



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

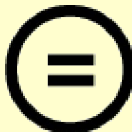
다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

慶北大學校 理學博士學位論文

경상도 및 제주도 일대 인편성 황갈조류의 분류 및 생태학적 특성 연구

大學院 生命科學部 生物學專攻

金 眞 姬

2011年 6月

慶北大學校 大學院

경상도 및 제주도 일대 인편성 황갈조류의 분류 및 생태학적 특성 연구

이 論文을 理學博士 學位論文으로 提出함

大學院 生命科學部 生物學專攻

金 眞 姬

指導教授 金 漢 純

金眞姬의 理學博士 學位論文을 認准함

2011年 6月

委員長	_____	인
	_____	인
	_____	인
	_____	인
	_____	인

慶北大學校 大學院委員會

목 차

서론	1
재료 및 방법	5
1. 조사지 개황	5
가. 경상도 일대	5
나. 제주도 일대	10
2. 현장시료 채집 및 종 동정	12
가. 현장시료 채집 및 분석	12
나. 종 동정	13
3. 배양 실험	13
가. 균주 분리 및 배양	13
나. 배양 실험 조건	15
다. 세포밀도 계수 및 성장률 계산	15
결과 및 고찰	16
I. 경상도 및 제주도 일대 인편성 황갈조류의 조류상	16
1. 경상도 일대 인편성 황갈조류의 조류상	16
2. 제주도 일대 인편성 황갈조류의 조류상	23
3. 경상도 및 제주도 일대 인편성 황갈조류의 조류상 비교·분석	27
II. 인편성 황갈조류의 계절적 변동	30
1. 4개 호소에서 인편성 황갈조류의 계절적 변동	30
2. 진촌늪에서 인편성 황갈조류의 계절적 변동	42
3. 화왕산 용지와 습지에서 인편성 황갈조류의 계절적 변동	57

III. 수화형성종 <i>Synura petersenii</i> 의 성장 특성	70
1. 온도, pH, 광도가 <i>Synura petersenii</i> 의 성장에 미치는 영향	70
2. 질산염이 <i>Synura petersenii</i> 의 성장에 미치는 영향	71
3. 인산염이 <i>Synura petersenii</i> 의 성장에 미치는 영향	77
결론	84
참고문헌	85
Abstract	95
Appendix 1. List of silica-scaled chrysophytes in Gyeongsang Province and at Jeju Island	97
Appendix 2. Plates	123

Table contents

Table 1. Information of the 37 sampling sites in Gyeongsang Province.	7
Table 2. Water temperature (WT, °C), pH, electrical conductivity (EC, $\mu\text{S cm}^{-1}$), and altitude (m) of the 13 sampling sites at Jeju Island.	11
Table 3. Strains used in the culture experiments and their isolation sites.	14
Table 4. List and distribution of silica-scaled chrysophytes found at 37 sampling sites in Gyeongsang Province.	17
Table 5. List and distribution of silica-scaled chrysophytes (Synurophyceae) found at 13 sampling sites at Jeju Island.	24
Table 6. Comparison with silica-scaled chrysophytes between in Gyeongsang Province and at Jeju Island. GS: Gyeongsang Province, JJ: Jeju Island and H: a pond and bogs at Mt. Hwawang.	29
Table 7. Physical and chemical factor in four reservoirs [Total nitrogen and total phosphorus referred to Water Information System (http://water.nier.go.kr)].	31
Table 8. Seasonal occurrence of silica-scaled chrysophytes in four reservoirs during the study period.	36
Table 9. Seasonal occurrence of silica-scaled chrysophytes in Jinchon swamp during the study period.	48

Table 10. Seasonal characteristics of silica-scaled chrysophytes in Jinchon swamp.	54
Table 11. List of silica-scaled chrysophytes in Yong pond and bogs at Mt. Hwawang.	63
Table 12. Growth conditions of <i>Synura petersenii</i> [Data of three strains from Korea (JCSP, JDSP and WMSP strains) referred to Kim <i>et al.</i> (2008)].	70

Figure contents

Figure 1. Scale types in Paraphysomonadaceae. A: <i>Chrysosphaerella</i> , B: <i>Paraphysomonas</i> , C: <i>Spiniferomonas</i> [Figures referred to Wee (1982)]. ·	1
Figure 2. Scale and bristle types in Synurophyceae. A~D: <i>Mallomonas</i> (A-Dome scale, B-collar scale, C-domeless scale, D-bristles), E~F: <i>Synura</i> (E-scale type of Section <i>Petersenianae</i> , F-scale type of Section <i>Synura</i>) [Figures referred to Wee (1982) and Kristiansen (2002)].	2
Figure 3. Map of sampling sites in Gyeongsang Province.	9
Figure 4. Map of sampling sites at Jeju Island.	12
Figure 5. Number of sites at which each species were found in Gyeongsang Province.	22
Figure 6. Number of sites at which each species were found at Jeju Island.	26
Figure 7. Cell density (cells ml ⁻¹) of phytoplankton in four reservoirs. A: Gyeongcheon, B: Deokdong, C: Otae, D: Yongyeon; Bac.= Bacillariophytes, Chl.= Chlorophytes, Chr.= Chrysophytes, Cry.= Cryptophytes, Cya.= Cyanophytes, Eug.= Euglenophytes.	33
Figure 8. Species number of silica-scaled chrysophytes in each sampling reservoirs.	39

Figure 9. Physical and chemical factors of Jinchon swamp. A: water temperature (WT, °C) and pH. B: electrical conductivity (EC, $\mu\text{S cm}^{-1}$). C: total nitrogen (TN, $\mu\text{g l}^{-1}$) and total phosphorus (TP, $\mu\text{g l}^{-1}$).	43
Figure 10. Cell density (cells ml^{-1}) of phytoplankton (A) and <i>Synura petersenii</i> (B) from August, 2004 to August, 2005 and February to November, 2007 in Jinchon swamp; Bac.= Bacillariophytes, Chl.= Chlorophytes, Chr.= Chrysophytes, Cry.= Cryptophytes, Cya.= Cyanophytes, Eug.= Euglenophytes.	46
Figure 11. Total species number of silica-scaled chrysophytes in each season. ..	52
Figure 12. Physical and chemical data of Yong pond and bogs at Mt. Hwawang. A: water temperature (WT, °C), B: pH. C: electrical conductivity (EC, $\mu\text{S cm}^{-1}$).	58
Figure 13. Cell density (cells ml^{-1}) of silica-scaled chrysophytes from April, 2008 to May, 2009 in Yong pond.	61
Figure 14. Species number of silica-scaled chrysophytes in Yong pond and Bogs at Mt. Hwawang.	66
Figure 15. Population growth of <i>S. petersenii</i> strains (JCSP, JDSP, WMSP, CAUPD5, CCMP854 and NIES1007 strains) at various nitrate concentrations.	73
Figure 16. Growth rate of <i>S. petersenii</i> strains (JCSP, JDSP, WMSP, CAUPD5, CCMP854 and NIES1007 strains) at various nitrate concentrations.	76

Figure 17. Population growth of *S. petersenii* strains (JCSP, JDSP, WMSP, CAUPD5, CCMP854 and NIES1007 strains) at various phosphate concentrations. 79

Figure 18. Growth rate of *S. petersenii* strains (JCSP, JDSP, WMSP, CAUPD5, CCMP854 and NIES1007 strains) at various phosphate concentrations. 82

요 약 문

본 연구는 경상도 및 제주도 일대에 출현하는 인편성 황갈조류의 조류상(flora)과 계절적 분포 조사를 통해 이들의 분류 및 생태학적 특성을 파악하고자 하였으며, 인편성 황갈조류 중 가장 보편적인 수화형성종인 *Synura petersenii*의 증식 특성을 규명하고자 하였다.

경상도 일대 37개의 조사지점에서 인편성 황갈조류는 총 68종으로, 이 중 미동정 9종을 포함하였다. 이 중 *Paraphysomonas*속 4종(*P. caelifrica*, *P. eiffelii*, *P. homolepis*, *P. subrotacea*), *Spiniferomonas*속 1종(*S. crucigera*), *Mallomonas*속 3종(*M. acaroides* var. *obtusa*, *M. crassisquama* var. *papillosa*, *M. verrucosa*), *Synura*속 1종(*S. leptorrhabda*) 총 9종이 한국 미기록종이었으며, *M. corymbosa*가 남한에서는 처음 관찰되었다. 신종 *Mallomonas koreana* sp. nov.는 경상도 4개 조사지점에서 출현하였다. 각 종들의 출현 빈도에서 *Synura petersenii* f. *petersenii*가 전체 조사지점 중 26개 조사지점(70%)으로 가장 높았으며, 다음으로 *M. elongata*(25개 조사지점, 68%), *M. crassisquama* var. *crassisquama*(22개 조사지점, 59%) 순으로 나타났으며 이 종들은 전세계적으로 넓게 분포하는 종들이었다.

국내 유일의 아열대성 기후인 제주도의 13개 지점을 선정하여 인편성 황갈조류(*Paraphysomonadaceae*과 제외)의 조류상을 조사한 결과 인편성 황갈조류 총 31종으로, 이 중 미동정종 4종을 포함하였다. 이 중 *Mallomonas*속이 26종, *Synura*속이 5종이었다. *Mallomonas adamas*, *M. bronchartiana*, *M. favosa* f. *favosa*, *M. favosa* f. *gemina*, *M. morrisonensis*, *M. multisetigera*, *M. ouradion*, *M. portae-ferreae*, *M. splendens*, *M. striata* var. *serrata* 등 *Mallomonas*속의 10종은 한국 미기록종이었다. 또한 제주도 일대에서 신종인 *Mallomonas jejuensis* sp. nov.를 동정·분류하여 발표하였다. 본 연구의 결과는 경상도 일대 조류상 및 이전에 보고된 연구결과와 상당한 차이를 나타내었다. 관찰된 인편성 황갈조류 대부분 종들은 전세계적으로 넓게 분포하는 종들이나, *M. bronchartiana*, *M. morrisonensis*와 같은 독특한 열대성 종들이 관찰되었다. 각 종들의 출현 빈도는 *M. matvienkoeae*, *S. curtispina*, *S. echinulata*, *Mallomonas* sp. 8이 5~7개 조사지점(38~54%)으로 높게 나타났다. 경상도 일대에서 출현 빈도가 높았던 *M. caudata*, *M. crassisquama*

var. *crassisquama*는 다른 온대지역에서도 빈번하게 출현하거나 수화를 형성하는 종들이다. 그러나 이 종들은 열대성 또는 아열대성 지역에서 드물게 관찰되거나 또는 관찰되지 않으며, 제주도 일대에서도 역시 유사한 결과를 나타내었다.

경상도 일대 37개 조사지점 중 6개 조사지점을 선정하여 인편성 황갈조류의 계절적 변동을 조사하였다. 빈영양/중영양호인 4개 호소는 조사 시기 동안 약알칼리성에서 알칼리성의 pH 조건을 나타내었다. 경천호의 봄과 가을, 덕동호의 봄을 제외하고 황갈조류는 식물플랑크톤 군집에서 매우 낮은 구성 비율을 차지하였다. 인편성 황갈조류는 여름의 경천호를 제외한 나머지 조사지점에서 관찰되지 않았으며, 다소 낮은 온도(<21.5℃)에서 많은 종수를 나타내었다. 부영양호인 진촌호는 조사 시기 동안 수온 1.75~33.2℃로 나타났으며, pH는 약산성에서 알칼리성을 나타내었다. 인편성 황갈조류는 봄과 가을에 높은 세포밀도를 나타내었으며, 특히 가을에 *Synura petersenii*가 대량 증식하여 수화를 형성하였다. 출현 종들은 대부분 넓은 온도 범위에서 분포하는 종들로 구성되나, 몇몇 종들은 특정한 계절을 선호하였다. 대부분의 인편성 황갈조류의 계절별 총 종수는 여름에 가장 높았으며, 그 다음으로 봄에 높았다. 해발고도 약 756 m에 위치한 용지와 그 주변 습지는 경상도 일대의 다른 조사지점보다 여름 시기에 다소 낮은 수온(약 25℃)을 나타내었다. 용지와 습지의 2008년 4월과 6월, 용지의 2009년 4월과 5월을 제외한 조사 시기에 약산성(pH 5.62~6.68)을 나타내었다. 인편성 황갈조류의 세포밀도 변화는 용지에서 봄에 가장 높았으며, 이는 *Chrysosphaerella brevispina*가 우점하였기 때문이다. 출현 종은 용지와 습지에서 다소 차이를 나타내었으며, 경상도 일대의 다른 조사지점들과도 차이를 나타내었다. 특히 용지와 습지에서는 경상도 일대에서 빈번하게 출현하는 종인 *M. caudata*, *M. elongata*, *M. tonsurata*는 관찰되지 않았다.

본 연구에서 *Synura petersenii*는 가장 빈번하게 출현한 종이며, 특히 진촌호에서는 대량 증식하여 수화를 형성하였다. *Synura petersenii*의 계절적 변동 및 수화 형성 원인을 파악하기 위해 배양 실험을 통한 성장 특성을 조사하였다. 본 연구 결과에서 지역적으로 다른 국내산 및 외국산 *S. petersenii* 6 균주는 온도 15℃ 또는 20/21℃, pH 7.5~8.2, 광도 80 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 또는 112 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 에서 최대성장률을 나타내었으며, 서로 다른 최적 증식 특성을 나타내어 균주-특이 적응성(strain-specific adaptation)을 나타내었다. 영양염 농도에 대해서도 균주-특이적

증식 특성을 나타내었으나, 대부분의 균주들이 높은 농도의 영양염을 선호하는 것으로 나타났다. 결론적으로 *S. petersenii*를 포함한 인편성 황갈조류의 수화 조절 및 제어를 위해 각 종에 대한 증식 특성뿐만 아니라 균주-특이적 증식 특성의 규명이 필요할 것으로 판단된다.

서 론

인편성 황갈조류(silica-scaled chrysophytes)는 담수 식물플랑크톤 군집의 주요 구성요소 중 하나이다. 이들은 독특한 미세구조를 가지는 규산질의 인편(scale)으로 세포를 둘러싸고 있으며, 이는 분류군 내 종을 구별하는 중요한 분류키로 사용된다(Figures 1 & 2). Fott(1955)가 투과전자현미경 관찰로 *Mallomonas*속 인편의 미세구조를 처음 보고한 이래로, 전자현미경을 이용한 인편성 황갈조류의 종다양성 및 분류학적 연구들이 활발하게 수행되어져 왔다(Kristiansen 2002, 2005; Kristiansen & Preisig 2007). 이들은 대표적으로 *Mallomonas*속, *Synura*속, *Chrysosphaerella*속, *Paraphysomonas*속, *Spiniferomonas*속 등을 포함하며, 전세계적으로 약 250여종이 보고되었다.

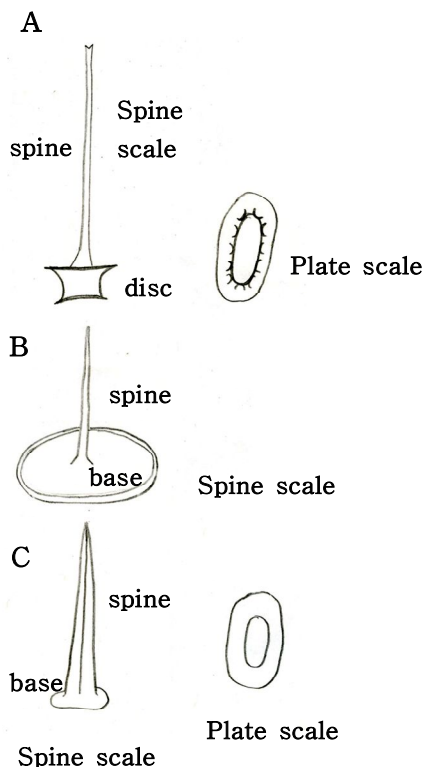


Figure 1. Scale types in Paraphysomonadaceae. A: *Chrysosphaerella*, B: *Paraphysomonas*, C: *Spiniferomonas* [Figures referred to Wee (1982)].

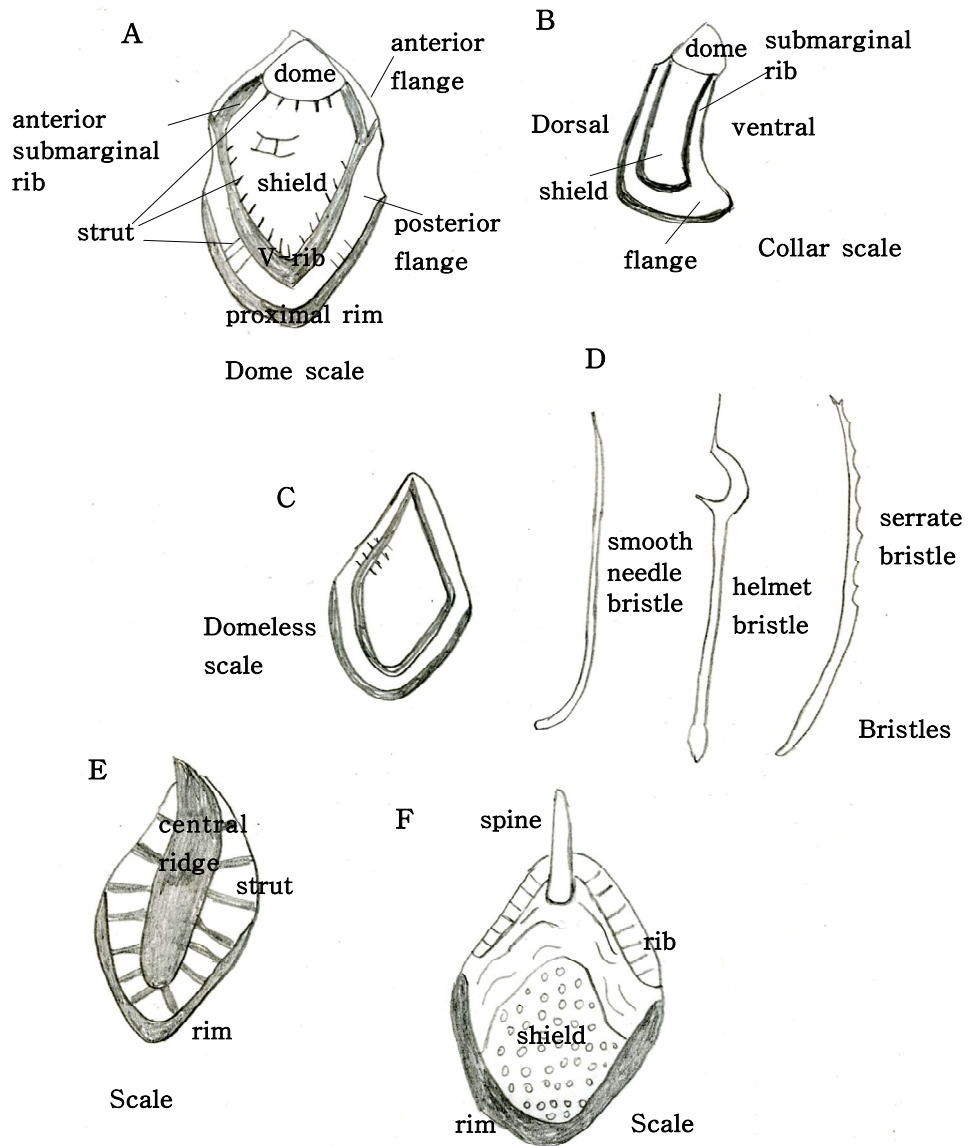


Figure 2. Scale and bristle types in Syurophyceae. A~D: *Mallomonas* (A-Dome scale, B-collar scale, C-domeless scale, D-bristles), E~F: *Synura* (E-scale type of Section *Petersenianae*, F-scale type of Section *Synura*) [Figures referred to Wee (1982) and Kristiansen (2002)].

인편성 황갈조류는 다양한 담수 수계에서 보편적으로 출현하며, 식물플랑크톤 군집 내에서의 생물량 및 생태학적 측면에서 중요한 위치를 차지하고 있다. 이들의 생태적 중요성이 고조됨에 따라 온도, pH, 영양염 농도 등 환경요인과 관련된 생태학적 연구가 활발하게 이루어져 왔으며(Pick *et al.* 1984; Eloranta 1986; Roijackers & Kessels 1986; Kristiansen 1988; Hoffmann & Wille 1992; Siver & Hamer 1989, 1992; Gutowski 1997), 이들의 분리·배양을 통해 생리·생태학적 특성을 규명하기 위한 연구가 이루어지고 있다(Klavencess & Guillard 1975; Knowles & Zingmark 1978; Healey 1983; Martin-Wagenmann & Gutowski 1995; Sandgren *et al.* 1996; Saxby-Rouen *et al.* 1997; Gavrilova *et al.* 2005; Kim *et al.* 2008). 일반적으로 인편성 황갈조류는 수온이 낮은 빈영양호에서 제한적으로 출현한다고 알려져 왔으나(Kristiansen 1975; Kristiansen & Takahashi 1982), 최근 30년 동안 세계 각지에서의 활발한 연구들을 통해 이들은 온대지역의 빈영양호 및 부영양호, 열대지역 및 온대지역의 여름철을 포함한 다양한 환경 조건에서 풍부하게 출현하고 있음이 밝혀지고 있다(Kristiansen 1986, 1988; Gutowski 1997; Wei & Yuan 2001; Kristiansen 2002; Barreto 2005; Kristiansen & Preisig 2007). 또한 세계 각지의 상수원지를 포함한 다양한 수체에서 빈번하게 우점종으로 출현할 뿐만 아니라(Pick *et al.* 1984; Eloranta 1986; Sandgren 1988; Hoffmann & Wille 1992), *Mallomonas*속과 *Synura*속의 몇몇 종들은 심각한 수화를 발생시키며(Clasen & Bernhardt 1982; Nicholls & Gerrath 1985; Siver & Chock 1986; Kurata 1986; Jones 1988; Kim *et al.* 2008), 이로 인해 음용수에 불쾌한 맛과 냄새를 유발하고 있다(Nicholls & Gerrath 1985; Nicholls 1995; Watson *et al.* 2001).

인편성 황갈조류의 많은 종들이 독특한 생리·생태학적 특징을 가지고 있으며, 독특한 미세구조를 지닌 규산질의 인편과 휴면포자(stomatocyst)는 오랜 세월 동안 분해되지 않고 유지되는 특징을 가지고 있어 생물학적 지표종으로서의 연구와 고육수학적 연구(paleolimnological study), 기후변화에 대한 연구도 활발히 수행되고 있다(Kristiansen 1986; Duff *et al.* 1995; Siver 1995; Kamenik *et al.* 2005, 2010).

국내에 존재하는 많은 담수 수계에서 식물플랑크톤에 대한 많은 연구들이 수행되어져 왔다. 그러나 인편성 황갈조류는 일반적인 육수생태학적 채집 방법에 의한 세포 보존의 어려움, 종 동정에 있어서 필수적인 전자현미경의 사용과 전자현미경

을 통한 양적인 분석의 어려움, 생리·생태적 특성 연구를 위한 실험실 내에서의 배양의 어려움 등으로 대부분의 육수학적 연구나 식물플랑크톤 연구에서 이들의 존재는 무시되거나 간과되어 왔다. 최근에 식수 전용 댐을 포함한 다양한 수체에서 인편성 황갈조류에 의한 수화가 보고됨에 따라(Kim & Hwang 2001), 인편성 황갈조류에 의한 수화 발생의 실태와 원인 규명 및 제어 대책이 시급히 요구되고 있다. 인편성 황갈조류에 의한 수화 발생 원인을 규명하기 위해서는 현장에서의 장기적인 모니터링을 통한 생태적 특성뿐만 아니라 실험실 내에서의 배양을 통한 생리·생태적 특성에 대한 이해가 필수적이다. 최근 국내에서도 인편성 황갈조류의 전자현미경법에 의한 분류가 이루어져 약 80여종(전체 종수의 32%)이 보고되었으며, 분리·배양을 통한 생리·생태학적 특성 연구가 이루어지고 있다(Kristiansen *et al.* 1990; Lee *et al.* 1994; Kim 1995, 1997; Kim *et al.* 1995; Kim & Hwang 2001; Lee & Kim 2007; Kim & Kim 2008; Kim *et al.* 2008; Kim *et al.* 2009). 그러나 아직까지도 식물플랑크톤 중 연구가 가장 빈약한 분류군으로 남아 있다.

따라서 본 연구에서는

첫째, 한반도 내륙에 위치한 경상도 일대와 국내 유일의 아열대성 기후를 지닌 화산섬인 제주도 일대 인편성 황갈조류의 조류상 조사를 통해 인편성 황갈조류의 종다양성(biodiversity)을 파악하고자 하였다.

둘째, 저수지, 자연늪, 고층습원 등 경상도의 6개 지점을 선정하여 계절별 또는 월별 조사를 통해 서식환경에 따른 인편성 황갈조류의 계절적 변동을 파악하고자 하였다.

셋째, 경상도 일대 가장 빈번하게 출현하는 수화형성종 *Synura petersenii*의 배양 실험을 통해 다양한 환경요인 변화에 따른 인편성 황갈조류의 생리·생태학적 특성을 파악하고자 하였다.

재료 및 방법

1. 조사지 개황

가. 경상도 일대

경상도 일대 지역에는 자연늪, 부양양호, 고층습원 등 담수 조류(藻類) 서식지가 많이 분포한다. 이 지역에서 인편성 황갈조류의 조류상 조사는 일부 이루어졌으나 (Kim *et al* 1995; Kim 1997; Kim & Hwang 2001), 더 많은 연구가 필요하다. 본 연구는 경상도 일대 37개의 조사지점을 선정하여 조사하였다(Table 1 & Figure 3). 조사지점 1~29는 경상북도에, 조사지점 30~37은 경상남도에 위치한다. 대부분은 농업용저수지이거나 상수원지이다. 이 중 조사지점 19와 29는 하천의 범람으로 형성된 늪(swamp)이며, 조사지점 36과 37은 해발고도 약 756 m에 위치하며 화산 활동으로 생성된 서로 인접한 소연못과 습지(bog)이다.

인편성 황갈조류의 계절적 변동을 파악하기 위해 빈영양/중영양호인 경천호, 덕동호, 오탈지, 용연지, 부영양늪인 진촌늪, 해발고도 756 m에 위치한 화왕산 용지와 습지에 대한 계절별 또는 월별 조사를 실시하였다.

경천호(조사지점 25)는 경상북도 문경시 동로면 마광리(동경 128° 28' 30", 북위 36° 42' 30"), 덕동호(조사지점 26)는 경상북도 경주시 덕동(동경 129° 19' 30", 북위 35° 50' 00"), 오탈지(조사지점 27)는 경상북도 상주시 공검면 오탈리(동경 128° 07' 30", 북위 36° 29' 00"), 용연지(조사지점 28)는 경상북도 포항시 신공면 호리(동경 128° 07' 30", 북위 36° 29' 00")에 위치한다. 이들 호소는 농경지에 농업용수를 공급하기 위해서 준공된 농업용 저수지로, 수질측정망에 따라 빈영양(oligotrophic)에서 중영양상태(mesotrophic)를 나타낸다(물환경정보시스템, <http://water.nier.go.kr>). 조사는 2008년 4월부터 12월까지 계절별로 조사하였다.

진촌늪(조사지점 29)은 경상북도 고령군 개진면 부리에 위치하며(동경 128° 25' 34.5", 북위 35° 42' 42"), 낙동강 범람으로 형성된 자연늪이다. 면적은 10,000 m², 깊이는 1.3 m의 좁고 긴 늪이다. 진촌늪 주변의 토지는 대부분 농지와 주거지로 이용하며, 진촌늪은 농업용수와 낚시터로 이용되어 이 늪으로 유기물이 지속적으로 유입되고 있다. 본 연구에서는 진촌늪에서의 인편성 황갈조류에 대해 2004년 8

월에서 2005년 8월, 2007년 2월에서 11월까지 월별로 조사하였다.

화왕산은 화산 활동으로 생성된 산으로, 경상남도 창녕군 창녕읍과 고암면의 경계에 위치한다(동경 $128^{\circ} 32' 5.52''$, 북위 $35^{\circ} 32' 40.38''$). 해발고도 약 756 m에 위치한 분화구로 형성된 용지가 있으며, 그 주변으로 습지와 억새 군락을 형성하고 있다. 본 연구에서 화왕산 용지(조사지점 36) 및 습지(조사지점 37)의 인편성 황갈조류에 대한 연구는 겨울부터 초봄을 제외한 2008년 4월부터 2009년 5월까지 월별로 조사하였다.

Table 1. Information of the 37 sampling sites in Gyeongsang Province.

No.	Sampling dates	Sampling sites	Longitude	Latitude
1	January 9 and February 29, 2008	Suya reservoir	128° 39' 05" E	35° 40' 40" N
2	January 9 and February 8, 2008	Yudeungyeon reservoir	128° 41' 48" E	35° 40' 17" N
3	March 11~18, 2007, February 8, March 14 and October 29, 2009	A small pond in Imsil	128° 53' 55" E	35° 37' 20" N
4	February 8, 2009	Hwagang reservoir	128° 42' 37" E	35° 38' 33" N
5	February 8, 2009	Daebi reservoir	128° 56' 02" E	35° 39' 44" N
6	March 1, 2008	Dalchang reservoir	128° 28' 23" E	35° 38' 11" N
7	March 2, 2008 and October 15, 2009	Songrim reservoir	128° 54' 44" E	35° 48' 00" N
8	March 2, 2008	Sinwol reservoir	128° 47' 12" E	35° 48' 28" N
9	February 24, 2007, March 2, 2008	Jeokje	128° 50' 21" E	35° 48' 13" N
10	March 9, 2008	Songnae reservoir	128° 49' 26" E	35° 46' 33" N
11	March 9, 2008	Ugeum reservoir	128° 50' 26" E	35° 46' 33" N
12	February 13, March 9 and April 6, 2008	Uksu reservoir	128° 42' 40" E	35° 49' 50" N
13	March, 2008	Yongseong reservoir	128° 54' 39" E	35° 48' 08" N
14	September, 2006, September, 2007 and March 22, 2008	Sangwon reservoir	128° 39' 50" E	35° 40' 26" N
15	March 29, 2008 and April, 2009	A small pond in Urari	129° 02' E	35° 50' N
16	January 19 and April 6, 2008	Jogok reservoir	128° 48' 46" E	35° 46' 11" N
17	May 27, 2008	Jusan reservoir	129° 11' 20" E	36° 21' 45" N

Table 1. Continued.

No.	Sampling dates	Sampling sites	Longitude	Latitude
18	September 22, October 2, 2008, August 27, 2009	Gaecheon reservoir	128° 27' 31" E	36° 23' 07" N
19	October 12, 2007	Dalseong Swamp	128° 28' 58" E	35° 49' 20" N
20	October 21, 2007	Daesu reservoir	129° 18' 38" E	37° 05' 35" N
21	October 22, 2007 and September 29, 2008	Gidong reservoir	129° 13' 24" E	36° 05' 18" N
22	October 22, 2007	Yuktong reservoir	129° 13' 07" E	36° 01' 23" N
23	October 22, 2007	Euncheon reservoir	129° 08' 28" E	36° 06' 11" N
24	October 4, 26, 2008, August 27, 2009	A small pond near Gaecheon reservoir	128° 27' 17" E	36° 23' 08" N
25	April~December 2008	Gyeongcheon reservoir	128° 28' 30" E	36° 42' 30" N
26	April~December 2008	Deokdong reservoir	129° 19' 30" E	35° 50' 00" N
27	April~December 2008	Otae reservoir	128° 07' 30" E	36° 29' 00" N
28	April~December 2008	Yongyeon reservoir	129° 17' 30" E	36° 07' 00" N
29	August 2004~August 2005, February~November 2007	Jinchon Swamp	128° 25' 34.50" E	35° 42' 42" N
30	March 1, 2008	Maetan reservoir	128° 28' 30" E	35° 35' 08" N
31	March 1, 2008	Namjeon reservoir	128° 43' 03" E	35° 24' 28" N
32	March 1, 2008	Beongae Swamp	128° 29' 30" E	35° 26' 06" N
33	November 11, 2007	Gucheon reservoir	128° 38' 03.02" E	34° 49' 26.98" N
34	November 11, 2007	Mundong reservoir	128° 38' 59" E	34° 51' 08" N
35	November 11, 2007	Yeondam	128° 37' 55" E	34° 48' 31" N
36	April 9, 2008~April 5, 2009	Yong pond at Mt. Hwawang	128° 32' 05.52" E	35° 32' 40.38" N
37	April 9, 2008~April 5, 2009	Bogs at Mt. Hwawang	128° 32' 05.52" E	35° 32' 40.38" N

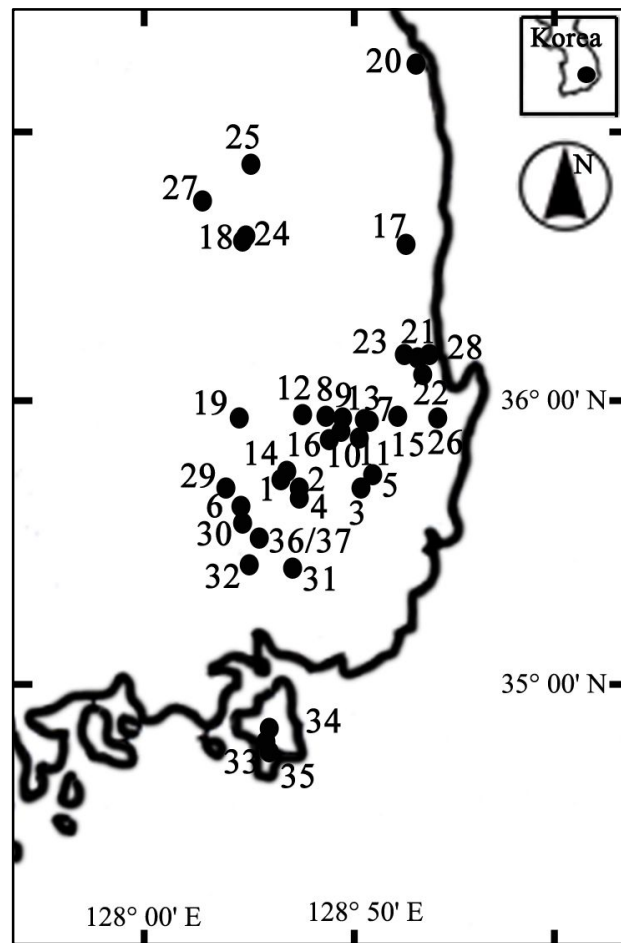


Figure 3. Map of sampling sites in Gyeongsang Province.

나. 제주도 일대

제주도는 화산섬이며, 아열대성 기후를 가진다. 온대성 기후를 가지는 한반도 내륙과 비교하여 제주도는 독특한 지리·생태학적 특성을 가진다. 제주도에서 몇몇의 담수 조류상 조사가 이루어졌으나(Kim 1968; Chung *et al.* 1972a, 1972b; Lee 1987; Lee & Chang 1991), 인편성 황갈조류에 대한 조사는 Takahashi(1978)가 *Mallomonas* 5종(*M. actinoloma* E. Takahashi, *M. tonsurata* Teiling, *Mallomonopsis elliptica* Matvienko[=*Mallomonas matvienkoae* (Matvienko) Asmund & Kristiansen], *Mallomonas* sp. 2종)과 *Synura*속 1종(*S. petersenii*)을 보고한 이래로 전무한 실정이다. 본 연구에서는 2005년 4월과 7월, 2007년 10월, 2008년 10월에 13개 조사지점에서 시료를 채집·조사하였다 (Table 2와 Figure 4).

Table 2. Water temperature (WT, °C), pH, electrical conductivity (EC, $\mu\text{S cm}^{-1}$), and altitude (m) of the 13 sampling sites at Jeju Island.

No.	Sampling sites	Date	WT (°C)	pH	EC ($\mu\text{S cm}^{-1}$)	Altitude (ca. m)
1	Small pond in Dumori	October 20, 2007	–	–	–	10
2	Dumo reservoir	October 20, 2007	–	–	–	10
3	Yeokkwi pond	October 20, 2007	20.3	–	146.3	80
4	Small pond near Gama-oreum	October 20, 2007	19.4	–	211	110
5	Sammoeso	October 20, 2007	19.4	–	58	350
6	Muljangol	April 29, 2005	22	5.72	38.3	890
7	Mulchat-oreum	July 21, 2005	28.5	6.79	–	690
8	Dongbaek-dongsan	July 21, 2005	31.6	6.02	–	110
		October 20, 2007	16.4	–	108.8	
9	Small pond in Haengwonri	July 21, 2005	31	6.47	–	
10	Small pond in Deokcheonri	October 20, 2007	16	–	134.7	130
11	Geochin-oreum	July 21, 2005	33.5	6.44	–	290
12	Small pond 1 near Micheongul	October 20, 2007	16.5	–	90.6	120
		October 21, 2008	25.6	6.9	37.4	
13	Small pond 2 near Micheongul	October 20, 2007	14.5	–	83.3	110

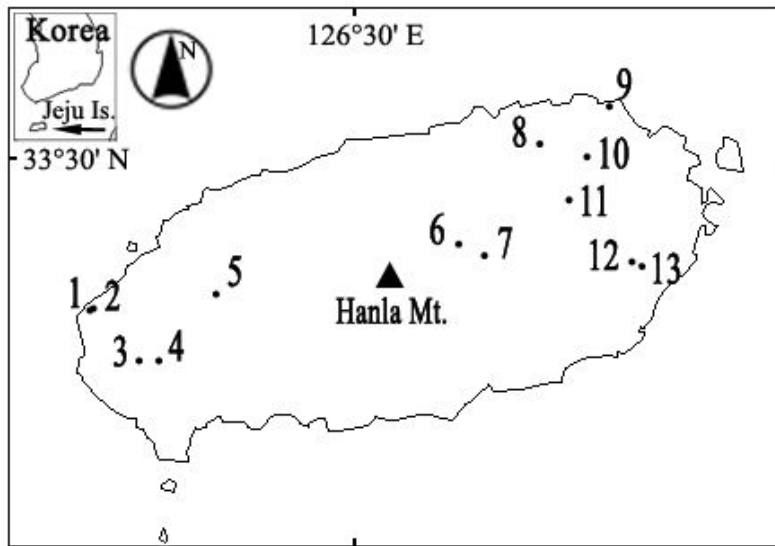


Figure 4. Map of sampling sites at Jeju Island.

2. 현장시료 채집 및 종 동정

가. 현장시료 채집 및 분석

현장시료는 정성분석을 위하여 플랑크톤 네트(20 μm mesh size)로 채집하였으며, 시료의 일부는 균주 분리를 위해 사용하였으며, 나머지는 글루타르알데히드 (glutaraldehyde) 또는 루골용액(Lugol's solution)으로 고정하였다. 정량분석을 위하여 1 L의 원수를 채집하여 즉시 루골용액으로 고정하였다. 현장의 수온, pH는 Mettler Toledo Model MP 120로, 전기전도도는 Mettler Toledo Model MC 126을 사용하여 측정하였다. 총질소(total nitrogen, TN) 및 총인(total phosphorus, TP)은 standard methods(APHA 1995)에 따라 분석하였다.

식물플랑크톤의 세포 밀도는 도립현미경(Zeiss, Axiovert25, X400) 하에서 Sedgewick-Rafter chamber를 사용하여 계수하였다.

나. 종 동정

종 동정은 광학현미경과 전자현미경(electron microscope, EM)을 사용하였다. 주사전자현미경(scanning EM, Hitachi S-4300) 관찰을 위하여 배양 시료 한 방울을 커버글라스 위에 떨어뜨리고 자연 건조시킨 뒤 백금으로 코팅하였다. 준비된 시료는 SEM으로 사진을 촬영하여 동정하였다. 투과전자현미경(transmission EM, Hitachi H-7100) 관찰은 시료를 formvar로 코팅된 grid 위에 시료를 떨어뜨리고 건조하여 탄소 코팅 후 TEM으로 사진을 촬영하여 동정하였다.

3. 배양 실험

가. 균주 분리 및 배양

수화형성종 *Synura petersenii*의 수화형성 원인 및 균주-특이적 적응성을 규명하기 위해서 6균주 중 3 균주, JCSP, JDSP, WMSP 균주는 국내 3개 수체에서 채집한 시료에서 분리하였다. 채집한 시료를 홀슬라이드에 떨어뜨려 도립현미경(Zeiss, Axiovert25) 하에서 관찰하면서 파스쥬어 피펫(Pasteur-type capillary pipette)을 이용한 모세관법으로 단일종의 *S. petersenii* 균주들을 분리하였다(Table 3). 분리한 각 균주의 보존배양(stock culture)은 MES(2-[N-morpholino] ethanesulfonic acid)로 pH 6.7로 완충시킨 DYIII 배지(Lehman, 1976)에서 16 h : 8h 명암 주기, 광도 $60 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (cool white fluorescent light), 온도 $15 \pm 1^\circ\text{C}$ 의 조건에서 유지시켰다. 또 다른 3개 균주, CAUPD5, CCMP854, NIES1007 균주는 각각 체코, 미국, 일본의 배양센터에서 분양받았으며, 국내 3개 균주와 동일한 조건에서 배양하였다.

Table 3. Strains used in the culture experiments and their isolation sites.

Genus	Strain	Sampling site	Sampling date	Stock culture		
				Temperature (°C)	pH	Light Intensity ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)
<i>Synura petersenii</i>	JCSP	Jinchon swamp in South Korea	November, 2004	15	6.7	48~80
	JDSP	Jido pond in South Korea	July 14, 2005	15	6.7	48~80
	WMSP	Unmun reservoir in South Korea	April 24, 2005	15	6.7	48~80
	CAUPD5	Czech Republic	–	15	6.7	48~80
	CCMP854	USA	–	15	6.7	48~80
	NIES1007	Japan	–	15	6.7	48~80

나. 배양 실험 조건

실험은 회분 배양(batch culture)으로 보존 배양과 동일한 배지와 명암 주기로 유지하였다. 온도에 대한 실험은 온도 5~30℃의 범위에서 실시하였으며, 실험 중 pH 6.7, 광도 80 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 로 일정하게 유지하였다. 영양염 농도에 대한 실험은 질산염(NO_3) 0~250 μM 과 인산염(PO_4) 0.04~40 μM 의 농도 범위에서 각각 실시하였고, 실험 중 온도는 15℃, pH 6.7, 광도 80 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 로 일정하게 유지하였다. 영양염 실험에 앞서 세포 내 저장된 질소와 인을 고갈시키기 위해 지수성장기에 있는 보존 배양의 세포들을 원심분리에 의해 농축시키고 2~3회의 세척한 후, 질소와 인이 포함되지 않은 배양액에 각각 7~10일간 보관하였다. 실험은 50 ml의 배지를 넣은 3개의 100 ml Erlenmeyer flasks에 *S. petersenii* 균주 약 500 cells ml^{-1} 의 초기 세포 밀도로 접종하였다.

다. 세포밀도 계수 및 성장률 계산

시료는 루골용액으로 고정한 후, Sedgwick-Rafter chamber를 사용하여 계수하였다.

세포밀도는 2일 간격으로 18일 동안 관찰된 정체기 또는 쇠퇴기에 도달할 때까지의 단위 부피당 군체 수를 계수한 후, 계수할 때마다 군체 당 평균 세포수를 구한 다음 단위 부피당 세포밀도(cells ml^{-1})로 나타내었다.

성장률(specific growth rate)은 다음의 공식으로 계산하였다.

$$\mu = (\ln N_2 - \ln N_1) / (t_2 - t_1)$$

여기서 N_2 와 N_1 은 t_2 와 t_1 시기의 지수성장기 동안의 단위 부피당 세포밀도이다.

결과 및 고찰

I. 경상도 및 제주도 일대 인편성 황갈조류의 조류상

1. 경상도 일대 인편성 황갈조류의 조류상

본 연구에서 68종의 인편성 황갈조류를 동정·분류하였으며, 이 중 미동정종 9종 (*Paraphysomonas*속 3종, *Mallomonas*속 5종, *Synura*속 1종)을 포함하였다(Table 4). *Paraphysomonadaceae*과는 24종으로, *Chrysosphaerella*속 2종, *Paraphysomonas*속 13종, *Spiniferomonas*속 9종으로 구성되어 있으며, *Mallomonadaceae*과 *Mallomonas*속 36종, *Synuraceae*과 *Synura*속 8종이 관찰되었다. 이들 중 한국 미기록종으로 *Paraphysomonas*속 4종(*P. caelifrica*, *P. eiffelii*, *P. homolepis*, *P. subrotacea*), *Spiniferomonas*속 1종(*S. crucigera*), *Mallomonas*속 3종(*M. acaroides* var. *obtusa*, *M. crassisquama* var. *papillosa*, *M. verrucosa*), *Synura*속 1종(*S. leptorrhabda*) 총 9종이 조사되었으며, *Mallomonas corymbosa*는 Kristiansen *et al.*(1990)에 의해 북한에서 발견되었으나, 남한에서는 본 연구에서 처음 조사되었다. 또한 본 연구를 통해 경상도 일대에서 신종인 *Mallomonas koreana* sp. nov.를 동정·분류하여 발표하였다. 종 출현 빈도에서 *S. petersenii* f. *petersenii*가 전체 조사 지점 중 26개 조사지점에서 출현하며, 70%의 빈도로 가장 높았으며, 다음으로 *M. elongata*(25개 조사 지점, 68%), *M. crassisquama* var. *crassisquama*(22개 조사지점, 59%), *S. trioralis*(21개 조사지점, 57%), *P. vestita*(20개 조사지점, 54%), *M. caudata*(19개 조사지점, 51%) 순으로 나타났다(Figure 5).

Table 4. List and distribution of silica-scaled chrysophytes found at 37 sampling sites in Gyeongsang Province.

No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	
Paraphysomonadaceae																																						
Chrysophaerella																																						
C. brevispina Korshikov		+		cf.					+	cf.	+		+			+		+						+		cf.		+	+							+		
C. coronacircumspina Wujek et. Kristiansen																													+							+		
Paraphysomonas																																						
P. bandaiensis Takahashi																		+								+				+								
P. bourrellyi (Takahashi) Preisig & Hibberd	+			+	+	+				+		+			+														+						+	+		
P. caelifrica Preisig & Hibberd*																													+									
P. eiffelii Thomsen*																													+									
P. gladiata Preisig & Hibberd					+	+																						+										
P. homolepis Preisig & Hibberd*		+																																				
P. imperforata Lucas										+				+			+								+	+					+		cf.			+	+	
P. punctata ssp. atrema Balonov					+																																	
P. subrotacea Thomsen*																													+									
P. vestita (Stokes) deSaedeleer		+	+		+					+	+		+			+	+	+		cf.	+			+	+	+	+		+	+		+				+	+	
P. vestita (Stokes) deSaedeleer ssp.																										+												

Table 4. Continued.

No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	
<i>Paraphysomonas</i> sp. 1																													+									
<i>Paraphysomonas</i> sp. 2																													+									
<i>Spiniferomonas</i>																																						
<i>S. abei</i> Takahashi																	+																					
<i>S. bilacunosa</i> Takahashi																										cf.												
<i>S. cornuta</i> Balonov					+										+											+	+											
<i>S. crucigera</i> Takahashi*					+																																	
<i>S. septispina</i> Nicholls										+																+	+											
<i>S. serrata</i> Nicholls															+											+												
<i>S. silverensis</i> Nicholls																													+									
<i>S. takahashii</i> Nicholls															+												+											
<i>S. trioralis</i> Takahashi	+	cf.		+	+	+				+	+	+			+	+	+	+		+					cf.	+	+		+				+	+		+	cf.	
Mallomonadaceae																																						
<i>Mallomonas</i>																																						
<i>M. acaroides</i> Perty emend. Ivanov var. <i>acaroides</i>				+					+						+										+		+	+		+			+	+				
<i>M. acaroides</i> var. <i>obtusa</i> Ito*																																+						
<i>M. akrokomos</i> Ruttner in Pascher	+	+	+	+	+	+					+	+		+	+											+		+		+	+	+					+	
<i>M. alpina</i> Pascher & Ruttner emend. Asmund & Kristiansen	cf.	+		+							+				+														+		+	+						

Table 4. Continued.

No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	
<i>M. annulata</i> (Bradley) Harris		+								+																			+									
<i>M. areolata</i> Nygaard		+	+		+					+	+							+	cf.																			
<i>M. caudata</i> Ivanov emend. Krieger							+			+	+	+		+		+		+	+	+	+	+	+		+	+	+		+				+	+	+			
<i>M. clavus</i> Bradley																																						+
<i>M. corymbosa</i> Asmund & Hilliard**																				cf.				+		+			+									
<i>M. crassisquama</i> (Asmund) Fott var. <i>crassisquama</i>	+			+		cf.				+	+	+		+	+	+		+		+		+		+	+	+		+		cf.		+	cf.	+	+	+	+	
<i>M. crassisquama</i> var. <i>papillosa</i> Siver & Skogstad*	+			+	+										+		cf.																		+	+		
<i>M. elongata</i> Reverdin		+		+		cf.			+	+	+	+	+	+		+	+			+	+		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+		
<i>M. grata</i> Takahashi in Asmund & Takahashi																												cf.										
<i>M. heterospina</i> Lund	+			+	+					+	+	+			+		+												+							+	+	
<i>M. koreana</i> Kim & Kim***			+								+					+								+														
<i>M. lelymene</i> Harris & Bradley																																					+	
<i>M. mangofera</i> Harris & Bradley var. <i>mangofera</i>																								+					+							+	+	
<i>M. mangofera</i> var. <i>foveata</i> (Dürschmidt) Kristiansen																													+				+					
<i>M. matvienkoae</i> (Matvienko) Asmund & Kristiansen											+					+												cf.	+	+							cf.	
<i>M. oviformis</i> Nygaard																													+									

Table 4. Continued.

No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37		
<i>M. papillosa</i> Harris & Bradley					+											cf.	+																					+	
<i>M. parvula</i> Dürschmidt																											cf.		+										
<i>M. peronoides</i> (Harris) Momeu & Péterfi var. <i>peronoides</i>																													+										
<i>M. peronoides</i> var. <i>bangladeshica</i> Takahashi & Hayakawa																													+	+									
<i>M. portae-ferreae</i> Péterfi & Asmund												+																	+										
<i>M. punctifera</i> Korshikov		+										+				+		+			+		+	+	+				+								+	+	
<i>M. splendens</i> (West) Playfair emend. Croome, Dürschmidt & Tyler																		cf.																					
<i>M. striata</i> Asmund var. <i>striata</i>			cf.							+	+					+								+		+	cf.		+										
<i>M. tonsurata</i> Teiling emend. Krieger												+					+	+			+	+			+	+	+		+				+		+				
<i>M. trummensis</i> Cronberg		+		+							+				+														+									+	+
<i>M. verrucosa</i> Vigna*																																							+
<i>Mallomonas</i> sp. 1																+																							
<i>Mallomonas</i> sp. 2																	+																						
<i>Mallomonas</i> sp. 3																												+											
<i>Mallomonas</i> sp. 4																														+									
<i>Mallomonas</i> sp. 5																														+									

Table 4. Continued.

No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	
Synuraceae																																						
Synura																																						
S. curtispina (Petersen & Hansen) Asmund	+																	+	+		+			+	+	+	+	cf.	+									
S. leptorrhabda (Asmund) Nicholls in Nicholls & Gerrath*												+	+	+		+																						
S. petersenii Korshikov f. petersenii	+	+	+		+	+		+	+	+	+	+	+		+	+	cf.	+	+		+	+		+	+	+	+	+	+	+							+	
S. petersenii f. kufferathii Petersen & Hansen																					+	+			+				+			+						
S. sphagnicola (Korshikov) Korshikov			+													+													+									
S. spinosa Korshikov		+		cf.			+			+	+	+	+	+		+	cf.								+	+	+											
S. uvella Ehrenberg emend. Korshikov	+					+						+					+									+	+		+									
Synura sp.																													+									
Total	10	13	7	12	13	8	2	1	4	15	17	14	6	6	13	16	13	12	4	4	10	4	5	12	12	21	18	8	40	5	6	4	8	5	4	13	18	

*: the first record in Korea

**: the first record in South Korea

***: new species

cf.: confer

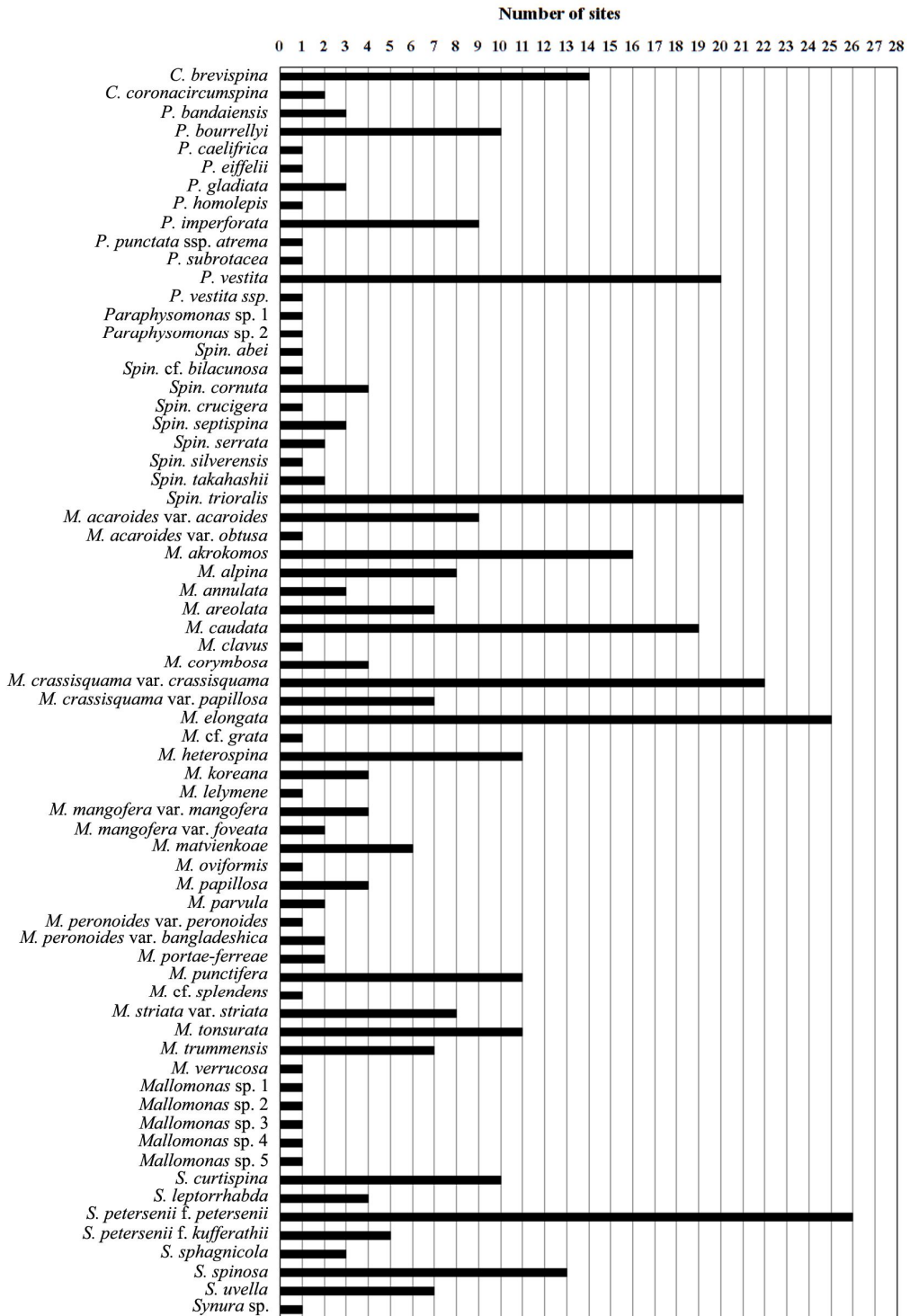


Figure 5. Number of sites at which each species were found in Gyeongsang Province.

2. 제주도 일대 인편성 황갈조류의 조류상

국내 유일의 아열대성 기후인 제주도 일대에 13개 지점을 선정하여 인편성 황갈조류의 조류상을 조사한 결과, 인편성 황갈조류(Paraphysomonadaceae과 제외)는 총 31종이 출현하였으며, 이 중 미동정된 *Mallomonas*속 4종을 포함하였다(Table 5). 이 중 *Mallomonas*속이 26종, *Synura*속이 5종이었다. *Mallomonas*속의 *M. adamas*, *M. bronchartiana*, *M. favosa* f. *favosa*, *M. favosa* f. *gemina*, *M. morrisonensis*, *M. multisetigera*, *M. ouradion*, *M. portae-ferreae*, *M. splendens*, *M. striata* var. *serrata* 등 10종류는 한국 미기록종이었다. 또한 제주도 일대에서 신종인 *Mallomonas jejuensis* sp. nov.를 동정·분류하여 발표하였다.

본 연구에서 관찰된 인편성 황갈조류 대부분의 종들은 전 세계적으로 넓게 분포하는 종들이나, 특징적인 열대성 종들도 관찰되었다. *Mallomonas bronchartiana*, *M. morrisonensis*와 *M. splendens*는 열대성 또는 아열대성 종으로 알려져 있으며 (Kristiansen & Preisig 2007), *M. portae-ferreae* 와 *M. guttata*는 전 세계적으로 넓게 분포하지만, 일차적으로 열대지역에서 출현한다(Cronberg 1989). 본 연구에서 이들은 인편 또는 세포가 관찰되었다.

종 출현 빈도에서 *S. curtispina*는 7개 조사지점에서 출현하며 54%의 빈도로 가장 높았으며, 다음으로 *Mallomonas* sp. 8(7개 조사지점, 54%), *M. matvienkoae*(6개 조사지점, 46%), *S. echinulata*(5개 조사지점, 38%)의 순으로 나타났다(Figure 6).

Table 5. List and distribution of silica-scaled chrysophytes (Synurophyceae) found at 13 sampling sites at Jeju Island.

Species \ Site number	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Mallomonadaceae													
Mallomonas													
<i>M. adamas</i> Harris & Bradley*								+					
<i>M. bronchartiana</i> Compère*								+		+			+
<i>M. crassisquama</i> (Asmund) Fott var. <i>crassisquama</i>							+					+	
<i>M. elongata</i> Reverdin			+		+							+	
<i>M. favosa</i> Nicholls f. <i>favosa</i> *											+		
<i>M. favosa</i> f. <i>gemina</i> Dürrschmidt & Croome*									+				
<i>M. guttata</i> Wujek								+					+
<i>M. jejuensis</i> Kim & Kim**												+	
<i>M. lelymene</i> Harris & Bradley						+						+	
<i>M. mangofera</i> K. Harris & D.E. Bradley var. <i>mangofera</i>								+			+		
<i>M. mangofera</i> var. <i>foveata</i> (Dürrschmidt) Kristiansen											+		
<i>M. matvienkoae</i> (Matvienko) Asmund & Kristiansen						+		+	+	+	+	+	
<i>M. morrisonensis</i> Croome & Tyler*								+					
<i>M. multisetigera</i> Dürrschmidt*											+		
<i>M. ouradion</i> Harris & Bradley*													+
<i>M. papillosa</i> Harris & Bradley emend Harris												+	
<i>M. portae-ferreae</i> Péterfi & Asmund*		+											

Table 5. Continued.

Species \ Site number	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
<i>M. pumilio</i> Harris & Bradley emend. Asmund, Cronberg & Dürschmidt						cf.							
<i>M. punctifera</i> Korshikov												+	
<i>M. splendens</i> (West) Playfair emend. Croome, Dürschmidt & Tyler*								+				+	+
<i>M. striata</i> var. <i>serrata</i> Harris & Bradley*								+	+	+			+
<i>M. tonsurata</i> Teiling emend. Willi Krieger						+		+					
<i>Mallomonas</i> sp. 6						+							
<i>Mallomonas</i> sp. 1												+	
<i>Mallomonas</i> sp. 7													+
<i>Mallomonas</i> sp. 8						+		+	+	+	+	+	+
Synuraceae													
Synura													
<i>S. curtispina</i> (J.B. Petersen & J.B. Hansen) Asmund	+	+						+	+	+	+	+	
<i>S. echinulata</i> Korshikov		+						+		+		+	+
<i>S. petersenii</i> Korshikov f. <i>petersenii</i>	+	+							+				
<i>S. petersenii</i> f. <i>kufferathii</i> J.B. Petersen & J.B. Hansen				+									
<i>S. spinosa</i> Korshikov								+					
Total	2	4	1	1	1	6	1	13	6	6	7	12	8

*: the first record in Korea

**: new species

cf.: confer

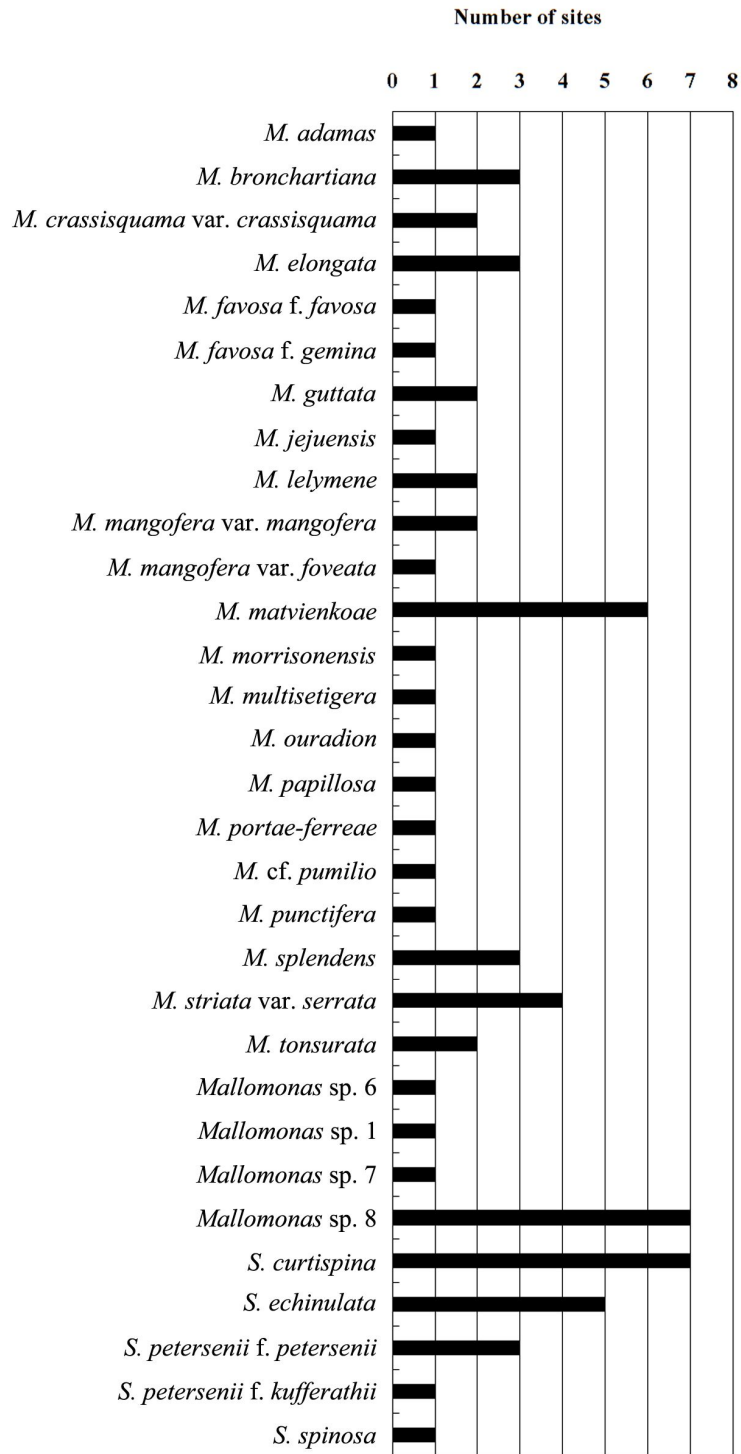


Figure 6. Number of sites at which each species were found at Jeju Island.

3. 경상도 및 제주도 일대의 인편성 황갈조류의 조류상 비교·분석

경상도 및 제주도 일대에 출현한 조류상(Paraphysomonadaceae과는 제외)은 Table 6에 나타내었다.

경상도 및 제주도 일대에 출현한 대부분 종들은 전세계적으로 널리 분포하는 종들이다(Kristiansen & Preisig 2007). 경상도 일대에서 빈번하게 출현한 종(종 출현빈도 50% 이상)은 *S. petersenii* f. *petersenii*, *M. elongata*, *M. crassisquama* var. *crassisquama*, *M. caudata*로 이전 국내 연구(Kim *et al.* 1995; Kim 1997)에서 뿐만 아니라 온대성 기후의 많은 북반구 지역에서도 흔하게 발견되는 종들이다(Takahashi 1978; Cronberg & Kristiansen 1980; Wee 1982; Nicholls & Gerrath 1985; Kiss & Kristiansen 1994; Wei & Kristiansen 1994). 제주도 일대에서 빈번하게 출현한 종(종 출현빈도 50%이상)은 *S. curtispina*와 *Mallomonas* sp. 8로, *S. curtispina*의 경우 경상도 일대 및 전세계적으로 널리 분포하는 종이다(Kristiansen & Preisig 2007).

Synura petersenii f. *petersenii*와 *M. elongata*는 경상도 일대의 37개 조사지점 중 각각 26개 조사지점(70%)과 25개 조사지점(68%)에서 발견되어 가장 흔하게 출현하였으나, 제주도 일대의 13개 조사지점 중 3개 조사지점(23%)에서 발견되어 비교적 낮은 출현빈도를 나타내었다.

*Mallomonas caudata*와 *M. crassisquama* var. *crassisquama*는 다른 열대성 또는 아열대성 지역에서처럼 제주도 일대에서도 관찰되지 않거나 또는 드물게 관찰되었다(Dürschmidt & Croome 1985; Saha & Wujek 1990; Kristiansen & Tong 1991; Wujek & Bicudo 1993; Menezes *et al.* 2005; Vigna *et al.* 2005). 이 중 *M. caudata*는 제주도 일대와 경상도에 위치한 화왕산의 2개 조사지점에서도 발견되지 않았다. 제주도와 화왕산은 기후적으로 차이가 있으나, 지리적으로 화산활동으로 생성되었다는 공통적인 특징을 가진다. Barreto(2005)에 의해 조사된 Pilis/Visegrád Mountains는 화산활동으로 생성된 산들로, 이곳에 위치한 약산성의 수체에서도 *M. caudata*가 발견되지 않았다. 화왕산의 두 조사지점 경우 봄 시기에 알칼리성을 나타낸 것을 제외하고 약산성 조건(pH 5.63~6.68)을 나타내었다. 제주도 일대에서 pH를 측정 한 5개 조사지점에서 약산성(pH 5.72~6.79)을 나타내었다. *Mallomonas caudata*의 출현은 pH 6~7.5의 범위에서 최대로 출현하며, pH 5 미만의 pH 조건

에서는 적게 출현한다고 알려져 있으나(Siver 1991), 배양실험을 통해 pH 5의 낮은 pH에서도 높은 성장률을 나타내며 증식이 가능한 것으로 나타났다(Lee & Kim, 2007). *Mallomonas caudata*의 출현은 pH와 같은 환경요인, 지리적인 특징 등의 영향을 받는 것으로 보이나, 이들의 상관관계를 규명하기 위해서는 더 많은 연구들이 필요하며, 향후 추가적인 연구가 수행되어야 할 것이다.

제주도에서 발견한 한국산 미기록종 *Mallomonas*속 10종류 중 8종인 *M. adamas*, *M. bronchartiana*, *M. favosa* f. *favosa*, *M. favosa* f. *gemina*, *M. morrisonensis*, *M. multisetigera*, *M. ouradion*, *M. striata* var. *serrata*는 경상도 일대에서 발견되지 않은 종들이다. 이들 중 특히 *M. bronchartiana*, *M. morrisonensis*, *M. splendens*는 열대성 또는 아열대성 종으로 알려져 있으며(Kristiansen & Preisig 2007), *M. favosa* f. *gemina*는 아열대성 지역인 말레이시아 고유종(endemic species)이다.

*Mallomonas portae-ferreae*는 전세계적으로 넓게 분포하지만, 일차적으로 열대지역에서 발견된다(Cronberg 1989; Kristiansen & Preisig 2007). 본 연구에서 경상도 일대와 제주도 일대 모두 발견되었으나, 드물게 출현하였다.

경상도 일대와 제주도 일대의 인편성 황갈조류의 조류상은 공통적으로 출현하는 종들도 있었지만, 기후 및 지리적 차이 등으로 인해 각 지역에 독특하고 특징적인 종들이 출현하는 것으로 나타났다. 그러나 제주도 일대는 인편성 황갈조류에 대한 연구가 매우 빈약하기 때문에 인편성 황갈조류의 분류 및 생리·생태학적 특성을 파악을 위해서 향후 더 많은 조류상 및 계절적 분포 조사, 배양을 통한 각 종의 성장 특성 실험 등이 수행되어야 할 것이다.

Table 6. Comparison with silica-scaled chrysophytes between in Gyeongsang Province and at Jeju Island. GS: Gyeongsang Province, JJ: Jeju Island and H: a pond and bogs at Mt. Hwawang.

	I	II		III	IV	V
	GS+JJ	GS		JJ	JJ+H	H
Mallomonas	<i>M. crassisquama</i> var. <i>crassusquama</i>	<i>M. acaroides</i> var. <i>acaroides</i>	<i>M. acaroides</i> var. <i>obtusa</i>	<i>M. adamas</i>	<i>M. lelymene</i>	<i>M. clavus</i>
	<i>M. elongata</i>	<i>M. akrokomos</i>	<i>M. alpina</i>	<i>M. bronchartiana</i>		<i>M. verrucosa</i>
	<i>M. mangofera</i> var. <i>mangofera</i>	<i>M. annulata</i>	<i>M. areolata</i>	<i>M. favosa</i> f. <i>favosa</i>		
	<i>M. matvienkoeae</i>	<i>M. caudata</i>	<i>M. corymbosa</i>	<i>M. favosa</i> f. <i>gemina</i>		
	<i>M. mangofera</i> var. <i>foveata</i>	<i>M. crassisquama</i> var. <i>papillosa</i>	<i>M. cf. grata</i>	<i>M. guttata</i>		
	<i>M. portae-ferreae</i>	<i>M. heterospina</i>	<i>M. koreana</i>	<i>M. jejuensis</i>		
	<i>M. punctifera</i>	<i>M. oviformis</i>	<i>M. parvula</i>	<i>M. morrisonensis</i>		
	<i>M. splendens</i>	<i>M. peronoides</i> var. <i>peronoides</i>	<i>M. peronoides</i> var. <i>bangladeshica</i>	<i>M. multisetigera</i>		
	<i>M. tonsurata</i>	<i>M. striata</i> var. <i>striata</i>	<i>M. trummensis</i>	<i>M. ouradion</i>		
	<i>M. papillosa</i>			<i>M. cf. pumilio</i>		
Synura	<i>S. curtispina</i>	<i>S. leptorrhabda</i>		<i>S. echinulata</i>		
	<i>S. petersenii</i> f. <i>petersenii</i>	<i>S. sphagnicola</i>				
	<i>S. petersenii</i> f. <i>kufferathii</i>	<i>S. uvella</i>				
	<i>S. spinosa</i>					

II. 인편성 황갈조류의 계절적 변동

인편성 황갈조류의 계절적 분포 양상을 알아보기 위해서 경상도 일대 37개 조사지점 중 6개 조사지점을 선정하였으며, 6개 조사지점은 각각 빈영양/중영양호(경천호, 덕동호, 오테지, 용연지; 계절별 조사), 부영양호(진촌늪; 월별 조사), 고층습원(화왕산 용지, 습지; 월별 조사)으로 하였다.

1. 4개 호소에서 인편성 황갈조류의 계절적 변동

가) 환경요인

4개 호소에 대한 계절별 환경요인 변동은 Table 7에 나타내었다.

경천호의 환경요인은 수온 $4.5\sim 25.9^{\circ}\text{C}$, 전기전도도 $65\sim 98\ \mu\text{S cm}^{-1}$ 로 나타났으며, 덕동호는 수온 $4.5\sim 24.8^{\circ}\text{C}$, 전기전도도 $80\sim 114\ \mu\text{S cm}^{-1}$ 로 나타났다. 오테지는 수온 $5.6\sim 25.6^{\circ}\text{C}$, 전기전도도 $95\sim 105\ \mu\text{S cm}^{-1}$ 로 나타났으며, 용연지는 수온 $5.5\sim 26.5^{\circ}\text{C}$, 전기전도도 $150\sim 254\ \mu\text{S cm}^{-1}$ 로 나타났다. 4개 호소 모두 약알칼리성에서 알칼리성을 나타내었으며, 영양 상태는 빈영양 또는 중영양을 나타내었다.

Table 7. Physical and chemical factor in four reservoirs [Total nitrogen and total phosphorus referred to Water Information System(<http://water.nier.go.kr>)].

	Season	Water temperature (℃)	pH	Electrical Conductivity ($\mu\text{S cm}^{-1}$)	Total nitrogen ($\mu\text{g l}^{-1}$)	Total phosphorus ($\mu\text{g l}^{-1}$)
Gyeongcheon	Spring	15.2	7.5	98	1,278	13
	Summer	25.9	8.4	85	1,137	18
	Autumn	20.9	7.5	80	1,499	16
	Winter	4.5	8	65	1,679	12
Deokdong	Spring	16.2	8.1	114	1,295	7
	Summer	24.8	7.5	80	663	28
	Autumn	20.2	7.7	85	372	16
	Winter	4.5	7.9	100	–	–
Otae	Spring	16.2	7.6	95	562	1
	Summer	25.6	8.5	105	327	25
	Autumn	19.2	7.8	105	580	24
	Winter	5.6	8.5	105	–	–
Yongyeon	Spring	17.5	8.85	254	1,866	6
	Summer	26.5	9.1	204	1,336	30
	Autumn	21.5	8.5	150	232	8
	Winter	5.5	8.2	150	300	13

2) 식물플랑크톤의 계절적 변동

4개 호소의 식물플랑크톤의 계절적 변동은 Figure 7에 나타내었다.

경천호의 식물플랑크톤 세포밀도는 가을에 최소치인 362 cells ml⁻¹에서 겨울에 최고치인 1,222 cells ml⁻¹의 범위로 나타났다(Figure 7A). 분류군별 구성은 규조류가 전 계절에 걸쳐 가장 높게 나타났다. 은편모조류와 황갈조류는 봄에, 녹조류와 황갈조류는 가을에 비교적 높은 세포밀도를 나타내었다.

덕동호의 식물플랑크톤 세포밀도는 겨울에 419 cells ml⁻¹로 가장 낮았으며, 봄에 895 cells ml⁻¹로 가장 높게 나타났다(Figure 7B). 분류군별 구성은 가을에 녹조류가 가장 높은 세포밀도를 나타낸 것을 제외하고, 규조류가 가장 높게 나타났다. 황갈조류는 봄에, 남조류는 여름에 비교적 높은 세포밀도를 나타내었다.

오대지의 식물플랑크톤 세포밀도는 여름에 최소치인 205 cells ml⁻¹에서 봄에 최고치인 1,185 cells ml⁻¹의 범위로 나타났으며, 여름과 가을에 세포밀도가 낮았다(Figure 7C). 분류군별 구성은 녹조류가 가을에 가장 높은 세포밀도를 나타낸 것을 제외하고 규조류가 가장 높게 나타났다.

용연지의 식물플랑크톤 세포밀도는 봄과 여름에 각각 14,445 cells ml⁻¹과 12,370 cells ml⁻¹로 매우 높게 나타났고, 가을에 395 cells ml⁻¹로 급격히 감소하였으며, 겨울에 1,312 cells ml⁻¹을 나타내었다(Figure 7D). 조사 기간 동안 규조류가 가장 높게 나타났으며, 다른 3개의 호소와는 다르게 남조류가 여름부터 발생하여 가을에 높은 세포밀도로 우점하였다.

전반적으로 4개의 호소에서 경천호의 가을, 덕동호의 봄을 제외하고 황갈조류는 전체 식물플랑크톤 군집에서 매우 낮은 구성 비율을 차지하였다.

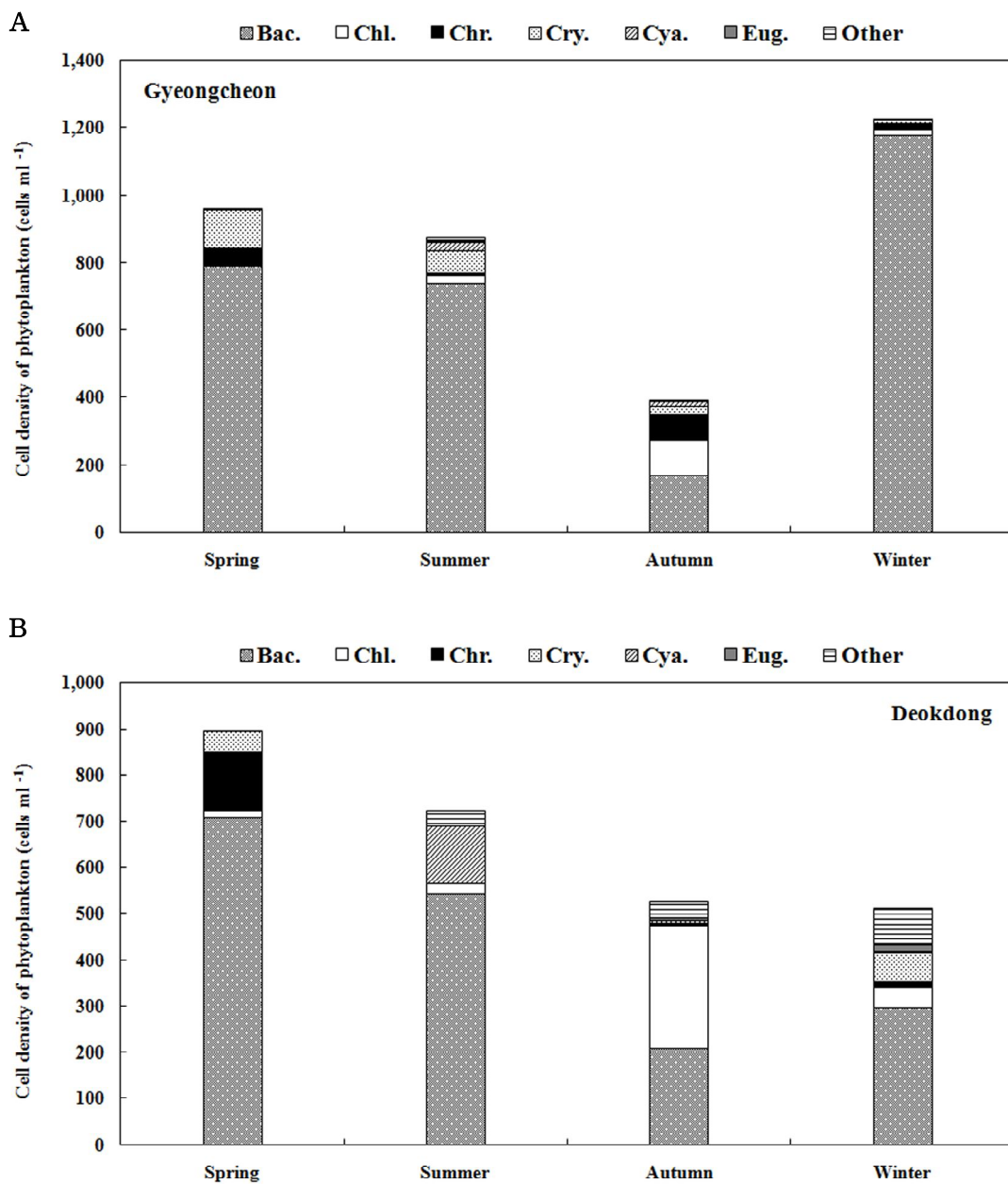


Figure 7. Cell density (cells ml⁻¹) of phytoplankton in four reservoirs. A: Gyeongcheon, B: Deokdong, C: Otae, D: Yongyeon; Bac.= Bacillariophytes, Chl.= Chlorophytes, Chr.= Chrysophytes, Cry.= Cryptophytes, Cya.= Cyanophytes, Eug.= Euglenophytes.

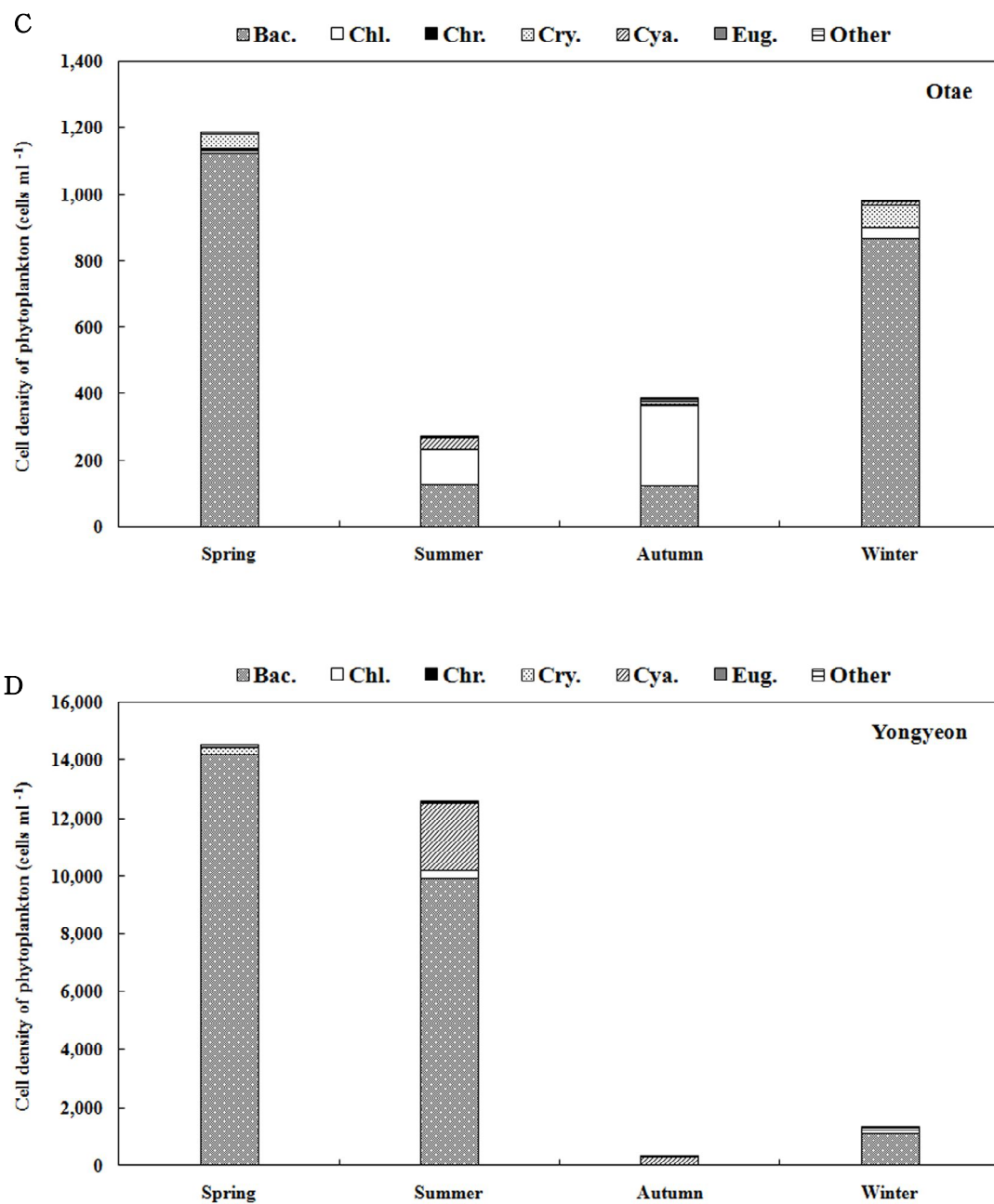


Figure 7. Continued.

3) 인편성 황갈조류의 군집구성

4개 호소에 대한 계절적 분포와 종수는 Table 8과 Figure 8에 나타내었다.

경천호에서 인편성 황갈조류는 총 12종이 조사되었다. Paraphysomonadaceae과의 *Chrysosphaerella*속 2종이 출현하였으며, Mallomonadaceae과의 *Mallomonas*속 6종, Synuraceae과의 *Synura*속 4종이 조사되었다. 계절별 종수는 경천호에서 겨울에 11종으로 가장 많았으며, 봄과 여름에 각각 1종으로 가장 적었다.

덕동호에서 인편성 황갈조류는 총 21종으로 이 중 미동정된 *Paraphysomonas*속 1종이 포함되었다. Paraphysomonadaceae과는 10종으로, *Chrysosphaerella*속이 1종, *Paraphysomonas*속이 4종, *Spiniferomonas*속이 5종이 조사되었으며, Mallomonadaceae과의 *Mallomonas*속이 7종, Synuraceae과의 *Synura*속이 4종이 조사되었다. 계절별 종수는 덕동호에서 가을에 17종으로 가장 많았으며, 여름에는 출현하지 않았다.

오태지에서 인편성 황갈조류는 총 18종으로, 이 중 미동정된 *Mallomonas*속 1종이 포함되었다. 이 중 Paraphysomonadaceae과의 *Spiniferomonas*속 4종, Mallomonadaceae과의 *Mallomonas*속 10종, Synuraceae과의 *Synura*속 4종이 조사되었다. 계절별 종수는 오태지에서 봄에 9종으로 가장 많았으며, 여름에는 출현하지 않았으며, 가을과 겨울에 각각 8종과 7종이 조사되었다.

용연지에서 인편성 황갈조류는 총 8종이 관찰되었다. Paraphysomonadaceae과는 3종으로, *Chrysosphaerella*속이 1종, *Paraphysomonas*속이 2종이 조사되었으며, Mallomonadaceae과의 *Mallomonas*속 3종, Synuraceae과의 *Synura*속 2종이 출현하였다. 용연지에서 발견된 대부분 종들이 봄(6종)과 겨울(8종)에 출현하였는데, 여름과 가을에는 인편성 황갈조류가 출현하지 않았다.

Table 8. Seasonal occurrence of silica-scaled chrysophytes in four reservoirs during the study period.

Site	Gyeongcheon				Deokdong				Otae				Yongyeon			
Sampling Season	Spring	Summer	Autumn	Winter	Spring	Summer	Autumn	Winter	Spring	Summer	Autumn	Winter	Spring	Summer	Autumn	Winter
Species																
Paraphysomonadaceae																
Chrysophaerella																
<i>C. brevispina</i> Korshikov							cf.									+
Paraphysomonas																
<i>P. bandaiensis</i> Takahashi							+									
<i>P. gladiata</i> Preisig & Hibberd																+
<i>P. imperforata</i> Lucas				+			+									
<i>P. vestita</i> (Stokes) deSaedeleer				+			+									+
<i>P. vestita</i> (Stokes) deSaedeleer ssp.							+									
Spiniferomonas																
<i>S. bilacunosa</i> Takahashi					cf.											
<i>S. cornuta</i> Balonov							+				+					
<i>S. septispina</i> Nicholls							+				+					
<i>S. serrata</i> Nicholls							+	+								
<i>S. takahashii</i> Nicholls											+	+				
<i>S. trioralis</i> Takahashi							+	cf.			+	cf.				

Table 8. Continued.

Site Sampling Season Species	Gyeongcheon				Deokdong				Otae				Yongyeon			
	Spring	Summer	Autumn	Winter	Spring	Summer	Autumn	Winter	Spring	Summer	Autumn	Winter	Spring	Summer	Autumn	Winter
Mallomonadaceae																
Mallomonas																
<i>M. acaroides</i> Perty emend. Ivanov var. <i>acaroides</i>							+					+				
<i>M. akrokomos</i> Ruttner in Pascher			+								+	cf.				
<i>M. alpina</i> Pascher & Ruttner emend. Asmund & Kristiansen													+			
<i>M. caudata</i> Ivanov emend. Krieger			+	+			+	+			+	+				
<i>M. corymbosa</i> Asmund & Hilliard							+									
<i>M. crassisquama</i> (Asmund) Fott var. <i>crassisquama</i>				+	+		cf.	+	+							
<i>M. elongata</i> Reverdin	+	+	+	+	+		+	+	+		+		+			
<i>M. grata</i> Takahashi in Asmund & Takahashi																cf.
<i>M. matvienkoe</i> (Matvienko) Asmund & Kristiansen									cf.							
<i>M. parvula</i> Dürschmidt									cf.							
<i>M. punctifera</i> Korshikov				+												
<i>M. striata</i> Asmund var. <i>striata</i>					+				cf.							

Table 8. Continued.

Site	Gyeongcheon				Deokdong				Otae				Yongyeon			
Species	Spring	Summer	Autumn	Winter	Spring	Summer	Autumn	Winter	Spring	Summer	Autumn	Winter	Spring	Summer	Autumn	Winter
<i>M. tonsurata</i> Teiling emend. Krieger				+			+	+			+					
<i>Mallomonas</i> sp. 3									+							
Synuraceae																
Synura																
<i>S. curtispina</i> (Petersen & Hansen) Asmund				+			+	+				+				cf.
<i>S. petersenii</i> Korshikov f. <i>petersenii</i>			+	+	+		+	+	+			+				+
<i>S. petersenii</i> f. <i>kufferathii</i> Petersen & Hansen				+												
<i>S. spinosa</i> Korshikov				+	+			+	+							
<i>S. uvella</i> Ehrenberg emend. Korshikov								+	+							
Total	1	1	4	11	6	0	17	10	9	0	8	7	2	0	0	6

cf.: confer

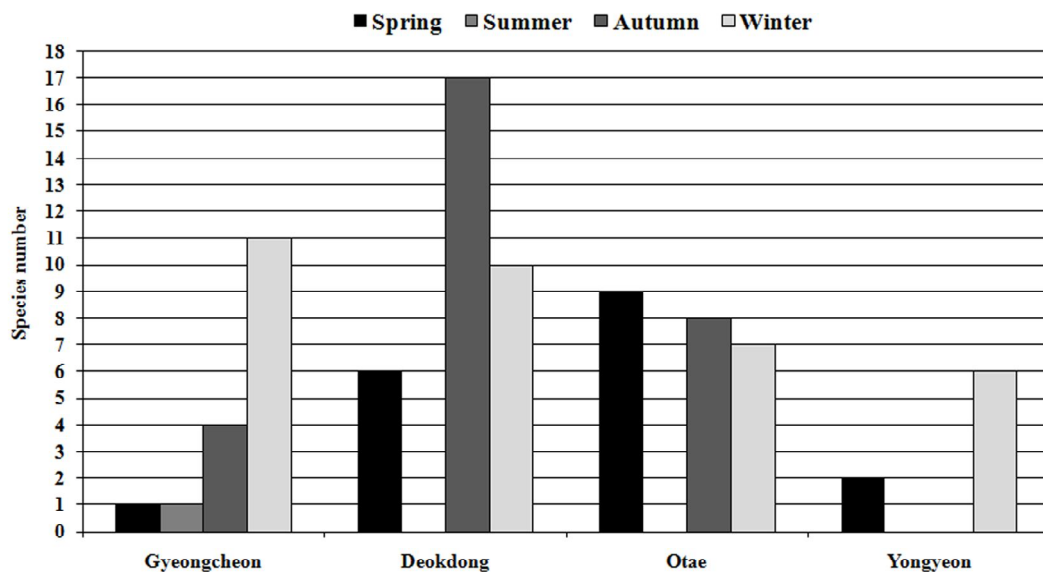


Figure 8. Species number of silica-scaled chrysophytes in each sampling reservoirs.

빈영양/중영양호인 4개 호소의 인편성 황갈조류는 덕동호에서 21종으로 4개 호소 중 가장 높은 종수를 나타내었으며, 용연지에서의 인편성 황갈조류는 8종으로 가장 낮은 종수를 나타내었다. 용연지는 다른 조사지점과 다르게 남조류가 여름과 가을에 우점하였는데, 인편성 황갈조류의 계절적 출현은 다른 식물플랑크톤 특히 여름과 가을의 남조류에 의한 shading, 경쟁(competition) 등의 영향을 받는 것으로 보인다(Kristiansen 1988).

4개 호소의 출현종 대부분은 전세계적으로 넓게 분포하는 종들이었다(Kristiansen & Preisig 2007). *Mallomonas caudata*는 연중 출현하며, 광적응성종(indifferent species)으로 부영양호와 빈영양호에 출현한다고 알려져 있다(Siver 1991). 이 종은 pH 6~7.5의 범위에서 최대로 출현하지만, pH 5 미만에서는 적게 발견된다. *Mallomonas caudata*는 때때로 부영양호에서 빈번하게 출현하며, 대량 증식하여 수화를 형성하기도 한다(Gutowski 1997; Kim & Hwang 2001). Lee & Kim(2007)의 배양실험 결과, *M. caudata*는 넓은 온도 범위에서 성장을 나타내었으며, 18℃ 또는 21℃에서 최대성장률을 나타내었다. 또한 pH에 대해서 넓은 pH 범위에서 성장을 나타내었으며, 특히 pH 5~7에서 최대성장률을 나타내었다. Kim *et al.*(2009)은 배양 실험을 통해 넓은 영양염 농도 범위에서 성장을 나타내었으며, 8.2 μM 또는 16.5 μM 의 질산염(NO_3)과 11.5 μM 의 인산염(PO_4) 농도의 부영양 이상의 조건에서 최대성장률을 나타내었다고 보고하였다. 본 연구의 빈영양/중영양호인 4개 호소에서 용연지를 제외하고 *M. caudata*는 가을과 겨울에 출현하였다. *Mallomonas elongata*는 저온성종(cold water taxon)으로 알려져 있으며, 호알칼리성 경향을 가진 pH 광적응성종(pH indifferent species)으로 알려져 있다(Siver 1991; Siver & Smol 1993). Lee *et al.*(2005)은 현장 조사 결과 *M. elongata*가 저온(12~18℃) 및 알칼리성 조건(pH 8.4~9.5)을 나타낸 수체에서 짧은 시기 동안 수화를 형성하였다고 보고하였다. 또한 다양한 수체에서 *M. elongata*를 분리하여 배양실험을 실시한 결과, 15℃ 또는 21℃의 낮은 온도에서 최대성장률을 나타내었으나 25℃의 높은 온도에서는 개체군성장이 나타나지 않았으며, pH 6의 약산성 조건에서 최대성장률을 나타내었다(Lee *et al.* 2005; Lee *et al.* 2007). 본 연구의 경천호에서 여름(25.9℃)에 *M. elongata*의 인편이 드물게 발견된 것을 제외하고 4개 호소에서는 21℃ 미만의 저온의 계절에서 발견되었다. *Synura curtispina*는 9.0~22.3℃의 온도, pH

6.4~8.6의 범위에서 출현하며(Barreto 2005), 넓은 영양염 농도 범위(총질소 186~669 $\mu\text{g l}^{-1}$, 총인 7~130 $\mu\text{g l}^{-1}$)에서 출현하지만(Barreto 2005), 부영양 조건에서 더 일반적으로 나타난다고 하였다(Siver 1995). 본 연구에서는 4개 호소 모두 겨울 또는 가을과 겨울에 출현하였다. *Mallomonas crassisquama* var. *crassisquama*, *S. petersenii* f. *petersenii*는 전 계절에 출현하며, 온도, pH와 같은 환경 요인에 대한 광적응성종들로 알려져 있으나(Siver 1991, 1995), 본 연구에서는 여름을 제외한 계절에 출현하였다.

2. 진촌늪에서 인편성 황갈조류의 계절적 변동

1) 환경요인

진촌늪은 환경요인 변동은 Figure 9와 같다. 수온은 1.75~33.2℃이었으며, pH 값은 6.55~9.9로 약산성에서 높은 알칼리성이었다. 전기전도도는 209~916 $\mu\text{S cm}^{-1}$ 로 나타났다. 총질소과 총인은 각각 1,755~4,921 $\mu\text{g l}^{-1}$ 과 24~346 $\mu\text{g l}^{-1}$ 로 부영양 상태를 나타내었다.

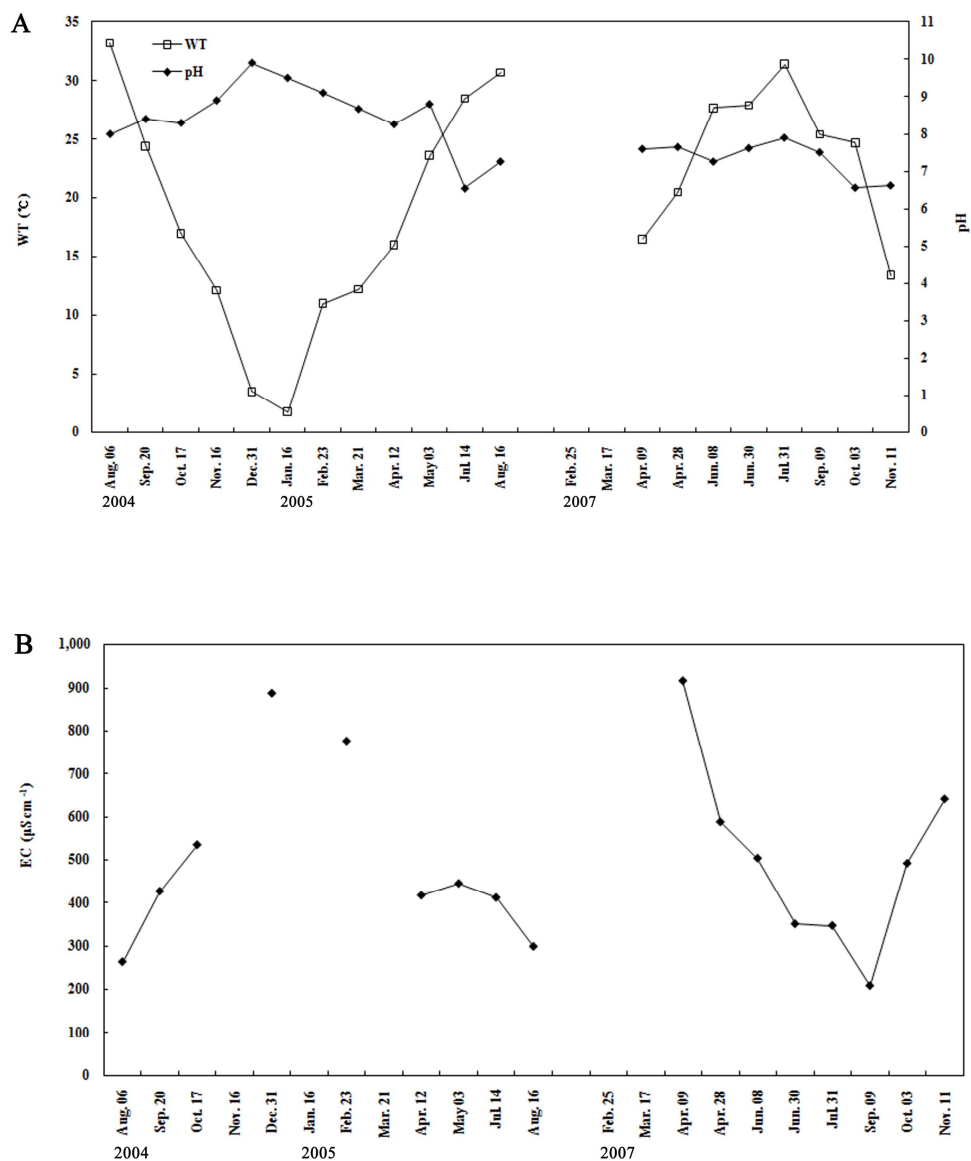


Figure 9. Physical and chemical Factors of Jinchon swamp. A: water temperature (WT, $^{\circ}\text{C}$) and pH. B: electrical conductivity (EC, $\mu\text{S cm}^{-1}$). C: total nitrogen (TN, $\mu\text{g l}^{-1}$) and total phosphorus (TP, $\mu\text{g l}^{-1}$).

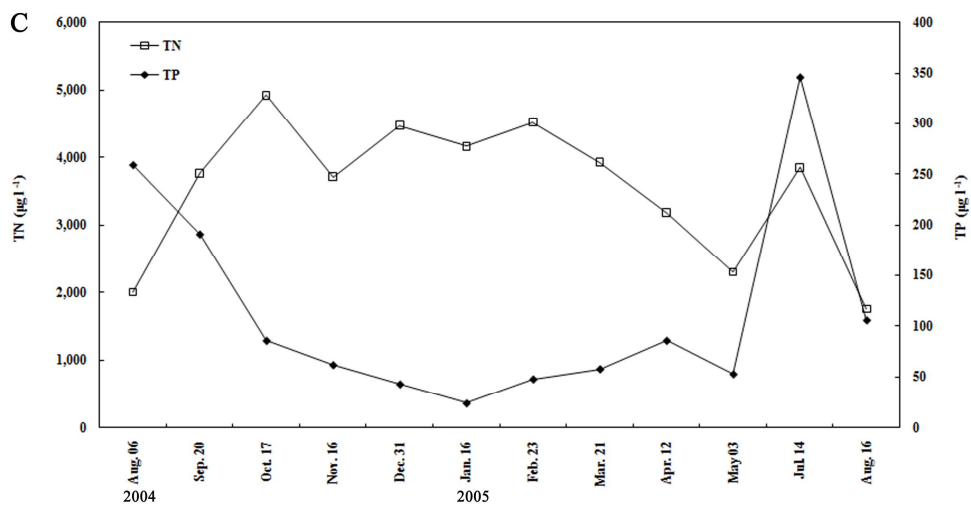


Figure 9. Continued.

2) 식물플랑크톤 및 인편성 황갈조류의 계절적 변동

식물플랑크톤의 계절적 변동은 Figure 10에 나타내었다.

진춘늪의 식물플랑크톤의 세포밀도는 2005년 1월에 최소치인 $1,210 \text{ cells ml}^{-1}$ 에서 2009년 11월에 최고치인 $25,514 \text{ cells ml}^{-1}$ 의 범위로 나타났다(Figure 10A). 분류군별 계절적 변동에서 규조류의 세포밀도가 전 계절에 걸쳐 높게 나타났으며, 녹조류는 봄과 여름에, 은편모조류는 봄에 높은 세포밀도를 나타내었다. 황갈조류는 봄과 가을에 높은 세포밀도를 나타내었다. 이 중 *Synura petersenii* f. *petersenii*는 10월 중($16.2 \sim 19.6^{\circ}\text{C}$, pH $8.3 \sim 8.5$)에 매우 높은 세포밀도를 나타내며(최고치 $25,514 \text{ cells ml}^{-1}$) 수화를 형성하였다(Figure 10B).

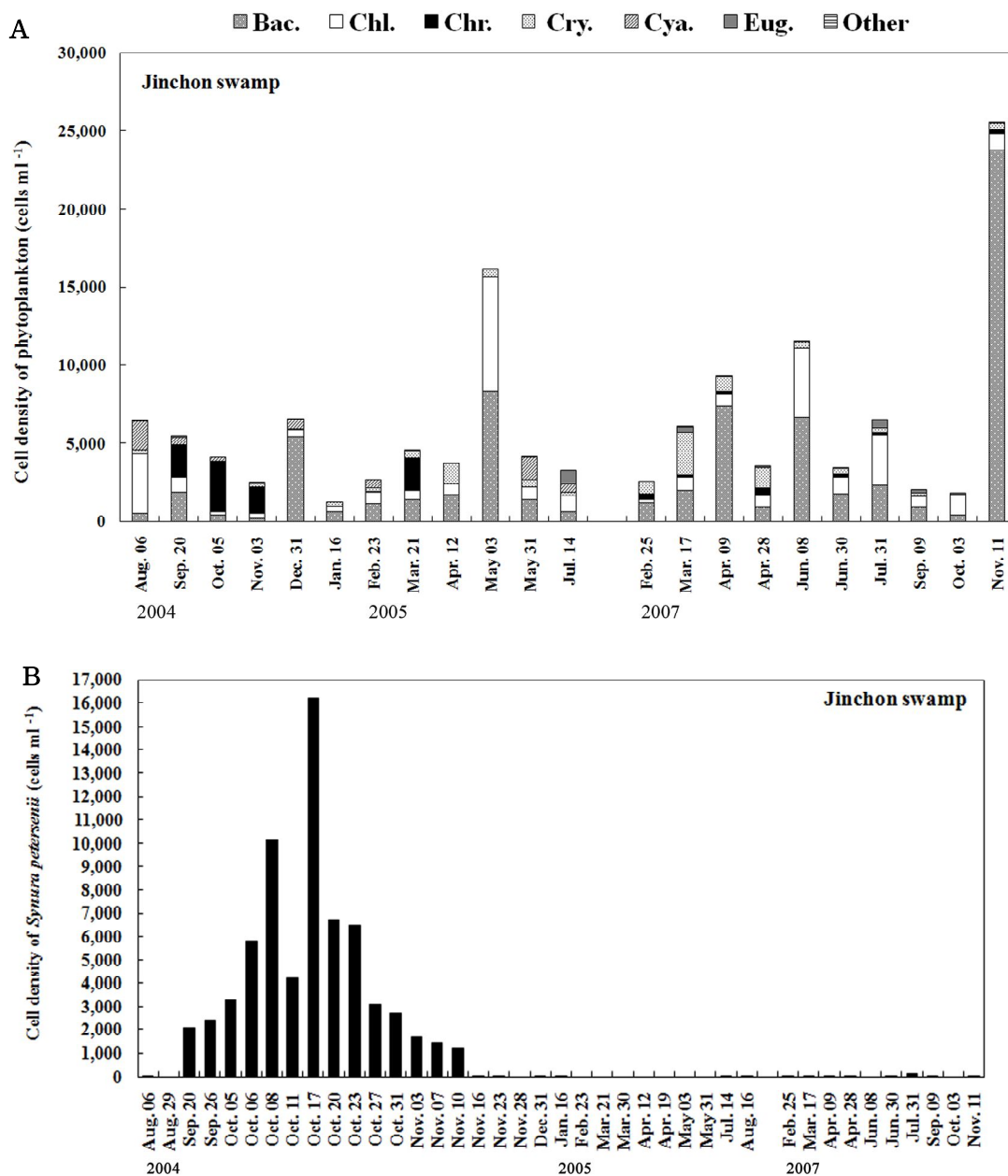


Figure 10. Cell density (cells ml⁻¹) of phytoplankton (A) and *Synura petersenii* (B) from August, 2004 to August, 2005 and February to November, 2007 in Jinchon swamp; Bac.= Bacillariophytes, Chl.= Chlorophytes, Chr.= Chrysophytes, Cry.= Cryptophytes, Cya.= Cyanophytes, Eug.= Euglenophytes.

3) 인편성 황갈조류의 군집구성

인편성 황갈조류의 계절적 변동과 계절별 총 종수는 Table 9와 Figure 11에 나타내었다.

본 연구에서는 인편성 황갈조류는 총 40종으로, 이 중 미동정종 5종 (*Paraphysomonas*속 2종, *Mallomonas*속 2종, *Synura*속 1종)이 포함되었다(Table 7). Paraphysomonadaceae과는 11종으로, *Chrysosphaerella*속 2종, *Paraphysomonas*속 7종, *Spiniferomonas*속 2종이 관찰되었으며, Mallomonadaceae과 *Mallomonas*속 23종, Synuraceae과 *Synura*속 6종이 관찰되었다.

인편성 황갈조류의 계절별 출현 총 종수는 31종으로 여름에 가장 많았으며, 그 다음으로 봄에 23종, 가을에 19종이 조사되었으며, 초봄과 가을에 12종으로 가장 적게 나타났다(Figure 11).

Table 9. Seasonal occurrence of silica-scaled chrysophytes in Jinchon swamp during the study period.

Month Species	Aug. 06 2004	Sep. 20	Oct. 17	Nov. 16	Dec. 31	Jan. 16 2005	Feb. 23	Mar. 21	Apr. 12	May 03	Jul. 14	Aug. 16	Feb. 25 2007	Mar. 17	Apr. 09	Apr. 28	Jun. 08	Jun. 30	Jul. 31	Sep. 09	Oct. 03	Nov. 11
Paraphysomonadaceae																						
<i>Chrysosphaerella</i>																						
<i>C. brevispina</i> Korshikov							+						+	+								
<i>C. coronacircumspina</i> Wujek et. Kristiansen	+										+											
<i>Paraphysomonas</i>																						
<i>P. bourrellyi</i> (Takahashi) Preisig & Hibberd											+											
<i>P. caelifrica</i> Preisig & Hibberd*											+											
<i>P. eiffelii</i> Thomsen*											+											
<i>P. subrotacea</i> Thomsen*											+											
<i>P. vestita</i> (Stokes) deSaedeleer	+				+				+		+	+	+					+	+	+		
<i>Paraphysomonas</i> sp.1											+											
<i>Paraphysomonas</i> sp.2												+										
<i>Spiniferomonas</i>																						
<i>S. silverensis</i> Nicholls	+																					
<i>S. trioralis</i> Takahashi	+				+						+	+		+						+		

Table 9. Continued.

Species \ Month	Aug. 06 2004	Sep. 20	Oct. 17	Nov. 16	Dec. 31	Jan. 16 2005	Feb. 23	Mar. 21	Apr. 12	May 03	Jul. 14	Aug. 16	Feb. 25 2007	Mar. 17	Apr. 09	Apr. 28	Jun. 08	Jun. 30	Jul. 31	Sep. 09	Oct. 03	Nov. 11
Mallomonadaceae																						
Mallomonas																						
<i>M. acaroides</i> Perty emend. Ivanov var. <i>acaroides</i>					+				+	+		cf.		+	+	+	+	+				
<i>M. akrokomos</i> Ruttner in Pascher		+	+	+									+	+	+							+
<i>M. alpina</i> Pascher & Ruttner emend. Asmund & Kristiansen					+				cf.				+	+	+							
<i>M. annulata</i> (Bradley) Harris							+						+	+	+							
<i>M. caudata</i> Ivanov emend. Willi Krieger			+			cf.					+	+		+			+	+	+			+
<i>M. corymbosa</i> Asmund & Hilliard**	+	+			cf.			cf.				cf.		+		+		+	+	+	+	+
<i>M. crassisquama</i> (Asmund) Fott var. <i>crassisquama</i>																			+			
<i>M. elongata</i> Reverdin														+	+	+						+
<i>M. heterospina</i> Lund					+		+		+				+	+			+					
<i>M. mangofera</i> Harris & Bradley var. <i>mangofera</i>	+		+								+		+							+		+

Table 9. Continued.

Species \ Month	Aug. 06 2004	Sep. 20	Oct. 17	Nov. 16	Dec. 31	Jan. 16 2005	Feb. 23	Mar. 21	Apr. 12	May 03	Jul. 14	Aug. 16	Feb. 25 2007	Mar. 17	Apr. 09	Apr. 28	Jun. 08	Jun. 30	Jul. 31	Sep. 09	Oct. 03	Nov. 11
<i>M. mangofera</i> var. <i>foveata</i> (Dürschmidt) Kristiansen																			+	+		
<i>M. matvienkoae</i> (Matvienko) Asmund & Kristiansen			+			cf.					cf.											
<i>M. oviformis</i> Nygaard													+	+								
<i>M. parvula</i> Dürschmidt			+																			+
<i>M. peronoides</i> (Harris) Momeu & Péterfi var. <i>peronoides</i>	cf.		cf.								+			cf.								
<i>M. peronoides</i> var. <i>bangladeshica</i> Takahashi & Hayakawa					cf.						+	+				+			+			
<i>M. portae-ferreae</i> Péterfi & Asmund												cf.						+				+
<i>M. punctifera</i> Korshikov		+	+									+		+					+		+	+
<i>M. striata</i> Asmund var. <i>striata</i>					cf.								+	cf.	+							
<i>M. tonsurata</i> Teiling emend. Willi Krieger	cf.				cf.						+	cf.			+	+						+
<i>M. trummensis</i> Cronberg												cf.	+									
<i>Mallomonas</i> sp. 4	+	+												+				+	+	+		+
<i>Mallomonas</i> sp. 5														+								

Table 9. Continued.

Month Species	Aug. 06 2004	Sep. 20	Oct. 17	Nov. 16	Dec. 31	Jan. 16 2005	Feb. 23	Mar. 21	Apr. 12	May 03	Jul. 14	Aug. 16	Feb. 25 2007	Mar. 17	Apr. 09	Apr. 28	Jun. 08	Jun. 30	Jul. 31	Sep. 09	Oct. 03	Nov. 11
Synuraceae																						
<i>Synura</i>																						
<i>S. curtispina</i> (Petersen & Hansen) Asmund		+	cf.								+	+	+	+		+		+	+			
<i>S. petersenii</i> Korshikov f. <i>petersenii</i>	+	+	+	+	+	+			cf.			+	+	+		+		+	+			+
<i>S. petersenii</i> f. <i>kufferathii</i> Petersen & Hansen														+					+	+		
<i>S. sphagnicola</i> (Korshikov) Korshikov												+										
<i>S. uvella</i> Ehrenberg emend. Korshikov											+			+					+			+
<i>Synura</i> sp.																			+			
Total	10	6	9	2	10	3	3	1	5	1	16	14	12	20	7	7	3	8	13	7	2	12

*: the first record in Korea

**: the first record in South Korea

cf.: confer

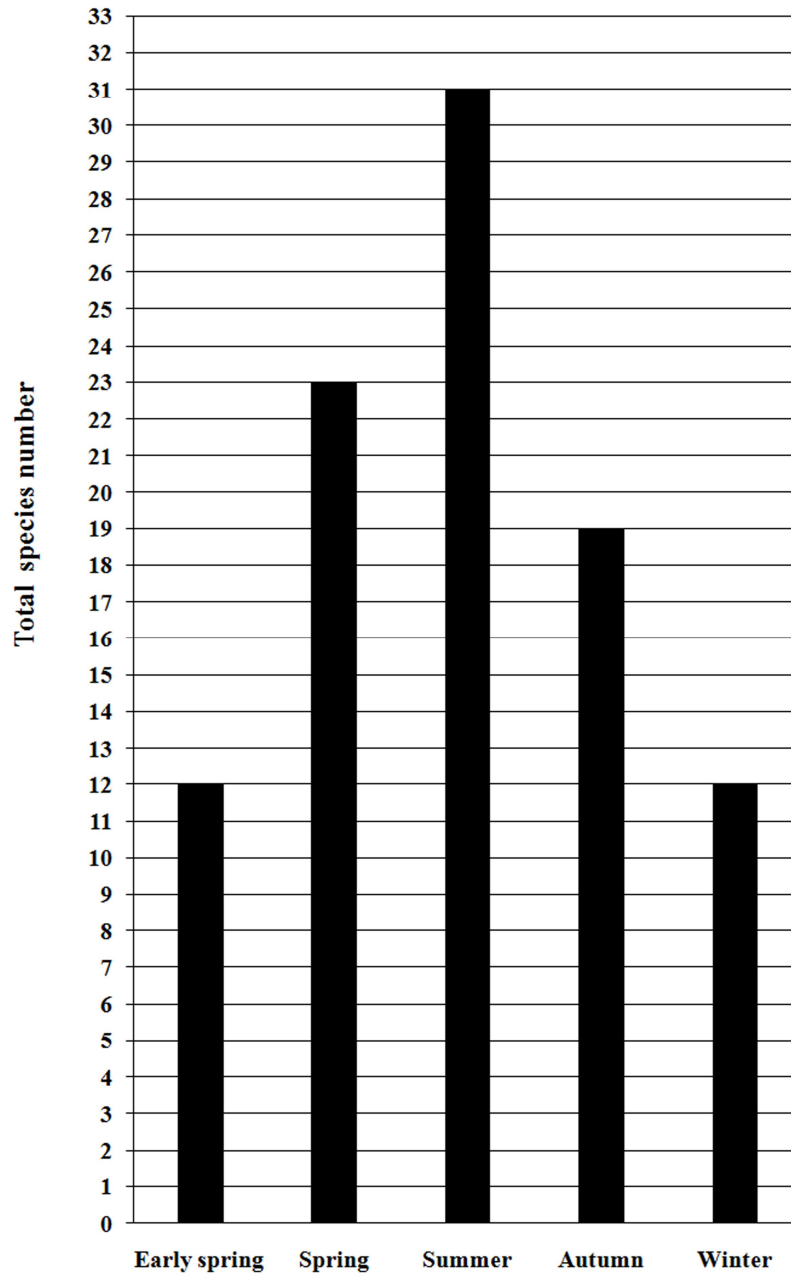


Figure 11. Total species number of silica-scaled chrysophytes in each season.

진춘늪의 인편성 황갈조류 대부분은 저온에서 뿐만 아니라 고온에서도 출현하였다. Gutowski(1997)는 대부분 높은 전기전도도($521 \sim 1,044 \mu\text{S cm}^{-1}$)를 나타낸 독일의 29개 부영양화된 알칼리성 호소들에 대해서 황갈조류는 봄과 가을에 우점하였으며, 여름에는 다른 조류종에 의해서 대체되었다고 보고하였다. 또한 낮은 온도에서 많은 종수를 나타낸다고 보고하였다. Kristiansen(1988)은 부영양화된 알칼리성 호수인 Tystrup Sø에서 인편성 황갈조류의 종수는 봄에 가장 많았고, 봄과 가을을 제외하고 채집 시기 당 종수는 0~5종의 범위로 나타났으며, 여름에 가장 적게 나타났다고 보고하였다. Kiss & Kristiansen(1994)는 인편성 황갈조류는 연중 낮은 밀도를 나타내지만, 때때로 봄과 가을에 몇몇 종들이 빈번하게 출현하며, 수화를 형성한다고 보고하였다. 본 연구에서 황갈조류는 봄과 가을에 세포밀도가 높았으며, 특히 가을에는 *S. petersenii* f. *petersenii*가 수화를 형성하였다. 이 결과들은 이전 연구들의 결과와 일치하였다. 그러나 종수의 계절적 변화는 이전의 결과와는 다소 차이가 있었다. 본 연구에서는 봄과 가을보다는 여름($>27.5^{\circ}\text{C}$)에 더 많은 종들을 관찰하였다. 일반적으로 부영양호에서는 남조류와 녹조류가 상대적으로 높은 구성비율을 차지하며(Eloranta 1986; Naselli-Flores & Barone 2000), 남조류가 종종 여름 또는 여름과 가을 동안 우점한다(Kristiansen 1988; Kim 2001; Kim & Kim 2004). 또한 Kristiansen(1988)은 인편성 황갈조류의 적은 출현은 여름과 가을에 걸쳐 남조류의 큰 개체군 성장과 동시에 일어난다고 보고하였다. 다른 부영양된 수체와는 다르게 진춘늪의 식물플랑크톤 군집은 연중 규조류가 빈번하게 출현하거나 우점하였으며, 남조류가 여름을 포함한 모든 계절에 걸쳐 매우 드물었다. 인편성 황갈조류는 종 출현과 개체군 성장(population growth)에 있어서 저온을 선호하지만, 만약 남조류가 여름과 가을에 걸친 주요 우점종이 아니라면, 인편성 황갈조류의 세포밀도는 매우 낮지만, 33°C 와 같은 높은 온도에서도 많은 종들이 출현할 것이다.

Kristiansen(1988)은 부영양호인 Tystrup Sø에서 인편성 황갈조류의 계절적 출현(occurrence)에 대해 3개 계절형(seasonality types)을 나타낸다고 하였다.; 봄 출현(in spring only), 봄/가을 출현종(in spring and autumn), 여름 포함 전 계절 출현(during the whole year including summer). 또한 그는 종의 대다수는 초봄을 포함한 낮은 온도에서 주로 출현한다고 하였다. 본 연구에서는 대부분의 종들이 넓은 온도 범위에서 출현하였지만, 몇몇 종들은 특정한 계절을 선호하였다(Table 10).

Table 10. Seasonal characteristics of silica-scaled chrysophytes in Jinchon swamp.

occurrence		Whole season	cool/cold season & warm season (summer)	cool/cold season	warm season (only summer)
Paraphysomonadaceae	<i>Chrysosphaerella</i>			<i>C. brevispina</i>	<i>C. coronacircumspina</i>
	<i>Paraphysomonas</i>	<i>P. vestitia</i>			<i>P. bourrellyi</i> <i>P. caelifrica</i> <i>P. eiffelii</i> <i>P. subrotacea</i>
	<i>Spiniferomonas</i>	<i>S. trioralis</i>			<i>S. silverensis</i>
Mallomonadaceae	<i>Mallomonas</i>	<i>M. caudata</i> <i>M. corymbosa</i> <i>M. tonsurata</i>	<i>M. acaroides</i> var. <i>acaroides</i> <i>M. heterospina</i> <i>M. mangofera</i> var. <i>mangofera</i> <i>M. mangofera</i> var. <i>foveata</i> <i>M. matvienkoae</i> <i>M. peronoides</i> var. <i>peronoides</i> <i>M. peronoides</i> var. <i>bangladeshica</i> <i>M. portae-ferreae</i> <i>M. punctifera</i> <i>M. trummensis</i>	<i>M. akrokomos</i> <i>M. alpina</i> <i>M. annulata</i> <i>M. elongata</i> <i>M. oviformis</i> <i>M. parvula</i> <i>M. striata</i> var. <i>striata</i>	<i>M. crassisquama</i> var. <i>crassisquama</i>
	<i>Synura</i>	<i>S. petersenii</i> f. <i>petersenii</i>	<i>S. curtispina</i> <i>S. petersenii</i> f. <i>kufferathii</i> <i>S. uvella</i>		<i>S. sphagnicola</i>

Paraphysomonas vestitia, *Spiniferomonas trioralis*, *Mallomonas caudata*, *M. corymbosa*, *M. tonsurata*, *Synura petersenii* f. *petersenii*는 전 계절에 걸쳐 관찰되었다. 이들 종들은 다른 많은 연구에서도 역시 명확한 계절성이 없는 것으로 나타났다(Roijackers 1986; Gutowski 1989, 1997; Siver 1991; Siver & Hamer 1992; Lee & Takahashi 1993; Ikävalko 1994; Kim *et al.* 1995; Kim & Hwang 2001; Franceschini & Kristiansen 2004).

몇몇 종들은 저온의 계절(cool/cold season) 뿐만 아니라 여름(warm season)에도 출현하였다. Siver(1991)과 Gutowski(1997)은 *M. acaroides* var. *acaroides*, *M. heterospina*, *M. matvienkoeae*, *M. punctifera*가 넓은 온도 범위에서 내성을 나타낸다고 보고하였으며, 본 연구결과도 일치하였다. *M. mangofera* var. *mangofera*와 *M. mangofera* var. *foveata*, *M. peronoides* var. *peronoides*와 *M. peronoides* var. *bangladeshica*, *M. portae-ferreae*는 서늘한 또는 추운 계절에 출현한다고 알려져 있다(Ito 1991; Siver 1991; Gutowski 1997; Kim & Takamura 2001; Barreto 2005). 또한 그들은 열대지역 또는 아열대지역과 온대지역의 따뜻한 계절 동안에도 출현한다고 보고되었다(Cronberg 1989; Saha & Wujek 1990; Péterfi & Momeu 1996; Siver & Vigna 1996; Gutowski 1997; Wei & Yuan 2001; Vigna *et al.* 2005; Kristiansen & Preisig 2007; Kim *et al.* 2009). *Mallomonas trummensis*는 저온의 수체에서 발견되었으나(Cronberg 1975; Němcová *et al.* 2003), 본 연구에서는 *M. cf. trummensis*와 *M. trummensis*의 인편과 강모(bristle)를 각각 여름(30.7℃)과 초봄에 관찰되었다. *Synura curtispina*와 *S. uwelli*는 전 계절에 관찰되며(Roijackers 1986; Gutowski 1989; Ikävalko 1994), 반면 *S. petersenii* f. *kufferathii*는 겨울과 봄(0.5~20℃)에 출현하며(Gutowski 1989), 열대지역 또는 따뜻한 수체에서는 드물게 발견된다고 보고되었다(Saha & Wujek 1990; Kim *et al.* 2009).

Chrysosphaerella brevispina 등 8종은 저온의 계절(cool/cold seasons)에 출현하였다. *Chrysosphaerella brevispina*는 주로 저온의 수체에서 출현하지만(Cronberg & Kristiansen 1980; Roijackers 1986; Roijackers & Kessels 1986; Kristiansen 1988; Wee & Gabel 1989), 연중 출현하며, 특히 6월과 7월(23~29.2℃)에 정점을 나타낸다고 보고되었다(Lee & Takahashi 1993). *Mallomonas akrokomos*, *M. annulata*, *M. striata* var. *striata*, *M. elongata*는 따뜻한 수체 또는 모든 계절에

걸쳐 출현할 수 있으나(Hällfors & Hällfors 1988; Ito 1991; Siver 1991; Calado & Craveiro 1995; Barreto 2005; Kim *et al.* 2009), 일차적으로 저온을 선호한다(Takahashi 1978; Cronberg & Kristiansen 1980; Kristiansen 1985, 1988; Ito 1988; Siver 1991; Gutowski 1989, 1997). Gutowski(1997)는 *M. alpina*와 *M. parvula*는 온도에 대한 광적응성종라고 보고하였다. 그러나 본 연구에서는 cold seasons에서만 관찰되었다. *Mallomonas oviformis*는 저온성종(cold water form)으로 알려져 있으며, 부영양화된 알칼리성 연못에서 겨울부터 봄까지 분포하며(Siver 1991; Gutowski 1997), 이는 본 연구의 결과와 일치하였다.

많은 Paraphysomonadacea과의 종들과 *Mallomonas crassisquama* var. *crassisquama*, *S. sphagnicola*는 오직 여름(warm season)에만 관찰되었다. *Chrysosphaerella coronacircumspina*는 모든 계절에 출현하며, polythermal로 분류된다고 하였으나(Roijackers 1986; Ikävalko 1994), 몇몇의 연구들은 주로 여름에 출현한다고 하였다(Hällfors & Hällfors 1988; Ikävalko 1994). *Paraphysomonas bourrellyi*는 모든 계절에 출현한다고 하였다(Ito & Takahashi 1982; Preisig & Hibeerd 1982; Lee & Takahashi 1993). *Paraphysomonas caelifrica*와 *P. subrotacea*는 모든 계절에 빈번하게 출현하지만, *P. eiffelii*는 매우 드물게 관찰된다(Preisig & Hibberd 1982a, 1982b). Barreto(2005)는 *S. silverensis*가 저온(9.6°C)에서 발견된다고 하였다. *Mallomonas crassisquama* var. *crassisquama*는 모든 계절에 출현하며, 넓은 온도 범위에서 내성을 가진다(Siver 1991). 그러나 본 연구에서는 이 종들이 여름에만 출현하였다. *Synura sphagnicola*는 고온성종(warm water taxon)으로 잘 알려져 있으며(Kristiansen 1975; Siver & Hamer 1992), 이는 본 연구의 결과와 일치하였다.

결론적으로 부영양호인 진촌늪에서 인편성 황갈조류의 세포밀도는 저온의 계절에 높게 나타났다. 특히 *S. petersenii* f. *petersenii*는 가을에 높은 세포밀도를 나타내며 수화를 형성하였다. 대부분의 종들이 넓은 온도 범위에서 출현하지만, 몇몇 종들은 특정 계절을 선호하였다. Paraphysomonadaceae과의 대부분 종들과 *S. sphagnicola*는 여름에만 발견되었다. 다른 부영양호와 달리, 진촌늪에서 인편성 황갈조류의 계절적 출현은 다른 식물플랑크톤의 특징적인 계절적인 분포와 환경요인들(e.g. 수온, pH 등)의 복합적인 상호작용의 영향을 받을 것이다. 특히 종수의 계절적 변화는 남조류의 출현과 우점 여부에 영향을 받는 것으로 보인다.

3. 화왕산 용지와 습지에서 인편성 황갈조류의 계절적 변동

1) 환경요인

본 연구에서 화왕산 용지와 습지의 환경요인 변동은 Figure 12에 나타내었다. 수온은 각각 5.7~25.2℃과 7.4~25.6℃의 범위로 나타났다(Figure 12A). pH 값은 용지가 5.63~8.65, 습지가 5.75~7.99로, 약산성에서 높은 알칼리성을 나타내었으며, 용지에서 2008년 7월부터 11월까지 약산성을 나타낸 반면, 습지에서는 2008년 4월과 6월을 제외한 모든 조사 시기에 약산성을 나타내었다(Figure 12B). 전기전도도는 용지에서 57.7~88.8 $\mu\text{S cm}^{-1}$, 습지에서 48.9~320 $\mu\text{S cm}^{-1}$ 로 나타났으며, 2008년 10월에 습지의 전기전도도가 높게 나타낸 것은 건조에 의해 물이 가물었기 때문인 것으로 보인다(Figure 12C). 용지의 총질소과 총인은 각각 118~640 $\mu\text{g l}^{-1}$ 과 69~136 $\mu\text{g l}^{-1}$ 로 나타내었다(no Figures).

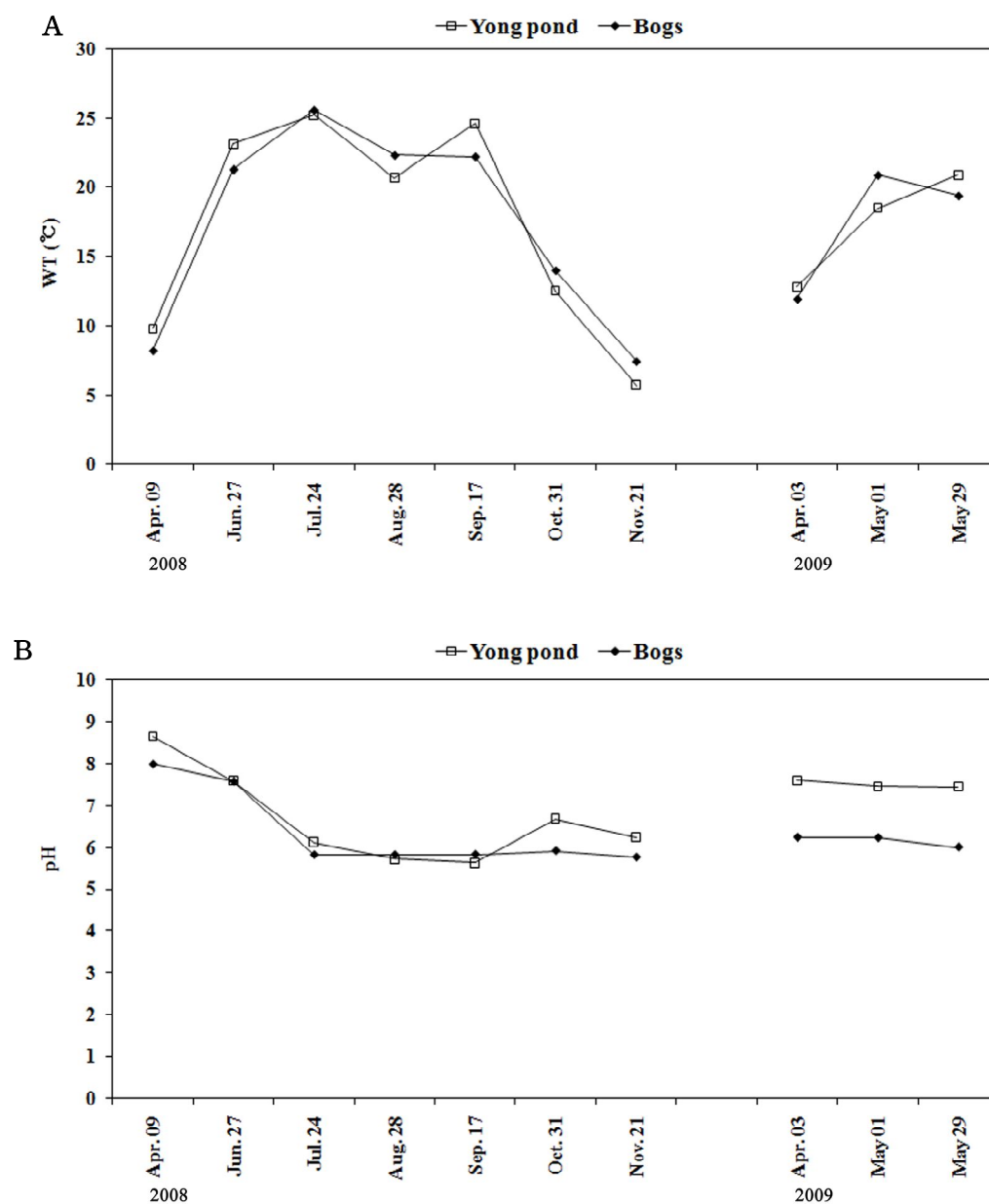


Figure 12. Physical and chemical data of Yong pond and bogs at Mt. Hwawang. A: water temperature (WT, °C), B: pH. C: electrical conductivity (EC, $\mu\text{S cm}^{-1}$).

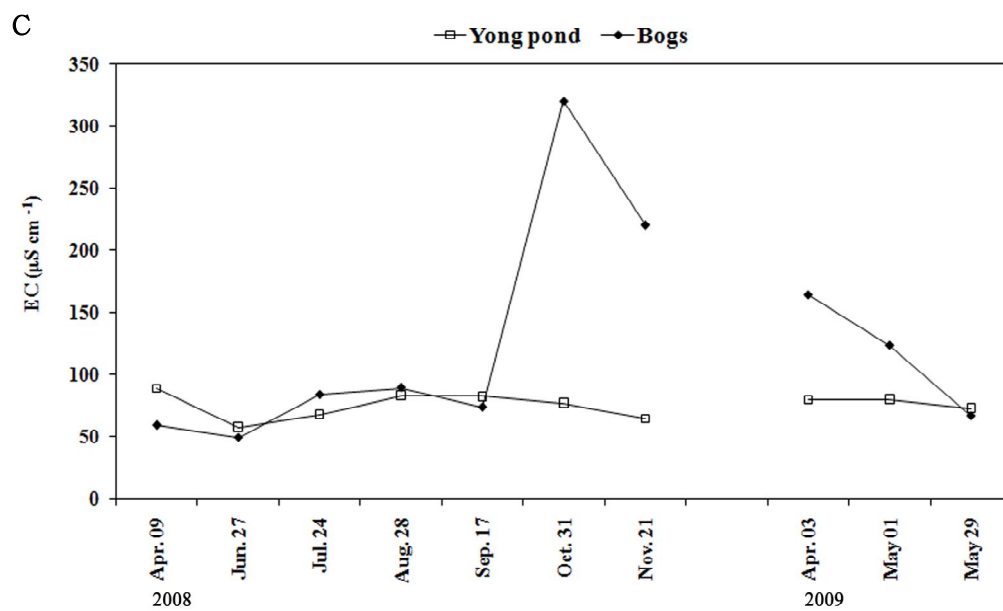


Figure 12. Continued.

2) 식물플랑크톤의 계절적 변동

식물플랑크톤 및 인편성 황갈조류의 세포밀도 변화는 용지에서 조사되었으며, 결과는 Figure 13에 나타내었다.

용지에서 식물플랑크톤 총 세포밀도는 2008년 6월에 최고치인 $203,045 \text{ cells ml}^{-1}$ 을 나타내었으며, 녹조류가 우점하였다. 인편성 황갈조류는 봄에 높게 나타났다. 2009년 4월에 식물플랑크톤 세포밀도의 최고치인 $12,183 \text{ cells ml}^{-1}$ 을 나타내었으며, 그 중 *Chrysosphaerella brevispina*가 약 56%의 구성 비율로 우점하였다.

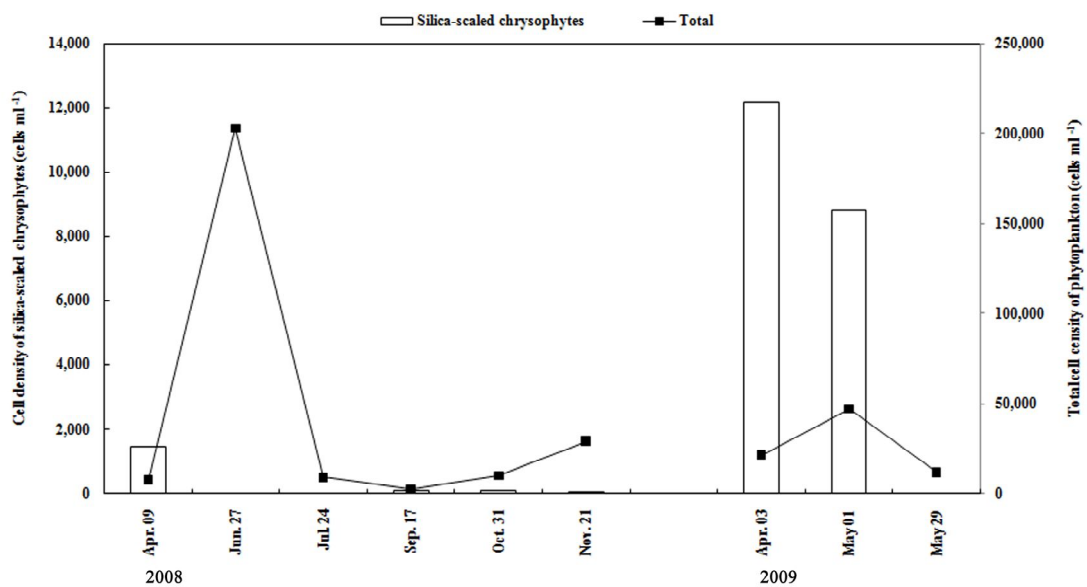


Figure 13. Cell density (cells ml⁻¹) of silica-scaled chrysophytes from April, 2008 to May, 2009 in Yong pond.

3) 인편성 황갈조류의 군집구성

화왕산 용지와 습지에서 인편성 황갈조류 총 20종이 관찰되었다(Table 11). Paraphysomonadaceae과는 7종으로, *Chrysosphaerella*속 2종, *Paraphysomonas*속 3종, *Spiniferomonas*속 2종을 포함하였으며, Mallomonadaceae과 *Mallomonas*속은 12종, Synuraceae과 *Synura*속은 1종이었다. 본 연구에서 한국 미기록종은 2009년 4월과 11월에 습지에서 *M. verrucosa*를 동정·분류하였다.

인편성황갈조류의 조사시기별 종수는 용지가 3~10종, 습지가 1~11종의 범위로 나타났다(Figure 14). 특히 *Synura*속은 습지에서만 관찰되었다. 용지와 습지에서 모두 *Paraphysomonas vestita*, *Mallomonas crassisquama* var. *crassisquama*, *M. punctifera*가 가장 빈번하게 출현하였다. 특히 *M. crassisquama* var. *crassisquama*와 *M. punctifera*는 용지에서 모든 조사 시기에 걸쳐 출현하였다. 반면에 *Chrysosphaerella coronacircumspina*, *M. cf. matvienkoeae*는 용지에서만 출현하였으며, *Mallomonas akrokomos*, *M. clavus*, *M. papillosa*, *M. verrucosa*, *Synura petersenii* f. *peterseii*는 습지에서만 출현하였다.

*Mallomonas verrucosa*는 Vigna(1981)에 의해 남미 아르헨티나(Argentina)에서 처음 발견되었으며, 현재까지 고유종으로 알려져 있었다. 본 연구에서 이 종의 발견으로 생물지리학적인 분포(biogeographical distribution) 측면에서 큰 의미를 지닌다.

Table 11. List of silica-scaled chrysophytes in Yong pond and bogs at Mt. Hwawang.

Site	Yong pond										Bogs									
Month	Apr. 09 2008	Jun. 27	Jul. 24	Aug. 28	Sep. 17	Oct. 31	Nov. 21	Apr. 03 2009	May 01	May 29	Apr. 09 2008	Jun. 27	Jul. 24	Aug. 28	Sep. 17	Oct. 31	Nov. 21	Apr. 03 2009	May 01	May 29
Species																				
Paraphysomonadaceae																				
Chrysophaerella																				
C. brevispina Korshikov								+	+	+									+	+
C. coronacircumspina Wujek et. Kristiansen									+											
Paraphysomonas																				
P. bourrellyi (Takahashi) Preisig & Hibberd	+				+	+		+			+					cf.	+			
P. imperforata Lucas						+						+								
P. vestita (Stokes) deSaedeleer	+		+	+	+	+	+			+	+	+	+	+	+	+	+		+	+
Spiniferomonas																				
S. septispina Nicholls										+										
S. trioralis Takahashi			cf.		+	+	+	+		+						cf.	cf.			+

Table 11. Continued.

Site Month Species	Yong pond										Bogs									
	Apr. 09 2008	Jun. 27	Jul. 24	Aug. 28	Sep. 17	Oct. 31	Nov. 21	Apr. 03 2009	May 01	May 29	Apr. 09 2008	Jun. 27	Jul. 24	Aug. 28	Sep. 17	Oct. 31	Nov. 21	Apr. 03 2009	May 01	May 29
Mallomonadaceae																				
<i>Mallomonas</i>																				
<i>M. akrokomos</i> Ruttner in Pascher											+						+			
<i>M. clavus</i> Bradley																			+	
<i>M. crassisquama</i> (Asmund) Fott var. <i>crassisquama</i>	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+		+	+
<i>M. crassisquama</i> var. <i>papillosa</i> Siver & Skogstad		+	cf.			+	+	+		+	+					+			+	+
<i>M. heterospina</i> Lund								+	+	+									+	+
<i>M. lelymene</i> Harris & Bradley																			+	+
<i>M. mangofera</i> Harris & Bradle var. <i>mangofera</i>					+	+	+									+				
<i>M. matvienkoe</i> (Matvienko) Asmund & Kristiansen										cf.										
<i>M. paillosa</i> Harris & Bradley																	+	+	+	+
<i>M. punctifera</i> Korshikov	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+			+	+		+	

Table 11. Continued.

Site	Yong pond										Bogs									
Month Species	Apr. 09 2008	Jun. 27	Jul. 24	Aug. 28	Sep. 17	Oct. 31	Nov. 21	Apr. 03 2009	May 01	May 29	Apr. 09 2008	Jun. 27	Jul. 24	Aug. 28	Sep. 17	Oct. 31	Nov. 21	Apr. 03 2009	May 01	May 29
<i>M. trummensis</i> Cronberg								+	+	+									+	
<i>M. verrucosa</i> Vigna*											+						+			
Synuraceae																				
<i>Synura</i>																				
<i>S. petersenii</i> Korshikov f. <i>petersenii</i>																			+	+
Total	4	3	5	3	6	8	6	8	6	10	7	4	3	2	2	7	8	1	11	9

*: the first record in Korea

cf.: confer

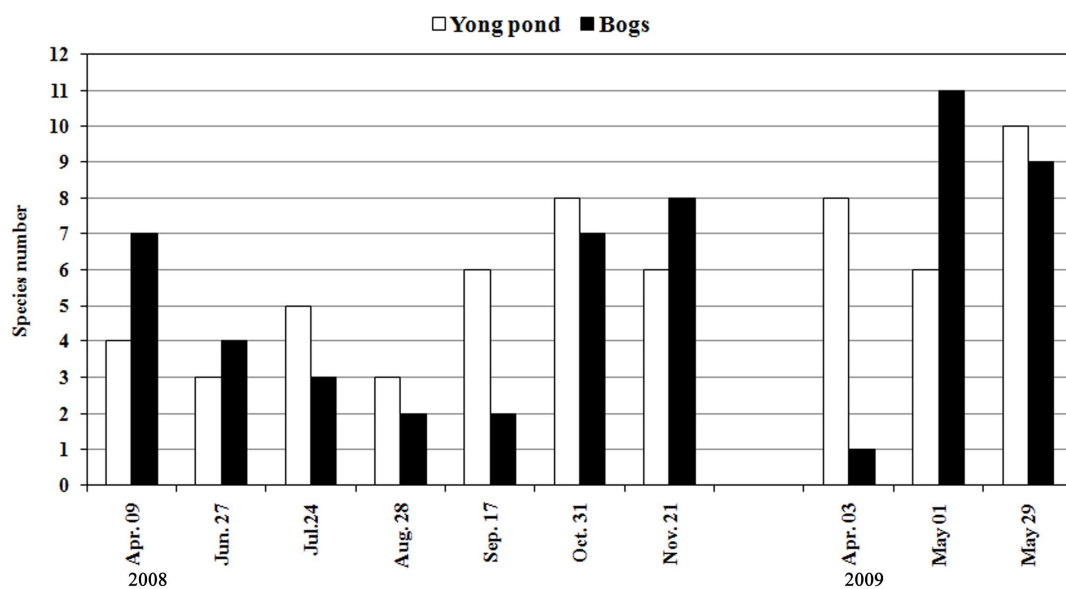


Figure 14. Species number of silica-scaled chrysophytes in Yong pond and Bogs at Mt. Hwawang.

화왕산 용지와 습지는 높은 지대(약 756 m)에 위치하여 연중 대체적으로 낮은 수온(<25.2℃)을 나타내었으며, 용지와 습지의 2008년 4월과 6월, 용지의 2009년 4월과 5월에 알칼리성 조건을 나타낸 것을 제외하고 두 수체는 약산성의 조건을 나타내었다. 용지에서의 식물플랑크톤 군집에서 황갈조류는 저온에서 높은 세포밀도를 나타내었으며, 특히 *Chrysosphaerella brevispina*가 가장 높은 세포밀도(최고치 11,896 cells ml⁻¹)로 우점하였다. 이전 연구들에서 *C. brevispina*는 저온의 수체에서 출현한다고 하였으나(Kristiansen 1988; Wee & Gabel 1989), Lee & Takahashi(1993)는 이 종이 연중 출현하며, 특히 23~29.3℃의 높은 온도에서 정점을 나타낸다고 하였다. 본 연구에서 *C. brevispina*는 봄 시기에만 출현하였으며, 12.8℃의 저온의 조건에서 최대 세포밀도로 우점하여 Lee & Takahashi(1993)의 결과와 일치하지 않았다.

본 연구에서 *Paraphysomonas vestita*, *Mallomonas crassisquama* var. *crassisquama*, *M. punctifera*는 용지와 습지에서 가장 빈번하게 출현한 종이며, 대부분의 조사 시기에 관찰되었다. *Spiniferomonas trioralis*와 *M. crassisquama* var. *papillosa*는 봄, 여름, 가을 시기에 출현하였다. 이 중 대부분은 명확한 계절성이 없거나 넓은 온도 범위에서 내성을 나타내는 것으로 알려져 있다(Siver 1991; Kim *et al.* 1995). *Chrysosphaerella coronacircumspina*, *Spiniferomonas septispina*, *Mallomonas clavus*, *M. heterospina*, *M. lelymene*, *M. cf. matvienkoae*, *M. trummensis*, *Synura petersenii* f. *petersenii*는 봄 시기에만 출현하였다. *Chrysosphaerella coronacircumspina*, *M. matvienkoae*, *S. petersenii* f. *petersenii*는 모든 계절에 출현하거나, 명확한 계절성이 없는 것으로 알려져 있으며(Siver 1991; Ikävalko 1994), 부영양화된 진춘늪에서는 높은 온도에서도 출현하는 것으로 나타났다. Kim *et al.*(1995)은 *S. septispina*를 낙동강에서 9월(가을)에 발견하였으나, 본 연구에서는 2009년 5월(봄)에 발견되었다. *Mallomonas clavus*와 *M. lelymene*는 산성의 수체에서 종종 발견되어지며(Takahashi & Hirose 1972; Siver 1991; Barreto 2005), 본 연구에서도 2008년 4월과 6월을 제외하고 산성의 조건을 나타내었던 습지에서만 발견되었다. *Mallomonas heterospina*는 저온성종(cold water species)으로 알려져 있으며(Siver 1991), 본 연구의 결과와 일치하였다. *Mallomonas trummensis*는 저온의 수체에서 발견되는 것으로 알려져 있으며

(Cronberg 1975; Němcová *et al.* 2003), 본 연구의 결과와 일치하지만, 부영양화된 진춘늪에서는 *M. trummensis*의 강모와 인편은 초봄(early spring) 뿐만 아니라 고온(30.7°C)의 여름 시기에도 출현하는 것으로 나타났다. *Mallomonas mangofera* var. *mangofera*는 겨울과 봄의 저온의 계절에 일차적으로 발견되는 산성종(acidic organism)으로 관찰되어지며(Siver 1991), 본 연구에서도 가을 시기에 산성의 조건에서 출현하였다. *Paraphysomonas bourrellyi*, *Mallomonas akrokomos*, *M. papillosa*, *M. verrucosa*는 봄과 가을 시기에 출현하였다. *Paraphysomonas bourrellyi*는 모든 계절에 출현하는 것으로 알려져 있다(Ito & Takahashi 1982; Preisig & Hibberd 1982; Lee & Takahashi 1993). *Mallomonas akrokomos*는 넓은 온도 범위에서(eurythermal) 출현하지만(Siver 1991), 겨울과 봄에 높은 세포밀도를 나타내며, 여름(mid-summer)에 최소로 나타난다(Siver 1991; Kim & Takamura 2001). 또한 이 종은 넓은 pH 범위(5.2~8.0)에서 관찰되며, 산성종(acidophilous species) 또는 pH 광적응성종(pH indifferent species)으로 알려져 있다(Siver 1991). *Mallomonas papillosa*는 저온을 선호하며, pH에 대해 산성종(acidobiontic & acidophilous species) 또는 광적응성종으로 출현한다(Siver 1991). 본 연구에서 두 종 모두 산성 조건의 습지에서 저온의 봄과 가을에 발견되었다. *Mallomonas verrucosa*는 남미의 아르헨티나의 고유종으로 알려져 있으나(Vigna 1981), 본 연구에서 습지에서 저온의 시기인 2008년 4월(8.2°C, pH 7.99, 58.9 $\mu\text{S cm}^{-1}$)과 11월(7.4°C, pH 5.75, 220 $\mu\text{S cm}^{-1}$)에 발견되었다.

용지와 습지에서 *Mallomonas caudata*, *M. elongata*, *M. tonsurata*는 관찰되지 않았다. 이 종들은 전세계적으로 널리 분포하며, 알칼리성종(alkaliphilic species) 또는 pH 광적응성종으로 알려져 있다(Takahashi 1978; Siver 1989, 1991; Péteri *et al.* 1998). 또한 경상도 일대 대부분의 조사지점에서 빈번하게 출현하는 종들이었다. Barreto(2005)는 헝가리의 화산활동에 의해 생성된 Pilis/Visegrád Mountains의 대부분의 수체들은 부영양화된 작은 산성습지못(acidic bog pond)으로, *M. caudata*와 *M. tonsurata*가 발견되지 않았다고 보고하였다. 그러나 Nováková *et al.*(2004)는 pH 6.5인 약산성의 Kachemoor에서 *M. caudata*와 *M. tonsurata*의 인편을 관찰하였다고 보고하였으며, Němcová *et al.*(2003)은 pH 4.6의 낮은 pH 조건을 나타낸 빈영양 빙하호(Lake Černé)에서 *M. caudata*를 관찰하였다고 보고하였다.

*Mallomonas caudata*와 *M. elongata*는 배양실험을 통해 pH 5~6의 다소 낮은 pH 조건에서 최대성장률을 나타내었다(Lee & Kim, 2007; Kim *et al.* 2009). *Mallomonas caudata*, *M. elongata*, *M. tonsurata*의 계절적 출현과 분포에 있어 낮은 pH 조건이 상당히 큰 제한 요인으로 작용하지만 절대적이지는 않은 것으로 보인다. 또한 이는 pH와 같은 단일의 환경요인이 아닌 다른 환경 요인(온도, 영양염 등)들과의 상호복합적인 영향을 받는 것으로 보인다.

III. 수화형성종 *Synura petersenii*의 성장 특성

1. 온도, pH, 광도가 *Synura petersenii*의 성장에 미치는 영향

본 연구에 사용된 *Synura petersenii* 중 국내 수체에서 분리한 3개 균주, JCSP, JDSP, WMSP의 온도, pH, 광도에 대한 성장특성 연구는 Kim *et al.* (2008)이 동일한 균주를 사용하여 수행하였으며, 3개국에서 분리된 CAUPD5(체코), CCMP854(미국), NIES1007(일본) 등의 3개 균주를 추가하여 온도에 대한 성장특성을 조사하였다. 온도, pH, 광도에 대한 *Synura petersenii*의 성장 조건은 Table 12와 같다.

Table 12. Growth conditions of *Synura petersenii* [Data of three strains from Korea (JCSP, JDSP and WMSP strains) referred to Kim *et al.* (2008)].

Strain	Culture experiments					
	Temperature (9~27℃)		pH (5.5~8.5)		Light intensity (4~112 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ at 9, 15, 21℃)	
	Population growth	Maximum growth rate(μ_{max})	Population growth	Maximum growth rate(μ_{max})	Population growth	Maximum growth rate(μ_{max})
JCSP	9~27℃	15℃	5.5~8.2	8.0	6~112 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ at 9, 15 and 21℃	80 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ at 15℃
JDSP	9~27℃	15℃	5.5~8.2	8.2	6~112 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ at 9, 15 and 21℃	80 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ at 15℃
WMSP	9~27℃	15, 21℃	5.5~8.0	7.5	6~112 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ at 9, 15 and 21℃	112 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ at 15℃
CAUPD5	5~25℃	20℃	-	-	-	-
CCMP854	5~25℃	20℃	-	-	-	-
NIES1007	5~25℃	20℃	-	-	-	-

2. 질산염이 *Synura petersenii*의 성장에 미치는 영향

*Synura petersenii*의 질산염 농도에 대한 성장 특성은 Figures 15와 16과 같다.

Synura petersenii 3 균주 JCSP, JDSP, WMSP 균주는 0~10 μM 질산염 농도에서 낮은 개체군 성장을 나타내었으나 25 μM 이상의 질산염의 농도에서 높은 개체군 성장을 나타내었다. 반면에 CAUPD5, CCMP854, NIES1007 균주에서는 0~250 μM 의 질산염 농도에서 성장을 나타내었다. *Synura petersenii* 6 균주는 50 μM 또는 100 μM 질산염 농도에서 최대성장률을 나타내었다.

JCSP 균주는 0~10 μM 질산염 농도에서 매우 낮은 개체군 성장을 나타내었다(Figure 15A). 25~100 μM 질산염 농도에서 접종 후 세포밀도가 증가하다가 접종 14일 또는 16일 이후 감소하였다. 250 μM 질산염 농도에서 세포밀도는 접종 후 세포밀도가 계속 증가하였으며, 접종 18일 쯤 309,067 cell ml^{-1} 로 최대로 나타났다.

또한 JDSP 균주 0~10 μM 질산염 농도에서 매우 낮은 개체군 성장을 나타내었으며, 25 μM 이상의 질산염 농도에서 높은 성장을 나타내었다(Figure 15B). 25~50 μM 질산염 농도에서 접종 후 세포밀도가 증가하다가 접종 14일 또는 16일 이후 감소하였다. 250 μM 질산염 농도에서는 배양실험 동안 빠른 개체군 성장을 나타내었으며, 접종 18일 쯤 최대 세포밀도 217,700 cell ml^{-1} 를 나타내었다.

WMSP 균주는 0~10 μM 질산염 농도에서 낮은 개체군 성장을 나타내었으며, 25 μM 이상의 질산염 농도에서 높은 성장을 나타내었다(Figure 15C). 25 μM 과 100 μM 질산염 농도에서 접종 후 세포밀도가 증가하다가 접종 14일 이후 개체군 성장이 거의 없거나 감소하였다. 50 μM 질산염 농도에서 접종 후 빠른 개체군 성장을 나타내었으며, 접종 12일 이후 감소하였다. WMSP 균주는 250 μM 질산염 농도에서 접종 후 빠른 개체군 성장을 나타내었으며, 접종 18일에 최대 세포밀도 272,800 cells ml^{-1} 을 나타내었다.

CAUPD5 균주는 모든 실험 농도에서 개체군 성장을 나타내었다(Figure 15D). 0~10 μM 질산염 농도에서 접종 후 높은 개체군 성장을 나타내었으며, 접종 12일 이후에 세포밀도가 감소하였다. 100 μM 질산염 농도에서는 접종 후 세포밀도가 빠르게 증가하여 접종 16일 후 감소하였다. 25, 50, 250 μM 질산염 농도에서 접종 후 높은 개체군 성장을 나타내었으며, 최대세포밀도는 250 μM 질산염 농도에서 접종 18일에 176,400 cells ml^{-1} 로 나타났다.

CCMP854 균주 또한 모든 실험 농도에서 높은 개체군 성장을 나타내었다(Figure 15E). 0~0.5 μM 과 5 μM 질산염 농도에서 접종 후 세포밀도가 증가하다가 접종 14일 또는 16일 이후 감소하였다. 10 μM 이상의 질산염 농도에서는 접종 후 계속 세포밀도가 증가하였으며, 최대세포밀도는 100 μM 질산염 농도에서 204,133 cells ml^{-1} 로 나타났다.

NIES1007 균주는 0~25 μM , 100 μM 의 질산염 농도에서 접종 14일 또는 16일까지 세포밀도가 증가하였으며, 이후 감소하였다(Figure 15F). 50 μM 과 250 μM 질산염 농도에서는 접종 후 세포밀도는 계속 증가하였으며, 250 μM 질산염 농도에서 접종 18일째 세포밀도 289,333 cells ml^{-1} 로 최대를 나타내었다.

질산염 농도 변화에 따른 성장률은 *S. petersenii* 6 균주는 다소 차이를 나타내었다(Figure 16). JCSP 균주와 JDSP 균주는 10 μM 이상의 질산염 농도에서 0.5 d^{-1} 이상의 높은 성장률을 나타내었으며, WMSP 균주는 5 μM 이상의 질산염 농도에서 0.4 d^{-1} 이상의 성장률을 나타내었다. CAUPD5, CCMP854, NIES1007 균주는 낮은 농도에서도 성장률 0.4 d^{-1} 이상의 높은 성장률을 나타내었다. NIES1007 균주가 0.5 μM 에서 최대성장률을 나타낸 것을 제외하고, 모두 100 μM 높은 질산염 농도에서 최대성장률을 나타내었다.

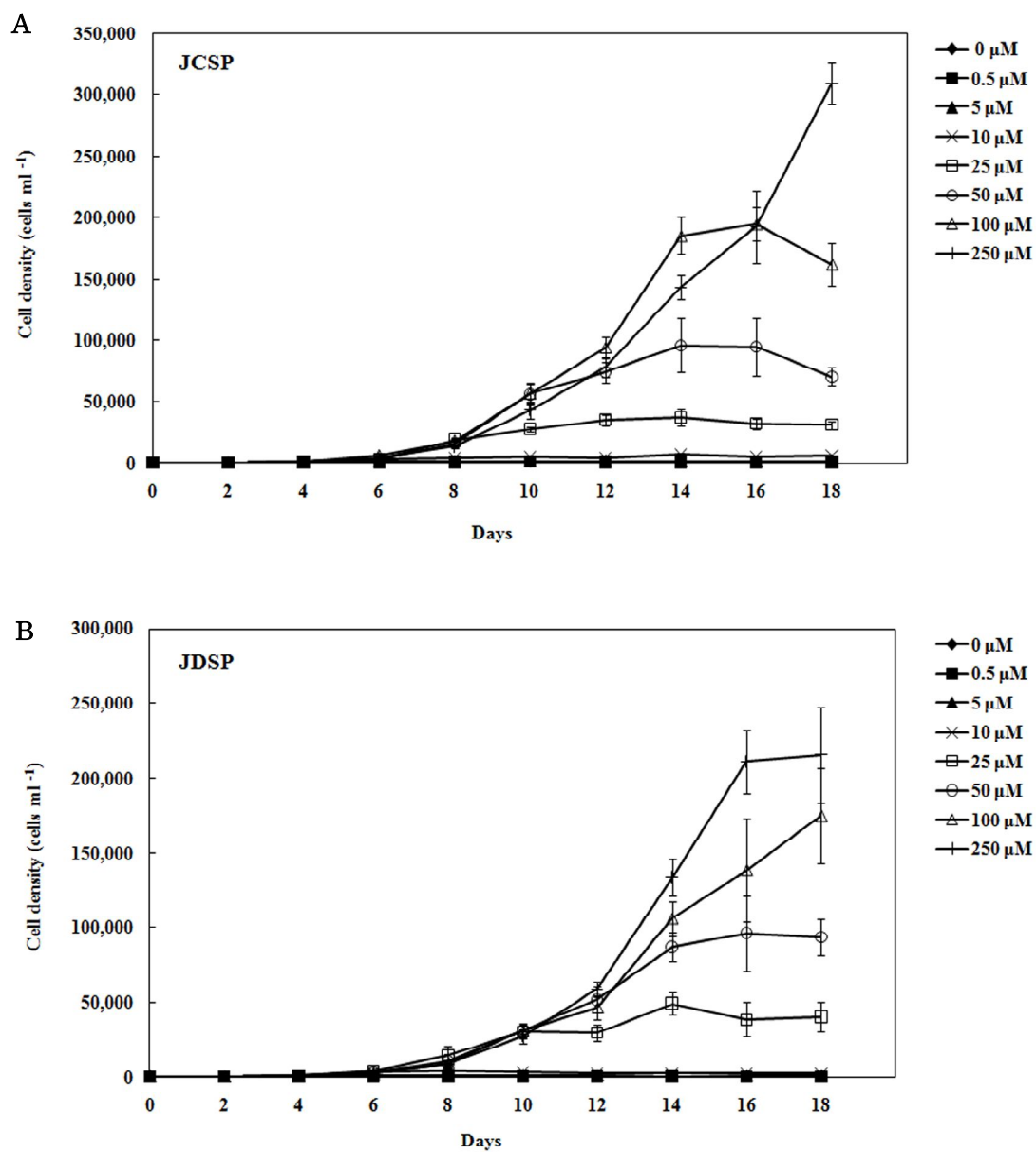


Figure 15. Population growth of *S. petersenii* strains (JCSP, JDSP, WMSP, CAUPD5, CCMP854 and NIES1007 strains) at various nitrate concentrations.

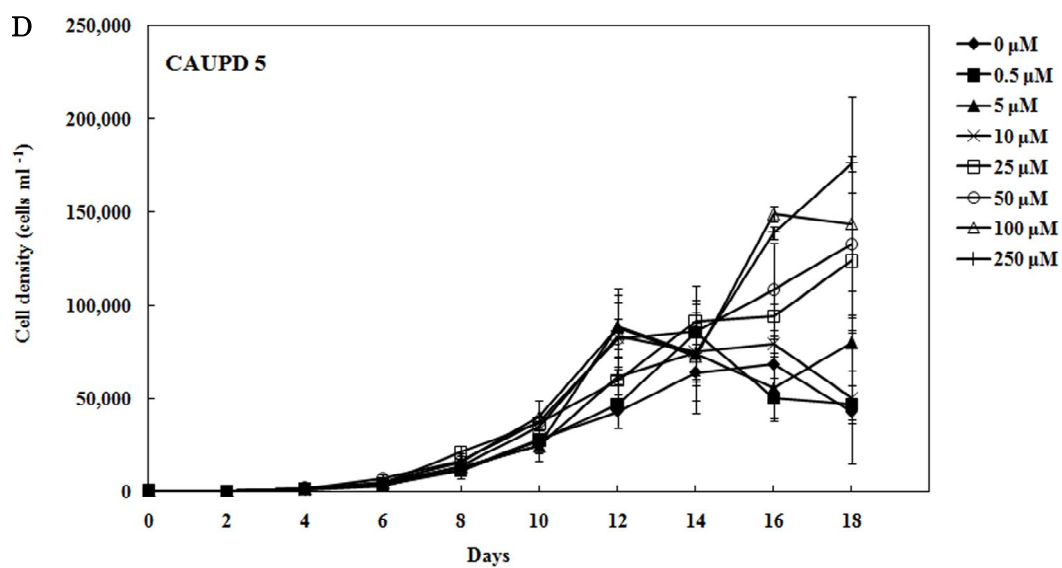
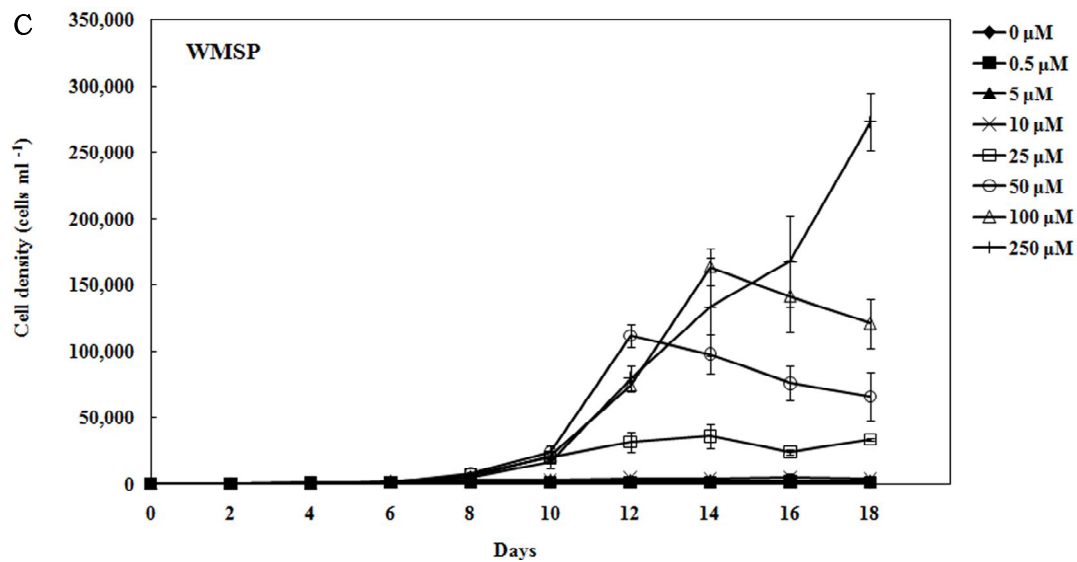


Figure 15. Continued.

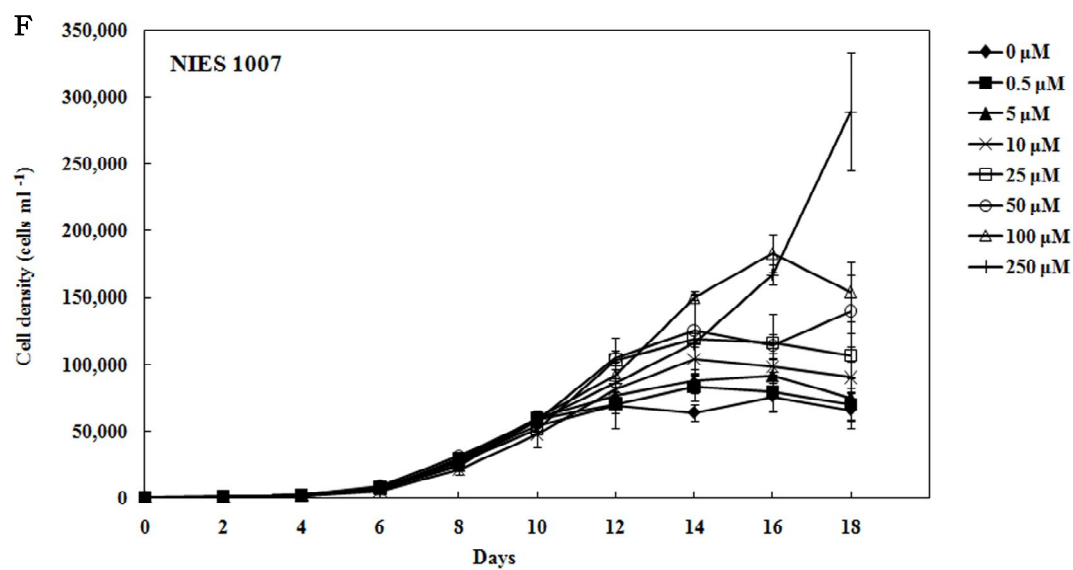
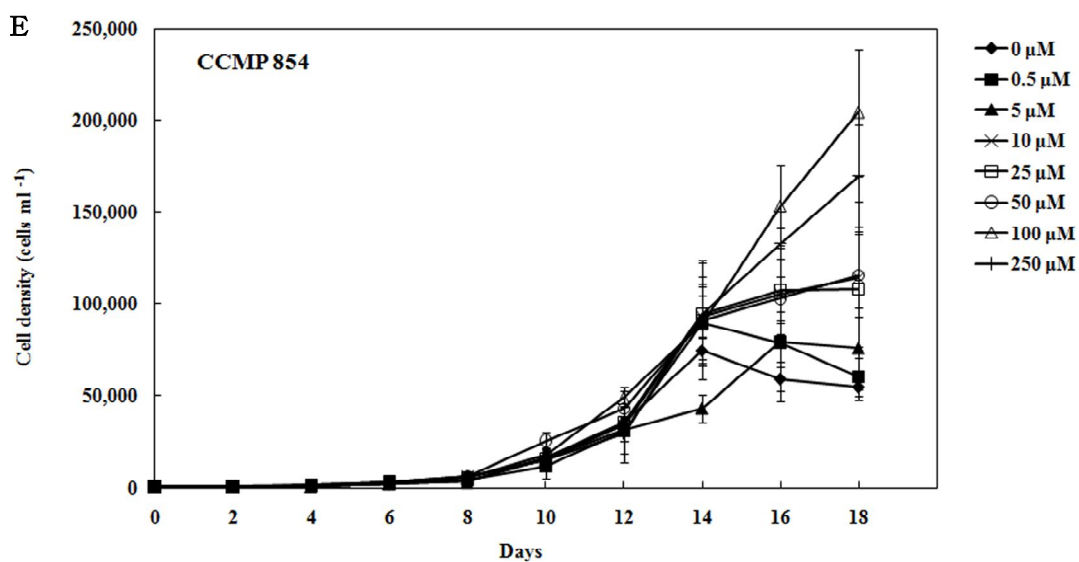


Figure 15. Continued.

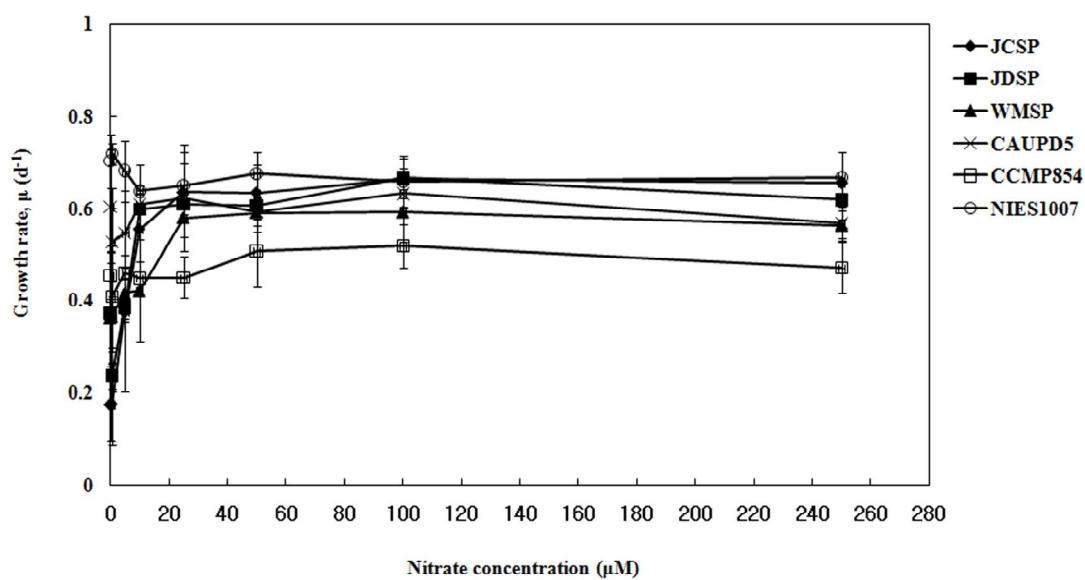


Figure 16. Growth rate of *S. petersenii* strains (JCSP, JDSP, WMSP, CAUPD5, CCMP854 and NIES1007 strains) at various nitrate concentrations.

3. 인산염이 *Synura petersenii*의 성장에 미치는 영향

*Synura petersenii*의 인산염 농도에 대한 성장 특성은 Figures 17과 18에 나타내었다.

Synura petersenii 6 균주는 0.04~0.4 μM 인산염 농도에서 개체군 성장이 나타나지 않거나 낮게 나타났으며, 그 이상의 농도에서 빠른 성장을 나타내었다. 그러나 각 농도에 대한 각 균주들의 성장 반응은 다소 차이를 나타내었다.

JCSP 균주는 0.04~0.1 μM 인산염 농도에서 개체군 성장을 나타내지 않았다(Figure 17A). 0.4 μM 인산염 농도에서는 낮은 개체군 성장을 나타내었다. 1 μM 과 4 μM 인산염 농도에서는 접종 후 세포밀도가 증가하였으며, 접종 14일 또는 16일 후 감소하였다. 20 μM ~40 μM 의 인산염 농도에서 접종 후 세포밀도가 증가하였으며, 40 μM 에서 최대세포밀도 316,800 cell ml^{-1} 을 나타냈다.

JDSP 균주는 0.04 μM 인산염 농도에서 개체군 성장이 나타나지 않았으며, 0.1~1 μM 의 인산염 농도 범위에서 낮은 개체군 성장을 나타내었다(Figure 17B). 4 μM 인산염 농도에서는 접종 후 세포밀도가 증가하였으며, 접종 14일 이후 개체군 성장이 거의 일어나지 않았다. 10 μM 이상의 인산염 농도에서는 접종 이후 세포밀도가 계속 증가하였으며, 20 μM 인산염 농도에서 세포밀도가 최대 407,400 cells ml^{-1} 로 나타났다.

WMSP 균주는 0.04~1 μM 인산염 농도에서 개체군 성장이 나타나지 않았다(Figure 17C). 4 μM 인산염 농도에서 접종 후 세포밀도는 계속 증가하였으나, 낮은 개체군 성장을 나타내었다. 10 μM 과 40 μM 의 인산염 농도에서 접종 후 세포밀도가 계속 증가하였으며, 14일 이후 감소하였다. 20 μM 인산염 농도에서 접종 후 세포밀도가 계속 증가하였다. WMSP 균주의 개체군 성장은 40 μM 인산염 농도에서 최대세포밀도 174,067 cells ml^{-1} 을 나타내었다.

CAUPD5 균주는 0.04~0.4 μM 인산염 농도에서는 개체군 성장을 나타내지 않았다(Figure 17D). 1 μM 인산염 농도에서는 접종 후 세포밀도가 계속 증가하였으며, 접종 14일 후 감소하였다. 4~40 μM 의 인산염 농도에서는 접종 후 세포밀도가 계속 증가하였으며, 최대세포밀도는 20 μM 인산염 농도에서 접종 18일째 181,867 cells ml^{-1} 로 나타났으나, 40 μM 인산염 농도에서의 세포밀도와 거의 유사하게 나타났다.

CCMP854 균주는 0.04~1 μM 인산염 농도에서 개체군 성장이 나타나지 않았으며, 4~40 μM 인산염 농도에서 배양 실험 동안 세포밀도가 계속 증가하였다 (Figure 17E). CCMP 854 균주의 개체군성장은 40 μM 인산염 농도에서 최대세포 밀도 161,833 cells ml^{-1} 을 나타내었다.

NIES1007 균주는 0.04~1 μM 인산염 농도에서 개체군 성장을 나타내지 않았다 (Figure 17F). 4 μM 인산염 농도에서는 낮은 개체군 성장을 나타내었다. 10~40 μM 인산염 농도에서 세포밀도는 배양 실험 동안 계속 증가하였으며, 40 μM 인산염 농도에서 최대세포밀도 224,800 cells ml^{-1} 을 나타내었다.

*Synura petersenii*의 인산염 농도 변화에 대한 성장률은 균주에 따라 차이를 나타내었다(Figure 18). JCSP, JDSP, WMSP, CAUPD5 균주에서 인산염 농도가 증가함에 따라 성장률이 증가하여 4 μM 이상의 농도에서 포화되었다. NIES1007 균주는 실험농도 범위에서 성장률이 계속 증가하였다. CCMP854 균주는 다른 균주들보다 낮은 성장률을 나타내었으며, 인산염 농도가 증가할수록 성장률이 증가하여 10 μM 이상의 농도에서 감소하였다. 각 균주별 최대성장률은 JCSP, WMSP, NIES1007 균주는 40 μM , JDSP와 CAUPD5 균주는 20 μM 인산염 농도에서 나타났으며, CCMP854 균주는 다른 균주와는 다르게 10 μM 인산염 농도에서 최대성장률을 나타내었다.

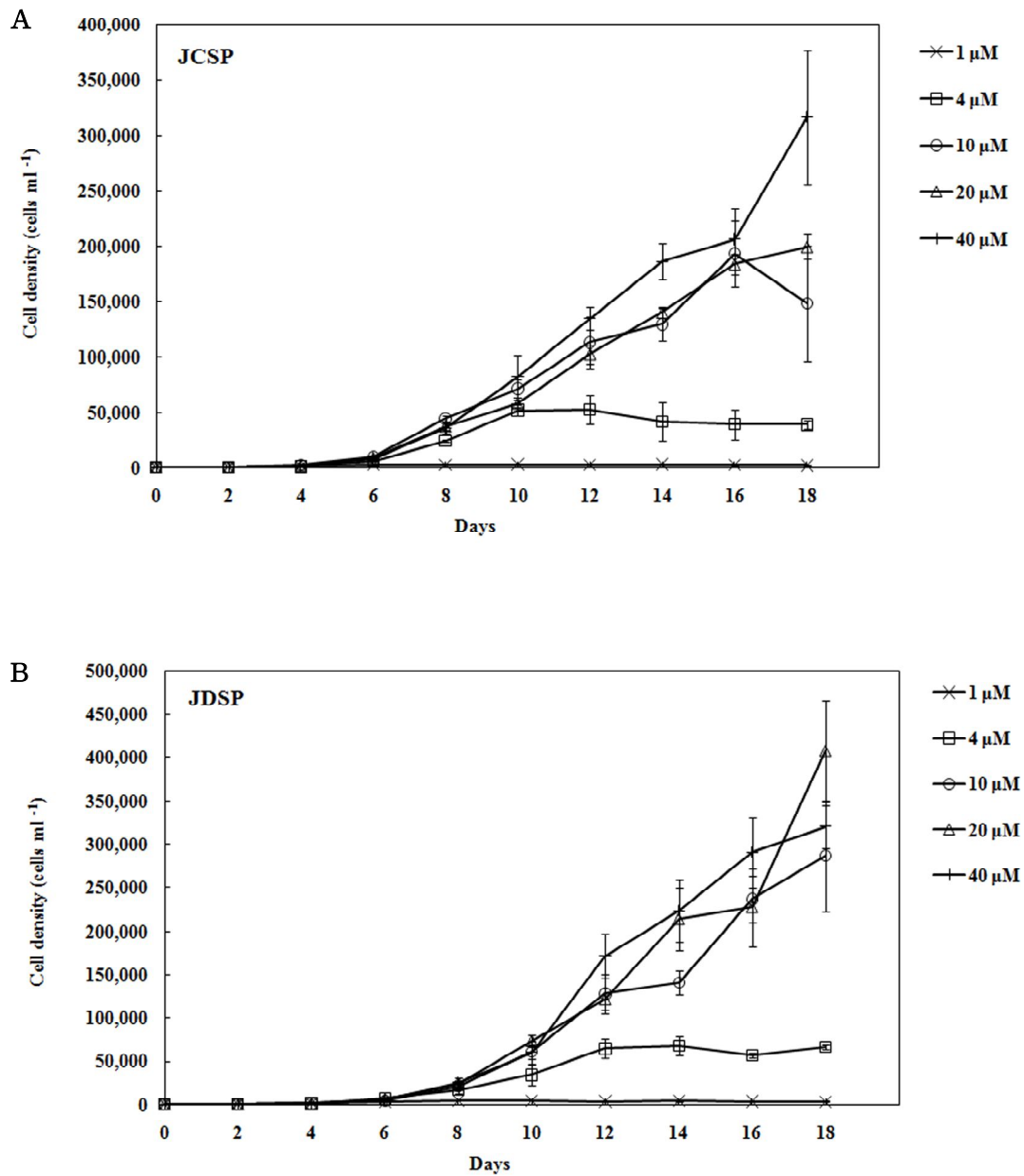


Figure 17. Population growth of *Synura petersenii* strains (JCSP, JDSP, WMSP, CAUPD5, CCMP854 and NIES 1007 strains) at various phosphate concentrations.

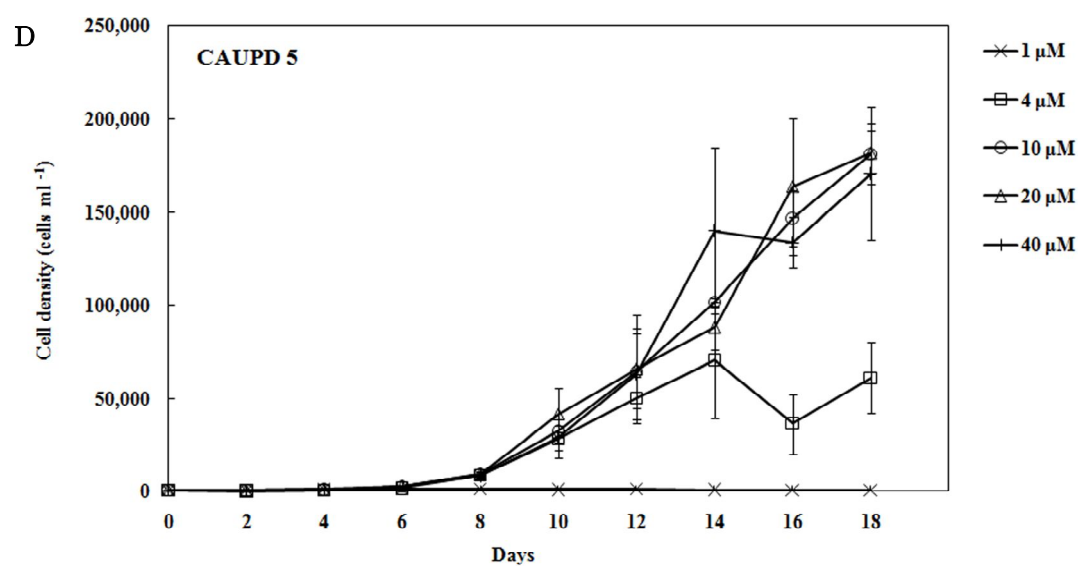
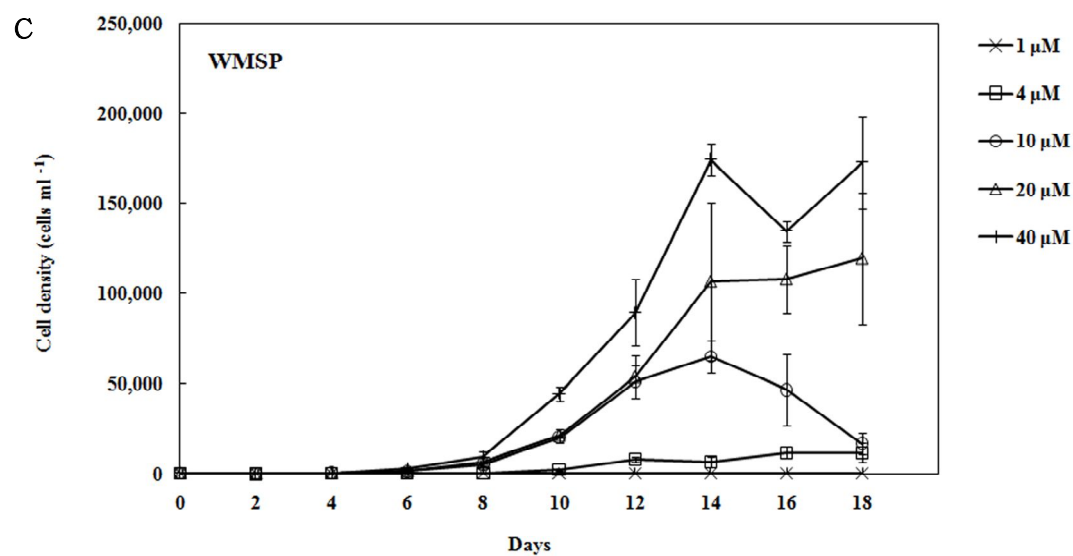


Figure 17. Continued.

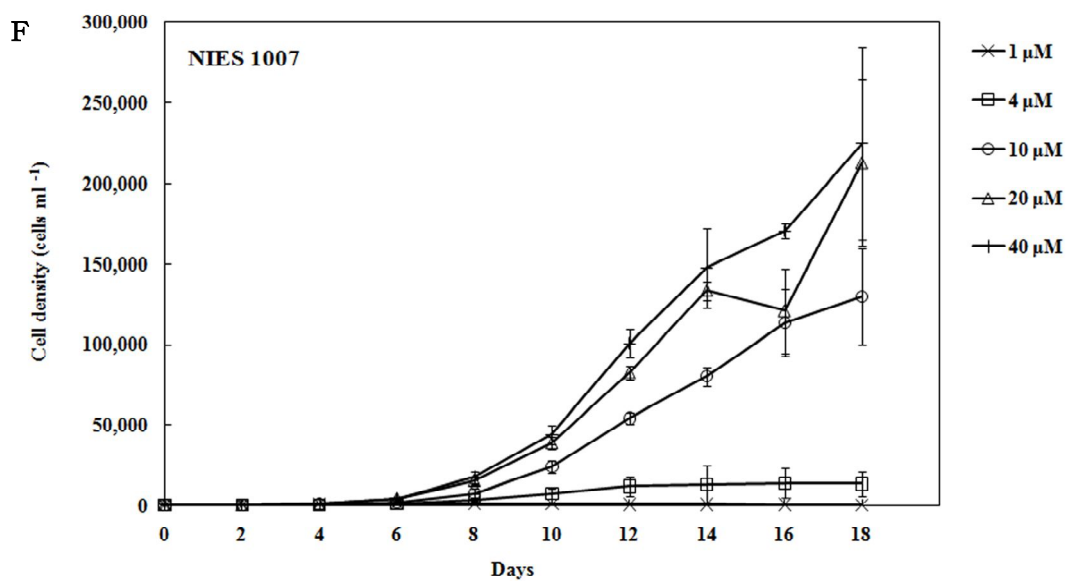
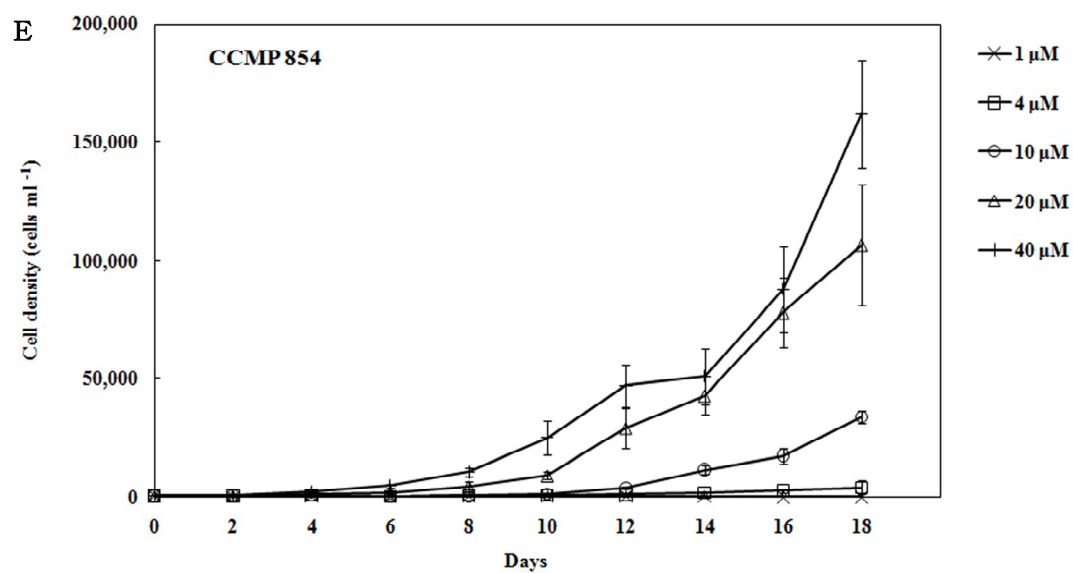


Figure 17. Continued.

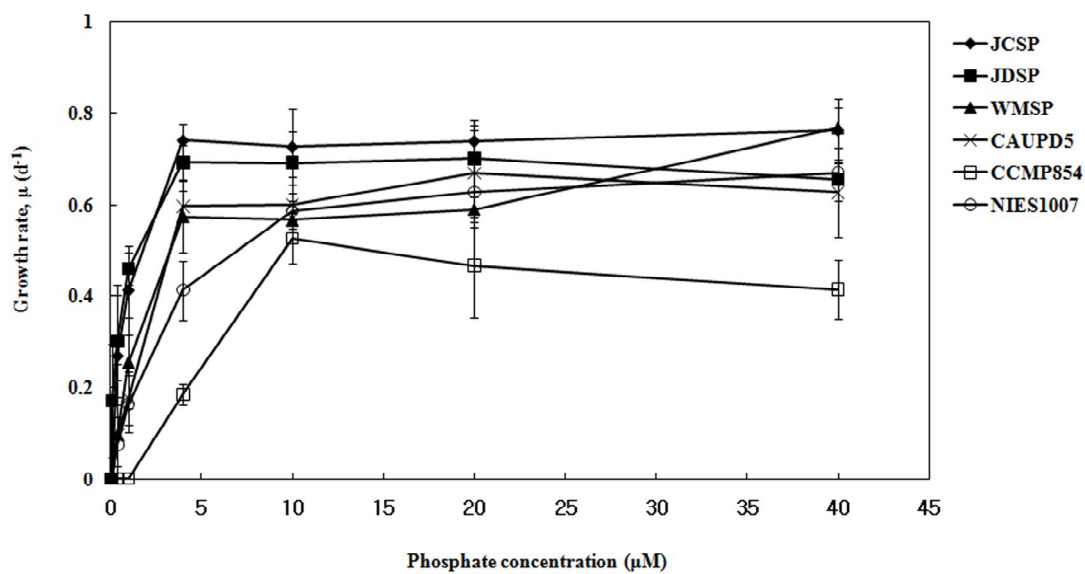


Figure 18. Growth rate of *S. petersenii* strains (JCSP, JDSP, WMSP, CAUPD5, CCMP854 and NIES1007 strains) at various phosphate concentrations.

*Synura petersenii*는 가장 보편적이며, 넓게 분포하는 인편성 황갈조류 중 하나이다. 일반적으로 인편성 황갈조류의 분포와 성장에 있어서 수온, pH, 전기전도도, 영양염 농도는 주요 제한요인으로 작용한다(Siver 1995; Kristiansen 2005). *Synura petersenii*는 일반적으로 낮은 온도를 선호하는 것으로 알려져 왔으나(Kristiansen 1975; Roijackers 1986), 여름철에도 빈번하게 출현하는 등 넓은 온도 범위에서 출현하고 있다(Takahashi 1978, Gutowski 1989). 또한 *S. petersenii*는 넓은 pH 범위에서 발견되는 것으로 알려져 있다(Kristiansen 1986; Dixit *et al.* 1988; Siver 1989). *Synura petersenii*는 pH 4.17~7.2의 산성·중성 조건에서 뿐만 아니라 (Siver 1988; Eloranta 1989), pH 6~9의 알칼리성 조건에서도 발견되어진다(Takahashi 1978; Gutowski 1989). 이들은 빈영양화 수체 뿐만 아니라 부영양화 수체에서도 발견될 수 있으며, 심한 부영양화 조건의 경우 낮은 출현도를 나타낸다(Kristiansen 1975, 1981; Hartmann & Steinberg 1989). 본 연구의 현장 조사에서 *S. petersenii*는 경상도 일대의 수체에서 가장 빈번하게 출현한 종이며, 특히 부영양화 수체인 진촌늪에서는 가을에 대량 증식하여 수화를 형성하기도 하였다. 이 종의 환경요인에 대한 성장 특성을 분석하기 위해 Kim *et al.*(2008)은 국내 3개의 다른 수체에서 분리한 3개 균주에 대해 배양 실험을 실시한 결과 이들은 다양한 온도, pH, 광도 범위에서 성장을 나타내었으며, 최대성장률은 온도에 대해 15°C, pH에 대해 알칼리성 조건, 광도에 대해 15°C에서 112 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 에서 나타내었다고 보고하였다. 또한 이러한 성장 특성은 균주마다 다소 차이를 나타내었으며, 균주-특이 적응성(strain-specific adaptation)을 가진다고 하였다. 본 배양실험에서는 질산염과 인산염에 대한 *S. petersenii*의 성장특성을 파악하였다. *Synura petersenii*는 질산염에 대해 0~250 μM 의 넓은 농도 범위에서, 인산염에 대해 1 μM 또는 4 μM 이상의 농도 범위에서 성장을 나타내었다. 최대성장률은 질산염 100 μM , 인산염 10 μM 이상의 높은 농도에서 나타내어 *S. petersenii*는 높은 농도의 영양염을 선호하는 것으로 나타났다. 그러나 최적 개체군성장 및 최대성장률에 있어서 *S. petersenii* 6개 균주 간에 유사한 결과를 나타내었으나, 각 영양염 농도에 따른 6개 균주의 성장반응은 다소 차이를 나타내었다. 이는 이전의 다른 환경요인에 대한 실험 결과들처럼 생리학적으로 *S. petersenii*는 균주들 간에 균주-특이 적응성을 가짐을 뒷받침한다.

결 론

본 연구에서 경상도 및 제주도 일대에 출현하는 인편성 황갈조류의 조류상과 계절적 분포 조사를 통한 분류 및 생태학적 특성과 *Synura petersenii*의 증식 특성은 다음과 같이 요약하였다.

1. 한반도 내륙의 경상도 및 국내 유일의 아열대성 기후의 화산섬인 제주도 일대에서 다양한 인편성 황갈조류가 출현하였으며, 조류상에서는 공통적으로 출현하는 종들도 있었지만, 기후 및 지리학적 차이 등으로 인해 두 지역 간에 독특하고 특징적인 종들이 출현하는 것으로 나타났다.

2. 경상도 일대의 6개 조사지점에 대한 인편성 황갈조류의 계절적 변동은 각 조사지점의 생태적 특성에 따라(빈영양/중영양호, 부영양호, 고층습원 등) 서로 다른 계절적 분포를 나타내었다. 그러므로 한국산 인편성 황갈조류의 분류 및 생리·생태학적 특성을 규명하기 위해서 전국적인 범위에서 다양한 수체에 대한 조사가 수행되어야 할 것이다.

3. 수화형성종인 *Synura petersenii*의 증식 특성은 다양한 환경 요인에 대해 대부분의 균주들이 저온(cool, 15℃ 또는 20/21℃), 높은 pH, 높은 농도의 영양염을 선호하는 것으로 나타났으나, 지역적인 차이를 가진 균주들 간에 서로 다른 성장 반응을 나타내어 균주-특이 적응성(strain-specific adaptation)을 나타내었다. 결론적으로 *S. petersenii*를 포함한 인편성 황갈조류의 수화 조절 및 제어를 위해 각 종에 대한 증식 특성뿐만 아니라 균주-특이적 증식 특성의 규명이 필요할 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

- APHA(1995): Standard methods for the examination of water and wastewater, 19th ed. American Public Health Association, Washington, DC., USA.
- Barreto, S. (2005): The silica-scaled chrysophyte flora of Hungary. Beih. Nova Hedwigia **128**: 11-41.
- Calado, A.J. & S.C. Craveiro (1995): Notes on the ecology of Synurophycean algae found in Portugal. Nord. J. Bot. **15**: 641-654.
- Chung, J., S.D. Kim & K.S. Lee (1972a): Fresh-water algae from Jae Ju Do Island(I). Korean J. Limnol. **5**: 13-23.
- Chung, J., S.D. Kim & K.S. Lee (1972b): Fresh-water algae from Jae Ju Do Island(II). Korean J. Limnol. **5**: 13-23.
- Clasen, J. & H. Bernhardt (1982): A bloom of the Chrysophyceae *Synura uvella* in the Wahnbach reservoir as indicator for the release of phosphates from the sediment. Arch. Hydrobiol. Beih. **18**: 61-68.
- Cronberg, G. (1975): *Mallomonas trummensis* nov. spec. (Chrysophyceae) studies by means of scanning and transmission electron microscopy. Bot. Notiser. **128**: 69-72.
- Cronberg, G. (1989): Scaled chrysophytes from the tropics. Beih. Nova Hedwigia. **95**: 191-232.
- Croome, R.L. & P.A. Tyler (1985): Distribution of silica-scaled Chrysophyceae (Paraphysomonadaceae and Mallomonadaceae) in Australian inland waters. Austral. J. Mar. Freshwater Res. **36**: 839-853.
- Dixit, S.S., A.S. Dixit & R.D. Evans (1988): Scaled Chrysophyte (Chrysophyceae) as indicators of pH in Sudbury, Ontario, lakes. Canad. J. Fish. Aquatic Sci. **45**: 1411-1421.
- Dürschmidt, M. R. Croome (1985): Mallomonadaceae (Chrysophyceae) from Malaysia and Australia. Nord. J. Bot. **5**: 285-298.

- Duff, K.A., B.A. Zeeb & J.P. Smol (1995): Atlas of chrysophycean cysts, Vol. I. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.
- Eloranta, P. (1986): Phytoplankton structure in different lake types in central Finland. *Holarctic Ecol.* **9**: 214–224.
- Eloranta, P. (1989): Scaled chrysophytes (Chrysophyceae and Synurophyceae) from national park lakes in southern and central Finland. *Nord. J. Bot.* **8**: 671–681.
- Fott, B. (1955): Scales of *Mallomonas* observed in the electron microscope. *Preslia.* **27**: 280–282.
- Franceschini, I.M. & J. Kristiansen (2004): New records of scaled-bearing chrysophytes for Florianópolis, Santa Catarina Island, Southern Brazil. *Algological Studies* **111**: 63–77.
- Gavrilova, O.V., N.V. Nogina & L.N. Voloshko (2005): Scale structures and growth characteristics of *Synura petersenii* (Synurophyceae) under different pH conditions. *Beih. Nova Hedwigia* **128**: 249–256.
- Gutowski, A. (1989): Seasonal succession of scaled chrysophytes in a small lake in Berlin. *Beih. Nova Hedwigia* **95**: 159–177.
- Gutowski, A (1997): *Mallomonas* species (Synurophyceae) in eutrophic waters of Berlin (Germany). *Nova Hedwigia* **65**: 299–335.
- Hällfors, G. & S. Hällfors (1988): Records of chrysophytes with siliceous scales (Mallomonadaceae and Paraphysomonadaceae) from Finnish inland water. In: Jones, R. & V. Ilmavirta (eds): Flagellates in freshwater ecosystems. *Hydrobiologia* **161** (Developm. Hydrobiol. **41**): 1–29.
- Hartmann, H. & C. Steinberg (1989): The occurrence of silica-scaled chrysophytes in some central European lakes and their relation to pH. *Nova Hedwigia Beih.* **95**: 131–158.
- Healey, F.P. (1983): Effect of temperature and light intensity on the growth rate of *Synura sphagnicola*. *J. Plank. Res.* **5**: 767–774.
- Hoffmann, L. & E. Wille (1992) Occurrence of a metalimnetic summer peak of

- Mallomonas caudata* (Synurophyceae). Nor. J. Bot. **12**: 465–469.
- Ikävalko, J. (1994): Contribution to the flora of silica-scaled flagellates in Mikkeli central Finland. Nova Hedwigia **58**: 475–505.
- Ito, J. (1988): Scale-bearing chrysophytes in the south basin of Lake Biwa, Japan. Jpn. J. Phycol. (Sôrui) **36**: 143–153.
- Ito, H. (1991): Chrysophytes in the southern part of Hyogo Prefecture Japan (II). *Mallomonas*. Jpn. J. Phycol. (Sôrui) **39**: 253–262.
- Ito, H. & E. Takahashi (1982): Seasonal fluctuation of *Spiniferomonas* (Chrysophyceae, Synuraceae) in two ponds on Mt. Rokko, Japan. Jpn. J. phycol. (Sôrui) **30**: 272–278.
- Jones, R.I. (1988): Vertical distribution and diel migration of flagellated phyto plankton in a small humic lake. Hydrobiologia **161**: 75–85.
- Kamenik, C., A. Agustí-Panareda, P.G. Appleby, J.A. Dearing, E.M. Shilland, F. Šporka, E. Štefková & R. Thompson (2005): Paleolimnological evidence for atmospheric pollution, climate and catchment-related changes in alpine chrysophyte stomatocyst assemblages (Tatra, Slovakia). Beih. Nova Hedwigia **128**: 275–293.
- Kamenik, C. E. Baumann, R. Jong & M. Grosjean (2010): Effects of cold season climate changes *versus* anthropogenic nutrient inputs on chrysophyte stomatocyst assemblages (AD 1940–2004) in annually laminated sediments of high-Alpine Lake Silvaplana (Switzerland). – Beih. Nova Hedwigia **136**: 103–115.
- Kim, E.B. (1968): Plankters of Mt. Hanla. Korean J. Limnol. **1**: 49–50.
- Kim, H.S. (1995): Morphological notes on the scales and bristles of *Mallomonas trummensis* new to Korea and *M.* sp. (Mallomonadaceae, Synurophyceae). Algae **10**: 77 – 80.
- Kim, H.S. (1997): Silica-scaled chrysophytes (Synurophyceae) in several reservoirs, swamps and a highland pond from Changnyong County, Korea. Algae **12**: 1–10.

- Kim, H.S. (2001): Seasonal changes of phytoplankton community in the Woopo and Mokpo Swamp. Korean J. Limnol. **34**: 90-97.
- Kim, H.S., E. Takahashi & J. Chung (1995): Morphologic and taxonomic studies on scale-bearing Chrysophyta from Nakdong River Estuary Lake, Pusan, in Korea. Korean J. Limnol. **28**: 87-99.
- Kim, H.S & K.J. Hwang (2001): Occurrence and seasonal changes of silica-scaled chrysophytes in Kachang Dam Reservoir. Algae **16**: 421-427.
- Kim, H.S & N. Takamura (2001): Occurrence, seasonal changes and vertical distribution of silica-scaled chrysophytes in a small fish-free pond in Japan. Korean J. Biol. Sci. **5**: 117-126.
- Kim, H.S. & J.H. Kim (2008): *Mallomonas koreana* sp. nov. (Synurophyceae), a new species from South Korea. Nova Hedwigia **85**: 469-476.
- Kim, J.H., M.O. Shin, K.L. Lee & H.S. Kim (2008): Effect of environmental conditions on the growth of *Synura petersenii* (Synurophyceae) in vitro and two eutrophic water bodies in Korea. Nova Hedwigia **86**: 529-544.
- Kim, J.H., Y.J. Park & H.S. Kim (2009): Silica-scaled chrysophytes (Synurophyceae) from Jeju Island, Korea. Nova Hedwigia **89**: 201-218.
- Kim, S.C. & H.S. Kim (2004): Dynamics of phytoplankton community and the physic-chemical environmental factors in Youngchun Dam. Algae **19**: 227-234.
- Kiss, K.T. & J. Kristiansen (1994): Silica-scaled chrysophytes (Synurophyceae) from some rivers and shallow lakes in Hungary. Hydrobiologia **289**: 157-162.
- Klavencess, D. and R.R.L. Guillard (1975): The requirement for silicon in *Synura petersenii* (Chrysophyceae). J. Phycol. **11**: 349-355.
- Knowles, S.C. and R.G. Zingmark (1978): Mercury and temperature interactions on the growth rates of three species of freshwater phytoplankton. J. Phycol. **14** : 104-109.
- Kristiansen, J. (1975): On the occurrence of the species of *Synura* (Chrysophyceae).

- Verh. Int. Vereinigung Theor. Limnol. **19**: 2709–2715.
- Kristiansen, J. (1985): Occurrence of scale-bearing Chrysophyceae in a eutrophic Danish lake. Verh. Int. Vereinigung Theor. Limnol. **22**: 2826–2829.
- Kristiansen, J. (1986): Silica-scale bearing Chrysophytes as environmental indicators. Br. phycol. J. **21**: 425–436.
- Kristiansen, J. (1988): Seasonal occurrence of silica-scaled chrysophytes under eutrophic conditions. Hydrobiologia **161**: 171–184.
- Kristiansen, J. (2002): The genus *Mallomonas* (Synurophyceae) – a taxonomic survey based on the ultrastructure of silica scales and bristles. Opera Bot. **139**: 1–218.
- Kristiansen, J. (2005): Golden Algae – a biology of chrysophytes. A.R.G. Gantner Verlag, Ruggell, Liechtenstein.
- Kristiansen, J. & E. Takahashi (1982): Chrysophyceae: introduction and bibliography. In: Rosowski, J. and B. Parker (eds.): Selected papers in phycology, vol. II: pp. 698–704. Phycological Society of America, Lawrence, Kansas.
- Kristiansen, J., D. Tong & K. Olrik (1990): Silica-scaled chrysophytes from Korea, a preliminary study. Nord. J. Bot. **9**: 685–691.
- Kristiansen, J. & D. Tong (1991): Investigations on silica-scaled chrysophytes in China. Verh. Int. Vereinigung Theor. Limnol. **24**: 2630–2633.
- Kristiansen, J. & H.R. Preisig (2007): Chrysophyte and Haptophyte Algae, 2nd part: Synurophyceae. In: Büdel, B., G. Gärtner, L. Krientz, H.R. Preisig & M. Schagerl (eds): Süßwasserflora von Mitteleuropa (Freshwater Flora of Central Europe), vol. 1/2: 1–252. Spektrum Akademischer Verlag, Springer – Verlag, Berlin.
- Kurata, A. (1986): Blooms of *Uroglena americana* in relation to concentrations of B group vitamins. In: Kristiansen, J. and R.A. Andersen (eds.). Chrysophytes: aspects and problems. Cambridge University Press, Cambridge. pp. 185–196.

- Lee, J.H. (1987): A taxonomic study on phytoplankton in Backrokdam Crater of Halla Mt. Korean J. Limnol. **20**: 101-112.
- Lee, J.H. & M. Chang (1991): On the freshwater phytoplankton communities of Cheju Island. Korean J. Limnol. **24**: 77-83.
- Lee, K.L., J.H. Kim, H.S. Yoon & H.S. Kim (2005): Effects of Temperature and pH on Seasonal changes and growth characteristics of a bloom forming *Mallomonas elongata* (Synurophyceae). Korean J. Limnol. **38**: 503-509.
- Lee, K.L. & H.S. Kim (2007): Growth characteristics of three synurophytes (*Mallomonas* species) at different temperatures and pH. Nova Hedwigia **84**: 227-240.
- Lee, K.L., H.S. Yoon, Y.J. Kim & H.S. Kim (2007): Growth characteristics of three *Mallomonas* species (silica-scaled chrysophytes) at different temperatures and pH. Nord. J. Bot. **25**: 113-118.
- Lee, K.S. & E. Takahashi (1993): Studies on Paraphysomonadaceae (Chrysophyceae) from Andong Lake in Korea. Nord. J. Bot. **13**: 211-220.
- Lee, S.M., K.S. Lee, E. Takahashi & H.W. Lee (1994): Studies on scale-bearing chrysophyta from Korea (III): *Synura* flora in seven dams. Korean J. Limnol. **27**: 97-108.
- Lehman, J.T. (1976): Ecological and nutritional studies on *Dinobryon* Ehrenb.: Seasonal periodicity and the phosphate toxicity problem. Limnol. Oceanogr. **21**: 646-658.
- Martin-Wagenmann, B. and A. Gutowski (1995): Scale morphology and growth characteristics of clones of *Synura petersenii* (Synurophyceae) at different temperatures. In: Sandgren, C.D., J.P. Smol and J. Kristiansen (eds.), Chrysophytes Algae. Cambridge university Cambridge. pp. 232-268.
- Menezes, M., J. Kristiansen & C.E.M. Bicudo (2005): Silica-scaled chrysophytes from some tropical freshwater bodies, southeastern Brazil. Beih. Nova Hedwigia **128**: 85-100.

- Naselli-Flores, L. & R. Barone (2000): Phytoplankton dynamics and structure: a comparative analysis in natural and man-made water bodies of different trophic state. *Hydrobiologia* **438**: 65 - 74.
- Němcová, Y., J. Neustupa, S. Nováková & T. Kalina (2003): Silica-scaled chrysophytes of the Šumava National Park and the Třeboňsko UNESCO Biosphere Reserve (Southern Bohemia, Czech Republic). *Nord. J. Bot.* **22**: 375-383.
- Nicholls, K.H. (1995): Chrysophyte blooms in the plankton and neuston of marine and freshwater systems. In: Sandgren, C., J. Smol & J. Kristiansen (eds): *Chrysophyte Algae*: 181-213. Cambridge University Press, Cambridge.
- Nicholls, K.H. & J.F. Gerrath (1985): The taxonomy of *Synura* (Chrysophyceae) in Ontario with special reference to taste and odour in water supplies. *Can. J. Bot.* **63** : 1482-1493.
- Němcová, Y., J. Neustupa, S. Nováková & T. Kalina (2003): Silica-scaled chrysophytes of the Šumava National Park and Třeboňsko UNESCO Biosphere Reserve (Southern Bohemia, Czech Republic). *Nord. J. Bot.* **22**: 375-383.
- Nováková, S., Y. Němcová, J. Neustupa, M. Řezáčová & L. Šejnohová (2004): Silica-scaled chrysophytes in acid peat bogs of Bohemian Switzerland (Czech Republic) and Saxonian switzerland (Germany). *Nova Hedwigia* **78**: 507-515.
- Péterfi, L.S. & L. Momeu (1996): Ultrastructure and taxonomy of *Paraphysomonas* (Chrysophyceae) and related genera 1. *Nord. J. Bot.* **2**: 397-420.
- Péterfi, L.S., J. Padisák, L. Momeu & G. Borics (1998): Silica-scaled chrysophytes from a bog lake Baláta-tó, SW Hungary. *Nord. J. Bot.* **18**: 727-733.
- Pick, F.R., C. Nalewajko & D.R.S. Lean (1984): The origin of a metalimnetic

- chrysophyte peak. Limnol. Oceanogr. **29**: 125–134.
- Preisig, H.R. & D.J. Hibberd (1982a): Ultrastructure and taxonomy of *Paraphysomonas* (Chrysophyceae) and related genera 1. Nord. J. Bot. **2**: 397–420.
- Preisig, H.R. & D.J. Hibberd (1982b): Ultrastructure and taxonomy of *Paraphysomonas* (Chrysophyceae) and related genera 2. Nord. J. Bot. **2**: 601–638.
- Roijackers, R.M.M. (1986): Development and succession of scale bearing Chrysophyceae in two shallow freshwater bodies near Nijmegen, The Netherlands, In: Kristiansen, J. & R.A. Andersen (eds.): Chrysophytes: aspects and problems. Cambridge University Press, Cambridge. pp. 241–258.
- Roijackers, R.M.M. & H. Kessel (1986): Ecological characteristics of scale-bearing Chrysophyceae from the Netherlands. Nord. J. Bot. **6**: 373–383.
- Saha, L.C. & D.E. Wujek (1990): Scale-bearing chrysophytes from tropical Northeast India. Nord. J. Bot. **10**: 343–354.
- Sandgren, C.D. (1988): The ecology of chrysophytes flagellates: Their growth and perennation strategies as freshwater phytoplankton. In: Sandgren C.D (eds.). Growth and reproductive strategies of freshwater phytoplankton. pp. 9–104.
- Sandgren, C.D., S.A. Hall and S.B. Barlow (1996): Siliceous scale production in Chrysophyte and Synurophyte algae. Effects of silica-limited growth on cell silica content, scale morphology, and silica content, scale morphology and the construction of the scale layer of *Synura petersenii*. J. Phycol. **32**: 675–692.
- Saxby-Rouen, K.J., B.S.C. Leadbeater and C.S. Reynolds (1997): The growth response of *Synura petersenii* (Synurophyceae) to photon flux density, temperature and pH. Phycologia. **36**: 233–243.
- Siver, P.A. (1988): Distribution of scaled chrysophytes in 17 Adirondack (New

- York) lakes with special reference to pH. *Can. J. Bot.* **66**: 1391–1403.
- Siver, P.A. (1989): The distribution of scaled chrysophytes along a pH gradient. *Can. J. Bot.* **67**: 2120–2130.
- Siver, P.A. (1991): The biology of *Mallomonas*. Morphology, taxonomy and ecology. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.
- Siver, P.A. (1995): The distribution of chrysophytes along environmental gradients: their use as biological indicators. In: Sandgren, C.D., J.P. Smol and J. Kristiansen. (eds.). *Chrysophyte Algae: Ecology, phylogeny and development*. Cambridge University Press. pp. 232–268
- Siver, P.A. & J.S. Chock (1986): Phytoplankton dynamics in a chrysophycean lake. In: Kristiansen, J. and R.A. Andersen (eds.). *Chrysophytes: aspects and problems*. Cambridge University Press, Cambridge. pp. 165–183.
- Siver, P.A. & J.S. Hamer (1989): Multivariate statistical analysis of the factors controlling the distribution of scaled chrysophytes. *Limnol. Oceanogr.* **34**: 368–381.
- Siver, P.A. & J.S. Hamer (1992): Seasonal periodicity of Chrysophyceae and Synurophyceae in a small New England lake: Implications for Paleolimnological research. *J. Phycol.* **28**: 186–198.
- Siver, P.A. & J.P. Smol (1993): The use of scaled chrysophytes in long term monitoring programs for the detection of changes in lakewater acidity. *Water air & Soil Pollution* **71**: 357–376.
- Siver, P.A. & M.S. Vigna (1996): Notes on species of *Mallomonas* in the series *Peronoides* (Mallomonadaceae, Synurophyceae). *Nord. J. Bot.* **16**: 223–231.
- Takahashi, E. (1978): Electron microscopical studies of the Synuraceae (Chrysophyceae) in Japan. Taxonomy and ecology. Tokai University Press, Tokyo.
- Vigna, M.S. (1981): Estudio Con Microscopio Electronico de Barrido de Nuevos Taxones de La Familia Syuraceae (Chrysophyceae). *Physis* (Buenos

- Aires), Sec. B, **39**: 15-20.
- Vigna, M.S., S.R. Duque & M. Núñez-Avellaneda (2005): Tropical silica scaled chrysophyte flora (Chrysophyceae and Synurophyceae) from Colombia. *Beih. Nova Hedwigia* **128**: 151-166.
- Watson, S.B., T. Satchwill & E. McCauley (2001): Drinking water tastes and odour: a chrysophyte perspective. *Beih. Nova Hedwigia* **122**: 119-146.
- Wee, J.L. (1982): Studies on the Synuraceae (Chrysophyceae) of Iowa. *Biblioth. Phycol.* **62**: 1-183.
- Wee, J.L. & M. Gabel (1989): Occurrences of silica-scaled chromophyte algae in predominantly alkaline lakes and ponds in Iowa. *Am. Midl. Nat.* **121**: 32-40.
- Wei, Y.-X. & J. Kristiansen (1998): Studies on silica-scaled chrysophytes from Fujian Province, China. *Chin. J. Oceanol. Limnol.* **16**: 256-266.
- Wei, Y.-X. & X.-P. Yuan (2001): Studies on silica-scaled chrysophytes from the tropics and subtropics of China. *Beih. Nova Hedwigia* **122**: 169-187.
- Wujek, D.E. & C.E.M. Bicudo (1993): Scale-bearing chrysophytes from the state of São Paulo, Brazil. *Nova Hedwigia* **56**: 247-257.

A Study on the Taxonomy and Ecology of Silica-scaled chrysophytes in Gyeongsang Province and at Jeju Island*

Jin Hee Kim

*Department of Biology
Graduate School, Kyungpook National University
Daegu, Korea
(Supervised by Professor Kim, Han-Soon)*

(Abstract)

The aim of the study was to elucidate the taxonomy and ecology of silica-scaled chrysophytes in the water bodies of Gyeongsang Province and Jeju Island using scanning electron microscopy. The effects of various environmental factors on the growth of six strains were studied under batch culture conditions to elucidate the physiological characteristics of *Synura petersenii*, which forms dense blooms.

In total, 59 species of silica-scaled chrysophytes and 9 unidentified scales were found in Gyeongsang Province. This is the first record for 9 species including *Paraphysomonas caelifrica*, *P. eiffelii*, *P. homolepis*, *P. subrotacea*, *Spiniferomonas crucigera*, *Mallomonas acaroides* var. *obtusa*, *M. crassisquama* var. *papillosa*, *M. verrucosa* and *Synura leptorrhabda* in Korea. *Mallomonas corymbosa* was recorded for the first time in South Korea. A new species, *Mallomonas koreana* sp. nov., was found at 4 sites. The frequency of occurrence was highest for *S. petersenii* f. *petersenii* (26 sites, 70%), followed by *M. elongata* (25 sites, 68%) and *M. crassisquama* var. *crassisquama* (22 sites, 59%).

Silica-scaled chrysophytes (other than Paraphysomonadaceae) have been studied at 13 sites at Jeju Island, and included 27 species and 4 unidentified *Mallomonas* species. Among the species found, 10 *Mallomonas* species are reported for the first time from Korea: *M. adamas*, *M. bronchartiana*, *M. favosa* f. *favosa*, *M. favosa* f. *gemina*, *M. morrisonensis*, *M. multisetigera*, *M. ouradion*, *M. portae-ferreae*, *M. splendens*, and *M. striata* var. *serrata*. The new species, *Mallomonas jejuensis* sp. nov., was found at 1 sites

* A thesis submitted to the Council of the Graduate School of Kyungpook National University in partial fulfillment of the requirements for the degree of Ph.D. in June 2011

at Jeju Island. The flora of silica-scaled chrysophytes from Jeju Island differs considerably from that of Gyeongsang Province and previous studies in Korea, and includes both temperate and tropical species.

Six sites of 37 sampling sites in Gyeongsang Province were studied in relation to the seasonal occurrences and distributions of silica-scaled chrysophytes. In 4 oligotrophic/mesotrophic reservoirs, the pH were high during the study period. Chrysophytes including silica-scaled taxa were present in the phytoplankton community at low cell densities except at Gyeongcheon (spring and autumn) and Deokdong (spring) reservoirs. The species number of silica-scaled chrysophytes was high in cool/cold seasons (<21.5°C). Silica-scaled chrysophytes were not found in summer except in the sample from Gyeongcheon reservoir. The water temperature in eutrophic Jinchon swamp varied from 1.75 to 33.2°C, and the pH ranged from slightly acidic to alkaline. The cell density of silica-scaled chrysophytes was high in spring and autumn, and *Synura petersenii* formed a dense bloom in autumn. The total species number was highest in summer samples, followed by spring samples. Relative to other sampling sites the water temperature at Yong pond and bogs at Mt. Hwawang (altitude 756 m) was low in summer (approximately 25°C), and the pH ranged from slightly acidic to alkaline. The highest cell density of silica-scaled chrysophytes occurred in spring at Yong pond, and *Chrysosphaerella brevispina* was the dominant species. The species composition differed between Yong pond and bogs at Mt. Hwawang, and also between at Mt. Hwawang and in Gyeongsang Province. *Mallomonas caudata*, *M. elongata*, and *M. tonsurata* were not observed at Yong pond and bogs.

Synura petersenii occurred very frequently at 37 sampling sites in Gyeongsang Province, and formed a dense bloom in Jinchon swamp. To understand the growth characteristics of *S. petersenii*, the effects of temperatures (5~30°C) and nutrients (NO₃ and PO₄) on the growth of six strains were studied under batch culture. The strains had slightly different responses to nutrient concentration, but most grew better at high concentrations. In conclusion, for the control of blooms of silica-scaled chrysophytes including *S. petersenii*, the growth characteristics and strains-specific characteristics of the species should be investigated in relation to various environmental factors.

Appendix 1

List of Silica-Scaled Chrysophytes in Gyeongsang Province and at Jeju Island

Genus *Chrysosphaerella* Lauterborn emend. Nicholls

C. brevispina Korshikov (Plate 1, Figures 1–4)

This species is cosmopolitan species (Barreto 2005).

This study: 14 sites in Gyeongsang Province. Scales and spines were found in early spring and spring at Jinchon swamp, Yong pond and bogs at Mt. Hwawang, and in autumn at Deokdong reservoir.

C. coronacircumspina Wujek & Kristiansen (Plate 1, Figures 5 & 6)

This study: 2 sites in Gyeongsang Province. Scales were found in summer at Jinchon swamp and in spring at Yong pond at Mt. Hwawang.

Genus *Paraphysomonas* De Saedeleer

P. bandaiensis Takahashi (Plate 1, Figures 7 & 8)

Paraphysomonas bandaiensis is found sporadically from February to June and at October (Preisig & Hibberd 1982a).

This study: 3 sites in Gyeongsang Province.

P. bourrellyi (Takahashi) Preisig & Hibberd (Plate 2, Figures 9–12)

Paraphysomonas bourrellyi is a widely distributed species (Barreto 2005).

This study: 10 sites in Gyeongsang Province. Plate scales and spine scales of this species were found in autumn at Deokdong reservoir and in the summer at Jinchon swamp. Two plate scale morphologies were observed at Jinchon swamp, one without a central concentric elevation (Plate 2, Figure 9) and the other with this feature (Plate 2, Figure 10). The spine scales were short or long funnel-shaped. The specimen in Figure 9 (Plate 2) was identified as *P.*

bourrellyi, but the specimen in Figure 10 (Plate 2) resembled *P. corynephora*. However, there were the differences between *P. corynephora* and our specimen. *Paraphysomonas corynephora* has short spine scales with knob-shaped tips and flat plate scales with no distinct central concentric elevation. Our specimen had short spine scales that tapered toward the tip, but had plate scales with a distinct central concentric elevation.

***P. caelifrica* Preisig & Hibberd** (Plate 2, Figure 13)

This species is found frequently in all seasons (Preisig & Hibberd 1982a).

This study: 1 site in Gyeongsang Province. This species was only found in summer at Jinchon swamp and this is the first record from Korea.

***P. eiffelii* Thomsen** (Plate 2, Figure 14)

This species is found rarely (Preisig & Hibberd 1982b).

This study: 1 site in Gyeongsang Province. Scales were only found in summer at Jinchon swamp and this is the first record from Korea.

***P. gladiata* Preisig & Hibberd** (Plate 2 Figures 15–16)

This species is found frequently in all seasons (Preisig & Hibberd 1982a).

This study: 3 sites in Gyeongsang Province. Scales were found in winter at Yongyeon reservoir.

***P. homolepis* Preisig & Hibberd** (Plate 3 Figure 17)

This species is found frequently in all seasons (Preisig & Hibberd 1982b).

This study: 1 site in Gyeongsang Province. This is the first record from Korea.

***P. imperforata* Lucas** (Plate 3, Figure 18)

This species is found very frequently in all seasons (Preisig & Hibberd

1982a).

This study: 9 sites in Gyeongsang Province. This species was found in cool/cold seasons.

***P. punctata* spp. *atrema* Balonov** (Plate 3, Figure 19)

This species is found frequently in all seasons (Preisig & Hibberd 1982b).

This study: 1 site in Gyeongsang Province.

***P. subrotacea* Thomsen** (Plate 3, Figure 20)

This species is found frequently in all seasons (Preisig & Hibberd 1982b).

This study: Scales were only found in summer at Jinchon swamp and this is the first record from Korea.

***P. vestita* (Stokes) deSaedeleer** (Plate 3, Figure 21)

This species is found very frequently in all seasons (Preisig & Hibberd 1982a).

This study: 20 sites in Gyeongsang Province. This is a cosmopolitan species (Barreto 2005). Scales and spines were found in all seasons at Jinchon swamp and Yong pond and bogs at Mt. Hwawang.

***P. vestita* (Stokes) deSaedeleer ssp.** (Plate 3, Figure 22)

This study: 1 site in Gyeongsang Province. There were two types of scales of *P. vestita* in autumn at Deokdong reservoir; typical *P. vestita* and *P. vestita* ssp.. In contrast to typical *P. vestita*, *P. vestita* ssp. had eight struts on the base of spine scale radially and was similar to *P. vestitia* form No. 1 reported by Takahashi (1978).

***Paraphysomonas* sp. 1** (Plate 3, Figure 23)

This study: 1 site in Gyeongsang Province. Incomplete scales had numerous apertures. These were only found in summer at Jinchon swamp.

***Paraphysomonas* sp. 2** (Plate 3, Figure 24)

This study: A spine scale found in the summer at Jinchon swamp consisted of a baseplate with a central spine that had a large perforation on the proximal part, and tapered toward the tip. The tip shape of spine could not confirm. This spine scale resembled that of *Spiniferomonas septispina*, but the basal part of the spine was not swollen and no a septum between the base plate and the central spine was observed. The spine scale was also similar to that of *Chrysosphaerella annulata* var. *yahurii*, but the ultrastructure of this scale was consistent with the genus *Paraphysomonas*, but not genus *Chrysosphaerella*. The approximate baseplate dimension was 2.75 μm , spine length was 7.5 μm , and spine thickness was 0.44 μm .

Genus *Spiniferomonas* Takahashi

***S. abei* Takahashi** (Plate 4, Figure 25)

This study: 1 site in Gyeongsang Province.

***S. cf. bilacunosa* Takahashi** (Plate 4, Figure 26)

This study: 1 site in Gyeongsang Province.

***S. cornuta* Balonov** (Plate 4, Figures 27 & 28)

This study: 4 sites in Gyeongsang Province. Scales were found in autumn at Deokdong and Otae reservoirs.

***S. crucigera* Takahashi** (Plate 4, Figures 29 & 30)

This study: 1 site in Gyeongsang Province. This is the first record from Korea.

***S. septispina* Nicholls** (Plate 4, Figures 31 & 32)

This study: 3 sites in Gyeongsang Province. Spine scales were found in spring at Yong pond at Mt. Hwawang and in autumn at Deokdong and Otae reservoirs.

***S. serrata* Nicholls** (Plate 5, Figures 33–35)

This study: 2 sites in Gyeongsang Province. Scales were found in autumn and winter at Deokdong reservoir

***S. silverensis* Nicholls** (Plate 5, Figure 36)

This study: A plate scale and a spine scale were found in summer at Jinchon swamp.

***S. takahashii* Nicholls** (Plate 5, Figures 37 & 38)

This study: 2 sites in Gyeongsang Province. Scales were found in autumn and winter at Otae reservoir.

***S. trionalis* Takahashi** (Plate 5, Figures 39 & 40)

This is a cosmopolitan species (Barreto 2005).

This study: 21 sites in Gyeongsang Province. Scales were found in all seasons at Jinchon swamp.

Genus *Mallomonas* Perty

Sectio *Planae*

Series *Caudata*

M. caudata Ivanov emend. Willi Krieger (Plate 6, Figure 41)

This species is a widely distributed species (Kristiansen & Preisig 2007).

This study: 19 sites in Gyeongsang Province. Scales and spines were found frequently in Gyeongsang Province. However, we could not find this species in Mt. Hwawang and at Jeju Island.

Series *Matvienkoanae*

M. matvienkoae (Matvienko) Asmund & Kristiansen (Plate 6, Figures 42–48)

This species is a cosmopolitan species (Kristiansen & Preisig 2007).

This study: 6 sites in Gyeongsang Province. Scales were found in summer, autumn, and winter but not complete at Jinchon swamp.

Scales were found at 6 sites (Sites 6, 8, 9, 10, 11 & 12) at Jeju Island. We found considerable variations in scale shape and in the elaboration of the secondary reticulation between scales. Secondary reticulations in the scales was either not developed or well developed. The ribs of reticulations on some scales were smooth, whereas others had papillae located at the intersections of the ribs. Several scales from Site 11 differed slightly from typical *M. matvienkoae*, with struts located between the proximal rim and the posterior area of the shield (Plate 6, Figure 48, arrow).

M. oviformis Nygaard (Plate 7, Figure 49)

This species is distributed in northern temperate and arctic areas (Kristiansen & Preisig 2007).

This study: Scales and bristles were found in early spring and spring at Jinchon swamp.

Series *Teilingianae*

***M. bronchartiana* Compère** (Plate 7, Figures 50 & 51)

Mallomonas bronchartiana has been recorded from North and South America, Asia, and Africa (tropical and subtropical regions) (Kristiansen & Preisig 2007).

This study: Several scales were observed at Sites 8, 10, and 13 at Jeju Island. Scales are similar to those of *M. bronchartiana* with an internal reticulum, closely and evenly spaced papillae on the shield, internal struts under the proximal rim and an asymmetrically positioned proximal rim. The presence of the internal reticulum and struts was confirmed by SEM in our study (Plate 7, Figure 51, arrows).

Series *Peronoides*

M. peronoides* (Harris) Momeu & Péterfi var. *peronoides (Plate 7, Figure 52)

This species has a cosmopolitan distribution, but is mainly found in warmer regions (Kristiansen & Preisig 2007).

This study: 1 site in Gyeongsang Province. Scales were found in spring, summer, and autumn at Jinchon swamp. They were not complete except in July 2005.

***M. peronoides* var. *bangladeshica* Takahashi & Hayakawa** (Plate 7, Figure 53)

This species is distributed in many tropical areas (Kristiansen & Preisig 2007).

This study: 2 sites in Gyeongsang Province. Scales and bristles were found in spring and summer at Jinchon swamp.

Sectio *Multisetigerae*

***M. multisetigera* Dürschmidt** (Plate 7, Figures 54 & 55)

This species has a cosmopolitan distribution (Kristiansen & Preisig 2007).

This study: Scales found at Site 11 at Jeju Island represent the first record in Korea.

Sectio *Papillosae*

Series *Papillosa*

***M. guttata* Wujek** (Plate 7, Figure 56)

This species is widely distributed, and is commonly recorded from all continents except Europe (Kristiansen & Preisig 2007).

This study: Scales and bristles were found at Sites 8 and 13 at Jeju Island.

***M. papillosa* Harris & Bradley emend. Harris** (Plate 8, Figures 57 & 58)

This species has a cosmopolitan distribution (Kristiansen & Preisig 2007).

This study: 4 sites in Gyeongsang Province. Scales were found in autumn and spring at bogs at Mt. Hwawang.

Scales and bristles were found at Sites 12 at Jeju Island.

***Mallomonas* sp. 7** (Plate 8, Figure 59)

This study: Several scales and bristles were found at Site 13 at Jeju Island. No complete cells were found. This species resembled *M. guttata*. Scales had regularly arranged papillae on the shield and a solitary circular pore on the shield in the angle of the V-rib. Anterior submarginal ribs were absent.

The body scales of this species differed from those of *M. guttata* in several ways: the shield had 5 - 7 regularly arranged transverse rows of pits, each transverse row consisting of 3 - 7 pits. The posterior border of the dome and shield was delimited by a transverse row of pits. Scales were 5 - 6 × 3.0 - 3.6 µm in size and bristles were 9 - 12 µm.

***Mallomonas* sp. 8** (Plate 8, Figures 60 & 61)

This study: Several scales and bristles were found at 7 sites at Jeju Island. Some sites yielded only scales, and some yielded scales with bristles. Scales were similar to those of *M. rasilis* Dürschmidt. All scales had domes, regularly arranged papillae on the shield, and a large circular pore in the angle of the V-rib. The V-rib had a rounded base. Anterior submarginal ribs were absent. One scale from Site 13 was small and had a wing-like projection (Plate 8, Figure 60, arrow). The bristles differed from typical *M. rasilis* bristles. Bristles found at Sites 9, 11, and 13, were curved, smooth, and taper to a fine point without uniserration. These bristles resembled those of *M. guttata*. Scales were $3.0 - 4.6 \times 2.0 - 2.7 \mu\text{m}$ in size and bristles were $4.5 - 6.2 \mu\text{m}$.

Series *Ouradiotae*

***M. parvula* Dürschmidt** (Plate 8, Figure 62)

This species is a widely distributed species (Kristiansen & Preisig 2007).

This study: 2 sites in Gyeongsang Province. Scales and bristles were found in autumn at Jinchon swamp.

***M. ouradion* Harris & Bradley** (Plate 8, Figures 63 & 64)

This species has a scattered distribution, having been recorded in Europe, North America, and East Asia (Kristiansen & Preisig 2007).

This study: Scales found at Site 13 at Jeju Island represent the first record of this species in Korea.

Sectio *Quadratae*

Series *Allorgei*

***M. adamas* Harris & Bradley** (Plate 9, Figure 65)

This species shows a scattered distribution, and has been recorded from

Europe, Asia, and Australia (Kristiansen & Preisig 2007).

This study: A single body scale was found at Site 8 at Jeju Island, representing the first record of this species in Korea.

***M. splendens* (West) Playfair emend. Croome, Dürschmidt & Tyler**
(Plate 9, Figures 66–68)

This species has a scattered distribution. It has been reported in Europe, Asia, and Australia (Kristiansen & Preisig 2007).

This study: 1 site in Gyeongsang Province.

Cells and separated scales were found at Sites 8, 12, and 13 at Jeju Island. This is the first record of this species in Korea.

Sectio *Punctiferae*

Series *Punctifera*

***M. punctifera* Korshikov** (Plate 9, Figures 69 & 70)

This species is distributed in northern temperate regions including Arctic and subarctic areas (Kristiansen & Preisig 2007).

This study: 11 sites in Gyeongsang Province. Scales and bristles were found in spring, summer, and autumn at Jinchon swamp, Yong pond and bogs at Mt. Hwawang.

Scales and bristles were found at Site 12 at Jeju Island.

Sectio *Heterospinae*

***M. heterospina* Lund** (Plate 9, Figures 71 & 72)

This species is widely distributed (Kristiansen & Preisig 2007).

This study: 11 sites in Gyeongsang Province. Scales were found in early spring, spring, summer, and winter at Jinchon swamp and in spring at Yong pond and bogs at Mt. Hwawang.

Sectio *Akrokomae*

***M. akrokomos* Ruttner in Pascher** (Plate 10, Figures 73 & 74)

This species is a cosmopolitan species (Kristiansen & Preisig 2007).

This study: 16 sites in Gyeongsang Province. This species was found in cool/cold seasons.

Sectio *Striatae*

Series *Striatae*

M. striata* Asmund var. *striata (Plate 10, Figures 75–78)

This species has a cosmopolitan distribution (Kristiansen & Preisig 2007).

This study: 8 sites in Gyeongsang Province. Scales and bristles were found in early spring, spring, and winter at Jinchon swamp. A scale found in December 2004 was not complete. The scale found in March 2007 was not observed it's a unique bristle with a single, small, subapical tooth. Scales and bristles found in February 2007 (Plate 10, Figures 76 - 77) were slightly different from those found in April 2007 (Plate 10, Figure 78). The former had scales with a reticulated dome but the latter had a dome with conspicuous longitudinal dome (Figures 76 & 78, arrows). In addition, these differed with respect to the location and shape of a single subapical tooth that occurred on the shaft of each bristle (Figures 77 & 78, arrows).

***M. striata* var. *serrata* Harris & Bradly** (Plate 10, Figures 79 & 80)

This taxon has a cosmopolitan distribution (Kristiansen & Preisig 2007).

This study: Scales and bristles found at Sites 8, 9, 10, and 13 at Jeju Island represent the first record of this species in Korea.

Series *Actinolomae*

Mallomonas sp. 6 (Plate 11, Figures 81–85)

This study: Scales and bristles were found at Site 6 at Jeju Island. No whole cells were found. Scales had pores in the base plate, a weakly developed or well-developed reticulum on the shield, a V-rib with a well developed hood, and bristles that had a single subapical tooth.

This species had four scale-types; apical scales, dome-bearing and domeless body scales, and rear scales. Apical scales had a dome and anterior flanges with struts unilaterally. The submarginal rib without struts was anteriorly raised, extended on the dome, and projected. The dome of apical scales was partly covered with ribs. Apical scales were $3.0 \times 2.4 \mu\text{m}$ in size. Dome-bearing body scales had longitudinal ribs on the dome, a V-rib and broad anterior flanges that are wing-like, marked with struts, and extended forward along the sides of the dome. This scale was $3.1 \times 2.3 \mu\text{m}$ in size. Domeless body scales had anterior flanges with struts bilaterally and an acute-angled V-rib. These scales were $2.8 - 3.75 \times 1.8 - 2.25 \mu\text{m}$ in size. Rear scale was small and asymmetric and was $1.8 \times 1.6 \mu\text{m}$ in size.

Series *Retiferae*

M. verrucosa Vigna (Plate 11, Figure 86)

This species is an endemic species (Kristiansen & Preisig 2007).

This study: This species was found only in spring and autumn at bogs at Mt. Hwawang and this is the first record from Korea.

Sectio *Mallomonas*

Series *Alpinae*

M. alpina Pascher & Ruttner emend. Asmund & Kristiansen (Plate 11, Figure 87)

This species is a cosmopolitan species (Kristiansen & Preisig 2007).

This study: 8 sites in Gyeongsang Province. Scales and bristles were found in early spring, spring, and winter at Jinchon swamp and in spring at Yongyeon reservoir.

***M. areolata* Nygaard** (Plate 11, Figure 88)

This species is widely distributed (Kristiansen & Preisig 2007).

This study: 7 sites in Gyeongsang Province.

***M. elongata* Reverdin** (Plate 12, Figures 89 & 90)

This species is widely distributed (Kristiansen & Preisig 2007).

This study: 25 sites in Gyeongsang Province. Scales were found in spring and autumn at Jinchon swamp and in all seasons at Gyeongcheon reservoirs. We could not found scales in materials at Yong pond and bogs at Mt. Hwawang.

This species is was found at Sites 3, 5, and 12 at Jeju Island.

Series *Tonsuratae*

***M. corymbosa* Asmund & Hilliard** (Plate 12, Figures 91 & 92)

Mallomonas corymbosa has a bipolar distribution (Kristiansen & Preisig 2007).

This study: 4 sites in Gyeongsang Province. This species was found as cells or scales in all seasons at Jinchon swamp. This is the first record from South Korea.

***M. tonsurata* Teiling emend. Willi Krieger** (Plate 12, Figures 93–95)

This species is a cosmopolitan species (Kristiansen & Preisig 2007).

This study: 11 sites in Gyeongsang Province. This was found in all seasons. We could not found scales at Mt. Hwawang.

Several dome-bearing and domeless scales and bristles were found at Sites 6 and 8 at Jeju Island.

Series Portaferreanae

***M. morrisonensis* Croome & Tyler** (Plate 12, Fig 96 & Plate 13, Figures 97 & 98)

This species has a scattered distribution in tropical and subtropical regions, having been reported from South America, Asia, Africa, and Australia (Kristiansen & Preisig 2007).

This study: Scales and bristles found at Site 8 at Jeju Island represent the first record of this species in Korea.

***M. portae-ferreae* Péterfi & Asmund** (Plate 13, Figures 99 & 100)

This species has a cosmopolitan distribution, but is mainly found in warmer regions (Kristiansen & Preisig 2007).

This study: 2 sites in Gyeongsang Province. Scales and bristles were found at Site 12 and in summer and autumn at Jinchon swamp,

Scales found at Site 2 at Jeju Island represent the first record of this species in Korea.

***M. trummensis* Cronberg** (Plate 13, Figures 101–104 & Plate 14, Figure 105)

This species is distributed in northern temperate regions (Kristiansen & Preisig 2007).

This study: 7 sites in Gyeongsang Province. Scales and bristles were found in early spring and summer at Jinchon swamp and in spring at Yong pond and bogs at Mt. Hwawang. The bristles were different from typical bristle of *M. trummensis*. Typical bristles of *M. trummensis* are two types; short serrated bristles and long smooth bristle that taper to an extremely thin pointed distal part posteriorly. However, the scales found in our study had long serrated bristles with three pointed teeth (Plate 13, Figure 102, arrows) and a bifurcated bristle tip (Plate 13, Figure 103, arrow).

***Mallomonas* sp. 4** (Plate 14, Figure 106)

This study: This species was found in spring, summer, and autumn at Jinchon swamp. These scales had weakly developed transverse ribs on the shield. Several domeless scales had the disconnected arms of V-rib (Plate 13, Figure 106, arrow). The scales were $4.63 - 6.48 \times 2.88 - 4.73 \mu\text{m}$ in size.

Series *Mallomonas*

M. acaroides* Perty emend. Ivanov var. *acaroides (Plate 13, Figures 107–109)

This species has a wide distribution (Kristiansen & Preisig 2007) and is mainly found in eutrophic localities (Siver 1991).

This study: 9 sites in Gyeongsang Province. Scales and bristles were found in spring, summer, and winter at Jinchon swamp, in autumn at Deokdong reservoir and in wither at Otae reservoir. Some scales had slightly more developed reticulum on the shield.

***M. acaroides* var. *obtusa* Hiroyuki Ito** (Plate 13, Figure 110)

This species is only known from Asia (Japan) (Kristiansen & Preisig 2007).

This study: 1 site in Gyeongsang Province.

M. crassisquama* (Asmund) Fott var. *crassisquama (Plate 13, Figures 111 & 112)

This species has a worldwide distribution, and is especially common in temperate regions (Kristiansen & Preisig 2007).

This study: 22 sites in Gyeongsang Province. This species was found in all season.

This species was found at Sites 7 and 12 at Jeju Island.

M. crassisquama* (Asmund) Fott var. *papillosa (Plate 14, Figures 113 & 114)

This species is distributed in northern temperate regions (Kristiansen & Preisig 2007).

This study: 7 sites in Gyeongsang Province. Scales and bristles were found in spring, summer, and autumn at Yong pond and bogs at Mt. Hwawang.

Sectio *Pseudocoronatae*

Series *Lelymenae*

***M. lelymene* Harris & Bradley** (Plate 14, Figures 115 & 116)

This species is widely distributed, but scattered. It has been recorded in Europe, North and South America, and East Asia (Kristiansen & Preisig 2007).

This study: 1 site in Gyeongsang Province. Scales were found in spring at bogs at Mt. Hwawang.

Scales and bristles were found at Sites 6 and 12 at Jeju Island.

Sectio *Annulatae*

***M. annulata* (Bradley) Harris** (Plate 14, Figure 117)

This is a widely distributed species (Kristiansen & Preisig 2007).

This study: 3 sites in Gyeongsang Province. This was found in early spring and spring at Jinchon swamp.

Sectio *Torquatae*

Series *Pumilio*

***M. clavus* Bradley** (Plate 14, Figures 118–120)

This species is distributed in northern temperate regions (Kristiansen & Preisig 2007).

This study: 1 site in Gyeongsang Province. Scales were found in spring at bog at Mt. Hwawang.

***M. cf. pumilio* Harris & Bradley emend. Asmund, Cronberg & Dürschmidt** (Plate 16, Figure 121)

Mallomonas pumilio has a bipolar distribution (Kristiansen & Preisig 2007).

This study: Scales of *M. cf. pumilio* were found at Site 6 at Jeju Island. The scales were rhombic and had several rows of small papillae on the anterior submarginal flange, and a reticulum on the shield; however, we did not observe the characteristic three or four pores in each mesh of the reticulum.

Series *Mangoferae*

M. mangofera* Harris & Bradley var. *mangofera (Plate 16, Figures 122 & 123)

This species is a cosmopolitan species (Kristiansen & Preisig 2007).

This study: 4 sites in Gyeongsang Province. This species was found in early spring, summer, and autumn at Jinchon swamp and in autumn at Yong pond and bogs at Mt. Hwawang.

Cells or scales were found at Sites 8 and 11 at Jeju Island.

***M. mangofera* var. *foveata* (Dürschmidt) Kristiansen** (Plate 16, Figure 124)

This species has a cosmopolitan distribution (Kristiansen & Preisig 2007).

This study: 2 sites in Gyeongsang Province. Scales and bristles were found in summer and autumn at Jinchon swamp.

A single scale was found at Site 11 at Jeju Island.

M. favosa* Nicholls f. *favosa (Plate 16, Figures 125–128)

This species has a cosmopolitan distribution (Kristiansen & Preisig 2007).

This study: Scales and bristles found at Site 11 at Jeju Island represent the first record of this species from Korea.

***M. favosa* f. *gemina* K. Harris & D.E. Bradley** (Plate 17, Figures 129–132)

This taxon was previously reported only from Malaysia (Dürschmidt &

Croome 1985).

This study: Scales and bristles found at Site 9 at Jeju Island represent the first record of this species from Korea.

***M. cf. grata* Takahashi in Asmund & Takahashi** (Plate 17, Figures 123 & 134)

Mallomonas grata has a scattered distribution (Kristiansen & Preisig 2007).

This study: 1 site in Gyeongsang Province. Scales of *M. cf. grata* was found in winter at Yongyeon reservoir represent the first record of this species from Korea. A scale of *M. cf. grata* was rhombic and asymmetric, and did not have a dome. The shield on the scale had papillae connected by short ribs and 1 or 4 subcircular depressions. The anterior flange had short struts. We could not find collar scales, rear scales and bristles of *M. grata*. The scales were $3.16\text{--}3.39 \times 1.83\text{--}2.41 \mu\text{m}$ in size.

***Mallomonas* sp. 1** (Plate 17, Figure 135)

This study: 1 site in Gyeongsang Province.

A cell and several scales were found at Site 12 at Jeju Island.

The cell is small and ellipsoidal ($10.0 \times 4.5 \mu\text{m}$). Scales were arranged in spiral rows and each scale was overlapped by the scale positioned behind it in the same row and by the scale in the row above. Regularly arranged papillae were located on the shield of scale, and body and rear scales had minute teeth at the apical edge of the base plate.

Collar scales were similar to those of *M. mangofera* var. *mangofera*. Collar scales were elongated and curved, with a dorsal and ventral edge. The shield had rows of regularly arranged papillae. The dome of collar scales had a forward-pointing peak and papillae. Body scales were rhombic and domeless. They had a V-rib and a narrow proximal rim that encircles about half of margin of the scale. The arms of the V-rib were fused with the anterior

submarginal ribs forming a continuous submarginal rib. The distal half of the continuous submarginal rib was broad and ornamented with several rows of weakly developed papillae. Rear scales were small and had a short spine.

***Mallomonas* sp. 2** (Plate 17, Figure 136)

This study: 1 site in Gyeongsang Province. A scale found at Site 17 was rhombic. It had a window on the shield, a single pore, weakly-developed papillae on the shield and V-rib. The scale was $2.54 \times 1.54 \mu\text{m}$ in size.

***Mallomonas* sp. 3** (Plate 18, Figure 137)

This study: 1 site in Gyeongsang Province. A scale found at Yongyeon reservoir have not a dome. It has ribs on the shield, weakly-developed anterior submarginal ribs and papillae, and struts in the anterior flange. The scale was $4.22 \times 2.42 \mu\text{m}$ in size.

***Mallomonas* sp. 5** (Plate 18, Figure 138)

This study: 1 site in Gyeongsang Province. A single scale was only found in March 2007 at Jinchon swamp. This domeless scale was rhombic and asymmetrical, and was approximately $3.97 \times 2.00 \mu\text{m}$ in size. It had a rib pattern with papillae and slightly-developed grooves on the shield. The V-rib was acute-angled and the posterior flange was narrow. The posterior submarginal rib was broad and strongly hooded.

***M. jejuensis* Kim & Kim sp. nov.** (Plate 18, Figures 139-144 & Plate 19, Figures 145-146)

This study: This species was found at Site 12 at Jeju Island.

The specific epithet 'jejuensis' refers to the fact that the species was first found at Jeju Island.

The cells (Plate 18, Figure 139) are small ($4.6\text{--}4.8 \times 10.5\text{--}11.3 \mu\text{m}$), ovoid to

ellipsoid with a broadly rounded posterior end, have a rather widely protruding collar, and are provided with three types of scales. The scales are arranged in spiral rows, and each scale is overlapped by the scale positioned behind it in the same row (Plate 18, Figure 139). The three scale types are: 1) apical domed scales forming a protruding collar, 2) domeless body scales, and 3) small rear scales with a short spine. They can be seen on the left, center and right portions of the cell, respectively, in Figure 139 (Plate 18). The shield of all scales is covered with a thick continuous layer with pits (Plate 18, Figures 142 & 143, center arrows). All scales have a shield ornamented with small, evenly spaced papillae.

The collar consists of approximately six forward-pointing, dome-bearing tripartite scales that are asymmetrical, elongate triangular, and have a broad proximal and narrower distal end (Plate 18, Figures 139 & 141). The dome of the collar scales is small, asymmetrical rectangular, and marked with a papilla, pits, ribs, and a stout, sharply-pointed peak apex (Plate 18, Figures 139-141, arrows). The submarginal rib is well-developed, extending to the side of the dome. The dorsal flange extends the length of the dorsal margin and terminates near the base of the dome. The shield is marked by a secondary layer ornamented with small evenly-spaced papillae, a circular, subcircular or irregular shaped depression, and one or two struts (Plate 18, Figure 140, central arrow; Plate 18, Figure 141, left arrow). Several large circular pores are located along the dorsal part of the submarginal rib (Plate 18, Figure 140, right arrow). The flanges are smooth.

The body scales (Plate 18, Figure 139, Figures 142-144; Plate 19, Figure 146) are rhomboidal. The shield of body scales is ornamented with small evenly spaced papillae in somewhat parallel rows, and has one to six subcircular to elongated depressions arranged along the margin of the shield (Plate 18, Figures 142-144). The window is in the angle of the posterior submarginal rib and has one or two large circular pores in the base plate (Plate 18, Figures

142-143, right arrows). The posterior submarginal rib is slightly hooded and smooth, or ornamented with a row of small papillae. The anterior submarginal ribs are not well defined. The posterior flange is smooth. The anterior flange is ornamented with small papillae arranged in approximately one to four rows, and has a delicately serrated edge (Plate 18, Figure 142, left arrow). The proximal border is broad and asymmetric. The rib structure on the shield of body scales and struts on the anterior flanges are not developed (Plate 19, Figure 146).

Several of the rear scales are small, asymmetric rhomboidal, and have a short, stout spine (Plate 18, Figure 144, arrows). The morphological features of the rear scales are similar to those of the body scales. However, the shield has one or two circular to subcircular pits, and the flanges are not well defined.

The bristles (Plate 18, Figure 139; Plate 19, Figure 145) attached to the apical collar scales are short, slightly curved, serrated with teeth along the convex margin (Plate 19, Figure 145, arrows), strongly tapering, acute or subacute, and shorter than the cell.

Dimensions: cells $4.6-4.8 \times 10.5-11.3 \mu\text{m}$, collar scales $2.0-2.3 \times 3.3-3.6 \mu\text{m}$, body scales $1.4-1.8 \times 2.3-2.8 \mu\text{m}$, rear scales $0.9-1.1 \times 1.4-1.7 \mu\text{m}$, bristles $5.5-7.1 \mu\text{m}$.

***M. koreana* Kim & Kim sp. nov.** (Plate 19, Figures 147-152 & Plate 20, Figures 146-159)

This study: 4 sites in Gyeongsang Province.

The cells (Plate 19, Figure 147) are ellipsoid, $9.2-10.5 \times 13-14 \mu\text{m}$ and armored with four types of scales. These scale types are (1) apical domed scales forming a protruding collar, (2) domed body scales, (3) elliptical to rhomboid domeless body scales and (4) small obovate rear scales. All scales have a base bate evenly perforated with small pores, a narrow posterior rim that encircles about one-half of the scale and a distinct V-rib. Both anterior

and posterior flanges are smooth.

A few forward-pointing apical scales (Plate 19, Figures 149 & 150) form a collar around the proximal part of the emergent flagellum. they are subovoid, shorter than body scales, and asymmetric. The dome on apical scales is large in relation to the scale size, and usually smooth or ornamented with a rib. A u-shaped submarginal rib, extending to the side of the dome is present. Scales lack a secondary layer on their shield and flanges. At the anterior part of the submarginal rib, there is a row of regularly-spaced large pores separated by short struts from the submarginal rib (Plate 19, Figure 150, arrows).

Domed body scales (Plate 19, Figures 151 and Plate 20 Figures 154 & 155) are elliptical, $2.7\text{--}3.1 \times 3.7\text{--}4.5 \mu\text{m}$ in size, and have a large pronounced dome and a V-rib that extends to the base of the dome. This V-rib becomes fused with slightly developed anterior submarginal ribs, and the small base plate pores are evenly distributed in transverse rows on the shield. The dome is smooth or ornamented with several small papillae, short spines and small pores (Plate 19, Figure 151, arrows). Several circular pores are located on both side of the posterior border of the dome and along the anterior submarginal ribs.

Domeless body scales are elongate elliptical or rhomboid, $2.1\text{--}2.9 \times 3.5\text{--}4.3 \mu\text{m}$ in size (Plate 19, Figures 148 & 152). the shield of domeless body scales is covered with a secondary layer consisting of an irregular reticulum (Plate 19, Figure 152). the secondary layer is often absent at the base of the V-rib and the window has a base plate with unevenly spaced pores (Plate 19, Fig 149, arrow). This layer is not well developed in the dome-bearing scales. The V-rib is obtusely angled, the arms are very short and the anterior flange is inconspicuous. A few rear scales are small and asymmetric subovoid to triangular, $2.3\text{--}2.5 \times 2.5\text{--}2.9 \mu\text{m}$ in size (Plate 19, Figure 148, arrow).

There are two types of bristles associated with the domed scales on the anterior portion of the cell (Plate 19, Figure 147). Bristles associated with the apical collar scales are short ($7\text{--}9 \mu\text{m}$ long), slightly curved, and have a row of

relatively long and slender teeth (2–4) along the convex margin (Plate 20, Figure 153). These bristles have a longitudinal groove along the convex margin (Plate 20, Figure 154). The bristles positioned immediately behind the apical scales are approximately twice longer (14–22 μm) than the short bristles, and have a smooth shaft (Plate 20, Figure 155), with a single tooth a short distance below the tip (Plate 20, Figure 157), terminating in an even bifurcation (Plate 20, Figure 157). Both types of bristles have a blunt tip (Plate 20, Figures 153 & 156 arrows).

Distinctive characteristics of *M. koreana* are a regular row of 1–4 circular pores on both sides of the posterior dome border and along the submarginal rib of the domed scales. In addition, the bristles have a blunt tip at the end of the shaft. The stomatocyst is spherical, 8.9–10.1 μm in diameter with a short cylindrical to obconical collar surrounding a conical pore (Plate 20, Figures 158 & 159). the cyst surface is ornamented with a regular to variable reticulum. The reticulum lacunae are spherical to polygonal. Small, echinate spines are located at the reticular interstices of mature specimens (Plate 20, Figure 159).

Genus *Synura* Ehrenberg

Sectio *Synura*

S. curtispina (Petersen & Hansen) Asmund (Plate 20, Figure 160)

This species has a wide distribution (Kristiansen & Preisig 2007).

This study: 10 sites in Gyeongsang Province. Scales were found in almost all seasons.

This species was found at Sites 1, 2, 8, 9, 10, 11, and 12 at Jeju Island.

S. echinulata Korshikov (Plate 21, Figure 161)

This species is widely distributed, almost cosmopolitan, in temperate,

subtropical and tropical regions (Kristiansen & Preisig 2007).

This study: Cells and separated scales were found at Sites 2, 8, 10, 12, and 13 at Jeju Island.

***S. leptorrhabda* (Asmund) Nicholls in Nicholls & Gerrath** (Plate 21, Figure 162)

This species is widely distributed, but scattered (Kristiansen & Preisig 2007).

This study: 4 sites in Gyeongsang Province. This represent the first record of this species from Korea.

***S. sphagnicola* (Korshikov) Korshikov** (Plate 21, Figure 163)

This species is widely distributed from the Arctic to the tropics (Kristiansen & Preisig 2007).

This study: 3 sites in Gyeongsang Province. Scales were found in summer at Jinchon swamp.

***S. spinosa* Petersen& Hansen** (Plate 21, Figures 164–166)

This species is widely distributed, but scattered (Kristiansen & Preisig 2007).

This study: 13 sites in Gyeongsang Province. This species was found in spring and winter at Gyeongcheon, Deokdong and Otae reservoirs.

Several scales were observed at Site 8 at Jeju Island. Scales have a long spine (4.6–5.0 μm), but not longer than the plate. Typical *S. spinosa* f. *spinosa* spines have two or three teeth, whereas spines of our sample have four teeth.

***S. uvella* Ehrenberg emend. Korshikov** (Plate 21, Figure 167)

This species is widely distributed, but not common (Kristiansen & Preisig 2007).

This study: 7 sites in Gyeongsang Province. Scales were found in spring, summer, and autumn at Jinchon swamp, in winter at Deokdong reservoir and in spring at Otae reservoir.

***Synura* sp.** (Plate 21, Figure 168)

This study: 1 site in Gyeongsang Province. A single scale was found in the summer at Jinchon swamp and observed in its back side. The scale was $5.52 \times 2.88 \mu\text{m}$ in size including the spine, which was approximately $1.96 \mu\text{m}$ long and had approximately 6 apical teeth. The scale was similar to that of *S. nygaardii*.

Sectio *Petersenianae*

S. petersenii* Korshikov f. *petersenii (Plate 22, Figures 169–172)

This species is a cosmopolitan species (Kristiansen & Preisig 2007).

This study: 26 sites in Gyeongsang Province. Scales were found in all seasons.

Scales were found at Sites 1, 2, and 9 at Jeju Island. A few longitudinal ribs were present on some scales.

***S. petersenii* f. *kufferathii* Petersen & Hansen** (Plate 22, Figures 173 & 174)

This species is widely distributed (Kristiansen & Preisig 2007).

This study: 5 sites in Gyeongsang Province. Scales were found in spring, summer, and autumn at Jinchon swamp and in winter at Gyeongcheon reservoir.

One scale was found at Site 4 at Jeju Island. The scale has longitudinal ribs connecting the transverse struts to a variable extent.

Plates

Plate 1

Figures 1-4. *Chrysosphaerella brevispina*

Figures 5-6. *Chrysosphaerella coronacircumspina*

Figures 7-8. *Paraphysomonas bandaiensis*

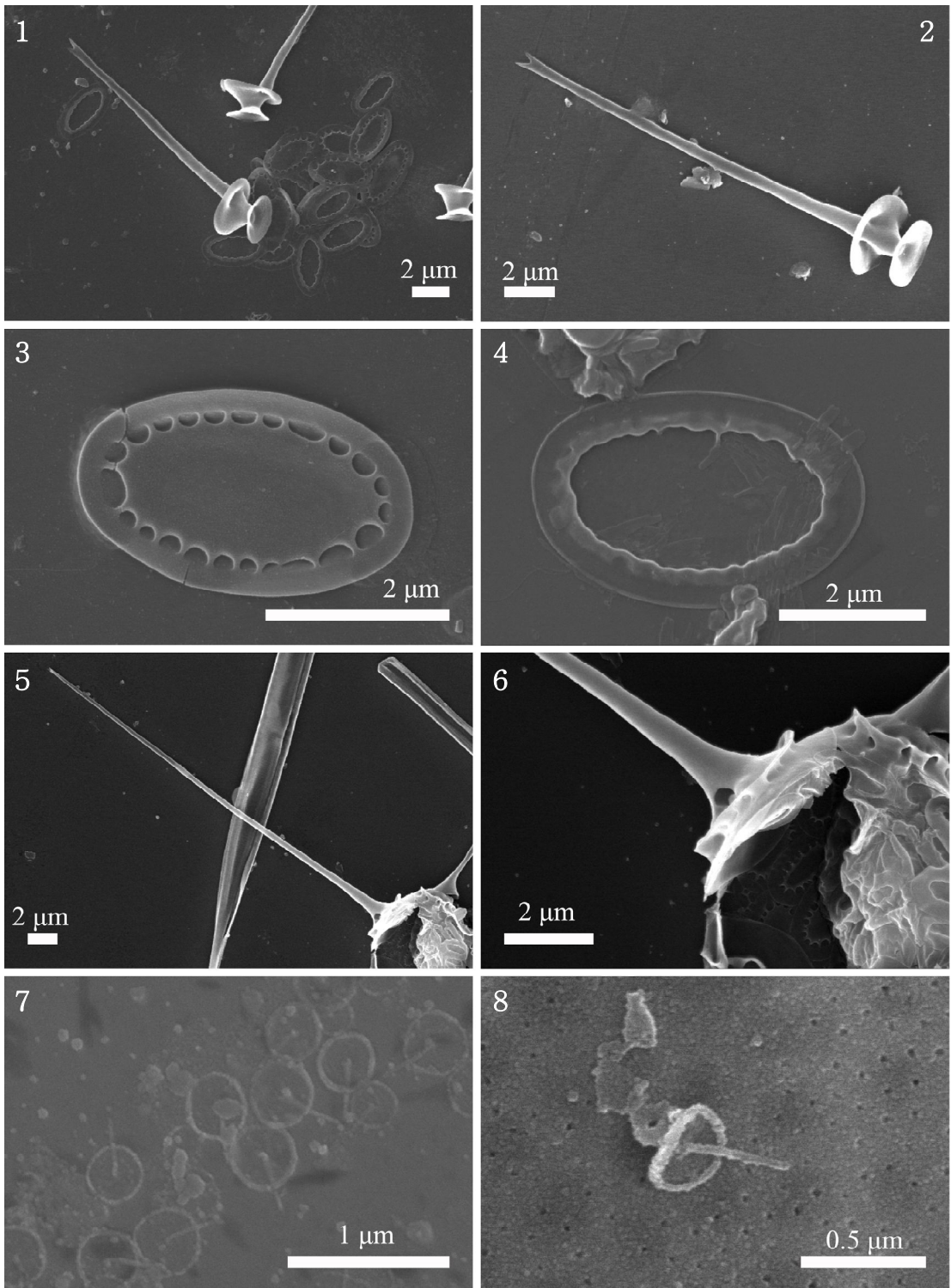


Plate 2

Figures 9–12. *Paraphysomonas bourrellyi*

Figure 13. *Paraphysomonas caelifrica*

Figure 14. *Paraphysomonas eiffelii*

Figures 15–16. *Paraphysomonas gladiata*

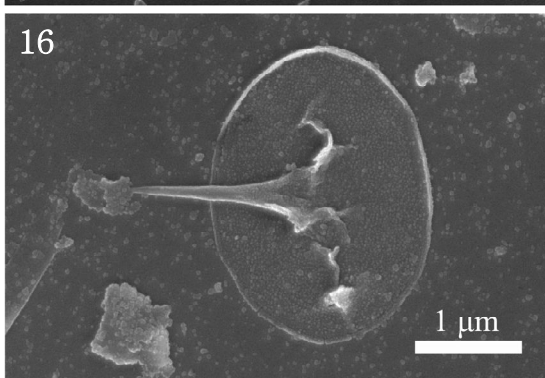
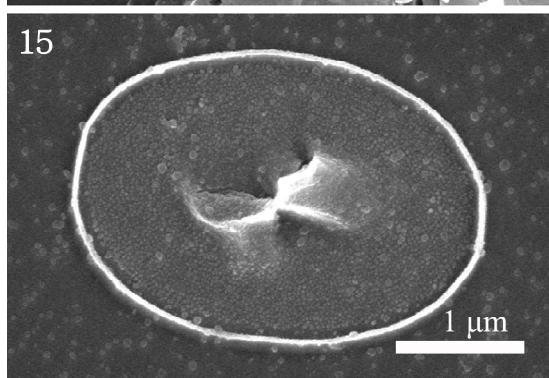
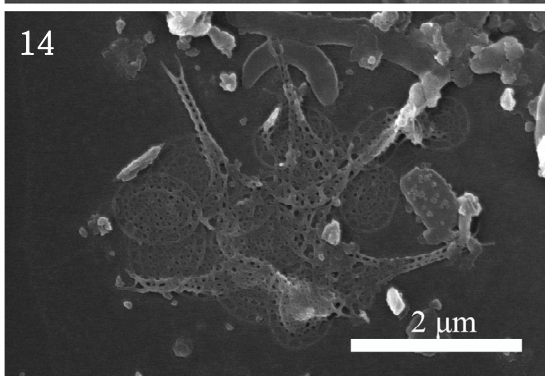
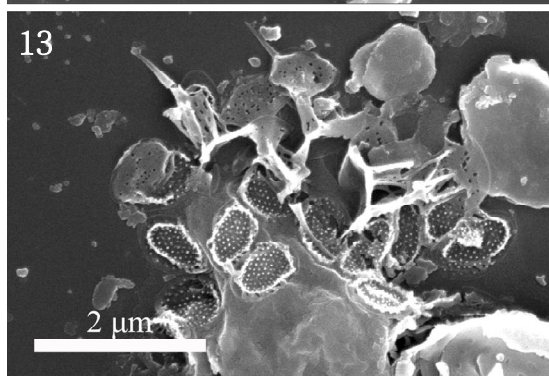
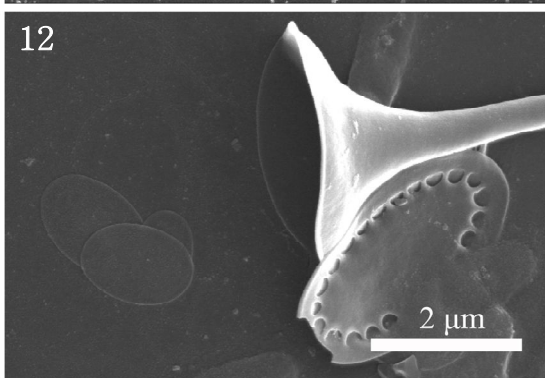
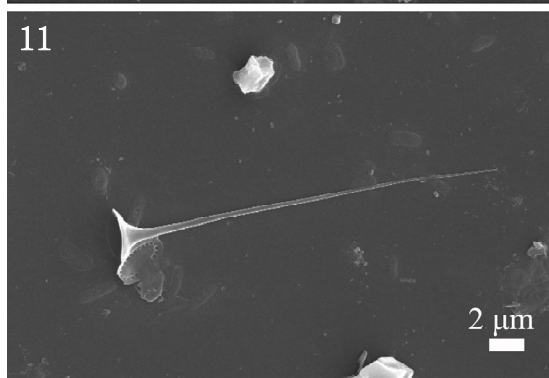
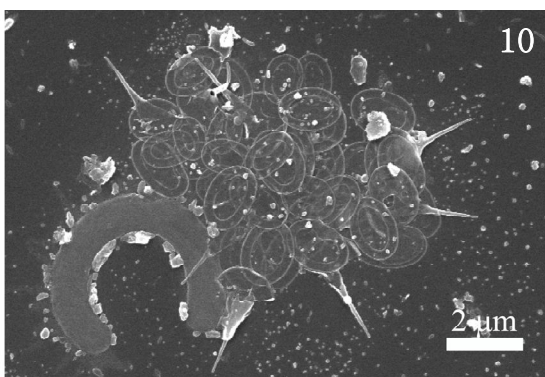
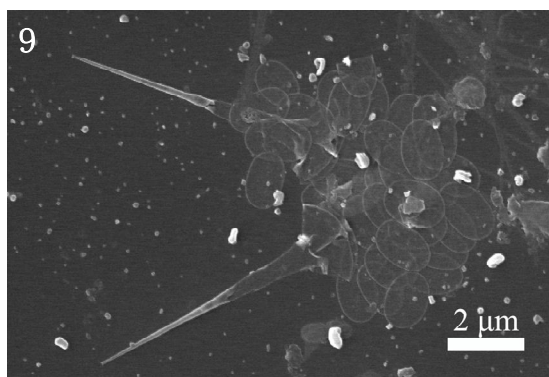


Plate 3

Figure 17. *Paraphysomonas homolepis*

Figure 18. *Paraphysomonas imperforata*

Figure 19. *Paraphysomonas punctata* ssp. *atrema*

Figure 20. *Paraphysomonas subrotacea*

Figure 21. *Paraphysomonas vestita*

Figure 22. *Paraphysomonas vestita* ssp.

Figure 23. *Paraphysomonas* sp. 1

Figure 24. *Paraphysomonas* sp. 2

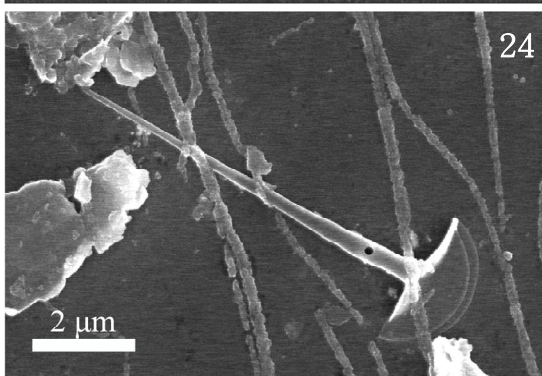
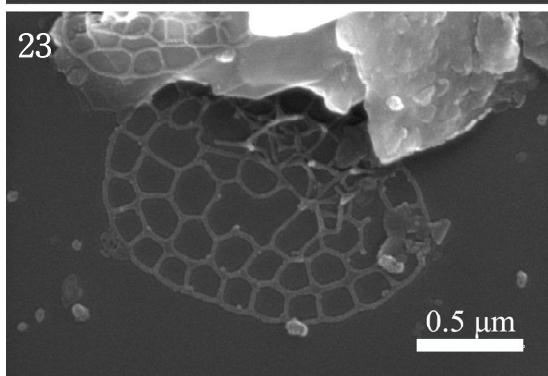
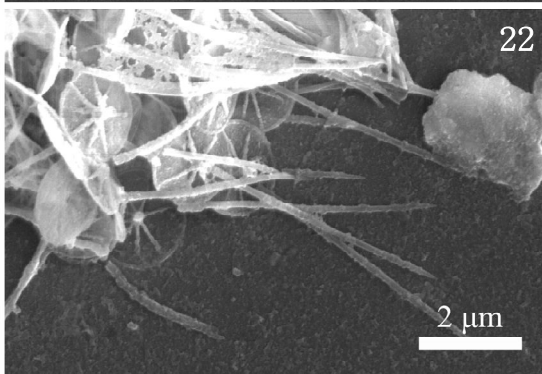
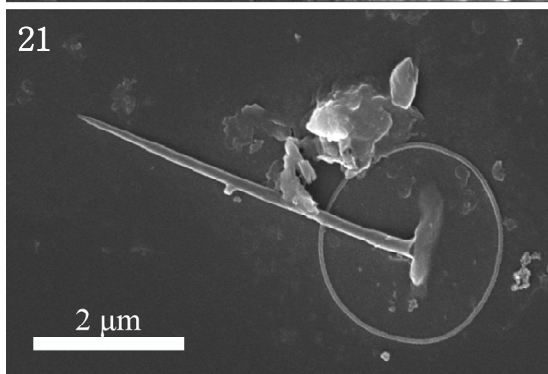
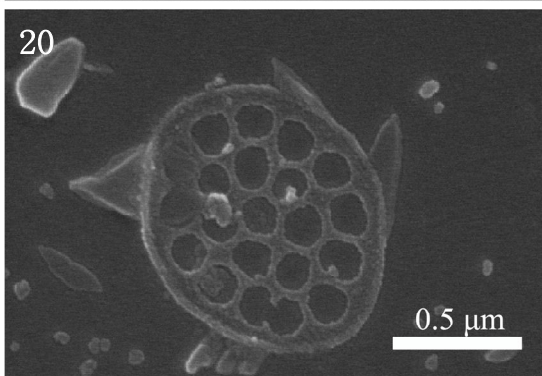
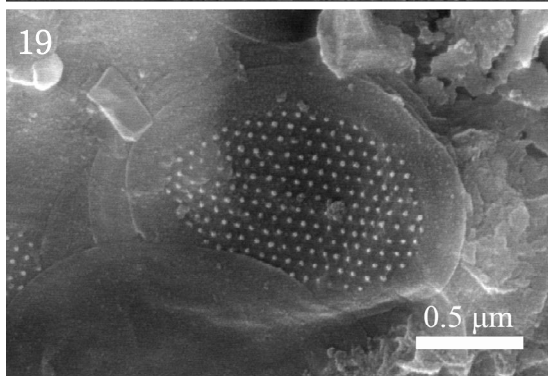
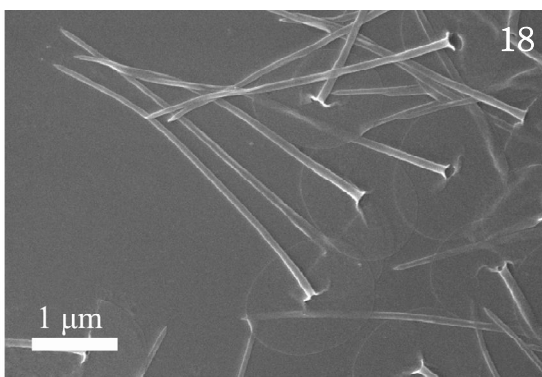
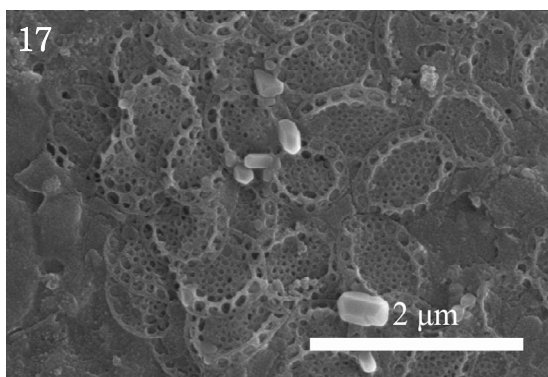


Plate 4

Figure 25. *Spiniferomonas abei*

Figure 26. *Spiniferomonas* cf. *bilacunosa*

Figures 27–28. *Spiniferomonas cornuta*

Figures 29–30. *Spiniferomonas crucigera*

Figures 31–32. *Spiniferomonas septispina*

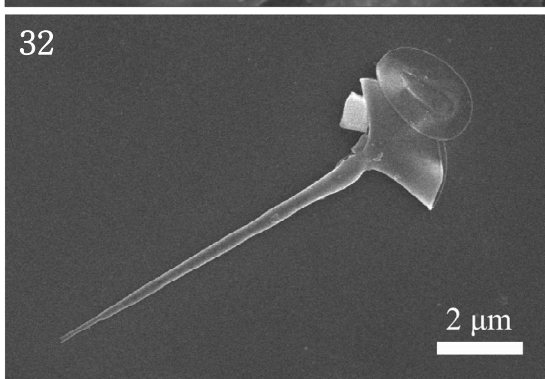
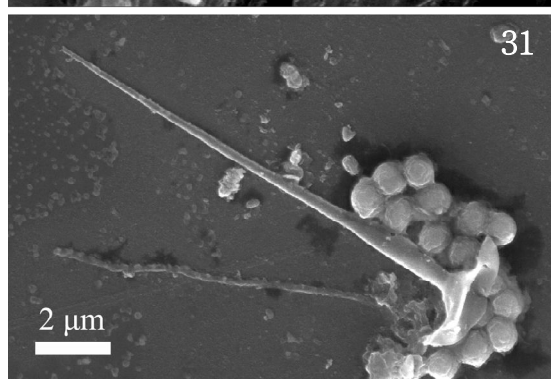
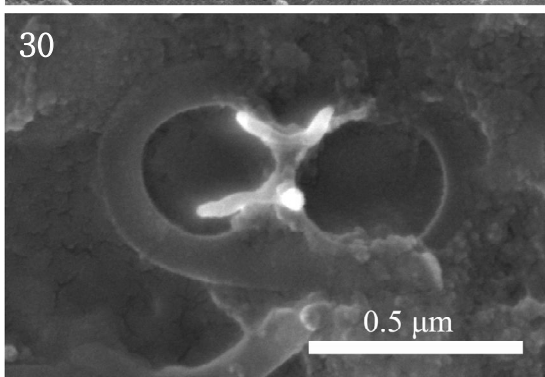
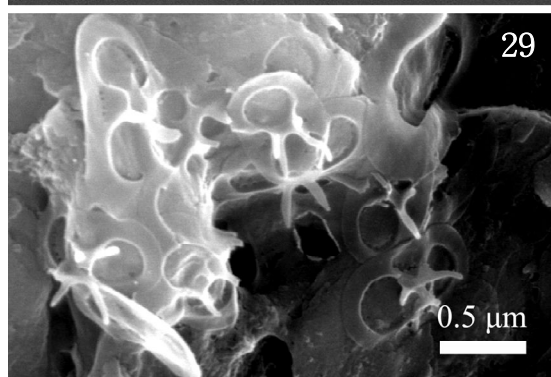
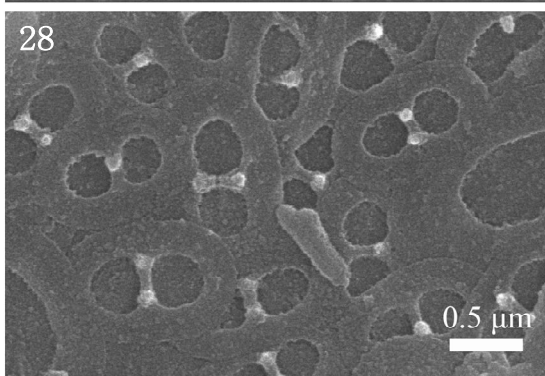
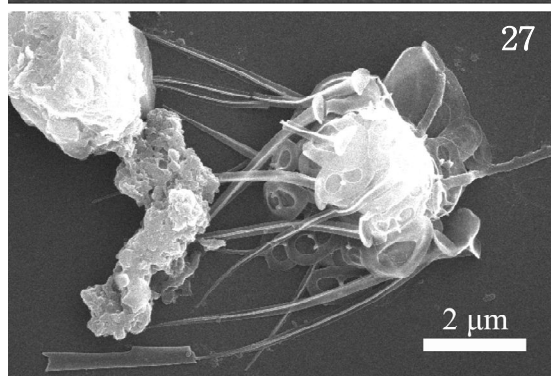
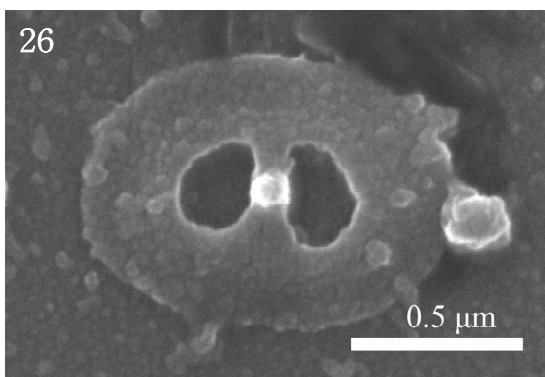
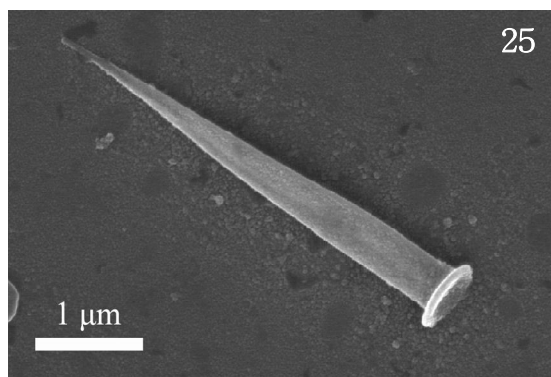


Plate 5

Figures 33–35. *Spiniferomonas serrata*

Figure 36. *Spiniferomonas silverensis*

Figures 37–38. *Spiniferomonas takahashii*

Figures 39–40. *Siniferomonas trionalis*

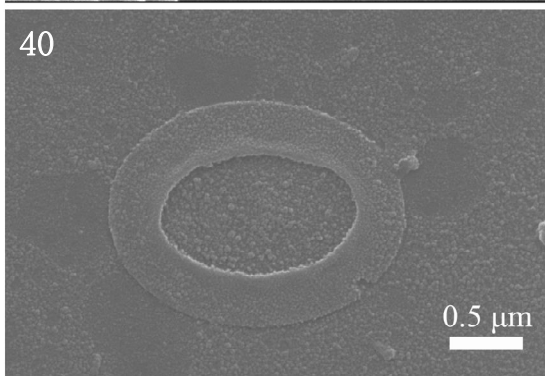
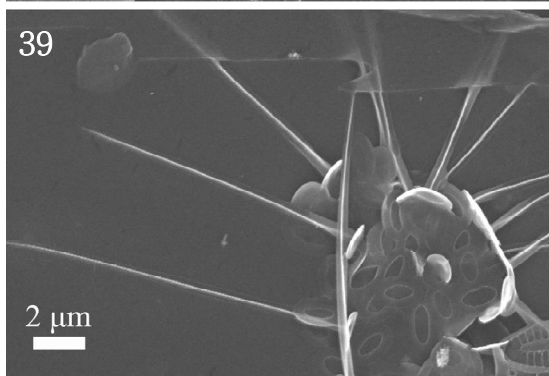
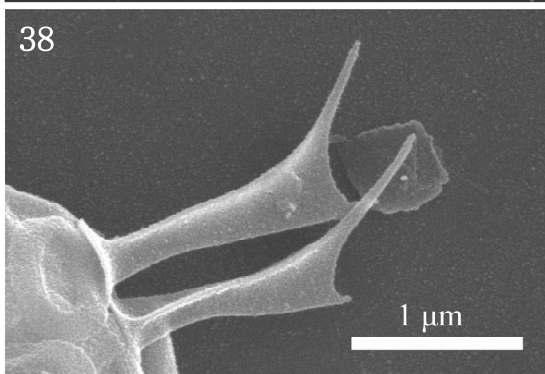
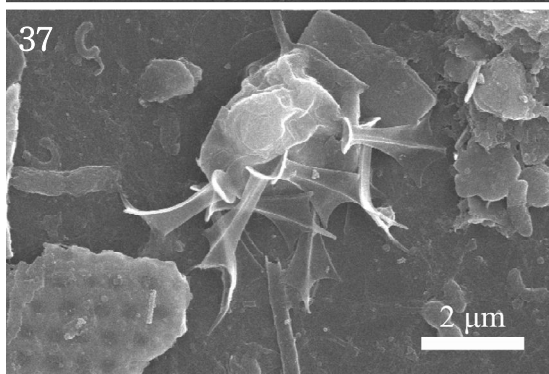
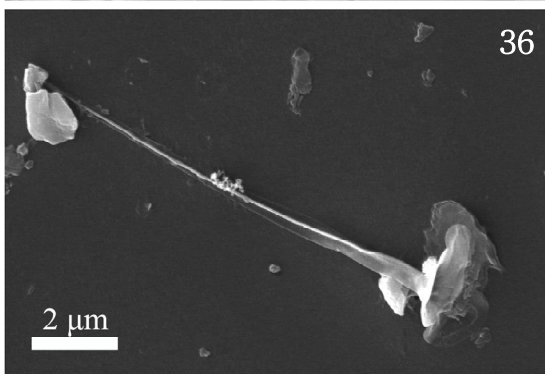
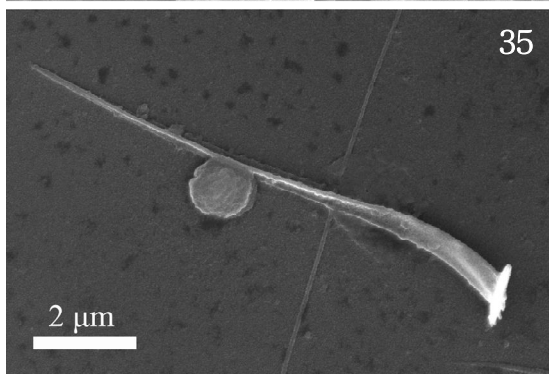
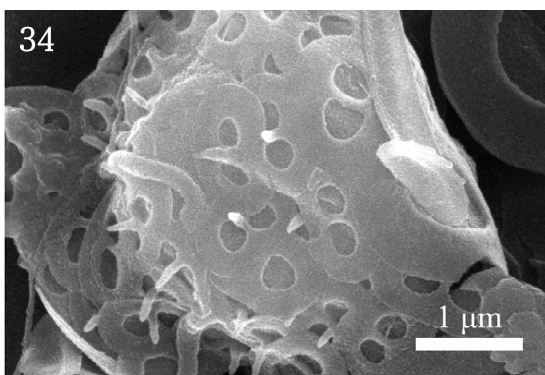
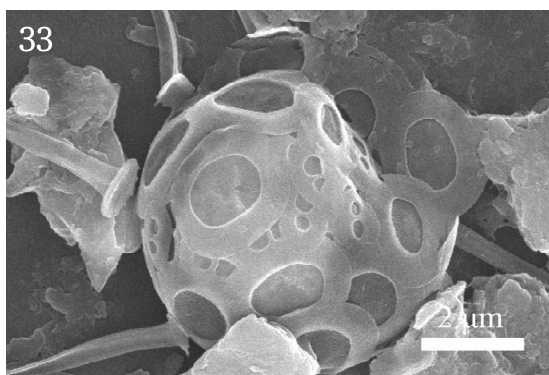


Plate 6

Figure 41. *Mallomonas caudata*

Figures 42–48. *Mallomonas matvienkoe*

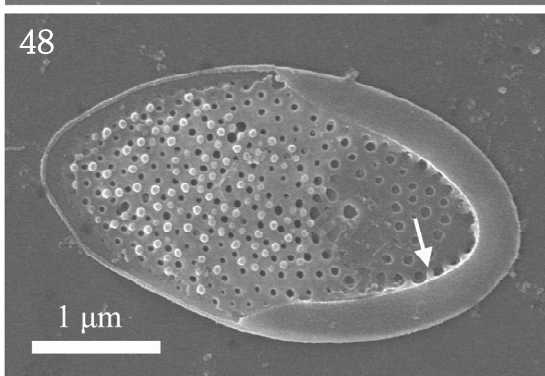
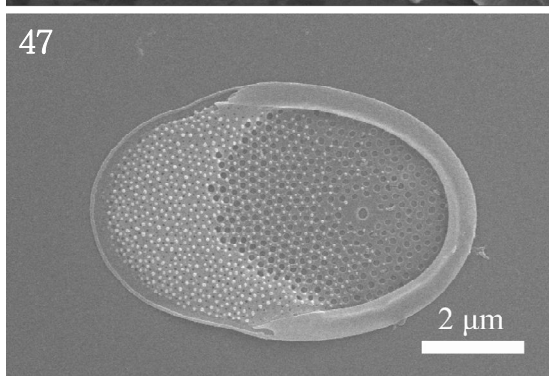
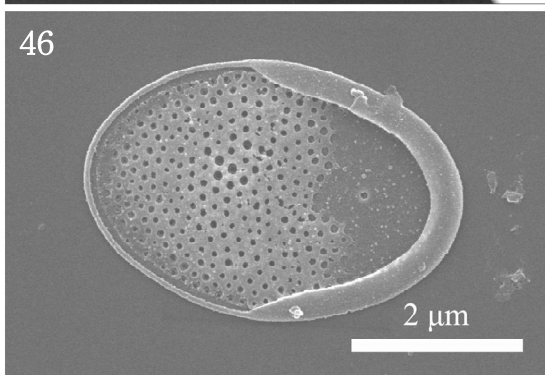
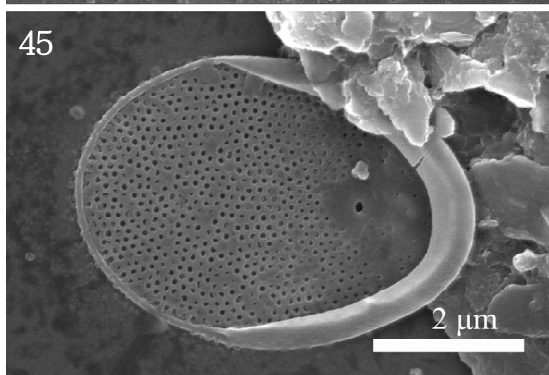
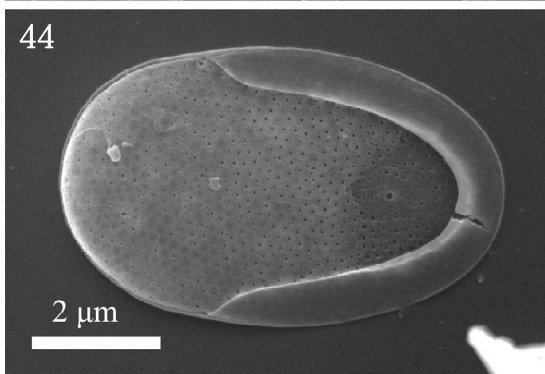
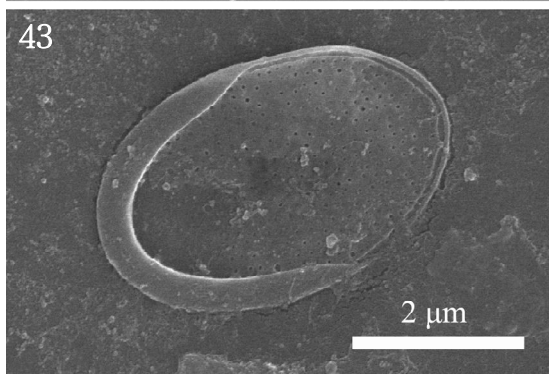
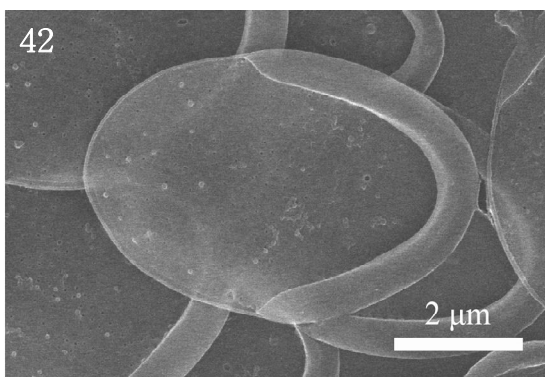
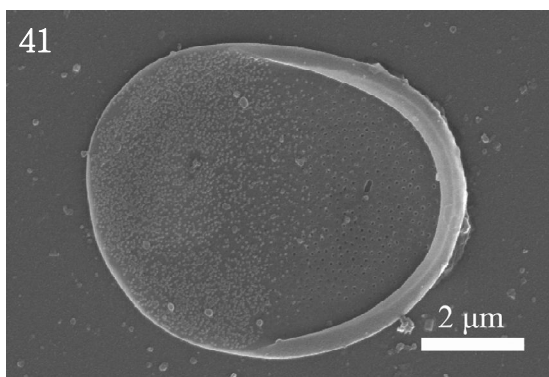


Plate 7

Figure 49. *Mallomonas oviformis*

Figures 50–51. *Mallomonas bronchartiana*

Figure 52. *Mallomonas peronoides* var. *peronoides*

Figure 53. *Mallomonas peronoides* var. *bangladeshica*

Figures 54–55. *Mallomonas multisetigera*

Figure 56. *Mallomonas guttata*

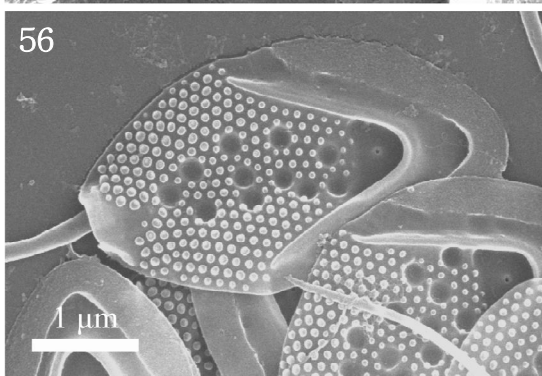
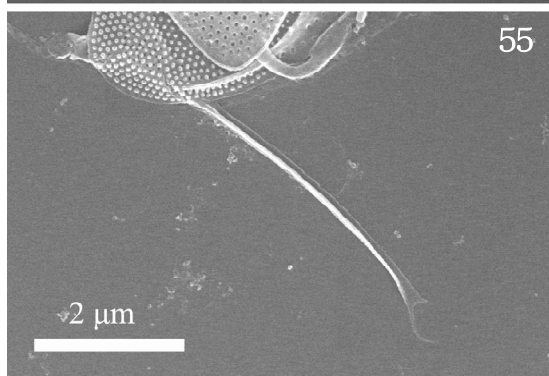
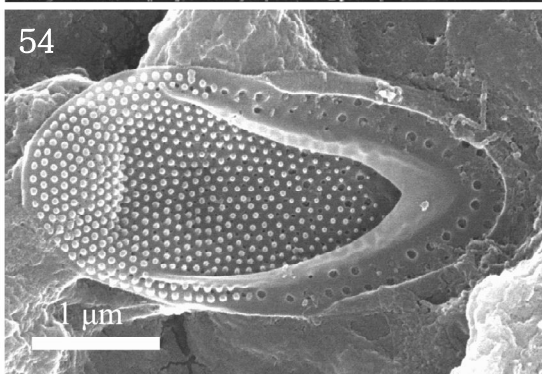
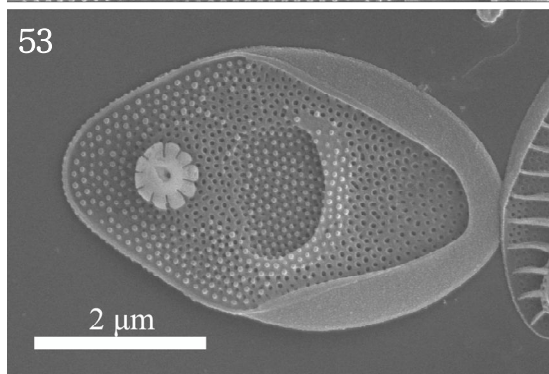
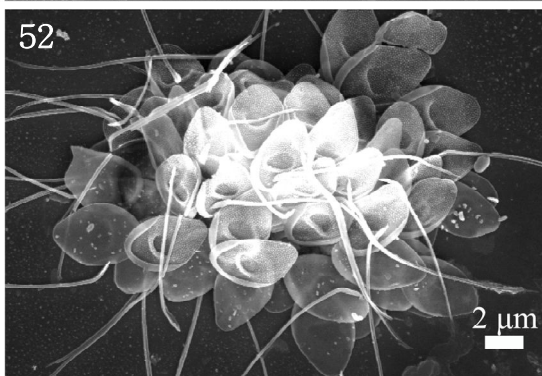
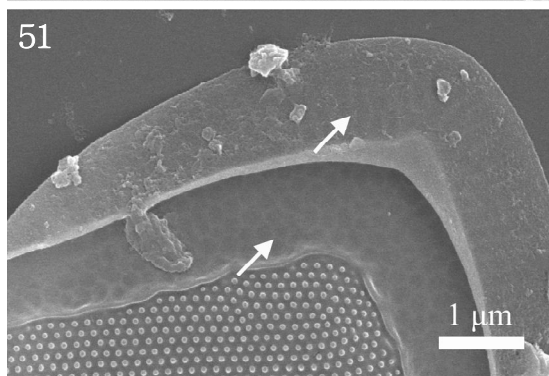
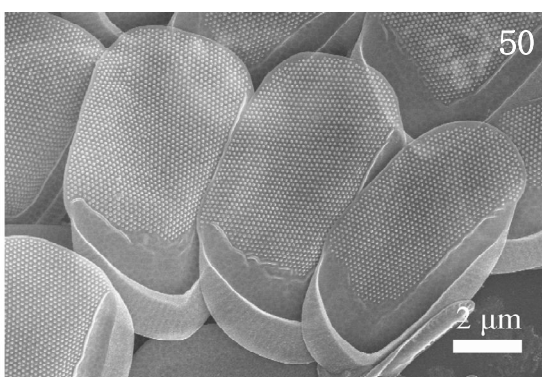
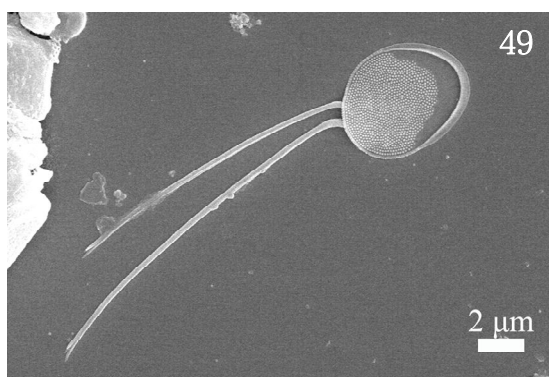


Plate 8

Figures 57–58. *Mallomonas papillosa*

Figure 59. *Mallomonas* sp. 7

Figures 60–61. *Mallomonas* sp. 8

Figure 62. *Mallomonas parvula*

Figures 63–64. *Mallomonas ouradion*

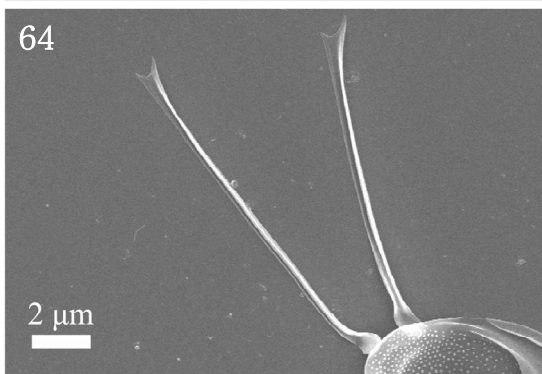
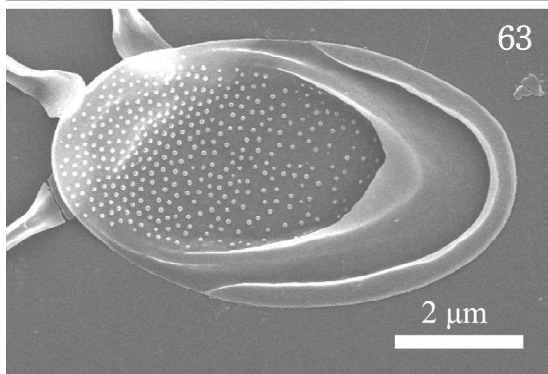
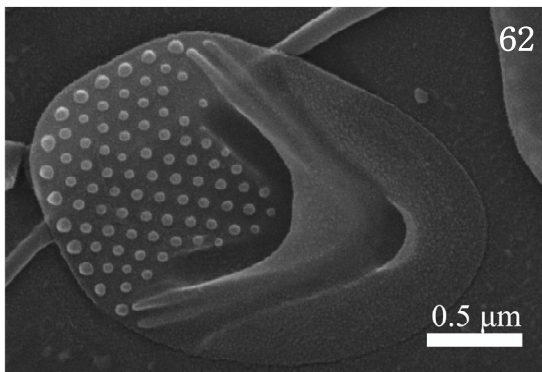
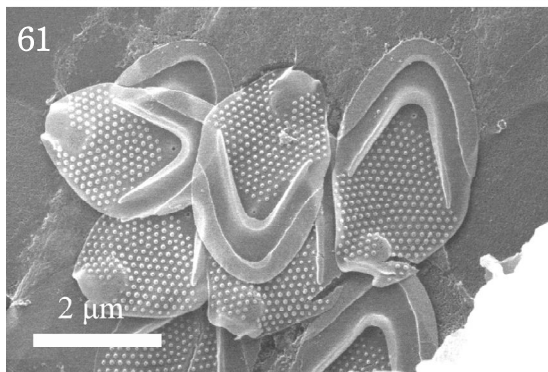
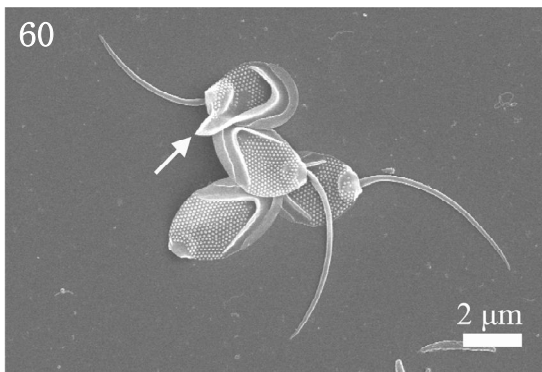
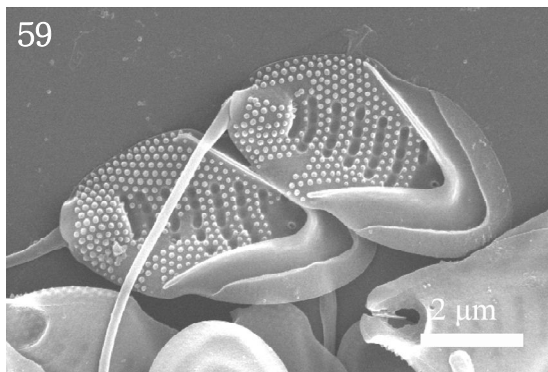
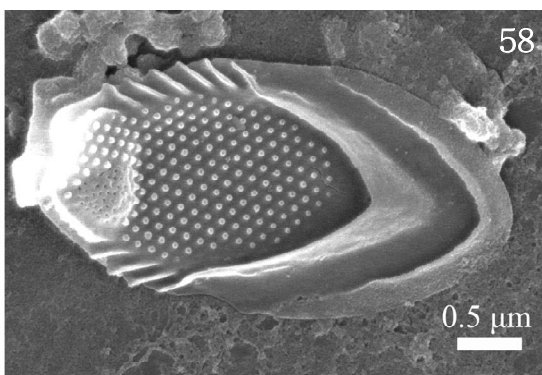
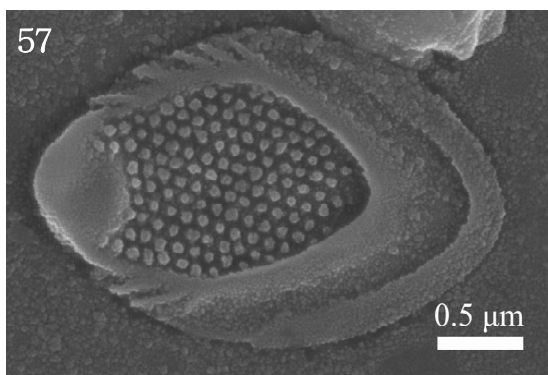


Plate 9

Figure 65. *Mallomonas adamas*

Figures 66–68. *Mallomonas splendens*

Figures 69–70. *Mallomonas punctifera*

Figures 71–72. *Mallomonas heterospina*

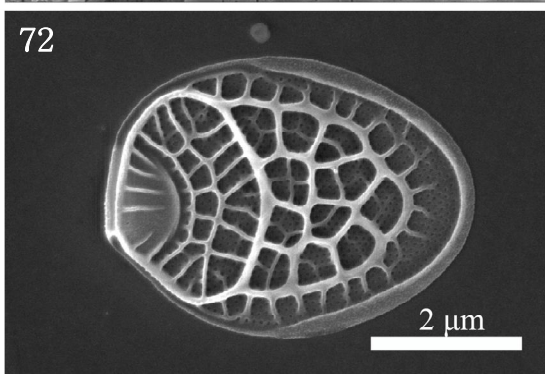
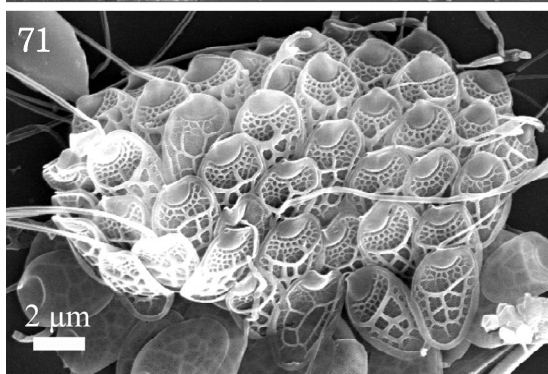
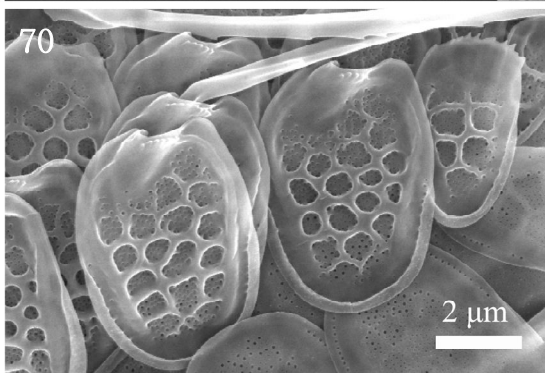
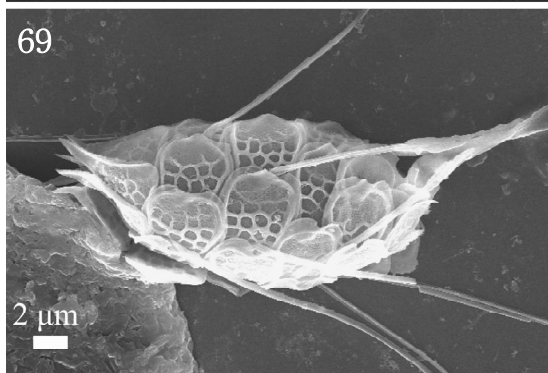
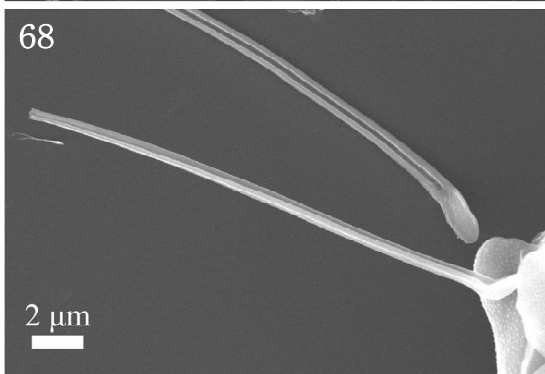
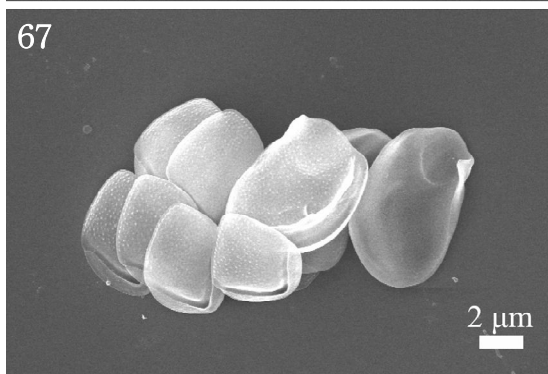
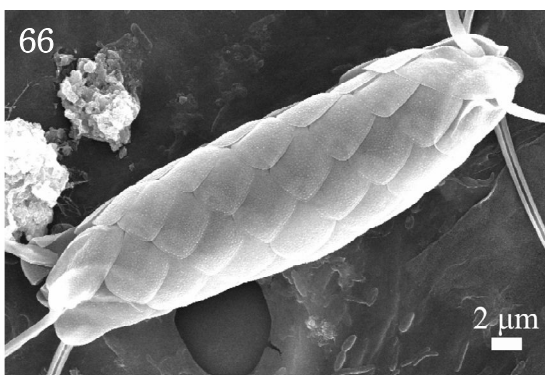
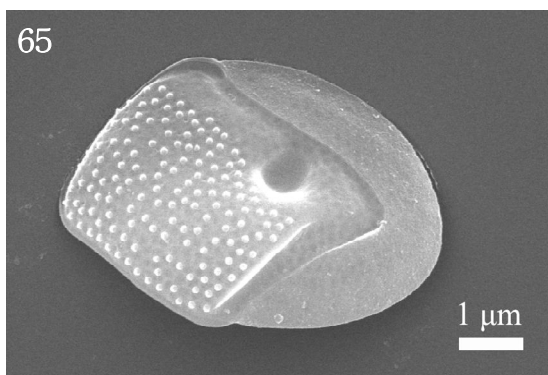


Plate 10

Figures 73–74. *Mallomonas akrokomos*

Figures 75–78. *Mallomonas striata* var. *striata*

Figures 79–80. *Mallomonas striata* var. *serrata*

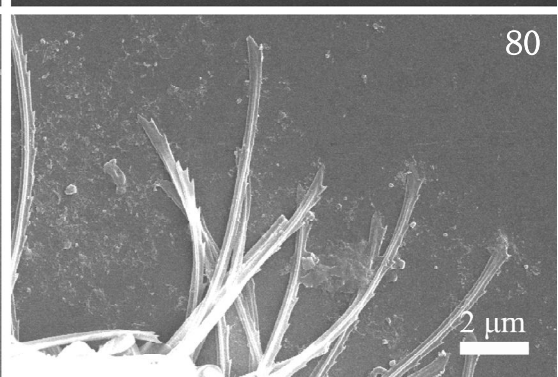
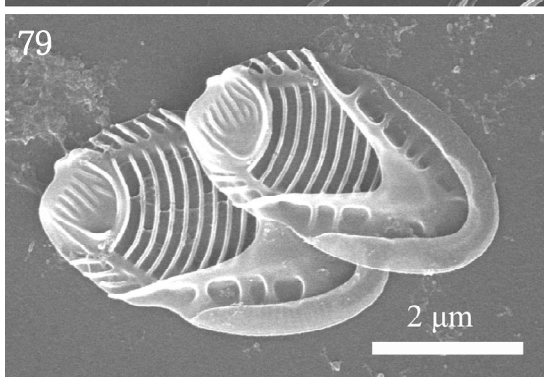
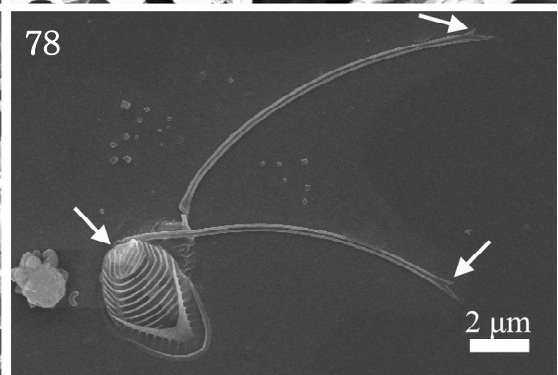
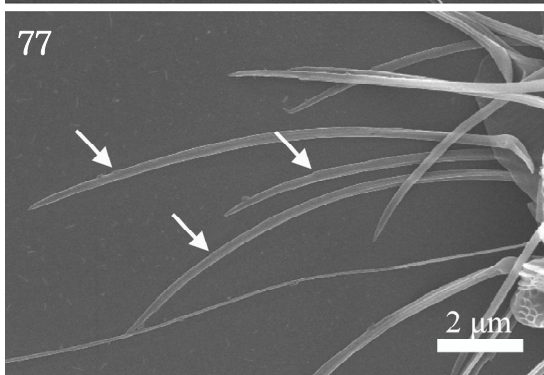
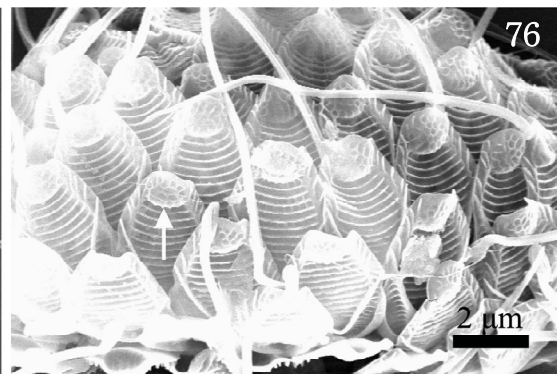
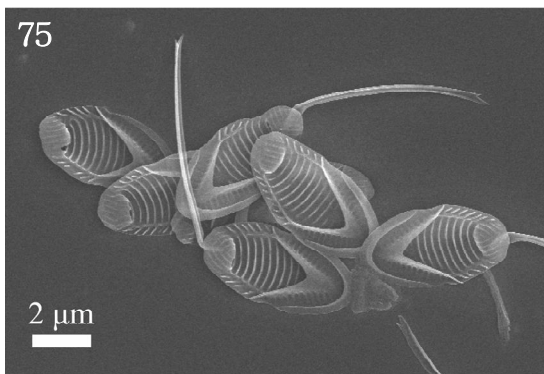
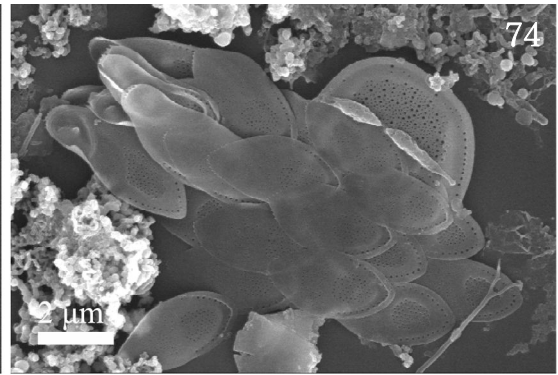
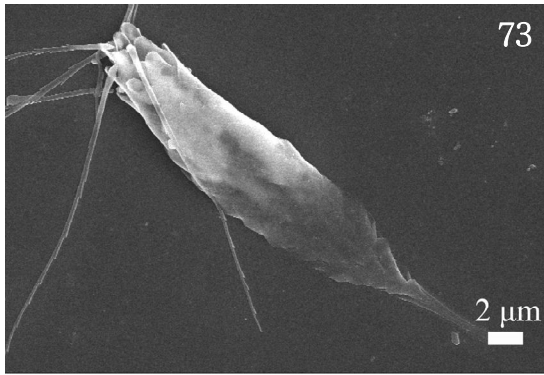


Plate 11

Figures 81–85. *Mallomonas* sp. 6

Figure 86. *Mallomonas verrucosa*

Figure 87. *Mallomonas alpina*

Figure 88. *Mallomonas areolata*

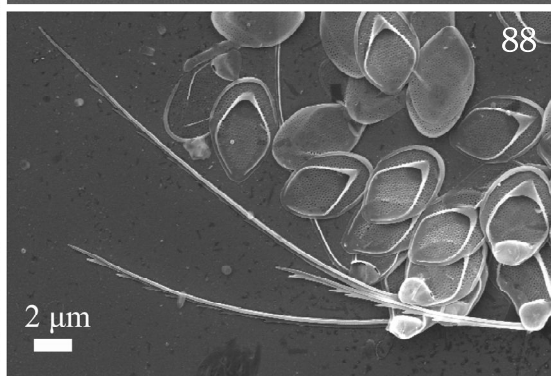
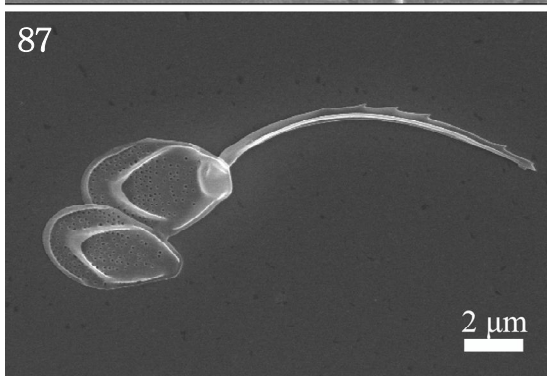
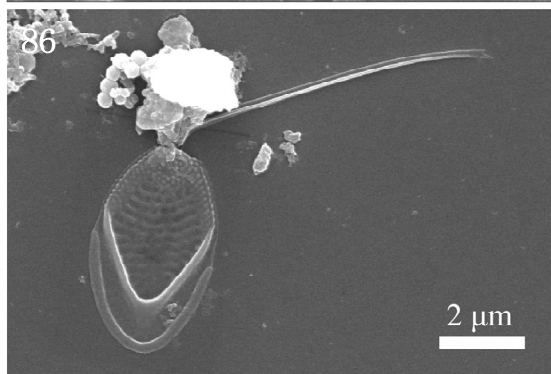
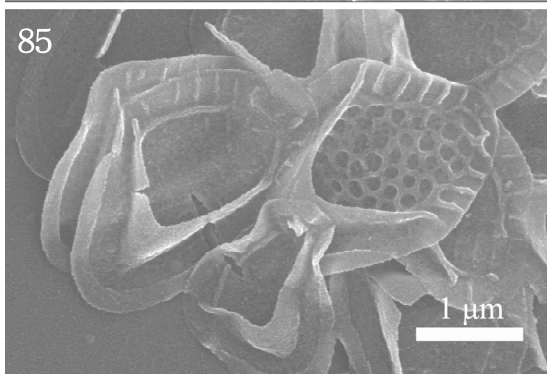
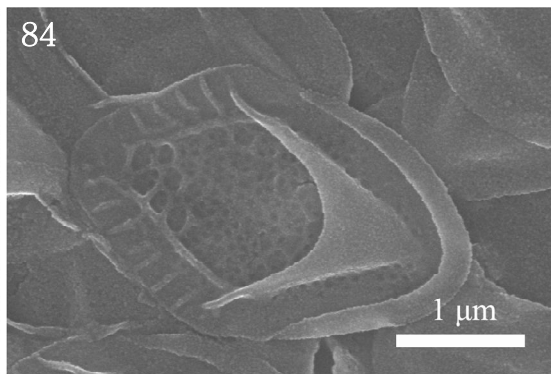
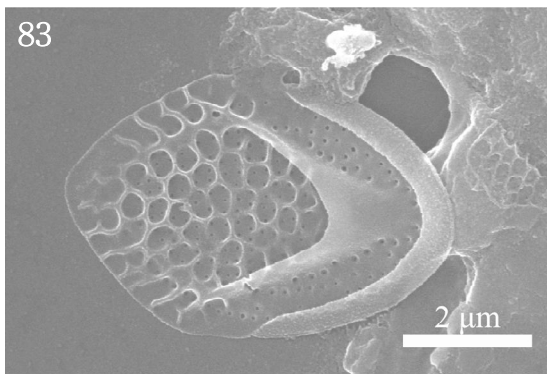
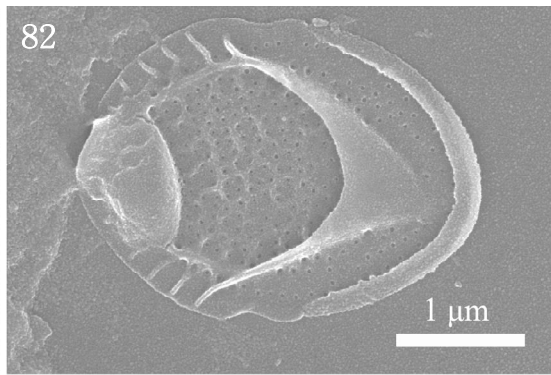
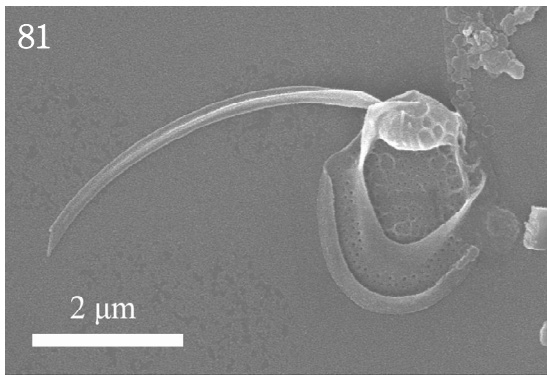


Plate 12

Figures 89–90. *Mallomonas elongata*

Figures 91–92. *Mallomonas corymbosa*

Figures 93–95. *Mallomonas tonsurata*

Figure 96. *Mallomonas morrisonensis*

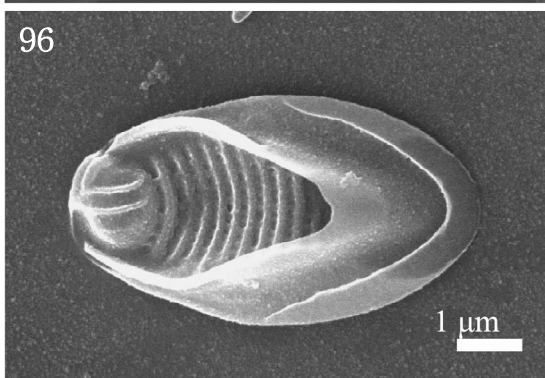
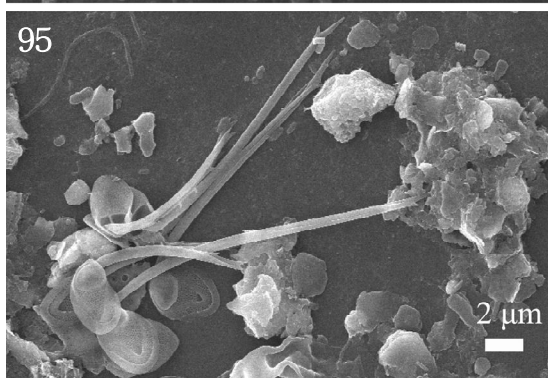
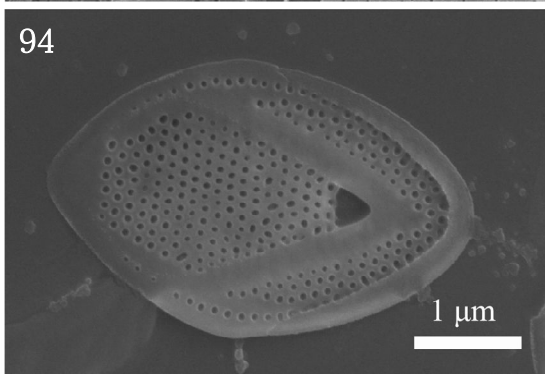
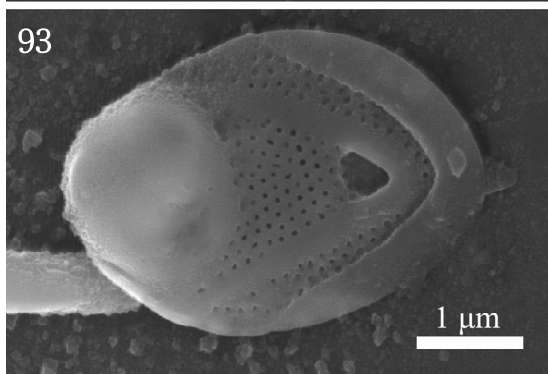
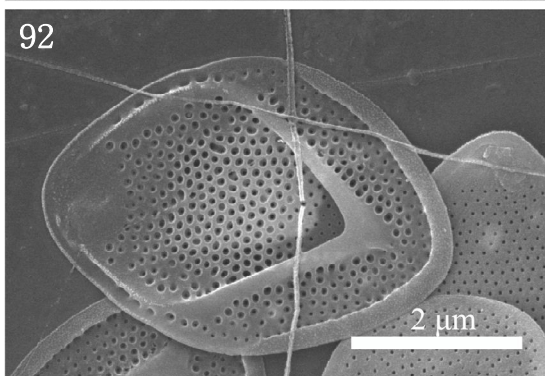
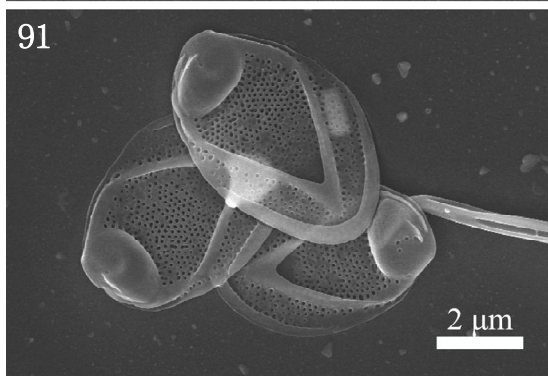
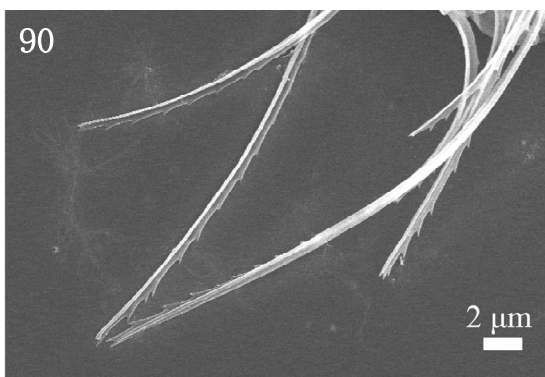
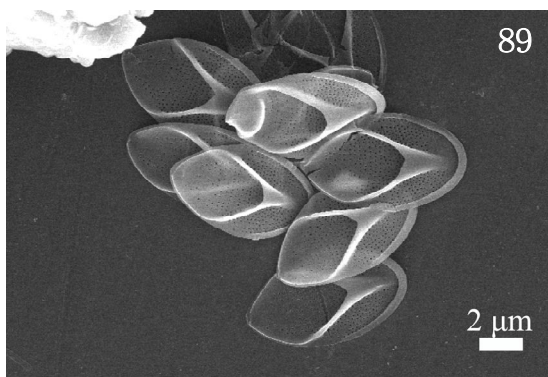


Plate 13

Figures 97–98. *Mallomonas morrisonensis*

Figures 99–100. *Mallomonas portae-ferreae*

Figures 101–104. *Mallomonas trummensis*

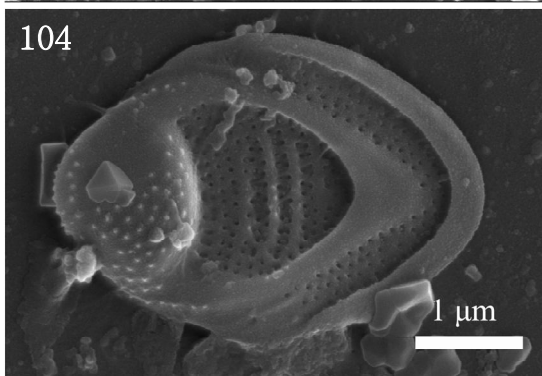
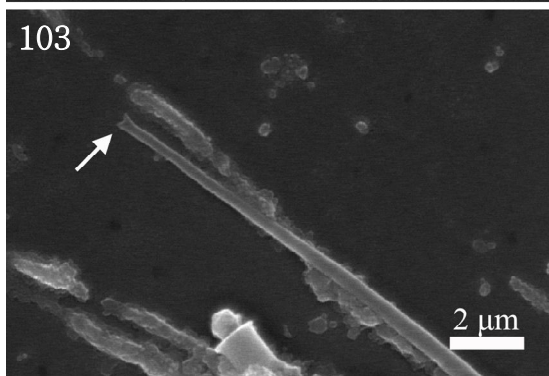
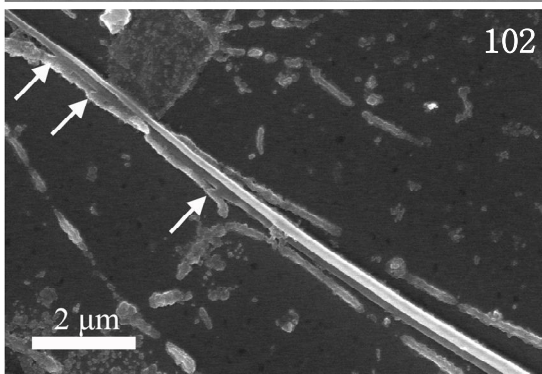
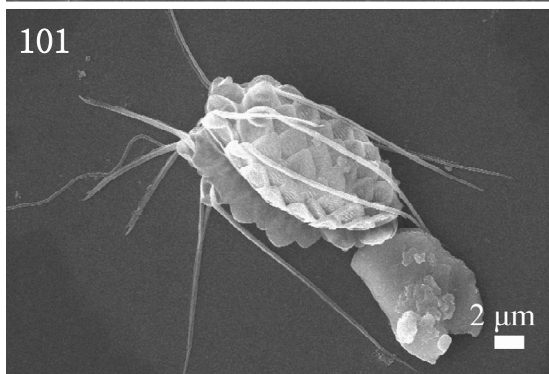
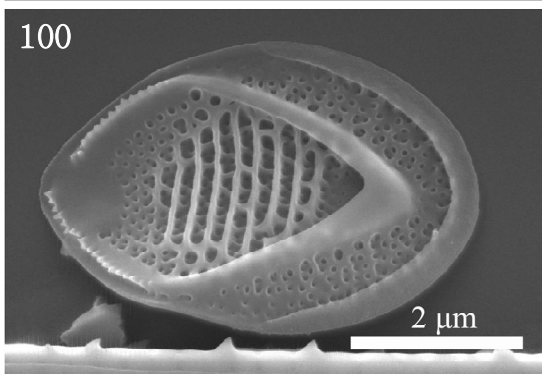
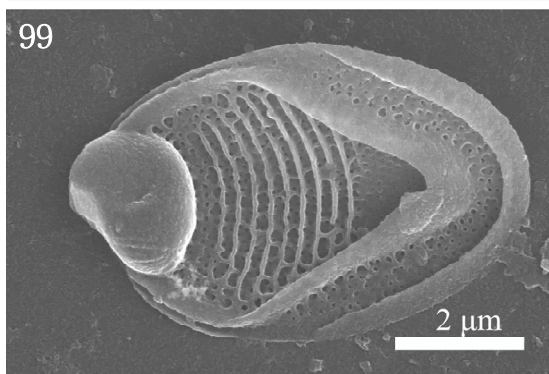
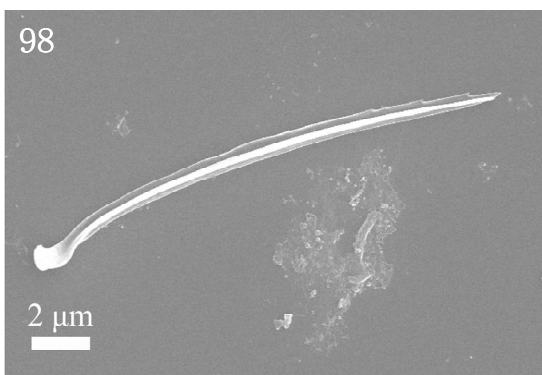
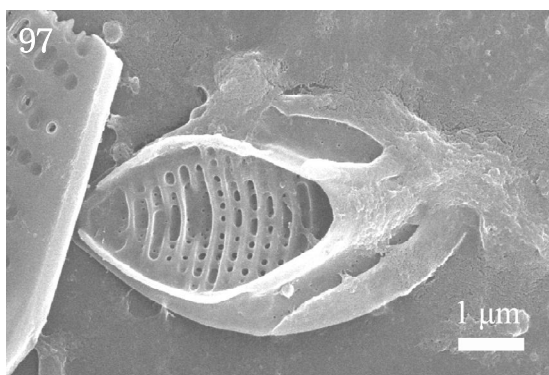


Plate 14

Figure 105. *Mallomonas trummensis*

Figure 106. *Mallomonas* sp. 4

Figures 107–109. *Mallomonas acaroides* var. *acaroides*

Figure 110. *Mallomonas acaroides* var. *obtusa*

Figures 111–112. *Mallomonas crassisquama* var. *crassisquama*



Plate 15

Figures 113–114. *Mallomonas crassisquama* var. *papillosa*

Figures 115–116. *Mallomonas lelymene*

Figure 117. *Mallomonas annulata*

Figures 118–120. *Mallomonas clavus*



Plate 16

Figure 121. *Mallomonas* cf. *pumilio*

Figures 122–123. *Mallomonas mangofera* var. *mangofera*

Figure 124. *Mallomonas mangofera* var. *foveata*

Figures 125–128. *Mallomonas favosa* f. *favosa*



Plate 17

Figures 129–132. *Mallomonas favosa* f. *gemina*

Figures 133–134. *Mallomonas* cf. *grata*

Figure 135. *Mallomonas* sp. 1

Figure 136. *Mallomonas* sp. 2



Plate 18

Figure 137. *Mallomonas* sp. 3

Figure 138. *Mallomonas* sp. 5

Figures 139–144. *Mallomonas jejuensis* sp. nov.



Plate 19

Figure 145–146. *Mallomonas jejuensis* sp. nov.

Figures 147–152. *Mallomonas koreana* sp. nov.

Plate 20

Figures 153–159. *Mallomonas koreana* sp. nov.

Figure 160. *Synura curtispina*



Plate 21

Figure 161. *Synura echinulata*

Figure 162. *Synura leptorrhabda*

Figure 163. *Synura sphagnicola*

Figures 164–166. *Synura spinosa*

Figure 167. *Synura uvella*

Figure 168. *Synura* sp.



Plate 22

Figures 169–172. *Synura petersenii* f. *petersenii*

Figures 173–174. *Synura petersenii* f. *kufferathii*

