불명확한 부위(ambiguous positions)는 제거하였다. 계통분석은 maximum-likelihood (ML) 방법을 적용하는 RAxML v.8.1.12 (Stamatakis 2014) 프로그램을 이용하였다. 개별 및 유합 자료를 이용한 최적의 계통수 구축에 사용한 RAxML 옵션은 '-f a'이며 각 유전자별 GTR+GAMMA (rate heterogeneity) 진화모형을 적용하였다(-q 옵션). 각 node의 단계통성은 1,000회의 bootstrap (-# 1000 옵션)으로 검증하였다. 최적의 계통수(ML phylogeny)와 각 node의 MLbt (ML bootstrap support value)는 FigTree v.1.4.4 (Rambaut 2010)를 이용하여 가시화하였다.

Table 2. Primer list used in the present study

Type	Gene	Name	Direction	Sequence (5'-3')	Annealing temperature
nDNA	18S rRNA	Sc_18S_500F	Forward	TGG TGG TAC CTT ACT ACT CG	54–60°C
		Sc_18S_3565R	Reverse	CTC GTT GAA GAC TAA TAA TTG	54–60°C
ptDNA	<i>atpB</i>	Sc_atpB_4317F	Forward	TAA AGT WGT AGA YTT ATT AGC	46–50°C
		Sc_atpB_5177R	Reverse	GCW ACR ATT AAT CKR TCT TC	46–50°C
	<i>petA</i>	Sc_petA_341F	Forward	CTC ARC AAA AYT AYG AAA AYC C	45–55°C
		Sc_petA_1144R	Reverse	TCT TMA GAA CTA ATA AWA CTT G	45–55°C
	<i>rbcl</i>	Des_rbcl_F1	Forward	GAA TCA TCW ACW GGT ACT TGG ACA	44–50°C
		Des_rbcl_R1	Reverse	GTG TAR GTG GTC WCC HCC WGA CAT ACG	44–50°C
	<i>tufA</i>	Sc_tufA_1F_t1	Forward	GTA AAA CGA CGG CCA GTA TGG CWC GYG CWA AAT TTG AAC G	46–54°C
		Sc_tufA_1049R_t1	Reverse	CAG GAA ACA GCT ATG ACC CWG TWA NRT CWG TWG TWC G	46–54°C

3. 결과 및 고찰

3.1. 한국산 *Desmodesmus*속 녹조류 종 목록 및 기재

우리나라 뗏목말과 녹조류 (3아과 17속 119종; 국가생물종목록 기준; Supplementary Table S1) 중 Algaebase의 분류체계 및 이명 정보를 반영한 *Desmodesmus*속은 29종 9변종이다. 이 중 FBCC 배양주 *Desmodesmus*속 9종 1변종의 종명, 이명, 형태 및 채집 정보를 다음과 같이 정리하였다.

Phylum Chlorophyta
 Class Chlorophyceae
 Order Sphaeropleales
 Family Scenedesmaceae

Genus *Desmodesmus* (R. Chodat) S.S. An, T. Friedl & E. Hegewald

1. *Desmodesmus abundans* (Kirchner) E.H. Hegewald 2000 **FBCC-A975**
2. *Desmodesmus aculeolatus* (Reinsch) P.M. Tsarenko 2000
3. *Desmodesmus armatus* (Chodat) E.H. Hegewald 2000 **FBCC-A872**
4. *Desmodesmus armatus* var. *bicaudatus* (Guglielmetti) E.H. Hegewald 2000
5. *Desmodesmus armatus* var. *longispina* (Chodat) E. Hegewald 2000 **FBCC-A245**
6. *Desmodesmus armatus* var. *subalternans* (G.M. Smith) E.

Hegewald 2000

7. *Desmodesmus bicaudatus* (Dedusenko) P.M. Tsarenko 2000
8. *Desmodesmus brasiliensis* (Bohlin) E. Hegewald 2000
9. *Desmodesmus communis* (E. Hegewald) E. Hegewald 2000 **FBCC-A406**
10. *Desmodesmus costato-granulatus* (Skuja) E. Hegewald 2000
11. *Desmodesmus denticulatus* (Lagerheim) S.S. An, T. Friedl & E. Hegewald 1999
12. *Desmodesmus denticulatus* var. *linearis* (Hansgirg) Hegewald 2000
13. *Desmodesmus dispar* (Brébisson) E. Hegewald 2000 **FBCC-A692**
14. *Desmodesmus flavescens* (Chodat) E. Hegewald 2000
15. *Desmodesmus grahneisii* (Heynig) E. Hegewald 2000
16. *Desmodesmus granulatus* (West & G.S. West) P.M. Tsarenko 2000
17. *Desmodesmus intermedius* (Chodat) E. Hegewald 2000
18. *Desmodesmus intermedius* var. *acutispinus* (Roll) E. Hegewald 2000
19. *Desmodesmus intermedius* var. *balatonicus* (Hortobágyi) P.M. Tsarenko 2000
20. *Desmodesmus lefevrei* (Deflandre) S.S. An, T. Friedl & E.H. Hegewald 1999
21. *Desmodesmus lumatus* (West & G.S. West) E. Hegewald

- 2000
22. *Desmodesmus magnus* (Meyen) P.M. Tsarenko 2000
23. *Desmodesmus maximus* (West & G.S. West) Hegewald 2000 **FBCC-A454**
24. *Desmodesmus microspina* (Chodat) P.M. Tsarenko 2000 **FBCC-A992**
25. *Desmodesmus multicauda* (Masjuk) P.M. Tsarenko 2000
26. *Desmodesmus opoliensis* (P.G. Richter) E. Hegewald 2000 **FBCC-A994**
27. *Desmodesmus opoliensis* var. *carinatus* (Lemmermann) E. Hegewald 2000
28. *Desmodesmus opoliensis* var. *mononensis* (Chodat) E. Hegewald 2000
29. *Desmodesmus pannonicus* (Hortobágyi) E. Hegewald 2000
30. *Desmodesmus perforatus* (Lemmermann) E. Hegewald 2000
31. *Desmodesmus pleiomorphus* (Hindák) E. Hegewald 2000
32. *Desmodesmus protuberans* (F.E. Fritsch & M.F. Rich) E. Hegewald 2000
33. *Desmodesmus serratus* (Corda) S.S. An, Friedl & E. Hegewald 1999 **FBCC-A999**
34. *Desmodesmus spinosus* (Chodat) E. Hegewald 2000 **FBCC-A1003**
35. *Desmodesmus spinosus* var. *bicaudatus* (Hortobágyi) Täuscher 2020
36. *Desmodesmus spinulatus* (Biswas) E. Hegewald 2000
37. *Desmodesmus subspicatus* (Chodat) E. Hegewald & A.W.F. Schmidt 2000
38. *Desmodesmus tropicus* var. *longiclathratus* (Tell) S.L. Jeon & E. Hegewald 2006

***Desmodesmus abundans* (Kirchner) E.H. Hegewald 2000 (FBCC-A975, Fig. 1A)**

■ 기본명

Scenedesmus caudatus f. *abundans* Kirchner

■ 이명

Scenedesmus caudatus var. *minor* Kützing 1849

Scenedesmus quadricauda f. *abundans* (Kirchner) Lagerheim 1882

Scenedesmus caudatus var. *abundans* (Kirchner) Wolle 1887

Scenedesmus quadricauda var. *abundans* (Kirchner) Hansgirg 1888

Scenedesmus abundans (O. Kirchner) Chodat 1913

Scenedesmus sempervirens Chodat 1913

Scenedesmus nanus Chodat 1913

Scenedesmus quadrispina Chodat 1913

Scenedesmus spinosum f. *solutus* Chodat 1913

Scenedesmus opoliensis var. *abundans* Printz 1914

Scenedesmus quadricauda var. *quadrispina* (Chodat) G.M. Smith 1916

Scenedesmus quadricauda var. *parvus* G.M. Smith 1916

Scenedesmus rostratospinosus Chodat 1926

Scenedesmus parvus (G.M. Smith) Bourrelly 1952

Chlorella fusca Shihira & R.W. Krauss 1965

Scenedesmus bellospinosus Hortobágyi 1967

Scenedesmus fuscus (Shihira & R.W. Krauss) E.H. Hegewald 1982

Desmodesmus opoliensis var. *abundans* (Printz) Taşkin & Alp 2019

■ 참고문헌

Hirose *et al.* 1977, p. 377, pl. 127, fig. 8; Komárek and Fott 1983, p. 915, pl. 246, fig. 6; John *et al.* 2011, p. 439, pl. 104, fig. E, pl. 111, fig. D.

■ 형태정보

군체는 2, 4개 또는 8개의 세포가 모여 형성되며, 일렬 또는 약간 교차하여 배열된다. 세포는 둥근 원통형 또는 넓은 난형이며, 세포의 양 끝은 둥글다. 외측 세포의 양 끝에 약간 휘어진 긴 강모가 있으며, 내측 세포의 양 끝에 불규칙적으로 짧은 강모가 있다. 세포의 길이는 7~10 μm 이며, 폭은 2.5~4 μm 이고, 강모의 길이는 4~6 μm 이다.

■ 채집정보

이 종은 연못이나 호수, 저수지 등의 담수역에서 출현하였고 (Komárek and Fott 1983; John *et al.* 2011), 본 연구의 배양주는 2018년 5월 24일 충청북도 충주시 가금면 가흥리 봉황교(37°4'58.6"N, 127°50'5.8"E) 담수역에서 출현하였다.

***Desmodesmus armatus* (Chodat) E.H. Hegewald 2000 (FBCC-A872, Fig. 1B)**

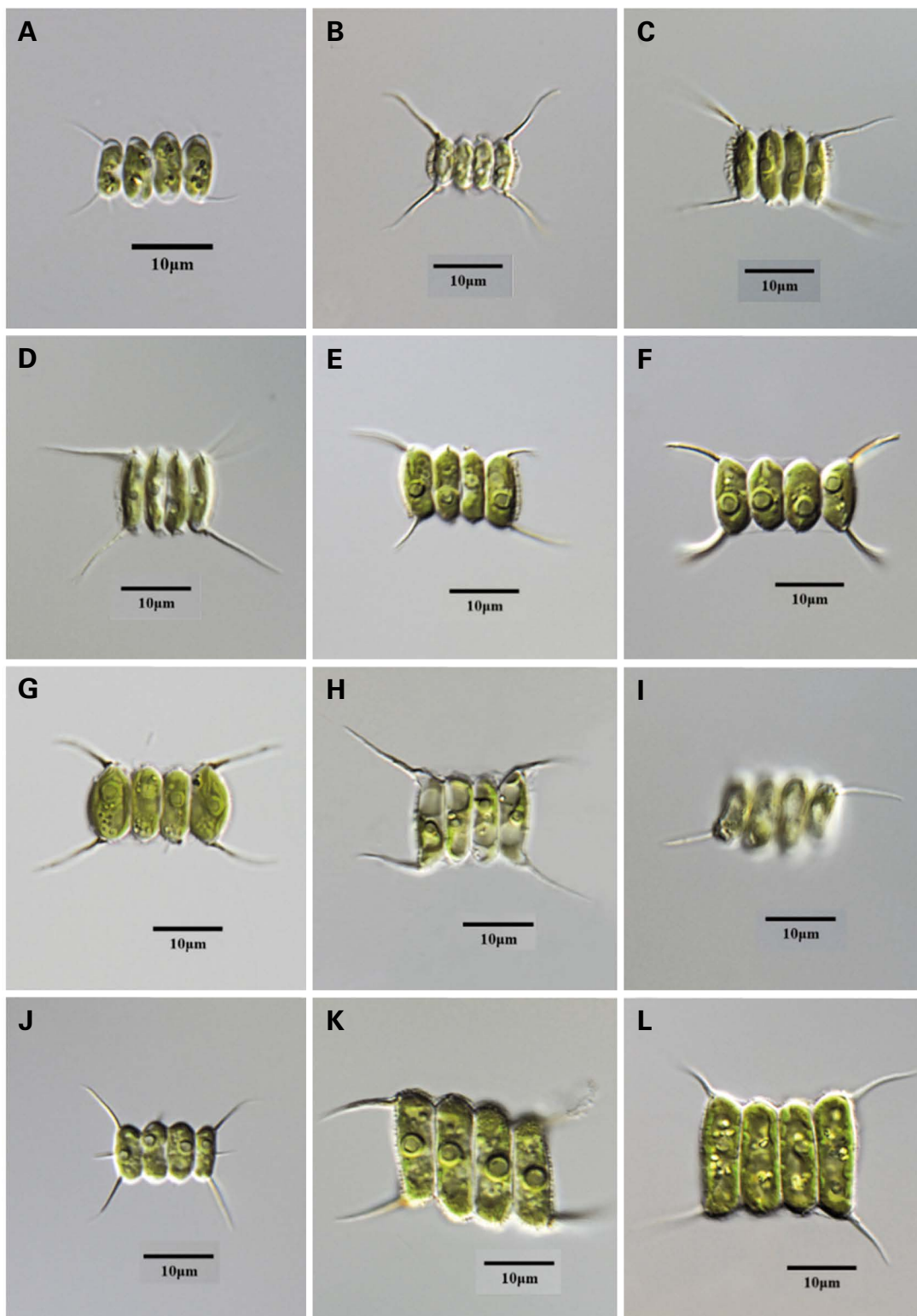


Fig. 1. Microscopic photographs of *Desmodesmus*. (A) *D. abundans* FBCC-A975, (B) *D. armatus* FBCC-A872, (C) *D. armatus* FBCC-A978, (D) *D. armatus* FBCC-A981, (E) *D. armatus* var. *longispina* FBCC-A245, (F) *D. communis* FBCC-A406, (G) *D. communis* FBCC-A691, (H) *D. communis* FBCC-A726, (I) *D. dispar* FBCC-A692, (J) *Desmodesmus* sp. 5 FBCC-A1277, (K) *D. maximus* FBCC-A43, (L) *D. maximus* FBCC-A454.

■ 기본명

Scenedesmus hystrix var. *armatus* Chodat 1902

■ 이명

Scenedesmus caudatus var. *apiculatus* Kützing 1849

Scenedesmus caudatus var. *major* Kützing 1849

Scenedesmus hystrix f. *armatus* (Chodat) Volk 1906

Scenedesmus armatus (Chodat) Chodat 1913

Scenedesmus armatus var. *chodatii* G.M. Smith 1916

Scenedesmus quadricauda f. *spiralis* Printz 1916

Scenedesmus longus f. *arcuatus* O. Borge 1921

Scenedesmus quadricauda var. *papillatus* Svirengo 1924

Scenedesmus armatus f. *granulatus* Deflandre 1924

Scenedesmus quadricauda var. *dentatus* Dedusenko 1925

Scenedesmus acutiformis var. *quadricauda*

Proshkina-Lavrenko 1925

Scenedesmus quadricauda var. *monospina*

Dedusenko 1925

Scenedesmus armatus var. *smithii* Chodat 1926

Scenedesmus ellipsoideus Chodat 1926

Scenedesmus armatus var. *indicus* Chodat 1926

Scenedesmus quadricauda var. *asymmetricus* Liebet. 1926

Scenedesmus quadricauda var. *arcuatus* Y.V. Roll 1927

Scenedesmus helveticus var. *muzzanensis*

Huber-Pestalozzi 1929

Scenedesmus hunanensis C.-C. Jao 1940

Scenedesmus westii var. *heterospinosus* Hortobágyi 1940

Scenedesmus mirandus Hortobágyi 1947

Scenedesmus armatus f. *semicostatus* Hortobágyi 1949

Scenedesmus quadricauda var. *spinosus* Dedusenko 1949

Scenedesmus armatus f. *quadrispinosus* Bourrelly 1952

Scenedesmus quadricauda var. *helveticus* (Chodat)

Dedusenko 1953

Scenedesmus armatus f. *major* Uherkovich 1956

Scenedesmus quadricauda var. *ellipsoideus* (Chodat)

M.-B. Florin 1957

Scenedesmus mirus Hortobágyi 1959

Scenedesmus maculosus Hortobágyi 1959

Scenedesmus decorus Hortobágyi 1959

Scenedesmus scutatus Hortobágyi 1959

Scenedesmus columnatus f. *heterospinosus*

Hortobágyi 1959

Scenedesmus maculosus f. *obtusospinosus*

Hortobágyi 1959

Scenedesmus thomassonii Hortobágyi 1959

Scenedesmus quadricauda f. *granulatus* Hortobágyi 1960

Scenedesmus sooi var. *tiszae* Uherkovich 1960

Scenedesmus carinatus f. *deflexus* Hortobágyi 1960

Scenedesmus speciosus Hortobágyi 1960

Scenedesmus longispina var. *regularis* Hortobágyi 1960

Scenedesmus nanus f. *maculatus* Hortobágyi 1960

Scenedesmus quadrispina f. *granulatus* Hortobágyi 1960

Scenedesmus quadricauda var. *interruptecostatus*

Massjuk 1962

Scenedesmus maharastrensis N.D. Kamat 1963

Scenedesmus margalefii N.D. Kamat 1963

Scenedesmus kolhapurensis N.D. Kamat 1963

Scenedesmus mahabuleshwariensis N.D. Kamat 1964

Scenedesmus jovis var. *longicaudatus*

Hortobágyi & Németh 1965

Scenedesmus lefevrei var. *semiserratus* Uherkovich 1966

Scenedesmus quadricauda f. *regularis* (Hortobágyi)

Uherkovich 1966

Scenedesmus quadricauda f. *granulatus* (Hortobágyi)

Uherkovich 1966

Scenedesmus quadricauda var. *kolhapurensis* (N.D. Kamat)

Philipose 1967

Scenedesmus pseudoarmatus Hortobágyi 1969

Scenedesmus armatus f. *crassicaudatus* Hortobágyi 1969

Scenedesmus armatus f. *crassiheterocaudatus*

Hortobágyi 1969

Scenedesmus columnatus var. *sexangulus* Hortobágyi 1969

Scenedesmus columnatus var. *tropicus* Hortobágyi 1969

Scenedesmus longispina f. *granulatus* Hortobágyi 1969

Scenedesmus opoliensis f. *deflexus* Hortobágyi 1969

Scenedesmus pocsii Hortobágyi 1969

Scenedesmus sooi f. *granulatus* Hortobágyi 1969

Scenedesmus quadricauda f. *aculeato-granulatus*

Hortobágyi 1971

Scenedesmus pseudolongispina Hortobágyi 1972

Chodatella balatonica f. *granulata* Hortobágyi 1974
Scenedesmus trainorii Shubert 1975
Scenedesmus trainorii f. *quadricauda* Shubert 1975
Scenedesmus uherkovichii Hortobágyi 1976
Scenedesmus pseudohelvicus Kirjakov 1977
Scenedesmus pseudopoliensis var. *sexangulus* (Hortobágyi) Kirjakov 1977
Scenedesmus pseudoquadricauda var. *pseudolongispina* (Hortobágyi) Kirjakov 1977
Scenedesmus quadricauda var. *mirus* (Hortobágyi) Kirjakov 1977
Scenedesmus sooi var. *bouakensis* Uherkovich 1977
Scenedesmus opoliensis f. *danubialis* Hortobágyi 1981
Scenedesmus pseudoarmatus var. *danubialis* Hortobágyi 1981
Scenedesmus sooi f. *elegans* Hortobágyi 1981
Scenedesmus sooi f. *robustus* Hortobágyi 1981
Scenedesmus caudato-aculeolatus var. *spinus* (Dedusenko) Pankow 1986
Scenedesmus armatus var. *interruptecostatus* (Masjuk) Pankow 1986
Scenedesmus caudato-aculeolatus var. *maharastrensis* (N.D. Kamat) Pankow 1986
Scenedesmus helveticus var. *asymetricus* Bourrelly 1987

■ 참고문헌

Hirose *et al.* 1977, p. 375, pl. 126, fig. 3; Komárek and Fott 1983, p. 896, pl. 241, fig. 9; John *et al.* 2011, p. 441, pl. 104, fig. F, pl. 110, fig. F, pl. 112, fig. A.

■ 형태정보

군체는 4개 또는 2, 8개의 세포가 모여 형성된다. 세포는 둥글고 긴 타원형 또는 긴 원통형이다. 외측 세포의 양 끝에 긴 강모가 있으며, 내측 세포의 양 끝에 짧은 강모가 있다. 세포벽에 용기선이 있으며, 이는 중앙부까지 연결되어 있지 않다. 세포의 길이는 7~10 µm이며, 폭은 2.5~4 µm이고, 강모의 길이는 6~11 µm이다.

■ 채집정보

이 종은 하천이나 연못, 호수, 저수지 등 담수역에서 출현하였고(Komárek and Fott 1983; John *et al.* 2011), 본 연

구의 배양주는 2017년 4월 24일 경상북도 상주시 도남동 810-1 낙동강(36°26'45.2"N, 128°15'32"E)에서 출현하였다.

***Desmodesmus armatus* var. *longispina* (Chodat) E. Hegewald 2000 (FBCC-A245, Fig. 1E)**

■ 기본명

Scenedesmus longispina Chodat 1913

■ 이명

Scenedesmus quadricauda var. *longispina* (Chodat) G.M. Smith 1916

■ 참고문헌

Hirose *et al.* 1977, p. 381, pl. 129, fig. 7; Komárek and Fott 1983, p. 932, pl. 250, fig. 1.

■ 형태정보

군체는 2, 4, 8개의 세포가 모여 형성되며, 일렬 또는 약간 교차하여 배열된다. 세포는 긴 타원형 또는 긴 원통형이며, 세포의 양 끝은 넓고 둥글다. 외측 세포의 양 끝에 긴 강모가 있으며, 내측 세포의 양 끝에 강모가 없지만, 간혹 짧은 강모가 있다. 세포의 길이는 8~14 µm이며, 폭은 2.8~4.2 µm이고, 강모의 길이는 7~12 µm이다.

■ 채집정보

본 연구의 배양주는 2019년 2월 25일 제주특별자치도 제주시 구좌읍 덕천리 488 덕천연못(33°30'8.6"N, 126°45'55"E)에서 출현하였다.

***Desmodesmus communis* (E. Hegewald) E. Hegewald 2000 (FBCC-A406, Fig. 1F)**

■ 기본명

Scenedesmus communis E. Hegewald 1977

■ 이명

Scenedesmus quadricauda Chodat 1926

■ 참고문헌

Hirose *et al.* 1977, p. 379, pl. 128, fig. 6; Komárek and

Fott 1983, p. 928, pl. 249, fig. 2; John *et al.* 2011, p. 442, pl. 104, fig. J, pl. 111, fig. E.

■ 형태정보

군체는 2, 4, 8개의 세포가 모여 형성되며, 일렬로 배열된다. 세포는 신장된 원통형 또는 긴 원통형이며, 외측 세포의 양 끝은 끝으로 갈수록 좁아지고, 내측 세포의 양 끝은 둥글며, 외측 세포 측면의 중앙은 약간 불룩하게 나와 있다. 외측 세포의 양 끝에 긴 강모가 있으며, 내측 세포의 양 끝에 강모가 없다. 세포의 길이는 7~15 μm 이며, 폭은 2.7~5.8 μm 이고, 강모의 길이는 5~10 μm 이다.

■ 채집정보

이 종은 웅덩이나 연못, 저수지, 호수 등의 담수역에서 출현하였고(Komárek and Fott 1983; John *et al.* 2011), 본 연구의 배양주는 2017년 7월 12일 강원도 횡성군 우천면 백달리 백달지(37°26'19.03"N, 128°3'53.7"E)에서 출현하였다.

***Desmodesmus dispar* (Brébisson) E. Hegewald 2000 (FBCC-A692, Fig. 1I)**

■ 기본명

Scenedesmus dispar Brébisson 1856

■ 이명

Scenedesmus quadricauda var. *dispar* (Brébisson)

Brunnthaler 1913

Scenedesmus longus var. *dispar* (Brébisson) G.M. Smith

1916

■ 참고문헌

Hirose *et al.* 1977, p. 383, pl. 130, fig. 9; Komárek and Fott 1983, p. 877, pl. 237, fig. 2; John *et al.* 2011, p. 442, pl. 110, fig. K.

■ 형태정보

군체는 4개의 세포가 모여 형성되며, 일렬 또는 약간 교차하여 배열된다. 세포는 긴 타원형 또는 원통형이며, 세포는 양 끝은 둥글다. 외측 세포의 양 끝에 1~2개의 짧은 강모가 서로 대각선 방향에 있다. 세포의 길이는 5~9 μm 이

며, 폭은 2~3.5 μm 이고, 강모의 길이는 0.8~5 μm 이다.

■ 채집정보

이 종은 하천이나 연못, 호수 등의 담수역에서 출현하였고(Komárek and Fott 1983; John *et al.* 2011), 본 연구의 배양주는 2017년 8월 24일 경기도 수원시 영통구 이의동 광고산로 154-42 경기대 연못(37°18'3"N, 127°2'20"E)에서 출현하였다.

***Desmodesmus maximus* (West & G.S. West) Hegewald 2000 (FBCC-A454, Fig. 1L)**

■ 기본명

Scenedesmus quadricauda var. *maximus* West & G.S. West 1895

■ 이명

Scenedesmus maximus (West & G.S. West) Chodat 1913

■ 참고문헌

Hirose *et al.* 1977, p. 381, pl. 129, fig. 6; Komárek and Fott 1983, p. 934, pl. 250, fig. 2; John *et al.* 2011, p. 445, pl. 110, fig. O.

■ 형태정보

군체는 4개 또는 8개의 세포가 모여 형성되며, 직선형으로 배열된다. 세포는 타원형이며, 세포의 양 끝은 둥글고 폭이 넓다. 외측 세포의 양 끝에 긴 강모가 서로 대각선 방향에 있다. 세포의 길이는 20~31 μm 이며, 폭은 7.5~11 μm 이고, 강모의 길이는 12~20 μm 이다.

■ 채집정보

이 종은 하천이나 연못, 호수 등의 담수역에서 출현하였고(Komárek and Fott 1983; John *et al.* 2011), 본 연구의 배양주는 2018년 2월 26일 경상북도 울진군 평해읍 월송리 월송정(36°44'19.63"N, 129°28'15.32"E) 담수역에서 출현하였다.

***Desmodesmus microspina* (Chodat) T.M. Tsarenko 2000 (FBCC-A992, Fig. 2B)**

■ 기본명

Scenedesmus microspina Chodat 1926

■ 이명

Scenedesmus quadricauda var. *microspina* (Chodat)
Philipose 1967

■ 참고문헌

Hirose *et al.* 1977, p. 381, pl. 129, fig. 8; Komárek and Fott 1983, p. 930, pl. 249, fig. 7; John *et al.* 2011, p. 445, pl. 111, fig. P.

■ 형태정보

군체는 2, 4, 8개의 세포가 모여 형성되며, 일렬로 배열된다. 세포는 난형 또는 원통형이며, 세포의 양 끝은 둥글고, 외측 세포 측면의 중앙은 약간 볼록하게 나와 있다. 외측 세포의 양 끝에 짧은 강모가 있다. 세포의 길이는 5~11 μm 이며, 폭은 3~6 μm 이고, 강모의 길이는 0.5~1.2 μm 이다.

■ 채집정보

이 종은 하천이나 강 등의 담수역에서 출현하였고 (Komárek and Fott 1983; John *et al.* 2011), 본 연구의 배양주는 2018년 5월 3일 충청북도 충주시 소태면 양촌리 555-2 비내섬(37°5'10.4"N, 127°52'31.7"E) 담수역에서 출현하였다.

***Desmodesmus opoliensis* (P.G. Richter)
E. Hegewald 2000 (FBCC-A994, Fig. 2E)**

■ 기본명

Scenedesmus opoliensis P.G. Richter 1895

■ 이명

Scenedesmus denticulatus var. *opoliensis* (P.G. Richter)
Playfair

Scenedesmus quadricauda var. *opoliensis* (P.G. Richter)
West & G.S. West 1902

■ 참고문헌

Hirose *et al.* 1977, p. 383, pl. 130, fig. 6; Komárek and Fott 1983, p. 908, pl. 244, fig. 6; John *et al.* 2011, p. 445, pl. 110, fig. P.

■ 형태정보

군체는 2, 4, 8개의 세포가 모여 형성되며, 일렬 또는 약

간 교차하여 배열된다. 세포는 긴 방추형이며, 세포의 양 끝은 끝으로 갈수록 좁아진다. 외측 세포의 양 끝에 긴 강모가 있으며, 내측 세포의 양 끝에 1~2개의 짧은 강모가 있다. 세포의 길이는 12~15 μm 이며, 폭은 3~5 μm 이고, 강모의 길이는 13~22 μm 이다.

■ 채집정보

이 종은 하천이나 연못, 호수, 저수지 등 담수역에서 출현하였고(Komárek and Fott 1983; John *et al.* 2011), 본 연구의 배양주는 2018년 5월 3일 충청북도 충주시 소태면 양촌리 555-2 비내섬(37°5'10.4"N, 127°52'31.7"E) 담수역에서 출현하였다.

***Desmodesmus serratus* (Corda) S.S. An, Friedl & E. Hegewald 1999 (FBCC-A999, Fig. 2H)**

■ 기본명

Arthrodesmus serratus Corda 1839

■ 이명

Scenedesmus serratus (Corda) Bohlin 1901

■ 참고문헌

Hirose *et al.* 1977, p. 377, pl. 127, fig. 4; Komárek and Fott 1983, p. 870, pl. 235, fig. 1; John *et al.* 2011, p. 446, pl. 112, fig. B.

■ 형태정보

군체는 2, 4, 8개의 세포가 모여 형성된다. 세포는 난형이며, 세포의 양 끝은 둥글고, 외측 세포 측면의 중앙은 약간 볼록하게 나와 있다. 세포의 양 끝에 짧은 강모가 있으며, 세포의 측면에 융기선 또는 짧은 돌기가 종으로 있다. 세포의 길이는 8~13 μm 이며, 폭은 3~5 μm 이고, 강모의 길이는 0.5~1 μm 이다.

■ 채집정보

이 종은 하천이나 연못, 호수, 저수지 등 담수역에서 출현하였고(John *et al.* 2011), 본 연구의 배양주는 2018년 4월 26일 제주특별자치도 제주시 구좌읍 덕천리 482-2 덕천연못(33°30'19"N, 126°46'3.3"E) 담수역에서 출현하였다.

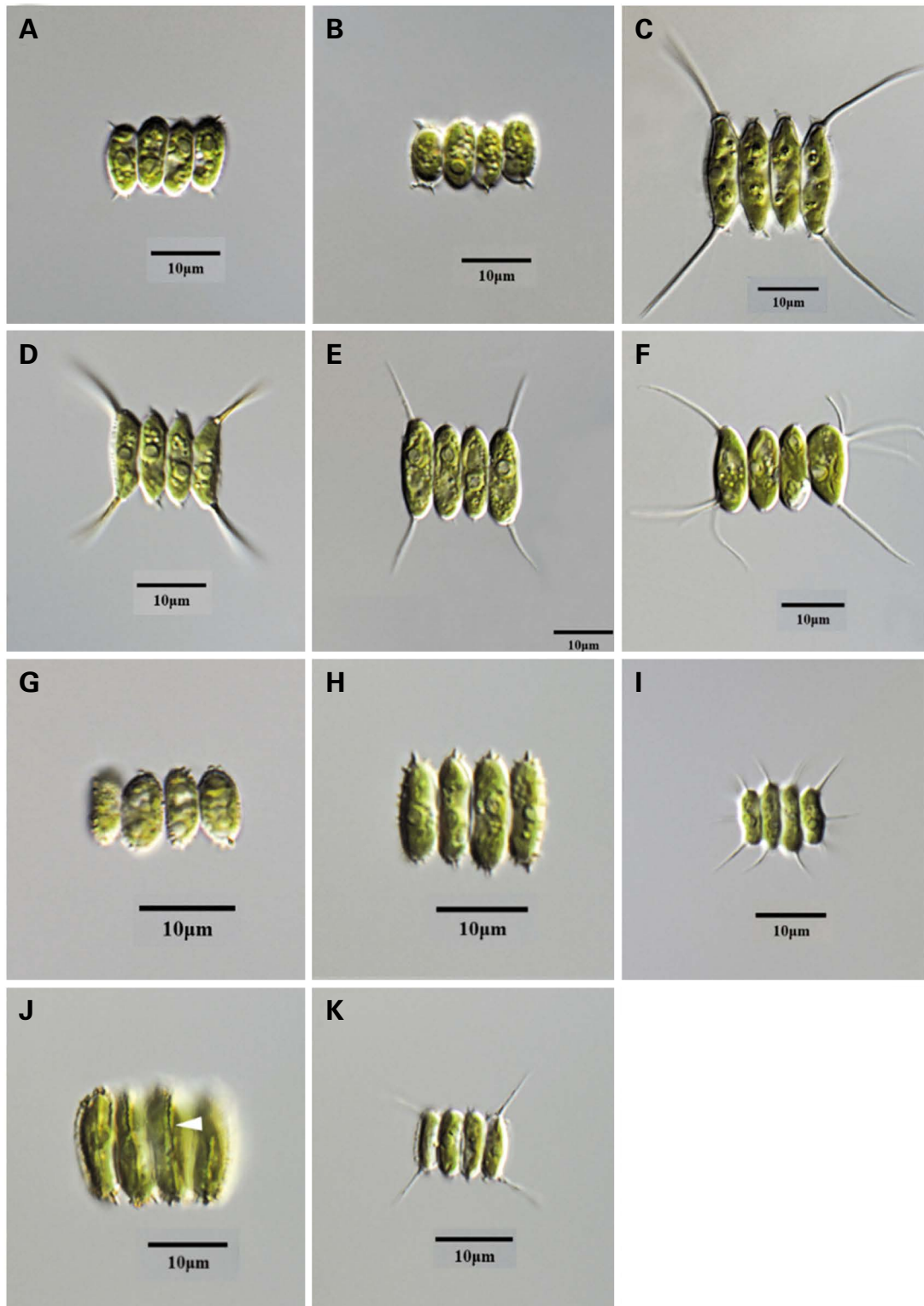


Fig. 2. Microscopic photographs of *Desmodesmus*. (A) *D. microspina* FBCC-A369, (B) *D. microspina* FBCC-A992, (C) *D. opoliensis* FBCC-A1, (D) *D. opoliensis* FBCC-A696, (E) *D. opoliensis* FBCC-A994, (F) *D. opoliensis* FBCC-A998, (G) *D. serratus* FBCC-A698, (H) *D. serratus* FBCC-A999, (I) *D. spinosus* FBCC-A1003, (J) *Desmodesmus* sp. 3 FBCC-A724, (K) *Desmodesmus* sp. 6 FBCC-A1011.

***Desmodemus spinosus* (Chodat) E. Hegewald 2000 (FBCC-A1003, Fig. 2I)**

■ 기본명

Scenedesmus spinosus Chodat 1913

■ 참고문헌

Komárek and Fott 1983, p. 926, pl. 248, fig. 11.

■ 형태정보

군체는 4개 또는 2, 8개의 세포가 모여 형성되며, 일렬로 배열된다. 세포는 긴 타원형 또는 긴 원통형이다. 외측 세포의 양 끝에 긴 강모가 있으며, 중앙에도 강모가 있고, 내측 세포의 양 끝에 긴 강모가 있다. 세포의 길이는 6~10 μm이며, 폭은 1.7~2.5 μm이고, 강모의 길이는 4~11 μm이다.

■ 채집정보

이 종은 하천이나 연못, 호수, 저수지 등 담수역에서 출현하였고(Komárek and Fott 1983), 본 연구의 배양주는 2018년 6월 22일 충청북도 충주시 산척면 송강리 974-2 소강소류지(37°6'6.1"N, 127°58'4.8"E)에서 출현하였다.

3.2. *Desmodemus*속의 다유전자 정보 비교

*Desmodemus*속의 18S rRNA는 1,153 bp (*D. armatus* FBCC-A873)~2,167 bp (unidentified *Desmodemus* sp. 8 FBCC-A428)의 길이를 보였다. 외부군 *Coelastrrella saipanensis* FACHB-2294 (MH176093)와 *Pectinodesmus pectinatus* An 111A (AB037092)를 포함한 정렬에서 불명확한 부위를 제외한 크기는 1,302 bp이며 GC content는 48.7%이다(Table 3). 18S rRNA 정렬 중 보존부위는 1,256 positions (96.5%), 변이부위는 46 positions (3.5%)이며, parsimony informative site는 33 positions (2.5%)이다. 색소체 *atpB*는 총 633 bp이며 GC content는 37.6%이다. *atpB* 정렬 중 보존부위는 503 positions (79.5%), 변이부위는 130 bp (20.5%)로 parsimony informative site는 111 positions (17.5%)와 parsimony uninformative site는 19 positions (3%)로 구분할 수 있다. 색소체 *petA*는 618 bp이며 GC content는 33.8%이다. *petA* 정렬 중 보존부위는 426 positions (68.9%), 변이부위는 192 positions (31.1%), parsimony informative site는 169 positions (27.3%)이다.

Table 3. Five genes statistics within *Desmodemus*

Gene	No. taxa	Length (bp)	Base frequency (%)					Constant site			Variable site		Informative site		Uninformative site		P-distance			
			A	C	G	T	AT	GC	(bp)	%	(bp)	%	(bp)	%	(bp)	%	Min.	Max.	Mean	S.D.
18S rRNA	66	1,302	0.250	0.202	0.286	0.262	0.513	0.487	1,256	96.5	46	3.5	33	2.5	13	1.0	0	0.0531	0.0216	0.0145
<i>atpB</i>	47	633	0.317	0.179	0.197	0.307	0.624	0.376	503	79.5	130	20.5	111	17.5	19	3.0	0	0.0981	0.0528	0.0263
1st		211	0.259	0.146	0.395	0.200	0.459	0.541	204	96.7	7	3.3	6	2.8	1	0.5				
2nd		211	0.265	0.299	0.133	0.303	0.569	0.431	210	99.5	1	0.5	1	0.5	0	0.0				
3rd		211	0.427	0.092	0.063	0.418	0.845	0.155	89	42.2	122	57.8	104	49.3	18	8.5				
<i>petA</i>	67	618	0.355	0.154	0.184	0.307	0.662	0.338	426	68.9	192	31.1	169	27.3	23	3.7	0	0.1408	0.0684	0.0332
1st		206	0.281	0.178	0.383	0.158	0.439	0.561	165	80.1	41	19.9	34	16.5	7	3.4				
2nd		206	0.363	0.219	0.126	0.292	0.655	0.345	193	93.7	13	6.3	10	4.9	3	1.5				
3rd		206	0.421	0.065	0.044	0.470	0.891	0.109	68	33.0	138	67.0	125	60.7	13	6.3				
<i>rbcL</i>	52	654	0.299	0.198	0.202	0.302	0.601	0.399	484	74.0	170	26.0	150	22.9	20	3.1	0	0.1147	0.0736	0.0250
1st		218	0.226	0.177	0.346	0.251	0.477	0.523	198	90.8	20	9.2	18	8.3	2	0.9				
2nd		218	0.325	0.209	0.198	0.268	0.593	0.407	211	96.8	7	3.2	6	2.8	1	0.5				
3rd		218	0.347	0.206	0.061	0.386	0.733	0.267	75	34.4	143	65.6	126	57.8	17	7.8				
<i>tufA</i>	67	864	0.358	0.150	0.204	0.287	0.645	0.355	637	73.7	227	26.3	201	23.3	26	3.0	0	0.1088	0.0595	0.0290
1st		288	0.276	0.142	0.435	0.147	0.423	0.577	251	87.2	37	12.8	32	11.1	5	1.7				
2nd		288	0.340	0.232	0.135	0.293	0.632	0.368	276	95.8	12	4.2	9	3.1	3	1.0				
3rd		288	0.459	0.077	0.043	0.421	0.880	0.120	110	38.2	178	61.8	160	55.6	18	6.3				

Intron 부위를 제외한 *Desmodesmus*속 색소체 rbcL은 654 bp이며 GC content는 39.9%이다. rbcL 정렬 중 보존부위는 484 positions (74%), 변이부위는 170 positions (26%), parsimony informative site는 150 positions (22.9%)이다. 색소체 tufA는 864 bp이며 GC content는 35.5%이다. tufA 정렬 중 보존부위는 637 positions (73.7%), 변이부위는 227 positions (26.3%), parsimony informative site는 201 positions (23.3%)이다. *Desmodesmus*속 18S rRNA의 P-distance는 평균 2.16% (최대 5.31%)이며, 색소체 유전자의 평균 P-distance는 보다 높은 수치(평균 P-distance, rbcL = 7.36%, petA = 6.84%, tufA = 5.95%, 및 atpB 5.28%)를 보여준다.

*Desmodesmus*속 5개 유전자 정렬 중 intron이 발견된 유전자는 18S rRNA와 rbcL이다. *Desmodesmus* 18S rRNA alignment에는 2개의 introns을 볼 수 있으며, 그 위치는 *P. pectinatus* AB037092 (1,790 bp, intron 없음)의 #563~#564 사이(18S rRNA intron 1)와 #1167~#1168 사이(18S rRNA intron 2)이다. 18S rRNA intron 1은 *D. denticulatus* (FBCC-A718, FBCC-A179 각 358 bp), *D. subspicatus* (FBCC-A56: 379 bp), unidentified *Desmodesmus* sp. 10 (FBCC-A1279: 669 bp), unidentified *Desmodesmus* sp. 3 FBCC-A724와 FBCC-A725 (467 bp), 그리고 *D. opoliensis* (FBCC-A696: 454 bp, FBCC-A886: 381 bp)에서 발견된다. 18S rRNA intron 2는 unidentified *Desmodesmus* sp. 1 FBCC-A515 (821 bp), unidentified *Desmodesmus* sp. 2 FBCC-A1236 (> 1,106 bp), *D. pleiomorphus* FBCC-A1278 (393 bp), *D. microspina* (FBCC-A369, FBCC-A992, 각 394 bp), *D. pannonicus* (FBCC-A716, FBCC-A717, 각 399 bp), *D. opoliensis* (FBCC-A994: 774 bp, FBCC-A995: 634 bp), 그리고 unidentified *Desmodesmus* sp. 8 (FBCC-A428: 868 bp, FBCC-A1292: 484 bp)에서 발견된다(Supplementary Fig. S1A). *Desmodesmus* rbcL alignment에는 3개의 introns을 볼 수 있으며, 각 위치는 *P. pectinatus* NC_036668 rbcL (1,431 bp, intron 없음)의 #276~#277 (rbcL intron 1), #462~#463 (rbcL intron 2), #702~#703 (rbcL intron 3)이다. rbcL intron 1은 *D. armatus* FBCC-A714, FBCC-A715 (각 528 bp), FBCC-A873, FBCC-A1175, FBCC-A1382 (각 527 bp), *D. armatus* var. *longispina* FBCC-A1018, FBCC-A245 (각 528 bp)에서 발견되었다. rbcL intron 2는 *D. pleiomorphus* FBCC-A1278 (825 bp)와

unidentified *Desmodesmus* sp. 3 FBCC-A724 (1,130 bp)에서 발견되었다. rbcL intron 3는 *D. pleiomorphus* FBCC-A1278 (845 bp)와 *D. microspina* (FBCC-A369와 FBCC-A992, 각 801 bp)에서만 발견되었다(Supplementary Fig. S1B).

3.3. *Desmodesmus*속 계통관계

18S rRNA + atpB + petA + rbcL + tufA 유합자료 (total 4,071 bp) 우리나라 *Desmodesmus*속 종간 계통관계를 보여준다(Fig. 3). *Desmodesmus*속은 단계통이며 100% maximum likelihood bootstrap support (MLBt)로 지지되며, 5개 이상의 clades (Clades 1~6)로 구분할 수 있다.

Clade-1 (92% MLBt)은 우리나라 *Desmodesmus*속 중 가장 먼저 분기한 계통으로 3종을 포함한다(92% MLBt, Fig. 3). Unidentified *Desmodesmus* sp. 2 FBCC-A1236는 *D. serratus* (FBCC-A698 and FBCC-A999; Fig. 2G and H)와 자매종이다(100% MLBt). Unidentified *Desmodesmus* sp. 1 FBCC-A515는 *Desmodesmus* sp. 1-*D. serratus* clade와 근연관계를 이룬다(92% MLBt).

Clade-2 (93% MLBt)는 *D. communis* (Fig. 1F~H), *D. dispar* (Fig. 1I), *D. maximus* (Fig. 1K and L), *D. pannonicus*, unidentified *Desmodesmus* sp. 3 (Fig. 2J)를 포함한다(Fig. 3). 본 5종을 생체 및 형태적 특징으로 유연관계를 추정하기는 매우 어렵다. 군체 내 세포수, 세포의 크기, 세포 양 끝의(긴 또는 짧은) 강모 및 세포벽 외곽 돌기 등 매우 유사한 특성을 가지고 있다(Fig. 1F~L). *D. pannonicus* (FBCC-A716, FBCC-A717)는 unidentified *Desmodesmus* sp. 3 (FBCC-A724, FBCC-A725)와 자매종이다(100% MLBt, Fig. 3). *D. dispar* FBCC-A692는 *D. pannonicus-Desmodesmus* sp. 3 clade와 근연관계를 보여준다(94% MLBt). *D. dispar*의 외측 세포가 가진 대각선 방향으로 배열된 강모(Fig. 1I)와 unidentified *Desmodesmus* sp. 3의 세포벽 융기선(Fig. 2J)은 각 종이 가진 고유 형질이다. *D. communis*와 *D. maximus*의 단계통성은 명확하지 않다(< 50% MLBt). *D. communis*는 형태적으로 구분이 어려우나(Fig. 1F~H), 유전적으로 뚜렷이 구분되는 두 개의 그룹(FBCC-A53, FBCC-A406 vs. FBCC-A691, FBCC-A726)이 있다.

Clade-3 (100% MLBt)는 *D. bicaudatus* FBCC-A985와 *D. intermedius* FBCC-A28, 두 자매종을 포함한다(100%

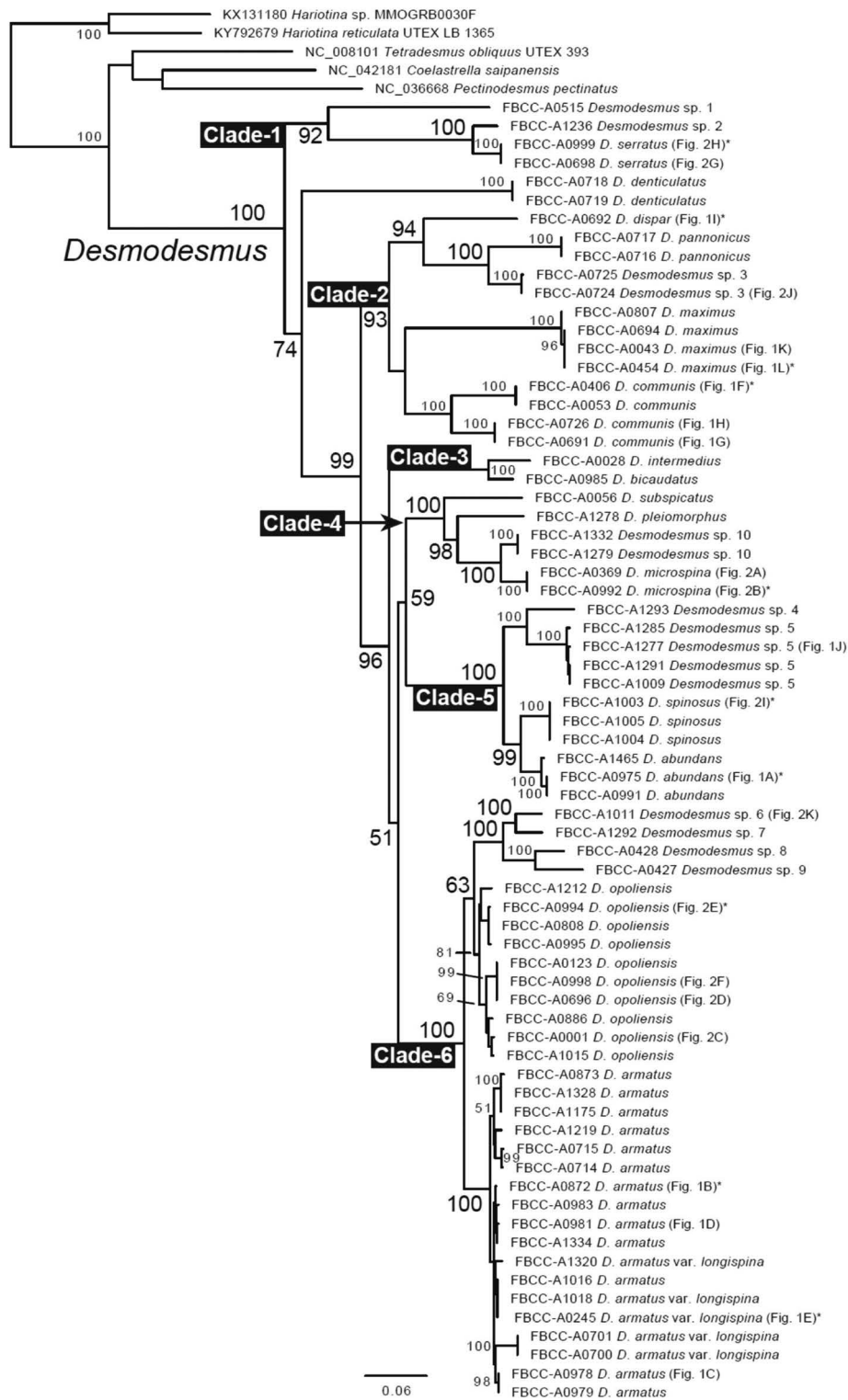


Fig. 3. Maximum likelihood phylogeny of *Desmodesmus* based on concatenated five genes (18S rRNA + *atpB* + *petA* + *rbcl* + *tufA*) a total of 4,071 bp. The tree was inferred with RAxML v.8.2.12 using an independent evolution model for each partition (GTR + G). The support value indicated near the node was calculated from 1,000 non-parametric bootstrapping replications. The strain ID of *Desmodesmus* followed by species name and number of the light microscopic image (correspondence to Figs. 1 and 2). Asterisk (*) indicates a taxon with morphology and collection information in the text.

MLBt, Fig. 3). 단일 유전자 계통수 모두 본 두 종의 자매종 관계를 강하게 지지한다(100% MLBt, Supplementary Figs. S4~S6). 두 종 18S rRNA와 *rbcL*은 intron이 전혀 없다(Supplementary Fig. S1A and B).

Clade-4 (100% MLBt)에는 *D. microspina* (Fig. 2A and B), *D. multivariabilis*, *D. pleiomorphus*, *D. subspicatus*의 4종이 속하며 종간 유연관계는 명확하다(Fig. 3). *D. microspina* (FBCC-A369 및 FBCC-A992)는 unidentified *Desmodesmus* sp. 10 (FBCC-A1279 및 FBCC-A1332)와 자매종이다(100% MLBt). *D. microspina-Desmodesmus* sp. 10은 *D. pleiomorphus*와 근연종이며(98% MLBt), *D. subspicatus* FBCC-A56는 Clade-4의 가장 기부에 있다. 단일 유전자 계통수 중 *tufA* (83% MLBt, Supplementary Fig. S6)는 유합계통수(Fig. 2)와 동일한 종간 관계를 보여주며 본 4종의 단계통성을 지지한다.

Clade-5 (100% MLBt)는 *D. abundans*, *D. spinosus*, unidentified *Desmodesmus* spp 4 & 5를 포함한다. 이 종들은 근체 내측 세포의 양 끝에(긴 또는 짧은) 강모를 가지며(Fig. 1A and J, Fig. 2I), 18S rRNA와 *rbcL* 유전자 어디에도 intron이 없는 특징(Supplementary Fig. S1A and B)을 공유한다. 단일 유전자 계통분석 시 *rbcL* (99% MLBt, Supplementary Fig. S5)과 *tufA* (97% MLBt, Supplementary Fig. S6)에서 지지된다. *D. abundans* (FBCC-A975, FBCC-A991, FBCC-A1465)는 *D. spinosus* (FBCC-A1003, FBCC-A1004, FBCC-A1005)와 자매종이다(99% MLBt). Unidentified *Desmodesmus* sp. 4 FBCC-A1293 (2020년 5월, 경남 하동)은 unidentified *Desmodesmus* sp. 5 FBCC-A1285 (2020년 5월, 전남 구례) 등과 *petA* (Supplementary Fig. S4), *rbcL* (Supplementary Fig. S5) 및 *tufA* (Supplementary Fig. S6)에서 뚜렷이 구분된다.

Clade-6 (100% MLBt)는 *D. armatus* (Fig. 1B and D), *D. armatus* var. *longispina* (Fig. 1E), *D. opoliensis* (Fig. 2C~F), unidentified *Desmodesmus* spp 6~9 (Fig. 2K)를 포함한다. Clade-6는 *atpB* (97% MLBt, Supplementary Fig. S3)와 *tufA* (96% MLBt, Supplementary Fig. S6) 단일 유전자 계통수에서도 지지된다. *D. armatus* (FBCC-A873 등 13개 배양주)는 *D. armatus* var. *longispina* (FBCC-A1018 등 4개 배양주)와 단계통을 이룬다(100% MLBt). 두 종을 생태 및 형태적 특징으로 구분하는 것은 매우 어렵다. 근체 내 세포수, 세포의 크기, 세포 양 끝의 강모 및 세

포벽 외곽 돌기, 분포지 등 매우 유사한 특성을 가지고 있다(Fig. 1B~E). 다유전자 계통수에서도 두 종의 구분은 뚜렷하지 않지만, *rbcL* 계통수에서는 두 종을 명확히 구분할 수 있다(Supplementary Fig. S5). *rbcL* intron 1은 일부 *D. armatus* (FBCC-A714, FBCC-A715, FBCC-A873, FBCC-A1175, FBCC-A1328)와 일부 *D. armatus* var. *longispina* (FBCC-A245, FBCC-A1018)에서만 발견되었다(Supplementary Fig. S1B). 그러나 이를 두 종의 공유파생형질로 간주하기는 어렵다. *D. opoliensis* (FBCC-A1212 등 10개 배양주)는 다수의 unidentified *Desmodesmus* 종 (FBCC-A427, FBCC-A428, FBCC-A1011, FBCC-A1292) 과 근연관계이다(63% MLBt).

적 요

뗏목말과 녹조류는 담수생태계 주요 우점생물군으로, 형태적 가변성과 종 구분 기준의 복잡성이 증가하고 있어 전 세계 40속 약 380종의 계통분류체계는 명확하지 않다(Comas and Komárek 1984; Kim 2015a). 우리나라의 뗏목말과는 17속 119종이 알려져 있으나, *Desmodesmus* 속 38종의 계통관계에 대한 연구는 전무하다. 본 연구 결과는 우리나라 뗏목말과 *Desmodesmus*속 종간 계통관계를 다유전자 분석을 기반으로 제시한다. 본 연구는 국립낙동강생물자원관 담수생물자원은행 (FBCC)이 보유하고 있는 *Desmodesmus*속 19종 (unidentified spp 제외) 70개 배양주의 총 299개 유전자 (핵 18S rRNA, 색소체 *atpB*, *petA*, *rbcL*, 및 *tufA*) 서열을 분석하였다. 본 연구에서 사용한 *Desmodesmus*속 종의 생태 및 형태적 특징으로 유연관계를 추정하기는 매우 어려웠다. 그러나 색소체 유전자 (*atpB*, *petA*, *rbcL* 및 *tufA*)는 핵 18S rRNA 보다 높은 변이율(P-distance)을 보여주며 종간 계통관계 구축의 유용성을 보여주고 있다. 다유전자 유합계통수는 *Desmodesmus*속 내 6개 이상의 clades 구분을 제안하고 있다. Clade-1에는 *D. serratus*, unidentified *Desmodesmus* sp. 1 FBCC-A515, 및 unidentified *Desmodesmus* sp. 2 FBCC-A1236를 포함하며, Clade-2는 *D. communis*, *D. dispar*, *D. maximus*, *D. pannonicus* 및 unidentified *Desmodesmus* sp. 3 (FBCC-A724 와 FBCC-A725)를 포함한다. Clade-3는 *D. bicaudatus*와 *D. intermedius*의 2종을,

Clade-4는 *D. microspina*, *D. pleiomorphus*, *D. subspicatus*, 및 unidentified *Desmodesmus* sp. 10 (FBCC-A1279 및 FBCC-A1332)의 4종을, Clade-5는 *D. abundans*, *D. spinosus*, unidentified *Desmodesmus* sp. 4 (FBCC-A1293), 및 unidentified *Desmodesmus* sp. 5 (FBCC-A1277 등)의 4종을, Clade-6는 *D. armatus*, *D. armatus* var. *longispina*, *D. opoliensis*, unidentified *Desmodesmus* spp 6~9를 포함한다. 담수생물자원은행 (FBCC) 배양주의 새로운 유전자 정보는 뗏목말과 녹조류의 종동정 및 분자생태학적 연구에 활용할 수 있다. 또한 분자계통 결과는 우리나라 *Desmodesmus*속 녹조류의 종다양성 정보 확대에 기여할 수 있다.

CRedit authorship contribution statement

YC Yoo: Molecular data curation and analysis, writing and editing an original draft. **GY Jeon:** Data curation, writing an original draft. **NJ Lee:** Data curation and morphological analysis, writing and editing an original draft. **OM Lee:** Conceptualization and supervision of study, writing, reviewing, and editing of the draft. **EC Yang:** Supervision of data analysis, writing, reviewing, and editing of the draft.

Declaration of Competing Interest

The authors declare no conflicts of interest.

사 사

본 연구는 환경부의 재원으로, 한국환경산업기술원 (KEITI) 다부처 국가생명연구자원 선진화 사업 (MOE_No.20180430)의 지원으로 수행하였습니다.

SUPPORTING INFORMATION

Supporting information related to this paper can be found at <https://doi.org/10.11626/KJEB.2023.41.4.345>.

REFERENCES

- An SS, T Friedl and E Hegewald. 1999. Phylogenetic relationships of *Scenedesmus* and *Scenedesmus*-like coccoid green algae as inferred from ITS-2 rDNA sequence comparison. *Plant Biol.* 1:418-428. <https://doi.org/10.1111/j.1438-8677.1999.tb00724.x>
- Bang SD, JH Kim, BC Yim and OM Lee. 2018. Five taxa of newly recorded species of Scenedesmaceae (Sphaeropleales, Chlorophyceae, Chlorophyta) in Korea. *Korean J. Environ. Biol.* 36:271-276. <https://doi.org/10.11626/KJEB.2018.36.3.271>
- Comas A and J Komárek. 1984. Taxonomy and nomenclature of several species of *Scenedesmus* (Chlorellales). *Arch. Hydrobiol. (Suppl. 67), Algal. Stud.* 35:135-157.
- Guiry MD and GM Guiry. 2023. AlgaeBase. World-wide electronic publication, National University of Ireland, Galway. <https://www.algaebase.org>. Accessed July 10, 2023.
- Hegewald E. 1978. Eine neue Unterteilung der Gattung *Scenedesmus* Meyen. *Nova Hedwigia* 30:343-376. <https://doi.org/10.1127/nova.hedwigia/30/1979/343>
- Hegewald E. 2000. New combinations in the genus *Desmodesmus* (Chlorophyceae, Scenedesmaceae). *Algal. Stud.* 96:1-18. https://doi.org/10.1127/algal_stud/96/2000/1
- Hegewald E and P Silva. 1988. Annotated catalogue of *Scenedesmus* and nomenclaturally related genera including original descriptions and figures. *Bibl. Phycol.* 80:1-587.
- Hegewald E, M Wolf, A Keller, T Friedl and L Krienitz. 2010. ITS2 sequence-structure phylogeny in the Scenedesmaceae with special reference to *Coelastrum* (Chlorophyta, Chlorophyceae), including the new genera *Comasiella* and *Pectinodesmus*. *Phycologia* 49:325-335. <https://doi.org/10.2216/09-61.1>
- Hirose HM, T Akiyama, H Imahori, H Kasaki, S Kumano, H Kobayashi, E Takahashi, T Tsumura, M Hirano and T Yamagishi. 1977. Illustrations of the Japanese Freshwater Algae. Uchidarokakuhe. Tokyo, Japan.
- Jeon SL and E Hegewald. 2006. A revision of the species *Desmodesmus perforatus* and *D. tropicus* (Scenedesmaceae, Chlorophyceae, Chlorophyta). *Phycologia* 45:567-584. <https://doi.org/10.2216/05-63.1>
- John DM, BA Whitton and AJ Brook. 2011. The Freshwater Algal Flora of the British Isles. An Identification Guide to Freshwater and Terrestrial Algae. Second ed. Cambridge University Press. Cambridge, United Kingdom.
- Johnson JL, MW Fawley and KP Fawley. 2007. The diversity of *Scenedesmus* and *Desmodesmus* (Chlorophyceae) in Itasca State Park, Minnesota, USA. *Phycologia* 46:214-229. <https://doi.org/10.2216/05-69.1>

- Kaufnerová V and M Eliáš. 2013. The demise of the genus *Scotiellopsis* Vinatzer (Chlorophyta). *Nova Hedwigia* 97:415–428. <https://doi.org/10.1127/0029-5035/2013/0116>
- Kim YJ. 2015a. Algal Flora of Korea. Freshwater Green Algae, Vol. 6. No. 8. Chlorophyta: Chlorophyceae: Chlorococcales III: Scenedesmaceae. National Institute of Biological Resources. Incheon, Korea.
- Kim YJ. 2015b. New records of genus *Scenedesmus* (Chlorophyceae) found in Korea. *J. Ecol. Environ.* 38:213–227. <https://doi.org/10.5141/ecoenv.2015.022>
- Komárek J and B Fott. 1983. Das phytoplankton des Süßwassers. Chlorophyceae - Chlorococcales. In: *Die Binnengewässer* 16(7/1). Schweizerbart, Stuttgart.
- Lee OM and JH Kim. 2015. National List of Species of Korea 「Green Algae」. National Institute of Biological Resources. Incheon, Korea.
- Lewis LA. 1997. Diversity and phylogenetic placement of *Bracteacoccus* Tereg (Chlorophyceae, Chlorophyta) based on 18S ribosomal RNA gene sequence data. *J. Phycol.* 33:279–285. <https://doi.org/10.1111/j.0022-3646.1997.00279.x>
- Mai XC, CR Shen, CL Liu, DM Trinh and ML Nguyen. 2023. “DNA signaturing” database construction for *Tetradesmus* species identification and phylogenetic relationships of *Scenedesmus*-like green microalgae (Scenedesmaceae, Chlorophyta). *J. Phycol.* 59:775–784. <https://doi.org/10.1111/jpy.13354>
- Prescott GW. 1962. *Algae of the Western Great Lakes Area*. WM. C. Brown Co. Publisher. Dubuque, Iowa. <https://doi.org/10.5962/bhl.title.4650>
- Rambaut A. 2010. FigTree. V.1.4.4. Institute of Evolutionary Biology, University of Edinburgh. Edinburgh, Scotland. <http://tree.bio.ed.ac.uk/software/figtree>. Accessed October 27, 2023
- Shin HJ, MA Song and OM Lee. 2013. A study of nine newly reported species of the order Chlorococcales (Chlorophyta) in Hongcheon River, Korea. *J. Ecol. Environ.* 36:315–325. <https://doi.org/10.5141/ecoenv.2013.315>
- Stamatakis A. 2014. RaxML version 8: a tool for phylogenetic analysis and post-analysis of large phylogenies. *Bioinformatics* 30:1312–1313. <https://doi.org/10.1093/bioinformatics/btu033>
- Trainor FR. 1998. Biological aspects of *Scenedesmus* (Chlorophyceae) phenotypic plasticity. *Nova Hedwigia* 117:1–367.
- Trainor FR and PF Egan. 1990. Phenotypic plasticity in *Scenedesmus* (Chlorophyta) with special reference to *S. armatus* unicells. *Phycologia* 29:461–469. <https://doi.org/10.2216/i0031-8884-29-4-461.1>
- Van Hannen E, P FinkGodhe and M Lurling. 2002. A revised secondary structure model for the internal transcribed spacer 2 of the green algae *Scenedesmus* and *Desmodesmus* and its implication for the phylogeny of these algae. *Eur. J. Phycol.* 37:203–208. <https://doi.org/10.1017/S096702620200361X>
- Zou S, C Fei, C Wang, Z Gao, Y Bao, M He and C Wang. 2016. How DNA barcoding can be more effective in microalgae identification: a case of cryptic diversity revelation in *Scenedesmus* (Chlorophyceae). *Sci. Rep.* 6:36822. <https://doi.org/10.1038/srep36822>