

계절 변화에 따른 *Fucus serratus* (갈조식물)에서의 Triacylglycerol 지방산의 다양성

김 미 경 · Jean Paul Dubacq*

영남대학교 생물학과,

프랑스 파리 고등사범대학원 식물막의 광조절과 역학 실험실*

Diverse Fatty Acids of Triacylglycerols in *Fucus serratus* (Phaeophyta) Caused by Seasonal Changes

Kim, Mi-Kyung and Jean Paul Dubacq*

Department of Biology, Yeungnam University,

Ecole Normale Supérieure, Photorégulation et Dynamique des Membranes Végétales,

URA CNRS 1810, Paris, France*

ABSTRACT

Variation in triacylglycerols (TGs) and fatty acids in *Fucus serratus* was analyzed for a period of one year. TGs were more concentrated during the summer (2.8 mg /g dw) and autumn (2.6 mg /g dw) than during the spring (0.7 mg /g dw) and winter (0.5 mg /g dw). The dominant fatty acids in total lipid were palmitic acid (C_{16:0}, 24.1%), oleic acid (C_{18:1}, 22.4%) and arachidonic acid (C_{20:4}, 14.4%) but the dominant ones in TG were C_{16:0} (22.8%), C_{18:1} (36.4%) and C_{18:2} (linoleic acid, 16.4%). The levels of C₁₆ fatty acids were high in winter while C₁₈ in summer and autumn. The polyunsaturated fatty acids (UFAs) were more abundant in the C₂₀ series, while the UFAs of the C₁₆ were low. Especially, the amount of arachidonic acid (C_{20:4}, 14.4% of total fatty acids (TFA)) was more abundant than that of eicosapentaenoic acid (C_{20:5}, 10.4% of TFA). The amount of C_{20:4} and C_{20:5} in TG was 9.2% and 4.8%, respectively. These UFAs in total lipid were thus higher than TG. Therefore, the synthesis of TG and fatty acid was stimulated by the alternation of emersion and submersion of thalli from sea water and eco-physiological conditions during summer: high temperature and light, and low concentration of nitrogen.

Key words: Arachidonic acid, Eicosapentaenoic acid, Fatty acid, *Fucus serratus*, Linoleic acid, Oleic acid, Palmitic acid, Triacylglycerol

서 론

모자반속에 속하는 *Fucus serratus*는 해안의 중조간대(mediolittoral zone)에서 많은 개체군을 형성하고, 간만의 차이에 의한 환경변화에 직접적으로 영향을 받으며 성장한다(Townsend and Lawson 1972, Brinkhuis *et al.* 1976, 1977a, b, Dring and Brown 1982, Lobban *et al.* 1985,

Gayral and Cosson 1986). 이들의 생화학적 변화뿐만 아니라 생체량과 일차생산력의 다양성은 해안의 중요한 생태학적인 분포도를 결정짓는다.

*F. serratus*의 지질은 육상식물과 같이 두 종류로 구성되어 있다. 막성지질인 극성지질(polar lipid)과 세포질에 주로 축적이 되는 중성지질(triacylglycerol)로 구분된다. 갈조류(*Pelvetia canaliculata*, *Fucus serratus*, *F. platycarpus*)의 생체막내에 극성지질의 연구는 광계(Photo-system)I과 II의 연구와 더불어 아주 많이 이루어져 왔다(Caron *et al.* 1985, Eichenberger *et al.* 1993, Viso *et al.* 1993, Pham Quang and Laur 1975). 지질내의 지방산의 구성성분은 빛, 온도(Dembitsky *et al.* 1994), 염분도(Suen *et al.* 1987), 배양액의 무기원소의 유무(Lichtlé and Dubacq 1984), 중금속(Cu, Cd, Pb)(Smith and Harwood 1984a), 생물학적 및 화학적 오염원, 곰팡이, 박테리아 혹은 바이러스의 감염(Pohl and Zurheide 1979), 조류의 서식조건(*in situ* 나 *in vitro*)(Pham Quang and Laur 1976a, b, c, Piervittori *et al.* 1994)에 따라 영향을 받는다는 연구가 이미 보고된바 있다. 그러나 중성지질에 관한 연구는 미비한 실정이다(Kim 1988, 1989, Sharma and Malik 1994).

본 연구는 *F. serratus*의 연중 triacylglycerol의 지방산의 분석을 통해 어느 시기와 어떤 환경 조건이 triacylglycerol의 지방산의 합성을 용이하게 하며, 이들의 합성이 조류의 중요 성장기간, 개체군의 형성과 어떤 연관성이 있는지를 규명하고 조류의 생리적인 활성도를 밝히는데 그 목적이 있다.

재료 및 방법

*Fucus serratus*의 채집

일반적으로 북반구에 개체군을 형성하는 이 갈조류는 프랑스, 영불해협에 위치한 Roscoff(48° 43'N와 3°58'W)(Fig. 1)의 해안, 조간대에서 서식하고 있는 모자반속이다. 이 조류는 1986년 9월에서 1987년 8월까지 매주 일주일에 한번, 간조시에 같은 장소, 같은 시간에 규칙적으로 채집하였다(프랑스, Roscoff, 해양생물연구소, J. Cabioch 박사 연구실에서 채집). 생식기관이 없고 길이가 25~35 cm의 엽상체를 이용했는데, 보고된 바에 의하면 이 조류는 약 5~6개월의 성장기간을 가진 것으로 추정된다(Lemoine 1913).

총지질의 추출방법

생체중량 1 g의 *F. serratus*는 정단부위에서 3~5 cm되는 부위의 엽상체 절편을 증류수로 2~3번 씻고 여과지로 물기를 없앤다. 엽상체 시료에 4 ml 증류수를 첨가한 후에 100°C에 5분간 가열하였다. 여기에 10 ml의 메탄올을 첨가하여 미세분쇄기(Ultraturrax)로 엽상체 절편을 잘게 갈았으며, 클로르포름 5 ml를 두차례 나누어 첨가한 후에 매번 혼든 뒤 1% 염화나트륨 4 ml를 첨가하였다. 이를 10분간 5000 rpm에 원심분리시킨 후에 클로르포름 층에 존재하는 총지질을 수거한 후 지질의 산화방지를 위해 질소가스로 유기용매를 증발시켰다. 추출된 총지질은 벤젠과 에탄올(4/1, V/V)을 첨가하여 -20°C이하에 냉동보존했다.

TLC에 의한 triacylglycerol의 분리

추출된 총지질의 300~500 μ l를 silica gel판(20 × 20 cm, 두께 0.25 mm, Merck RFA)에 떨어뜨린 후에 70:30:0.4의 부피로 섞인 석유에테르, 에탄올, 아세트산의 전개용액(Mangold

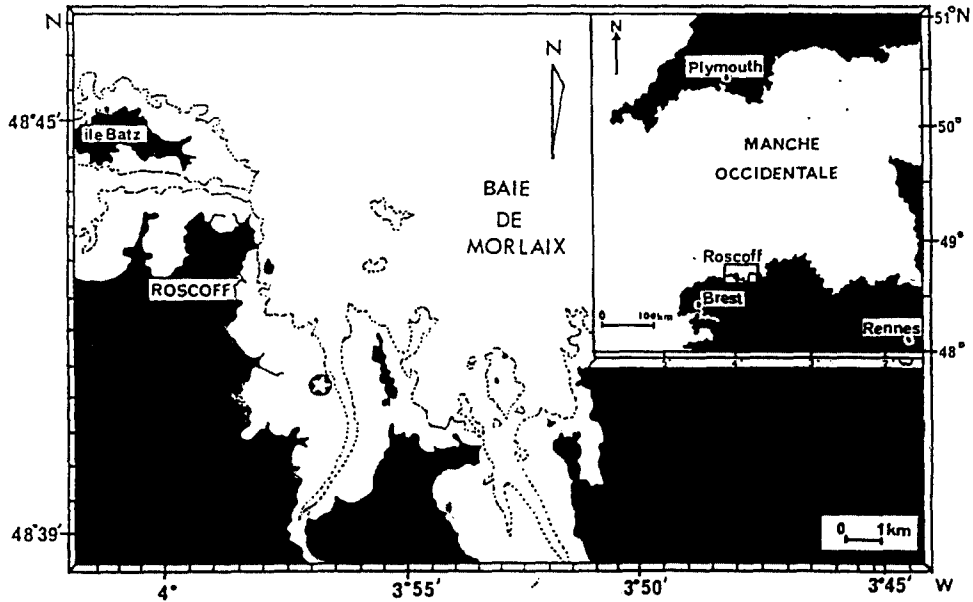


Fig. 1. Map of Roscoff in France. Boxed section is enlarged.

1964)에 전개시켰다. 50~60분 후에 이 전개판을 말려 0.01%의 primulin을 아세톤과 증류수를 80/20 부피로 섞어 뿌린 다음 350 nm의 자외선에서 관찰하였으며, 중성지질의 흰 반점을 실리카겔과 함께 수거하여 1 ml의 메탄올을 첨가했다.

GC에 의한 지방산의 분석

TLC에 의해 분리된 triacylglycerol과 총지질을 1%의 메틸나트륨(NaOMe)과 1.2 N의 염화수소메탄올로 메틸화시켰다. 이때 시료 내부에 정량된 일정량의 C_{17} (heptadecaenoic acid)를 첨가했다. 이들을 50°C, 5분간 가열시켰고, 1 ml의 heptane과 0.5 ml의 증류수를 첨가하여 메틸화된 지방산들을 추출했다. 헬륨(He)가스 매개체에 의해 polyethylene glycol 20 M (길이 25 cm × 직경 0.32 mm)으로 코팅된 모세관을 가진 GC (Girdel Serie 300)를 이용하여 methyl-ester화된 지방산을 분석하였다.

결과 및 고찰

총지질과 triacylglycerol의 계절적 변화

*F. serratus*의 연중평균 총지질의 양은 건조중량 1 g 당 10 mg 즉 건조중량의 1% 였다(Table 1). 8월에 최고치(21.3 mg/g dw, 2%)였고, 4월에 최저치를 나타냈다(3.5 mg/g dw, 0.4%). 이는 이미 보고된바 있는 *F. serratus*의 건조중량의 3%(Levring *et al.* 1969)와 Munda(1964)의 8월에 실시된 *F. vesiculosus*와 *F. ceranoides*의 총지질(4%와 5%)의 양보다 비교적 낮은 수치였다.

연평균 triacylglycerol의 양은 1.8 mg/g dw로서 건조중량의 0.18%였다. 총지질에 대한

Table 1. Seasonal variation of the amount of fatty acids in triacylglycerol and total lipid in *Fucus serratus*

Season		Composition of fatty acids (%)								Mean±SD (mg / g dw)	
		C _{16:0}	C _{16:1}	C _{18:1}	C _{18:2}	C _{18:3}	C _{18:4}	C _{20:1}	C _{20:5}		
Sp	TL	26.1	2.8	18.8	11.5	7.4	8.8	13.4	10.1	6.0±1.2	
	TG	26.2	2.4	33.8	19.1	6.2	2.6	6.4	4.6	0.7±0.3	
Sm	TL	24.7	1.7	27.7	9.5	5.9	5.2	15.6	8.3	13.9±4.2	
	TG	20.5	1.7	43.3	14.6	3.0	1.6	10.8	4.2	2.8±1.0	
A	TL	21.4	2.6	27.8	10.2	6.6	6.8	15.0	9.0	11.3±0.9	
	TG	16.8	2.8	45.8	10.9	4.4	1.8	12.0	3.3	2.6±0.3	
W	TL	24.2	4.9	15.3	6.7	8.1	10.3	13.4	13.8	8.5±0.8	
	TG	27.7	15.1	23.0	20.9	4.1	tr	7.7	6.9	0.8±0.2	
										TFA, TL or TG (mg / g dw)	
Am	TL	24.1	3.0	24.4	10.3	7.0	7.8	14.4	10.3	9.2	10.1
	TG	22.8	5.5	36.4	17.5	4.4	2.0	9.2	4.8	1.6	1.8

TL: total lipid, TG: triacylglycerol, TFA: total fatty acid, dw: dry weight, Sp: Spring (April-May), Sm: Summer (June-August), A: Autumn (September-November), W: Winter (December-February), SD: standard deviation, tr: trace less than 0.02 mg / g dw, Am: annual mean amount of fatty acid (%).

triacylglycerol의 비율(TG / TL)은 18%였다. 연평균 총지질에 대한 triacylglycerol의 양이 18%라는 것은 엽상체를 구성하는 세포질에 18%의 triacylglycerol이 축적되었다는 것을 시사하며 나머지 82%는 세포막이나 엽록체와 같은 세포소기관의 막의 구성성분인 극성지질이 합성되었음을 의미한다. 그러므로 *F. serratus*는 상대적으로 극성지질에 비해 triacylglycerol의 양이 낮게 합성됨을 알 수 있다. Triacylglycerol은 총지질처럼 8월에 합성율이 가장 높았고(4.1 mg / g dw), 4월에 가장 낮은 합성률을 보였다(0.23 mg / g dw). 따라서 조류의 엽상체의 지질합성이 봄보다 여름에 훨씬 왕성하다는 것을 의미한다. Triacylglycerol의 사계절별 평균치는 여름(2.8 mg / g dw, 0.3%)에 가장 높은 반면에 봄(0.74 mg / g dw, 0.07%)에 가장 낮았다.

특히 총지질에 대한 triacylglycerol의 상대치는 2월에 최소치(4.9%)이고, 7월에 최대치(24.7%)였다. 이 결과는 *Fucus*가 봄과 겨울에 극성지질의 합성률이 가장 높음을 의미한다. 이는 Pham Quang과 Laur(1975)가 북서프랑스 Bréton의 연안에서 채취한 세 종류의 갈조류, *Pelvetia canaliculata*, *Fucus vesiculosus*와 *Fucus serratus*의 연간 극성지질의 양을 측정한 결과 이들의 양이 봄과 겨울에 높게 나타났다는 연구 결과와 일치한다.

결국 *Fucus serratus*의 지질합성은 계절적인 환경요인, 엽상체의 성숙과 생리적인 조건, 채집 시기에 따라 변화됨을 알 수 있다.

지방산의 계절적인 변화

Gas chromatography로 측정된 지방산의 다양성은 8월에서 12월 사이에 눈에 띄게 변화되었다. 주요 지방산은 총지질에서 palmitic acid(C_{16:0}; 24.1%), oleic acid(C_{18:1}; 22.4%)와 arachidonic acid(C_{20:4}; 14.4%)였다. 그러나 triacylglycerol에서 주요 지방산은 C_{16:0}(22.8%), C_{18:1}(36.4%), C_{18:2}(linoleic acid; 16.4%)와 C_{20:1}(9.2%)였다. Triacylglycerol의 지방산의 양은 절대치와 총지방산에 대한 상대치를 구분함으로써 조류의 생리적인 활성도에 관한 측정의 의미가 달

라진다. 총지질의 지방산 C_{16:0}의 상대적인 양은 봄과 겨울이 여름과 가을에 비해 높았다(Fig. 2). 8월에서 10월사이 총지질의 C_{18:1}의 양은 C_{16:0}보다 훨씬 더 높았으나 12월에 함량이 감소(11.4%)되었다. Triacylglycerol의 지방산 C_{18:1}은 7월에서 10월 사이가 가장 높은 양을 나타냈고 (44%) 12월에 11.1%로 감소되었다(Fig. 3). 반면에 주요 지방산(C_{16:0}, C_{18:1}과 C_{20:4})의 절대적인 함량(mg/gdw)은 여름과 가을에 동시에 높았다(Fig. 4와 Fig. 5). 총지질 내의 지방산 C_{18:1}, C_{18:3}과 C_{20:4}는 8월에 최고치인 반면에 C_{16:0}는 7월과 8월에 최고치였다(Fig. 5). 중성지질의 모든 지방산은 7월과 8월에 최대치였다(Fig. 5).

본 연구의 결과는 이미 보고된 바(Smith and Harwood 1984b)와 마찬가지로 계절변화에 따라 총지질과 triacylglycerol에서 지방산의 질적변화는 없었으나 양적인 변화는 뚜렷하게 나타났

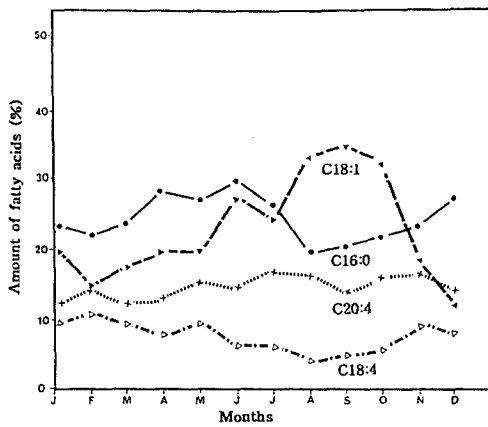


Fig. 2. Monthly evolutions of the amount of fatty acids (%) of total lipids in *Fucus serratus*.

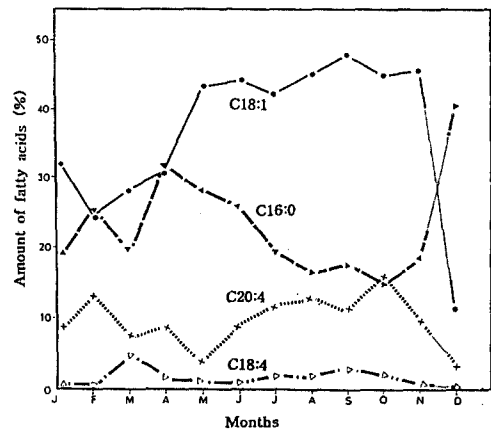


Fig. 3. Monthly evolutions of the amount of fatty acids (%) of triacylglycerol in *Fucus serratus*.

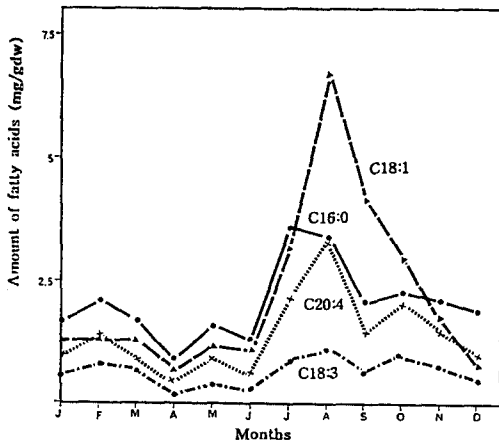


Fig. 4. Monthly evolutions of the amount (mg/g dw) of fatty acids of lipids in *Fucus serratus*.

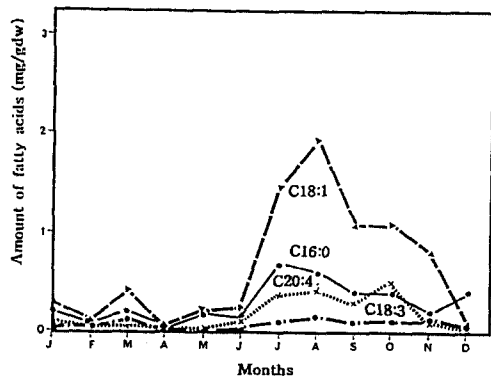


Fig. 5. Monthly evolutions of the amount (mg/g dw) of fatty acids of triacylglycerol in *Fucus serratus*.

다. C_{16} 의 지방산은 총지질과 triacylglycerol에서 각각 27%와 28%였지만 C_{18} 이 총지방산에서 차지하는 비율은 월등히 높았다(TL; 47%, TG; 59%). 조류의 엽상체내의 C_{16} 지방산은 겨울이 합성이 용이하고 C_{18} 은 여름과 가을에 합성조건이 적합함을 알 수 있다.

지방산의 불포화지방산(polyunsaturated acids)은 이중결합률(index of double bonds)에 의해 계산되었다. *F. serratus*의 불포화도는 전반적으로 봄과 여름에 훨씬 높았다. 총지질의 포화지방산도의 평균치는 약 12%였는데 이는 붉은 클로버(red clover)잎의 포화지방산도(11.6%)와 비슷한 수치였다(Trémolières and Mazliak 1970). *F. serratus*의 지방산은 콩(7.1%)과 밀(8.2%)(Nichols *et al.* 1967)보다 포화도가 비교적 높았으나 홍조류인 비단풀속(*Ceramium rubrum*, 33.3%)(Nichols 1968)과 녹조류인 *Valonia ultricularis*(38.5%)(Klenk *et al.* 1963)보다 낮았다. 총지질의 지방산 중에 $C_{20:4}$ 의 양(14.4%)은 $C_{20:5}$ (10.4%)의 양보다 높았다. 이들 불포화지방산은 고등식물보다 해양성 조류에서 전반적으로 높은 양을 나타낸다(Wood 1974, Burgess *et al.* 1991, Cohen *et al.* 1992, Yongmanitchai and Ward 1991, Arao *et al.* 1994). Triacylglycerol의 $C_{20:4}$ 와 $C_{20:5}$ 의 양은 각각 9.2%와 4.5%였다. 따라서 총지질내에 이들 불포화지방산의 양은 triacylglycerol보다 높았다. 즉, 총지질에서 $C_{20:4}$ 가 주요 지방산으로 나타난 연구결과 이들 불포화지방산은 triacylglycerol보다 극성지질에서 생리적 활성도가 더 많은 연관성이 있음을 알 수 있다. 이 결과는 이미 보고된 바있는 극성지질의 연구와 일치한다. 즉 극성지질에 속하는 인지질, phosphatidylcholine과 phosphatidylethanolamine에 $C_{20:4}$ 와 $C_{20:5}$ 의 함량이 높았다는 Smith와 Harwood(1984a)의 연구결과와, $C_{20:5}$ 의 지방산함량이 당지질인 monogalactosyldiglyceride와 digalactosyldiglyceride에서 중요한 역할을 한다는 Jamieson과 Reid(1972)의 연구보고와 본 연구가 일치함을 입증해 준다.

특히 triacylglycerol의 농도가 증가함은 *F. serratus*의 엽상체가 여름에 해수로부터 노출(emersion)되어 강한 빛에 영향을 받으므로 외부의 악조건에 스스로 적응할 수 있는 조류의 생리생화학적인 변화라고 사료된다. 즉 간조시에 조류의 엽상체가 대기중에 노출되어 건조한 상태에서 CO_2 를 흡수하고 다시 만조시 해수에 잠김(submersion)으로써 HCO_3^- 를 흡수하므로 CO_2 고정현상이 증가되어 광합성의 암반응이 촉진된다고 본다(Johnson *et al.* 1974, Brinkhuis *et al.* 1976).

결론적으로, 본 연구의 결과 *F. serratus*와 같이 간만의 차이에 영향을 직접적으로 받는 중조간대의 서식 갈조류의 엽상체는 해수로 부터의 노출과 잠김의 반복이 triacylglycerol의 지방산의 합성을 촉진시킨다고 볼 수 있다. 그외에 여름중의 생태생리적 조건인 높은 온도, 빛과 질소의 결핍(일반적인 특징으로 여름에 해수의 질소의 함량이 가장 낮음)(Kim 1988, Kim and Giraud 1989)에서 triacylglycerol과 지방산의 생화학적인 활성도가 가장 높은 반면에 *F. serratus*의 생산력과 빠른 성장률로 인한 개체군 형성은 봄과 겨울이 호조건이다.

적 요

1986년 9월에서 1987년 8월까지 북프랑스 영불해협을 접하고 있는 Roscoff 연안의 중조간대에서 개체군을 형성하는 갈조류인 *F. serratus*의 중성지질(triacylglycerol)의 지방산을 연중 분석하였다. 총지질의 주요 지방산은 palmitic acid ($C_{16:0}$, 24.1%), oleic acid ($C_{18:1}$, 22.4%)와 arachidonic acid ($C_{20:4}$, 14.4%)였고, triacylglycerol의 주요 지방산은 $C_{16:0}$ (22.8%), $C_{18:1}$ (36.4%)와 $C_{18:2}$ (linoleic acid, 16.4%)였다. C_{16} 의 총지질에 대한 지방산들의 상대적인 양은 겨울이

풍부했고, C₁₈의 지방산들은 여름과 겨울에 높았다. 총지질의 C₂₀의 불포화지방산(polyunsaturated fatty acids)의 양은 C₁₆보다 전반적으로 많았다. 특히 총지질의 총지방산 중에서 arachidonic acid (C_{20:4}, 14.4%)는 eicosapentaenoic acid (C_{20:5}, 10.4%)보다 높았다. Triacylglycerol에서 C_{20:4}와 C_{20:5}의 양은 각각 9.2%와 4.8%였다. *F. serratus*의 triacylglycerol의 지방산은 조간대의 간만의 차이에 의한 엽상체의 해수로부터의 노출과 잠김의 반복, 여름에 높은 온도, 빛과 질소의 결핍에서 생화학적인 활성도가 가장 높았다.

인용문헌

- Arao, T., T. Sakaki and M. Yamada. 1994. Biosynthesis of polyunsaturated lipids in the Diatom, *Phaeodactylum tricornutum*. *Phytochemistry* 36:629-635.
- Brinkhuis, B.H., N.R. Tempel and R.F. Jones. 1976. Photosynthesis and respiration of exposed salt-marsh fucoids. *Mar. Biol.* 34:349-359.
- Brinkhuis, B.H., N.R. Tempel and R.F. Jones. 1977a. Seasonal variation in salt-marsh macroalgae photosynthesis, *Ascophyllum nodosum* ecad. *Scorpioides*. *Mar. Biol.* 44:165-175.
- Brinkhuis, B.H., N.R. Tempel and R.F. Jones. 1977b. Seasonal variation in salt-marsh macroalgae photosynthesis, *Fucus serratus* and *Ulva lactuca*. *Mar. Biol.* 44:177-186.
- Burgess, J.R., I. Roger de la Rosa, R.S. Jacobs and A. Butler. 1991. A new eicosapentaenoic acid formed from arachidonic acid in the Coralline red algae *Bossiella orbigniana*. *Lipids* 26:162-165.
- Caron, L., J.P. Dubacq, C. Berkaloff and H. Jupin. 1985. Subchloroplast fractions from the brown alga *Fucus serratus*: Phosphatidylglycerol contents. *Plant Cell Physiol.* 26:131-139.
- Cohen, Z., D. Shoshana and Y.M. Heimer. 1992. Overproduction of γ -linolenic and eicosapentaenoic acids by algae. *Plant Physiol.* 98:569-572.
- Dembitsky, V.M., T. Rezanka and I.A. Bychek. 1994. Seasonal variation of lipids and fatty acids from three-growing lichens of the genus *Physcia*. *Phytochemistry* 36:601-608.
- Dring, M.J. and F.A. Brown. 1982. Photosynthesis of intertidal brown algae during and after periods of emersion: a renewed search for physiological causes of zonation. *Mar. Ecol. Progr. Ser.* 8:301-308.
- Eichenberger, W., S. Araki and D.G. Müller. 1993. Betaine lipids and phospholipids in brown algae. *Phytochemistry* 34:1323-1333.
- Gayral P. and J. Cosson. 1986. Le rôle des facteurs de l'environnement dans la zone phytale. In P. Gayral and J. Cosson (eds.), *Connaître et reconnaître les algues marines*. Ouest France Press, Rennes. pp.42-45.
- Jamieson, G.F. and E.H. Reid. 1972. The component fatty acids of some marine algal lipids. *Phytochemistry* 11:1423-1432.
- Johnson, W.S., A. Gigon, S.L. Gulmon and H.A. Mooney. 1974. Comparative photosyn-

- thetic capacities of intertidal algae under exposed and submerged conditions. *Ecology* 55 :450-453.
- Kim, M.K. 1988. Analyse des lipides neutres et de leurs variations chez une algue intertidale *Fucus serratus* et une Diatomée *Detonula* sp. en fonction des conditions de croissance et du milieu. Ph. D. Thesis, Pierre & Marie Curie (Paris 6) Univ. Paris, France. 121p.
- Kim, M.K. and G. Giraud. 1989. Characters of neutral lipids of *Detonula* sp. in culture. *The Korean Journal of Phycology* 4:55-61.
- Klenk, E., W. Knipprrath, D. Eberhagen and H.D. Koof. 1963. Über die ungesättigten fettsauren des fettstoffe von subwasser und meeresalgen. *Z. Physiol. Chem.* 334-344.
- Lemoine, P. 1913. Quelques expériences sur la croissance des algues marines à Roscoff (Note préliminaire). *Bulletin de l'Institut Océanographique* 277:1-19.
- Levring, T., H.A. Hoppe and O.J. Schmid. 1969. *Marine Algae*. Cram de Grugter, Hamburg.
- Lichtlé, C. and J.P. Dubacq. 1984. Lipid modifications related to encystment and excystment of *Cryptomonas rufescens* SKUJA (Cryptophyceae). *J. Phycol.* 20:8-12.
- Lobban, C.S., P.J. Harrison and M.J. Duncan. 1985. Light and photosynthesis. In C.S. Lobban, P.J. Harrison and M.J. Duncan (eds.), *The Physiological Ecology of Seaweeds*. Cambridge University Press, pp.4-34.
- Mangold, 1964. Thin-layer chromatography of lipids. *J. Am. Oil Chemists' Soc.* 38:708.
- Munda, I. 1964. Observation on variations in form and chemical composition of *Fucus ceranoides* L. *Nova Hedwigia* 8:403-414.
- Nichols, B.W., 1968. New glycolipid specific to nitrogen fixing blue green algae. *Nature* 217:767-776.
- Nichols, B.W., A.T. James and J. Breuer. 1967. Interrelationship between fatty acid biosynthesis and acyl-lipid synthesis in *Chlorella vulgaris*. *Biochem. J.* 486-496.
- Pettitt, T.R. and J.L. Harwood. 1986. Lipid characterization and metabolism in two red marine algae. *Biochem. Soc. Trans.* 14:148-149.
- Pham Quang, L. and M.H. Laur. 1975. Variations de la composition et de la teneur en lipides polaires des trois Fucacées communes des côtes bretonnes: *Pelvetia canaliculata* (L.) Decn. et Thur, *Fucus vesiculosus* L., *Fucus serratus* L. au cours de leur cycle annuel. *Botanica Marina* 18:105-113.
- Pham Quang, L. and M.H. Laur. 1976a. Teneur, composition et répartition cytologique des lipides polaires sulfurés et phosphorés de *Pelvetia canaliculata* L. *Phycologia* 15:367-375.
- Pham Quang, L. and M.H. Laur. 1976b. Structures, teneurs et compositions des esters sulfuriques, phosphoriques des glycosyldiglycérides de trois Fucacées. *Biochimie* 58:1367-1380.
- Pham Quang, L. and M.H. Laur. 1976c. Les alcools aliphatiques sulfates: nouveaux lipides polaires isolés de diverses Fucacées. *Ibid.* 58: 1381-1396.
- Piervittori, R., F. Alessio and M. Maffei. 1994. Fatty acid variation in the lichen,

- Xanthoria parietina*. Phytochemistry 36:853-856.
- Pohl, R. and F. Zurheide. 1979. Fatty acids and lipids of marine algae and the control of their biosynthesis by environmental factors. In H.A. Hoppe, T. Levring and Y. Tanaka (eds.), Marine Algae in Pharmaceutical Science. Walter de Gruyter, Berlin. pp.473-523.
- Sharma, P. and C.P. Malik. 1994. Triacylglycerol synthesis in developing kernels of groundnut as influenced by aliphatic alcohols. Phytochemistry 36:899-902.
- Smith, K.L. and J.I., Harwood. 1984a. Lipid metabolism in *Fucus serratus* as modified by environmental factors. J. Exp. Bot. 35:1359-1368.
- Smith, K.L. and J.I. Harwood. 1984b. Lipids and lipid metabolism in the brown alga, *Fucus serratus*. Phytochemistry 23:2469.
- Suen, Y., J.S. Hubbard, G. Holzer and T.G. Tornabene. 1987. Total lipid production of the green alga *Nannochloropsis* sp. QII under different nitrogen regimes. J. Phycol. 23:289-296.
- Townsend, C. and G.W. Lawson. 1972. Preliminary results on factors causing zonation in *Enteromorpha* using a tide simulating machine. J. Exp. Mar. Biol. Ecol. 8:265-276.
- Trémolières, A. and P. Mazliak. 1970. Formation des lipides au cours du développement de la feuille de Tréfle (*Trifolium repens*). Effets de l'éclairement. Physiol. Vég. 8:135-150.
- Viso, A.C., D. Pesado, P. Bernard and J.C. Marty. 1993. Lipid compositions of the mediterranean seagrass, *Posidonia oceanica*. Phytochemistry 34:381-387.
- Wood, B.J.B. 1974. Fatty acids and saponifiable lipids. In W.P.P. Stewart (ed.), Algal Physiology and Biochemistry. Botanical Monographs. Blackwell Scientific Press. 10:236-265.
- Yongmantchai, W. and O.P. Ward. 1991. Screening of algae for potential alternative sources of eicosapentaenoic acid. Phytochemistry 30:2963-2967.

(1995년 7월 26일 접수)