

室內培養에 따른 *Scenedesmus quadricauda*(Turpin)  
de Brébisson과 *Scenedesmus armatus*(Chodat)  
G.M. Smith의 形態變異

安善淑·張允卿  
(淑明女子大學校 理科大學 生物學科)

Morphological variation of *Scenedesmus quadricauda*  
(Turpin) de Brébisson and *Scenedesmus armatus*  
(Chodat) G.M. Smith in culture

Ann, Seon Sook and Yoon-Kyung Chang  
(Department of Biology, Sookmyung Women's University, Seoul)

ABSTRACT

Morphological variations within the species of *Scenedesmus* in Korea, *S. armatus* and 2 strains of *S. quadricauda* were investigated. Taxonomic characters such as length of long spine, ridge, unicell-colony transformation, and colony types were compared. The length of long spine was constant, whereas the distribution of the spine varied with the age of culture. Ridge and short spine in *S. armatus* occurred constantly, whereas those in *S. quadricauda* varied with the composition of the media and age of culture. Strains CY-1 and CY-2 showed 6 different colony types in the stationary culture, whereas *S. armatus* formed only two types, *armatus* and *armatus-longus* types. All strains showed unicell-colony transformation. The cell became minimum when the daughter cell was released, and reached maximum at division.

緒 論

*Scenedesmus*속은 담수 및 토양에 널리 분포하는 녹조류로서 Chlorococcales(目)의 Scenedesmaceae(科)에 속한다. *Scenedesmus*속의 분류는 세포의 모양과 크기, 긴 가시의 기장, 짧은 가시의 유무, 세포막의 隆起線의 유무 등에 의하여 이루어 지는데 Smith(1916)와 Uherkovich(1966)는 이러한 특징을 안정된 형질로 보아 *Scenedesmus*속의 식별형질로 이용하였고, 대부분의 분류학자들도 종을 同定하는데 이 형질들을 사용하고 있다. 그러나 Chodat(1926)는 일찌기 *Scenedesmus*를 실내 배양하면 배양 조건에 따라 그 특징이 변함을 관찰하였는데 특히 *Dactylococcus*, *Chlorella*, *Oocystis*, *Ankistrodesmus*를 닮은 단세포가 출현함을 밝혔으며 Trainor and Hilton(1963), Swale(1965) 및 Trainor and Rowland(1968) 등도 실

내 배양을 통하여 단세포와 군체의 생성이 가능하며 이들은 같은 식물체의 성장 단계임을 밝힌 바 있다. 최근 많은 학자들도 배양 연구를 통하여 세포의 형태나 세포벽의 형상 등이 배양 조건에 따라서 변함을 밝히고 있다(Trainor, 1963, 1964a, 1964b, 1964c, 1965, 1966, 1969, 1971; Trainor and Rowland, 1968; Trainor *et al.*, 1976; Trainor and Silver, 1981).

韓國産 *Scenedesmus*속에 관하여는 그간 전국 각지에서 채집되어 총 34종 23변종 7품종 4 변품종이 발표되었는데(정영호, 1968, 1969, 1979; 정준, 1970, 1979; 장윤경, 1981; 김도한·정준, 1982) 그 중 *S. quadricauda*에서만 8변종 2품종 3변품종이 발표됨으로써 본종은 형태적 변이가 다양함을 보여주고 있다.

본 연구는 실내 배양을 통하여 韓國産 *Scenedesmus*屬內 종 집단간의 형태적 다양성을 규명하고 기존 식별형질과 비교 검토하고자 시도되었다. 특히 본 연구에서는 이들 각 strain의 형태 변이를 살펴보기 위하여 生活史 및 形態形成 과정을 주목하였으며 培地와 aging에 따른 세포벽의 변화, 특히 隆起線의 유무 및 발달 양상을 走査電子顯微鏡으로 관찰하였다.

### 材料 및 方法

본 研究에 사용된 재료는 1982년 3월부터 1983년 11월까지 淸平 養魚場, 경복궁 및 경희대 연못 등에서 채취한 것이다. 채취한 재료는 Modified Bristol's Medium(Starr, 1964)을 사용하여  $27 \pm 2^\circ\text{C}$ 의 항온실에서 4,000 lux 청색 형광등, 15:9광주기하에서 배양하여 *S. armatus*의 1 strain과 *S. quadricauda*의 2 strain을 순수 분리하였다(Table 1).

Table 1. Isolates of *Scenedesmus* from several localities in Seoul and adjacent area

Strain	Locality
<i>S. armatus</i>	Chungpyung
<i>S. quadricauda</i>	
st. CY-1	Kyungbock-kung
st. CY-2	KyungHee Univ.

群體形成 如否, 細胞의 形態變異 특히 隆起線의 生成과 發達如否를 관찰하기 위하여 다음과 같이 成分과 농도가 다른 몇가지 培地를 사용하였다(Table 2).

#### Dilute media

1% modifide Bristol's medium (Starr, 1964)

Medium 3.07 (Trainor and Schubert, 1974)

Soil water

#### Enrichment media

Modified Bristol's medium with fish food

Complete medium with 0.1% glucose (Trainor, 1964a)

Modified Bristol's medium with 0.05% pepton and 0.05% glucose

이상 모든 培地는 高壓멸균기로 15 Lb.에서 15分間 滅菌하였으나 dilute media는 15 Lb.

Table 2. The composition of culture media for *Scenedesmus*

	Medium (salts in mg/l)		
	modified Bristol's	complete	3.07
NaNO <sub>3</sub>	250.0	—	2.0
NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>	—	300.0	—
MgSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O	75.0	300.0	1.0
K <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub>	75.0	100.0	0.03
KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	175.0	100.0	—
CaCl <sub>2</sub> ·2H <sub>2</sub> O	26.5	—	0.03
Na <sub>3</sub> citrate	—	500.0	—
Trace mix*	yes	yes	yes
Tris	—	—	yes
pH	7.0	7.0	8.0

\* Proposed by Watt and Fogg (1966)

에서 10분을 넘지 않도록 하였다.

순수 분리된 strain은 액체 및 고체배지에서 각각  $27 \pm 2^\circ\text{C}$ , 4,000 lux 청색 형광등, 15:9 광주기하에서 배양하였다. 기본적인 生活史, 形態形成 및 세포의 크기 등을 살펴보기 위하여 synchronized culture를 실시하였는데 매일 陪期가 끝날 무렵 재료를 새로운 培地에 이식하였다. 이때의 세포수는  $2.5 \times 10^5$  cells/ml를 유지하도록 하였으며 synchronized culture에 접종될 재료는 반드시 3일전부터 새로운 培地에 옮겨심어 모든 세포의 日週期가 고르게 되도록 유의하였다. 한편 aging에 따른 세포의 모양, 단세포에서 군체로의 전환 및 隆起線의 強度變化를 조사하기 위하여 배양액을 갈아주지 않고 同一한 조건하에서 stationary culture를 실시하였는데 접종시의 세포수는  $2.5 \times 10^5$  cells/ml로 하였다.

세포벽의 微細構造의 多樣性, 특히 隆起線의 有無 및 발달 정도와, 가운데 세포의 兩端에 있는 짧은 가시와 隆起線과의 연관성을 관찰하기 위하여 光學顯微鏡과 走査電子顯微鏡을 사용하였다. 走査電子顯微鏡 觀察에 필요한 재료는 깨끗이 닦아 말린 cover glass 조각 위에 세포가 겹치지 않을 정도로 試料를 올려 2~3日間 깨끗이 공기 건조시킨 다음 金으로 鍍金하여 Akashi ISD-Ds-130 走査電子顯微鏡으로 관찰하였다.

## 結果 및 考察

種의 識別. *Scenedesmus*屬의 일반적인 識別形質로서는 세포의 모양, 긴 가시, 짧은 가시 및 隆起線 등이 主要하게 다루어지고 있는데 본 실험에 사용된 種에 대한 記載的 특징은 다음과 같다.

*S. armatus* (Chodat) G.M. Smith: 식물체는 2,4個의 세포로된 群體로서 각 세포는 長橢圓形으로 兩端이 圓錐形이며 外側細胞의 兩端에 긴 가시가 1개씩 나 있다. 각 세포의 세포막에는 兩極을 연결하는 隆起線이 있는데 中央部位의 線은 뚜렷하지 않을 때도 있다. 세포의 길이는  $11.8 \sim 18 \mu\text{m}$ , 직경이  $4.2 \sim 7.4 \mu\text{m}$ , 긴 가시의 길이는  $14 \mu\text{m}$ 이다(Fig. 6-3a).

*S. quadricauda* (Turpin) de Brébisson: 群體는 2, 4, 8개의 세포로 되나 4개가 보통이다. 세포는 長橢圓形으로 外側細胞의 兩端에 긴 가시가 1개씩 나 있다. 채집시의 세포벽은 매끈하고 세포의 길이는 9.8~15  $\mu\text{m}$ , 직경이 3.1~7.0  $\mu\text{m}$ , 긴 가시의 길이는 10.2  $\mu\text{m}$ 이다 (Fig. 6-1f, 2).

**生活史.** 分離된 3 strain은 모두 24시간을 週기로 細胞分裂, 內生群體의 放出 및 成長, 成熟過程을 되풀이 하여 24시간만에 세포수가 4배가 되었다. 暗期가 시작하기 약 1시간전부터 세포질분열이 관찰되며 暗期 4시간을 경과할 때 98%의 세포가 2회씩 분열하여 4개의 娘細胞가 형성되었다. 첫번째 분열은 橫으로 일어나고 이어 두번째 분열이 縱으로 일어나 보통 4개의 세포가 母細胞內에 1列로 배열하였다. *Scenedesmus*屬에서의 形態形成은 母細胞內에서 이루어져 娘細胞가 放出될 때에는 이미 4개 혹은 2개의 細胞가 群體를 이루었거나 培地에 따라서는 4개의 세포가 각기 떨어져 單細胞로 放出되기도 하는데 群體로부터 單細胞로의 相互轉移는 單細胞나 群體에서 同一하게 일어난다. synchronized culture에서 각 培地에 따른 單細胞와 群體의 形成狀況은 Table 3과 같다.

Bristol's medium, 금붕어 먹이를 첨가한 Bristol's medium 및 complete medium에서는 모두 單細胞와 群體를 형성하였으나 dilute media인 1% Bristol's medium, medium 3.07과 연못물에서는 群體만이 형성된 것으로 미루어 群體를 형성하는데는 培地의 농도가 높은 쪽보다는 낮은 편이 有利하다고 보여 진다. 또한 Bristol's medium에 0.05% glucose와 0.05% pepton을 첨가한 培地에서는 單細胞만이 生成되었다.

**增加率.** stationary culture에서 時間이 경과함에 따른 細胞와 群體의 증가상황을 관찰하기 위하여 *S. quadricauda* st. CY-1을 Bristol's medium에서 배양하여 관찰한 결과는 Fig. 1과 같다.

群體의 증가율은 單細胞에 대한 群體의 비율(%)로 나타냈는데 接種시 15%에서 4일째에 80%로 급증하였고 차차 증가 속도가 늦어져서 18일만에 98%선에 달하였다. 細胞의 수는 20日間 관찰하는 동안 계속 증가하였으며 처음 4~5日간의 증가 속도가 조금 빠른 편이었다. 群體의 生成率은 培地의 농도가 낮고 培養期間이 길수록 높아졌는데 이 사실은 自然에서 存在하는 *Scenedesmus*가 대부분 群體狀態로 存在한다는 사실과 관련지어 생각할 수 있을 것이다.

**群體 形態.** 各 strain을 Bristol's medium에서 4週間 stationary culture할 때 관찰된 군체의 여러가지 形態는 다음과 같다 (Table 4, Fig. 6).

Table 3. Unicell-colony formation of *S. quadricauda* st. CY-1 in different kinds of media

Media	Unicell	Colony
Bristol's medium	+	+
Bristol's medium with fish food	+	+
Bristol's medium with 0.05% pepton & 0.05% glucose	+	-
Complete medium	+	+
1% Bristol's medium	-	+
Medium 3.07	-	+
Pond water	-	+

*S. armatus*는 全期間中 *armatus*와 *armatus-longus*型만을 生成하여 이 識別形質은 安定된 것임을 알 수 있었으나 *S. quadricauda* st. CY-1과 st. CY-2에서는 6가지의 다양한 형태의 군체를 생성하여 형태적으로 변이성이 크음을 보여주었다. 이 중 *armatus-longus*型은 분열이 활발한 培養初期에만 관찰되었다.

**細胞 크기의 變化.** 細胞의 成長段階에 따른 길이, 직경 및 긴 가시의 길이의 變化를 관찰한 결과는 Table 5와 같다.

母細胞에서 放出된 娘細胞가 成長段階를 거쳐 새로운 娘細胞를 형성하기 까지, 길이는 1.5~1.7배, 직경은 1.7~2.0배가 증가하였는데 반하여 가시의 길이에는 변화가 없었다. 이로써 *Scenedesmus*의 細胞는 성장함에 따라 그 크기는 커지나 가시의 길이는 全生活史를 통하여 변하지 않음을 알 수 있다.

**隆起線.** 細胞壁의 隆起線의 生成 및 發達樣狀은 strain에 따라 또는 培地の 成分과 培養期間에 따라 많은 차이를 보였다. *S. armatus*는 培地の 成分과 培養期間에 상관없이 全生活史를 통하여 隆起線을 뚜렷하게 유지하였으나 *S. quadricauda* st. CY-1과 st. CY-2

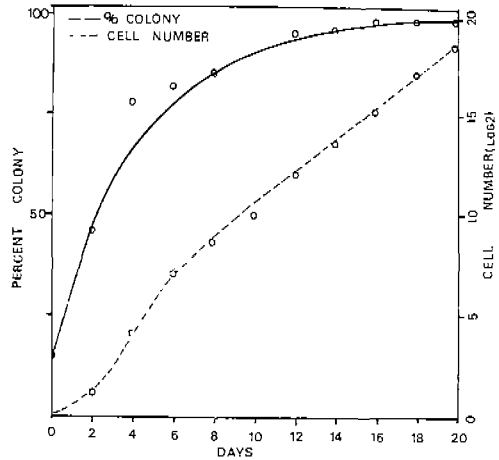


Fig. 1. Cell number and percentage of colonies of *S. quadricauda* st. CY-1 cultured in Bristol's medium for 20 days.

Table 4. Colony types found in different strains of *Scenedesmus*

Colony type	<i>S. quadricauda</i> st. CY-1 & CY-2	<i>S. armatus</i>
<i>acutiformis</i> type	+	-
<i>armatus</i> type	+	+
<i>armatus-bicaudatus</i> type	+	-
<i>bijuga</i> type	+	-
<i>armatus-longus</i> type*	+	+
<i>quadricauda</i> type	+	-

\* Only found in actively growing culture

Table 5. Size of individual cells of *Scenedesmus* strains measured during 24hr. cycle

Strain	Length : Width : Spine(μm)		Mean
	New cell after release	Fully grown cell	
<i>S. armatus</i>	11.8 : 4.2 : 13.9	18.0 : 7.4 : 14.0	
<i>S. quadricauda</i>			
st. CY-1	9.8 : 3.2 : 10.2	15.3 : 6.7 : 10.2	
st. CY-2	9.8 : 3.1 : 10.3	14.4 : 6.2 : 10.3	



Fig. 2. *Scenedesmus quadricauda* st. CY-1 in synchronized culture. 1. young colony after release ( $\times 2,000$ ). 2. mature colony ( $\times 2,000$ ).

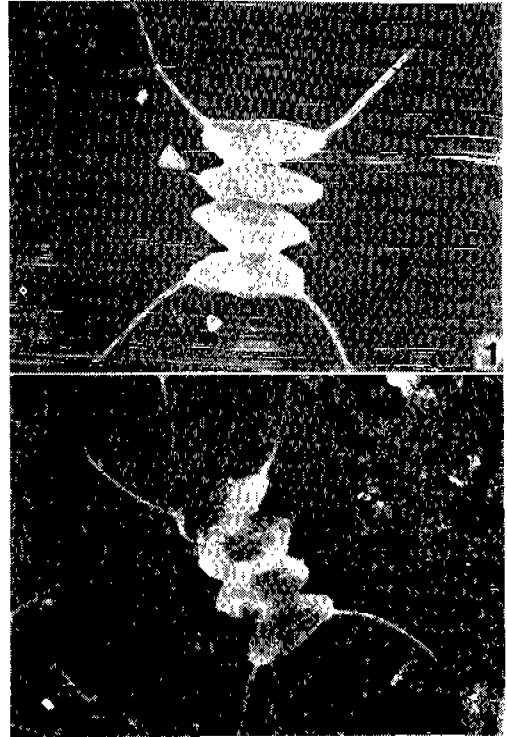


Fig. 3. *Scenedesmus quadricauda* in stationary culture. 1. aged colony of st. CY-1 ( $\times 1,700$ ). 2. aged colony of st. CY-2 ( $\times 1,200$ ).

에서는 많은 변화를 보였다. 卽 Bristol's medium에서 24時間을 週期로 하는 synchronized culture에서는 放出直後の 어린 娘細胞에서는 走査電子顯微鏡으로는 미약하게 구분되는 鬚기선이 관찰되나 1,000배의 光學顯微鏡으로는 관찰이 불가능하였다(Fig. 2-1). 細胞의 成長時期인 明期동안 隆起線도 같이 發達하여 완전히 성숙한 暗期에 도달하면 鬚기선도 많이 뚜렷해지나 *S. armatus*의 鬚기선의 強度에는 미치지 못하였다(Fig. 2-2, 4, 5). 한번 형성된 鬚기선은 娘細胞 放出後에도 母胞細胞에 그대로 남아있어 鬚기선은 一時的인 構成物이 아님을 보여주었다(Fig. 6-4).

또한 st. CY-1과 st. CY-2는 배양기간이 길어짐에 따라 鬚기선도 점차로 뚜렷해져서 배양 2週가 지나면 *S. armatus*와 거의 비슷한 強度를 나타내었다(Fig. 3). 鬚기선은 培地의 成分에 따라서도 차이를 보였는데 各 培地別 鬚기선의 형성 양상은 Table 6과 같다.

Bristol's medium에서의 鬚기선의 強度를 기준으로하여 볼 때 금붕어 먹이와 0.05% glucose와 0.05% pepton을 첨가한 培地에서는 鬚기선이 더욱 뚜렷하였고 dilute medium인



Fig. 4. Ultrastructure of *Scenedesmus quadricauda* st. CY-1. 1. Aged 4-cell colony showing ridges ( $\times 5,000$ ). 2. ridge enlarged ( $\times 25,000$ ).

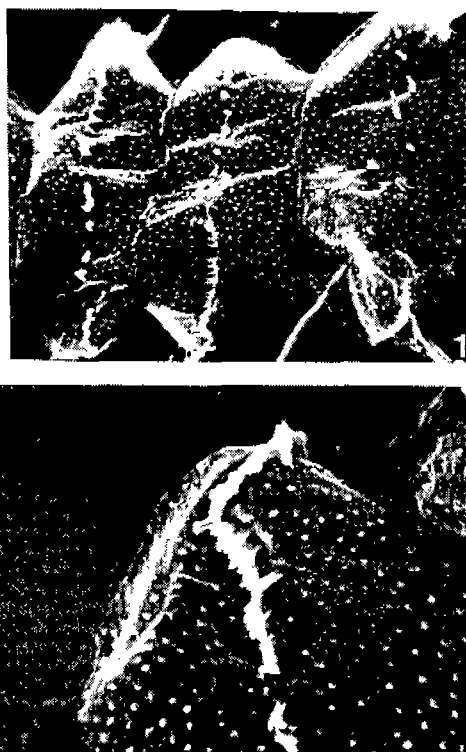


Fig. 5. Ultrastructure of *S. armatus*. 1. Aged 4-celled colony showing ridge ( $\times 5,3000$ ). 2. ridge enlarged ( $\times 13,000$ ).

1% Bristol's medium과 연못물에서는 용기선을 거의 찾아볼 수 없었던 점으로 보아 용기선은 영양분의 농도가 일정 수준 이상이어야 나타나며, 또한 금붕어 먹이, glucose 및 pepton 등 有機養은 용기선의 형성을 촉진하는 것으로 평가되었다.

Table 6. Ridge formation of *S. quadricauda* st. CY-1 in different kinds of media

Media	Formation & degree of strength
Bristol's medium	++
Britol's medium with fish food	###
Bristol's medium with pepton & glucose.	###
Complete medium	++
1% Bristol's medium	+
Pond water	+

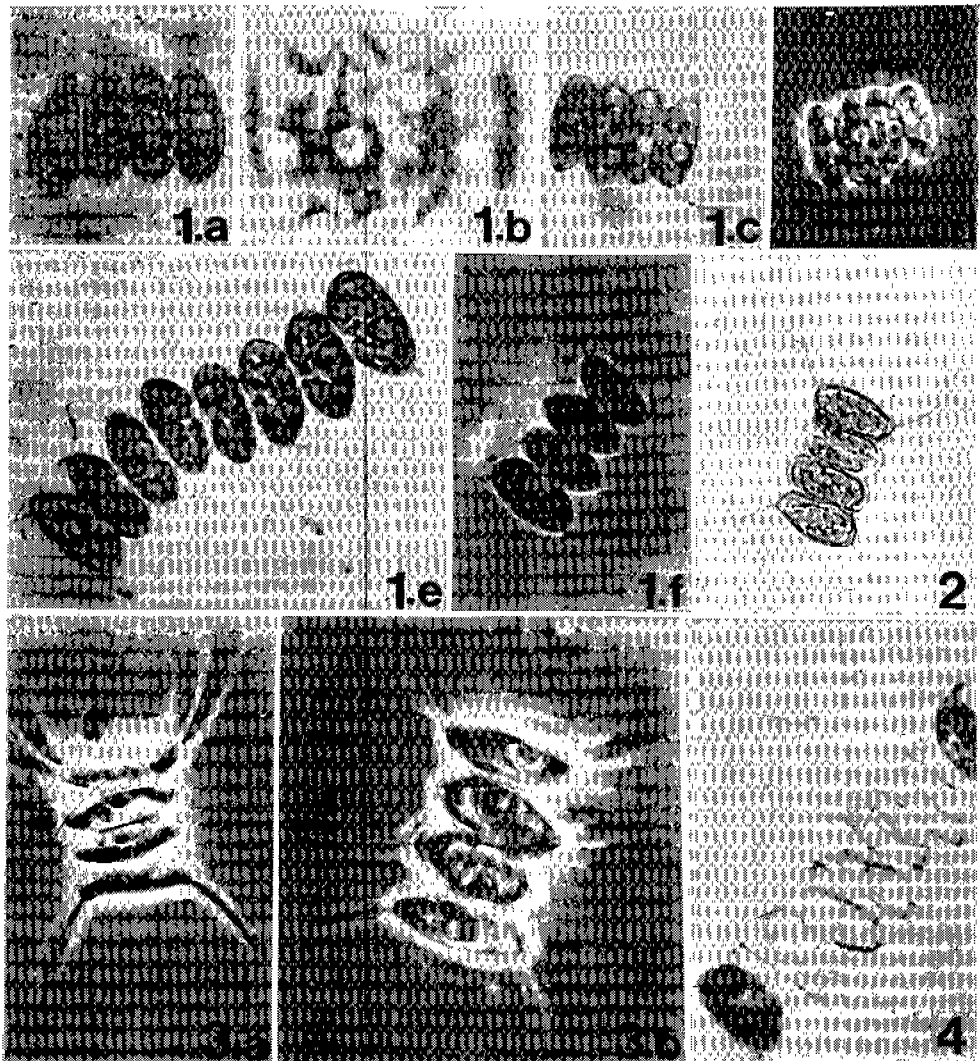


Fig. 6. *Scenedesmus* complex in culture.

1. Colony types of *Scenedesmus quadricauda* st. CY-1 in stationary culture ( $\times 1,000$ ). a : *acutiformis* type, b : *armatus* type, c : *armatus-bicaudatus* type, d : *bijuga* type, e : *armatus-longus* type, f : *quadricauda* type. 2. *Scenedesmus quadricauda* st. CY-2 ( $\times 1,000$ ). 3. Colony types of *Scenedesmus armatus* in stationary culture ( $\times 1,000$ ). a : *S. armatus* type. b : *S. armatus-longus* type. 4. *Scenedesmus quadricauda* st. CY-1, mother cell after release ( $\times 1,000$ ).

#### 考 察

*Scenedesmus armatus*와 *S. quadricauda* st. CY-1과 st. CY-2를 분리 배양하여 培地와



aging에 따른 群體와 細胞의 형태 변화를 관찰한 결과 *S. armatus*는 그 형태가 비교적 安定되어 변화하지 않았으나 *S. quadricauda* st. CY-1과 st. CY-2는 培地의 成分과 배양기간에 따라 많은 형태변이를 보여, 몇가지 기존 식별형질에 대하여 고찰하고자 한다.

單細胞와 群體間의 전이는 모든 strain에서 관찰되는 보편적인 현상이며 群體가 培地의 成分과 培養期間으로 쉽게 유도됨은 이미 알려진 사실이다(Swale, 1965; Fott, 1968). 더욱이 *Scenedesmus*의 單細胞 상태가 자연에도 존재하여(Trainor, 1963), 다른 屬으로 오인되기 쉽기 때문에 이러한 증을 분류함에 있어 자연에서의 형태관찰뿐만 아니라 배양을 통한 형태변이 관찰도 고려해야 할 것이다.

중요한 識別形質中의 하나인 隆起線의 有無 및 발달양상과 이에 인접한 짧은 가시에 관하여는 종래의 분류학적 소견으로는 안정된 형질로 되어 있으나(Chodat, 1926; Smith, 1914a, 1914b, 1916; Uherkovich, 1966) 근래에 와서 많은 학자들(Trainor, 1964c; Pickette-Heaps and Staehelin, 1975)은 *S. quadricauda* 에서도 융기선이 생김을 보고하였고 본 실험에서도 st. CY-1과 st. CY-2에서 융기선이 생성되며 그 強弱의 정도가 변함이 관찰되었다. 특히 生活史中 어린 群體가 성숙과 함께 융기선도 따라서 발달함은, 융기선이 항상 변함이 없는 *S. armatus*의 경우와 대조적이어서 이에 관한 자세한 형태형성과정은 앞으로의 연구과제의 하나가 될 수 있음을 시사하였다.

한 種內에서도 여러가지 다양한 형태의 群體가 生成됨은 여러 사람에 의하여 밝혀진 바(Fritsch, 1935; Trainor, 1966, 1971; Trainor and Roskosky, 1967; Trainor and Rowland, 1968) 본 연구에서도 *S. quadricauda* st. CY-1과 st. CY-2는 6가지 다른 형태의 군체를 생성함으로써 그 변이성이 매우 큼을 보였다. 이러한 형태적 변이가 자연에서도 일어나고 있는지 여부는 아직 밝혀지지 않고 있어 이 방면의 연구가 이루어 져야 한다고 본다.

또한 群體의 兩端細胞에 존재하는 긴가시의 길이와 그 분포 양상 역시 *Scenedesmus*屬의 識別形質로 중요시 되어왔는데 본 연구의 결과 이들 긴 가시의 길이는 성장단계나 배양기간에 관계없이 一定함이 밝혀졌다. 그러나 긴 가시의 분포는 배양기간에 따라 변하여 배양 초기에 활발히 분열하는 시기에는 群體의 中間細胞에도 긴 가지가 存在(longus型)하였는데 배양기간이 길어짐에 따라 이 긴 가지가 사라지는 것으로 미루어 볼때 longus型的 출현에 대하여는 새로운 검토가 필요하다고 본다. 결국 *Scenedesmus*屬을 분류함에 있어서는 종래의 古典의 形態觀察과 더불어 전자현미경적 미세구조의 파악과 培養을 통한 形態形成 및 變異性에 대한 연구도 並行되는 것이 보다 바람직한 결과를 얻을 수 있음을 보여주었다.

## 摘 要

韓國產 *Scenedesmus*屬 식물의 種 集團間의 形態變異를 조사할 목적으로 *S. armatus* (Chodat) G.M. Smith와 *S. quadricauda*(Turpin) de Brébisson의 두 strain, st. CY-1과 st. CY-2를 분리하여 배양조건에 따른 여러가지 識別形質의 變化를 비교 관찰하였다. 그 결과 긴 가시의 길이는 種에 따라 一定하며 生活史를 통하여 변하지 않았으나 그 분포는 변하였다. 細胞壁의 隆起線은 *S. armatus*에서는 배양조건이 달라도 변화하지 않았으나 *S. quadricauda* st. CY-1과 st. CY-2에서는 배양기간과 배지의 성분 따라 변화하였다. *S. quadricauda* st. CY-1과 st. CY-2는 aging함에 따라 6가지 다른 모양의 군체를 형성하였는데 반하여 *S. armatus*는 *armatus*型和 *armatus-longus*型만을 형성하였다. 모든 strain

에서 단세포와 군체의 형질전환을 보였으며 세포의 큰기는 娘細胞 放出 후 계속 성장하여 다음 細胞分裂時 最大에 달하였다.

### 參 考 文 獻

- Chodat, R. 1926. *Scenedesmus*. Etude de genetique. de systematique experimentale et d'hydrobiologie. *Rev. Hydrobiol.* 3: 71-258.
- 鄭英昊. 1968. 韓國動植物圖鑑, 第9卷, 植物編(淡水藻類), 文教部, 573 pp.
- 鄭英昊. 1969. 漢江의 Microflora에 관한 研究(第3報), 學術院 論文集, 8: 59-132.
- 鄭英昊. 1979. 月岳山 達川 및 主屹山 烏嶺川의 식물성 플랑크톤, 韓國自然保存協會 調查報告書, 15: 173-195.
- 鄭 滄. 1970. 嶺南地域의 淡水藻類에 關한 分類學的 研究. 學位論文(慶北大), pp. 1-115.
- 鄭 滄. 1979. 忠清北道産 淡水藻類(I). 陸水誌, 12: 41-53.
- 張允卿. 1981. 韓國産 淡水藻類의 追加(I). 植會誌, 24: 21-26.
- Fott, B. 1968. *Chodatella* stages in *Scenedesmus*. *Acta Universitatis Carolina-Biologica*, pp. 189-196.
- Fritsch, F.E. 1935. The structure and reproduction of algae. Vol. I. Cambridge University Press, London. 176 pp.
- 金道漢·鄭滄. 1982. 求禮郡 一帶의 淡水藻類에 對하여, 慶北大 自然科學 論文集(第一輯) pp. 29-40.
- Pickette-Heaps, J.D., and L.A. Staehelin. 1975. The ultrastructure of *Scenedesmus*(Chlorophyceae). II. Cell division and colony formation. *J. Phycol.* 11: 186-202.
- Smith, G.M. 1914a. The cell structure and colony formation in *Scenedesmus*. *Arch. Protistenk.* 32: 278-297.
- Smith, G.M. 1914b. The organization of the colony in certain four-celled algae. *Trans. Wisc. Acad. Sci. Arts. Letters* 17: 1165-1220.
- Smith, G.M. 1916. A monograph of the algal genus *Scenedesmus* based upon pure culture studies. *Trans. Wisc. Acad. Sci. Arts. Letters* 18: 422-539.
- Starr, R.C. 1964. The culture collection of algae at the Indiana Univ. *Am. J. Bot.* 51: 1013-1044.
- Swale, E.M.F. 1965. Observation on a clone of *Lagerheimia subsalsa* Lemm. (*Chodatella subsalsa* Lemm.) *Nova Hedwigia* 10:1-10.
- Trainor, F.R. 1963. Identification of species of *Scenedesmus*. *Nature* 200:800-801.
- Trainor, F.R. 1964a. The effect of composition of the medium on morphology in *Scenedesmus oblique*. *Can. J. Bot.* 42: 515-518.
- Trainor, F.R. 1964b. Spine distribution in several *Scenedesmus* culture. *Am. J. Bot.* 51: 995-1001.
- Trainor, F.R. 1964c. A study of wall ornamentation in cultures of *Scenedesmus* *Am. J. Bot.* 53: 995-1000.
- Trainor, F.R. 1965. A study of unialgal cultures of *Scenedesmus* incubated in nature and in laboratory. *Can. J. Bot.* 43: 701-706.
- Trainor, F.R. 1966. *Scenedesmus* wall ornamentation. I. *Scenedesmus parisiensis* cultures. *J. Phycol.* 2: 85-89.
- Trainor, F.R. 1969. *Scenedesmus* morphogenesis. Trace element and spine formation. *J. Phycol.* 5: 185-190.
- Trainor, F.R. 1971. Development of form in *Scenedesmus*. In, Contribution in Phycology. (Edited by

- B.C. Parker and R.M. Brown.) Lawrence, Kansas: Allen. Press, pp. 81-92.
- Trainor, F.R., J.R. Cain. and L.E. Schubert. 1976. Morphology and nutrition of the colonial green alga *Scenedesmus*: 80 years later. *Bot. Rev.* 42: 5-25.
- Trainor, F.R., and R.L. Hilton. 1963. Culture of *Scenedesmus longus*. *Bull. Torrey Bot. Club.* 90: 407-412.
- Trainor, F.R., and F.G. Roskosky. 1967. Control of unicell formation in Soil *Scenedesmus*. *Can. J. Bot.* 45: 1657-1664.
- Trainor, F.R., and H.L. Rowland. 1968. Control of colony and unicell formation in synchronized *Scenedesmus*. *J. Phycol.* 4: 310-317.
- Trainor, F.R., and L.E. Schubert, 1974. *Scenedesmus* morphogenesis. Colony control in dilute media. *J. Phycol.* 10: 28-30.
- Trainor, F.R., and P.A. Silver. 1981. Morphological control and physiology of *Scenedesmus* strain 170. *Phycologia* 20: 1-11.
- Uherkovich, G. 1966. Die *Scenedesmus* Arten Ungarns. *Academiai Kiado, Budapest.* p.173.
- Watt, W. and G. Fogg. 1966. The kinetics of extracellular glycollate production by *Chlorella pyrenoidosa*. *J. Exp. Bot.* 17: 117-134.

(1985. 11. 5. 接受)