

## A-5 紫外線増加が生態系に及ぼす影響に関する研究

### (3) 紫外線増加が海洋基礎生産量に与える影響に関する研究

#### ② 紫外線増加が海洋基礎生産量に与える影響のモデル化に関する研究

研究代表者 創価大学工学部生物工学科 田口 哲

平成8～10年度合計予算額 7,987千円

#### [ 要旨 ]

オゾン層破壊に伴う太陽紫外線増加が、海洋基礎生産量に与える影響をモデル化するために、海水中での紫外線の透過特性やその日周変動と季節変動を調べ、海水中の紫外線分布を明らかにした。海洋において最も重要な基礎生産者である植物プランクトン群集を用いて太陽紫外線を、培養植物プランクトン種を用いて紫外線灯を用いて照射実験を行った。

紫外線の海水中での日周変化は、空中での日周変化と同様にsin 曲線で正確にモデル化できることが明らかとなった。紫外線の海水による減衰率は、沿岸域では、晩春には植物プランクトン・クロロフィル<sub>a</sub>濃度に依存するが、夏には、溶存有機物質の濃度に依存し、その結果として、植物プランクトンが光合成を行える真光層内での紫外線相対透過深度は、冬期に深く、夏期に浅くなるという季節変動を示すことが明らかとなった。

沿岸域の植物プランクトン群集の光合成活性は、太陽紫外線により阻害を受けるが、10 $\mu$ m以下の比較的小型の植物プランクトン群集が優占しているときには、海表面でのUVBによる光合成活性の阻害率が高くなる傾向があり、UVB照射量が高くなると、その影響は強くなることが明らかとなった。培養植物プランクトンの成長に対するUVBの影響は、珪藻、ハプト藻、及び緑藻では、大きく異なり、緑藻がUVBに最も耐性があり、珪藻が最も耐性が弱いことが明らかとなった。

本研究により、オゾン層の破壊に伴う紫外線の増加は、紫外線防御機構が未発達な珪藻に影響を与え、珪藻が生息している表層混合層は夏期に浅くなり、増加した紫外線の影響をまともに受けるため、植物プランクトンの成長に多大な影響を与えると予想される。このことは、植物プランクトンの種の変遷を変化させることにつながるため、紫外線放射量の増加は現在まで長時間かかって築き上げられてきた海洋生態系の大きな攪乱要因となり、海洋の基礎生産量に影響を与えることが明らかとなった。

[ キーワード ] 透過率、基礎生産、阻害率、サイズ分画、UVB/(UVA+PAR) 比

#### I. 紫外線透過

太陽から地球表面に到達する紫外線は、一日の中でも時間とともに変化する。さらに季節的にも大きく変化する。さらに海水中に透過すると、その変化は海水中の溶存物質や懸濁物質により大きく変化する<sup>1)</sup>。本研究では、空中及び水中分光紫外線計を用いて、

空中及び水中の波長別紫外線の日変化、また水中の波長別紫外線鉛直分布の季節変化を調べた。これらの現場の測定を元にして、経験式を作成し、モデル化に資した。

### I-1 紫外線と光合成有効光子量の日変化

#### 1. 研究目的

光合成有効光子量の日変化を予測するために式(1)に示すような経験式がKirk<sup>2)</sup>によって提唱されている、

$$E_d(t) = E_{dmax} \sin(\pi t / N) \quad (1)$$

ここで $E_d(t)$ は下方向の放射量、 $E_{dmax}$ は正中時の最大下方向放射量、 $t$ は日出から日没までの日照時間、 $N$ は一日の時間である。Ikushima<sup>3)</sup>は晴天日には $n=2$ を提唱した。この $n$ の値はサイン曲線の日出の立ち上がり勾配の度合いを決定する。そのためこの $n$ の値は、一日の放射量を決定する。はじめに、よく晴れた日に光合成有効光子量(PAR)の日変化を示す $n$ の値を決定した。その時の紫外線の305、350、340、そして380nmの波長ごとに、日変化を最もよく示す $n$ の値を求めることを目的とした。

#### 2. 研究方法

紫外線と光合成有効光子量(PAR)の測定は相模湾真鶴港で1995年6月から1996年8月まで毎月一回行った(図1)。これらの測定にはBiospherical Instrument社の空中及び水中紫外線計PUB500/510を用いて、305、320、340及び380nmの紫外線放射量と400から700nmのPARの測定を行った。空中紫外線センサーは、船の最も高い位置に、水中紫外線センサーは水深50cmの位置に設置した。合計15回観測した中で、晴天日であった1995年9月21日、12月8日、1996年3月28日、4月28日、5月25日そして8月11日の計6回の値を式(1)に導入した。水中の値は50cmの深度で測定したため、式(2)を使って、海表面直下の値を $[E_d(-0)]$ を測定してから、式(1)に導入した、

$$E_d(-0) = E_d(z) / \exp(k_\lambda z) \quad (2)$$

ここで $E_d(z)$ は、深度 $z$ の放射量、 $k_\lambda$ は波長 $\lambda$ の消散係数である。

全日照量は、日出から日没までを積分して求めた、

$$Q_s = \int_0^N E_d(t) dt \quad (3)$$

#### 3. 結果・考察

計6回の観測結果を用いて式(1)で求めた $n$ の平均値は、空中のPAR、380nm、および340nmでは、あまり変化がなく、 $1.75 \pm 0.017$ であった(表1)。しかしより短波長のUVB領域の320nmと305nmでは、 $2.12 \pm 0.20$ と $4.09 \pm 0.43$ とやや増加する傾向にあった。一方水中のPAR、380nm、340nm、及び320nmではあまり変化がなく、 $1.93 \pm 0.13$ であった(表1)。水中では305nmだけがやや高い $4.00 \pm 0.98$ の値を示した。しかし、これら空中と水中での $n$ の値は、統計的に異なるものではなかった。

Ikushima<sup>3)</sup>は晴天時には $n=3$ 、曇天時には $n=2$ を太陽日射量に提案している。今回のPARの結果と異なるのは、測定機器の違いと、測定した波長の違いによるものと考

えられる。今回得られた  $n$  の値を用いて、1日あたりの全日照量をそれぞれの波長ごとに、またPARについて計算して、実測値との比較を次式(4)で行った(表1)

$$(RawQs - EstQs) / RawQs \quad (4)$$

ここで RawQs は実測値、EstQs は推定値である。この比は最も大きい値で-0.04であることから、これらの  $n$  の値を式(1)のモデルに導入することにより、1日あたりの全日照量を空中でも水中でも4%以内の精度で推定できることが明らかとなった。

## I-2. 紫外線と光合成有効光子量の季節変化

### 1. 研究目的

海水中に透過する光は、その波長にかかわらず、海水中に存在する溶存物質や懸濁物質の質と量によって大きく影響を受ける。植物プランクトンが光合成を行うことの出来る真光層の季節変化に関しては、今まで多くの研究が行われてきた。一方紫外線の海水中への透過はさまざまな海域で研究されるようになった(4, 5, 6, 7)。しかし、年間を通してあるひとつの海域でその季節的变化を示した研究はまだ行われていない。本研究では、相模湾・真鶴沖定点M(北緯35度9分49秒、東経139度10分33秒)で1995年7月から1999年3月まで、毎月1回観測を行い、季節変化を明らかにすることを目的とした。

### 2. 研究方法

相模湾真鶴沖定点M(図1)で、1995年7月から1999年3月まで計42回、横浜国立大学臨海実験所所属研究船「たちばな丸」を用いて、正中時前の2時間の間に観測・測定を行った。1996年6月には、東京大学海洋研究所所属「淡青丸」を用いた。米国 Biospherical Instrument 社の空中分光光度計(PUV-510)と水中分光光度計(PUV-500)を用いて、305、320、340、及び380nmの放射量とPARを測定した。空中分光光度計は、船の最高部に設置した。水中分光光度計は船の陰にならないように操船を行いながら、毎秒1mの速度で下げ、またただちに引き上げた。

各波長ごとに下向きの光の消散計数(kd)は次式(5)を用いて求めた、

$$Ed(z) = Ed(-0) e^{-kd \cdot z} \quad (5)$$

また、対数に変換した光を深度に対してプロットした時に、ひとつの直線に合わせることの出来ない場合には、複数の直線を用いた。

### 3. 結果・考察

各観測時においては、消散係数は紫外線と比較して、PARで最も小さく、最小値は冬の $0.05\text{m}^{-1}$ であり、最大値は夏の $0.26\text{m}^{-1}$ であった(表2)。紫外線も各波長ごとに冬に小さな値を、夏に大きな値を示す傾向にあった。夏期には305nmと320nmで消散係数が $1.0\text{m}^{-1}$ を超えることがあり、冬期には $0.3\text{m}^{-1}$ 以下となった(表2)。表層のPARが透過・減少して1%となる層は真光層と呼ばれ、植物プランクトンが十分に光合成を出来る層である。この真光層のどの深さまで紫外線が透過するのかが、植物プランクトンの光合成に与える紫外線の影響を研究する上で、最も重要となってくる<sup>8)</sup>。真光層に対する紫外線の各波長の透過の相対的な割合は一般的に冬期に大きく夏期に小さいことが一年周

期で起こり、1996年から1998年まで毎年、繰り返し起こっていることが確認された(図2)。この季節変化の要因は、晩春には植物プランクトン・クロロフィル $a$ 濃度の急激な増加とその後、夏期に見られる溶存有機物質の増加であることが示唆された(図3)。太陽紫外線量が増大する夏には、水温も上昇し、温度躍層が形成され表層混合層も浅くなることから、表層混合層で増加した植物プランクトンは、増大した太陽紫外線の影響を受けることになる。

## II 植物プランクトン群集の基礎生産に対する紫外線の影響

### 1. 序

海洋の植物プランクトン群集に対する紫外線の影響はさまざまな観点から研究されている。その中で光合成あるいは基礎生産に対する研究が最もよく行われている<sup>4)</sup>。しかし、従来の研究は、さまざまな海域で、ある限られた時期にしか、なされていない。紫外線を含む光環境は季節的に変化するし、海洋の物理環境も水温・塩分、さらに冬期に深層から供給されて栄養塩の量によって年間を通して大きく変動する。また、そこに生息している植物プランクトンの構造も季節変化を示し、植物プランクトンの生体量も100倍の桁で季節的に変動する。これらの変化の総合結果を反映する現場実験は今後、予想されるオゾンホール拡大による紫外線の影響を解明するために、有効な方法である。

### 2. 研究目的

紫外線を含む光環境、水塊の物理構造、栄養塩類の供給、さらに植物プランクトン群集構造及び生体量との季節変動と植物プランクトンによる基礎生産量に対するUVBの障害率との関係を解明することを目的とした。さらに、光合成に対するUVBの影響の季節変化を明らかにすることと、年間の基礎生産量に対するUVBの影響を推定することを目的とした。

### 3. 研究方法

植物プランクトン群集の基礎生産量に対するUVBの影響を調べる現場実験は相模湾真鶴沖、定点Mで採水し、真鶴港で1996年9月から1998年9月まで毎月1回行った(図1)。表層水を採水して、183 $\mu\text{m}$ メッシュのネット地で大型動物プランクトン及び大型の懸濁物を除いた。UVBを透過する石英瓶、UVBを透過しないルミラーフィルムを巻いた石英瓶、そして暗瓶に試水を分注して、 $\text{Na}_2\text{H}^{13}\text{CO}_3$ を添加して培養実験を海表面で24時間行った。実験開始時の試水をクロロフィル色素、懸濁有機炭素及び窒素の分析のためにグラスファイバーフィルター(GF/F)上に濾過した。クロロフィル色素のサイズ分画を調べるために孔径10 $\mu\text{m}$ 、2 $\mu\text{m}$ 、及び0.2 $\mu\text{m}$ のメンブランフィルターで連続濾過した。濾過海水は栄養塩分析用に-20 $^{\circ}\text{C}$ で凍結保存を行った。培養実験終了後、ただちに試水を実験開始時と同様に濾過した。さらに、 $^{13}\text{C}$ の取り込み量を測定するために、試料をグラスファイバーフィルター(GF/F)上に濾過した。

クロロフィル色素の抽出はN, N-Dimethylformamide (DMF) 中で4 $^{\circ}\text{C}$ で24時間行った<sup>9)</sup>。クロロフィル $a$ 及びフエオ色素は、Turner Design社の蛍光光度計10-AU型で、蛍光法

により求めた<sup>10)</sup>。懸濁有機炭素及び窒素の分析は、フィルター試料を60℃以下で乾燥後、スズフォイルに包みFisons社のCNS分析機で行った。13C atom%の測定は、同様に乾燥し、スズフォイルに包み、Finnigan Mat社の質量分析計で行った。植物プランクトンの1日の炭素取り込み量はHama et al.<sup>11)</sup>の方法で求めた。

基礎生産量に対するUVBの影響の評価は次式で行った。

$$\text{阻害率 (\%)} = (P_{\text{-UVB}} - P_{\text{+UVB}}) / P_{\text{-UVB}} \times 100 \quad (6)$$

ここでUVB照射下での基礎生産量を $P_{\text{+UVB}}$ とし、遮光下での基礎生産量を $P_{\text{-UVB}}$ とした。

#### 4. 結果と考察

水温は1月～3月に最低の約16℃を示し、8月に最大の27℃の季節変化を示した。塩分は梅雨の時期に31PSU以下に減少するが、他の季節では34PSU以上の値を示した。硝酸塩は冬から春に高い傾向を示し最大10 $\mu\text{M}$ となり、夏から秋に低い値1 $\mu\text{M}$ 以下となった。硝酸塩は季節的に変動が大きく降雨による極大値を春から秋にかけて数回示す季節変化を示した。磷酸塩は2 $\mu\text{M}$ 以下の値で、あまり季節変化は示さなかった。

クロロフィルaの濃度は、毎年5月か6月に100mg Chla $\cdot\text{m}^{-3}$ に達する最大値を示す以外は、年間を通して1～5mg Chla $\cdot\text{m}^{-3}$ の間を変動し、冬期に低い値を示した(図4)。全植物プランクトン・クロロフィルa濃度に対する各サイズの寄与率は0.2-2.0 $\mu\text{m}$ 分画では1.4-51.1%、2.0-10 $\mu\text{m}$ 分画では1.5-57.3%、そして、10 $\mu\text{m}$ 以上の分画では12.9-97.2%の季節変化を示した。それぞれの年平均値は0.2-2.0 $\mu\text{m}$ 分画では、23.7 $\pm$ 14%、2.0-10 $\mu\text{m}$ 分画では26.8 $\pm$ 15.0%、そして、10 $\mu\text{m}$ 以上の分画では49.5 $\pm$ 24%であった。10 $\mu\text{m}$ 以上の分画は、他の2分画のおよそ2倍の寄与率を占めていた。

一日の基礎生産量は毎年3月あるいは4月に、ほぼ200mgC $\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{d}^{-1}$ に達する最大値を示し、最小値は約10mgC $\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{d}^{-1}$ で1月あるいは2月に見られた(図5)。クロロフィルaあたりの光合成活性は最大2-3mgC [mg Chla] $\cdot\text{l}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ の値を示した。

一日の基礎生産量に対するUVBの阻害率は、1996年9月に最大値41%を示した(図6)。一般的には、5月から12月までは阻害率は高く、1月から4月までは低くなる傾向を示した。この傾向は、UVB/(UVA+PAR)比が最も小さくなる1月から0.005を超えるまでの期間に阻害率が低く、その後UVB/(UVA+PAR)比が7月あるいは8月に最大となり、12月までに減少する期間に阻害率が高くなることと一致していた(図7)。

以上の結果をまとめると、10 $\mu\text{m}$ 以下の比較的小さなサイズの植物プランクトン群集が優占している時には、海表面でのUVBによる阻害率が高くなる傾向があり、UVB照射量が高くなると、その影響は強くなることが示唆された(図8)。年間基礎生産量に対するUVBの影響は1996年9月-1997年8月では8.5%であり、1997年10月-1998年9月では6.7%であった。

### Ⅲ 植物プランクトンの成長に対する紫外線の影響

#### 1. 序

環境条件が物理、化学及び生物ごとにさまざまに変動する自然界とは異なり、様々な

要因を一定に保ち、紫外線を含む光環境を変化させることにより植物プランクトンの成長に対する紫外線の影響を調べることは、これまで行われたきている<sup>12)</sup>。しかし、その数は少なく、対象となる種も限られている。

## 2. 研究目的

本研究では、培養植物プランクトンの成長を約1週間ほど調べ、紫外線照射した細胞と遮蔽した細胞とを比較することにより、紫外線の影響を明らかにすることを目的とした。

## 3. 研究方法

植物プランクトンの緑藻 *Dunaliella salina* を用いて、f/2培地を用いて培養実験を行った<sup>13)</sup>。紫外線照射実験には、石英瓶、ルミラーフィルムを巻いた石英瓶、そしてアセテートフィルムを巻いた石英瓶と、3種類の異なる光条件を用意した(図9)。白色光灯と紫外線灯を装備した培養装置内で、実験瓶内の細胞が均一に光を受けることができるように回転培養器を使った。培養温度は25℃、光は12時間明期12時間暗期の光周期で照射した。庭園用スクリーンを用いて、PARの透過が10、7、5、3、そして1%となるように枚数を変えた。培養装置内の紫外線はBiospherical Instrument社の紫外線計 PUV-500を用いて、305、320、340、そして380nmの波長で測定した。PARは同社の分光放射計GMR-610を用いて、412、443、490、555、665、683、そして710nmの波長で測定した。280nmの放射量を0とし、280nmから320nmのUVB、320nmから400nmのUVA、そして400nmから700nmのPARを積分して求めた。

培養は、成長が定常期にはいるまでの約1週間行った。毎日定時間に3本の実験瓶から試料を採水した。細胞数、クロロフィル色素、有機炭素・窒素、そして比吸光係数測定用の試料をとった。クロロフィル色素と有機炭素・窒素の分析は前節と同じように行った。それぞれの条件下での最大成長速度は、対数増殖期のクロロフィルa濃度の増加から求めた。細胞数は、血球算定盤で計数した。比吸光計数は、10cmセルを用いて、Beckman社の分光光度計DU-640を用いて、液体試料の吸光度を200nmから800nmまで1nmごとに測定した。比吸光計数( $a^*_{ph}$ )は次式を用いて求めた、

$$(a^*_{ph})(\lambda) = 2.303 [OD_P(\lambda) - OD_P(750)] \cdot X^{-1} [Chl a]^{-1} \quad (7)$$

ここで  $OD_P(\lambda)$  は各波長ごとの細胞の吸光度、 $OD_P(750)$  は750nmにおける細胞の吸光度、 $X$  はセルの光路長、 $Chl a$  はクロロフィルa濃度の増加から求めた。

## 4. 結果・考察

有機炭素：窒素比は、それぞれの光条件間で大きな差は見られなかった(図10)。石英瓶では、 $6.6 \pm 1.3$ 、ルミラーフィルムを巻いた石英瓶では $7.2 \pm 0.86$ 、そしてアセテートフィルムを巻いた精鋭瓶では、 $7.3 \pm 1.2$ であった。炭素：クロロフィルa比はルミラーフィルムとアセテートフィルムを巻いた石英瓶では、ほとんど差がなく、 $35 \pm 13 \text{mgC} [\text{mgChl a}]^{-1}$  と  $35 \pm 14 \text{mgC} [\text{mgChl a}]^{-1}$  であった(図11)。しかし、何も巻かなかつ

た石英瓶ではUVB/(UBA+PAR)比が0.02以下では、他の光条件の値とは差が無かった。しかしUVB/(UBA+PAR)比が0.034以上になると増加する傾向を示し0.097で126mgC [mgChla]<sup>-1</sup>、0.46では11,000mgC [mgChla]<sup>-1</sup>と非常に高い値を示した。クロロフィルaの比吸光係数は対数成長期では、UVB/(UBA+PAR)比が、0.02以下では3種類の光条件下では差は全く見られず0.058±0.00097m<sup>2</sup> [mgChla]<sup>-1</sup>であった(図12)。この比が0.034以上になると何も巻かない石英瓶の値は増加する傾向を示し、アセテート・フィルムを巻いた石英瓶の値の1,000倍近くの非常に高い値を示した。0.097まではルミラー・フィルムを巻いた石英瓶との間には、差は全く見られなかった。しかし0.46では急激に増加しアセテート・フィルムを巻いた石英瓶の値の100倍近くの高い値を示した。

UVB/(UBA+PAR)比が0.02以下では3種類の光条件下では成長率に差が見られず、0.86±0.02d<sup>-1</sup>であった。アセテート・フィルムを巻いた石英瓶の成長率は、この比が最大の0.46になっても、ほぼ一定の値を示した。ルミラー・フィルムを巻いた石英瓶の成長率は、その比が0.062でやや減少し始めた。しかし何も巻かなかった石英瓶の成長率はその比が0.034で減少し始め、0.46では全く成長しなかった。

今までの培養実験と比較するために、UVBの影響の全くないときの成長率に対して相対成長率を求めると、実験を行った4種類の植物プランクトンで、UVB/(UBA+PAR)比に対して、異なることが明らかとなった(図13)。同じ珪藻である*Chaetoceros gracilis*と*Thalassiosira weissflogii*でも、相対成長率が50%となるUVB/(UBA+PAR)比は前者で0.02、後者で0.008であった。*Isochrysis galbana*では0.04、*Dunaliella salina*では0.09であった。このように種によってUVB/(UBA+PAR)比に対する成長率の反応が異なり、潮だまり等の浅い海水に生息している緑藻の*Dunaliella salina*がUVBに対して最も高い耐性を示したことは、この種の進化の過程で得た特性と示唆された。

## 6. 参考文献

1. Kirk, J. T. O., B. R. Hargreaves, D. P. Morris, R. B. Coffin, B. David, D. Frederickson, D. Karentz, D. R. S. Lean, M. P. Lesser, S. Madronick, J. H. Morrow, N. B. Nelson, and N. M. Scully 1994. Measurements of UV-B radiation in two lakes and instrument intercomparison. Arch. Hydrobiol. Beih. 43: 71-99.
2. Kirk, J.T.O. 1994. Light and photosynthesis in aquatic ecosystems, Cambridge Univ. Press.
3. Ikushima, I. 1967. Ecological studies on the productivity of aquatic plant communities. III. Effect of depth on daily photosynthesis in submerged macrophytes. Bot. Mag., Tokyo 90:57-67.
4. Smith, R. C., B. B. Prezelin, K. S. Baker, R. R. Bidigare, N. P. Boucher, T. Coley, T. Karentz, S., MacIntyre, H. A. Matlick, D. Menzies, M. Ondrusek, Z. Wan and K. F. Waters. 1992. Ozone depletion; ultraviolet radiation and phytoplankton biology in Antarctic Waters. Science 255: 952-959.

5. Taguchi, S., H. Saito and H. Kasai 1993. Characteristics of ultraviolet radiation penetration in the sea and its effect on marine phytoplankton community in the Western Subarctic Pacific, pp.251-264. In, Y. Kodama and S. D. Lee (eds), The 13th UOEH International Symposium and 2nd Pacific Cooperative Symposium on Impact of increased UVB Exposure on Human Health and Ecosystem.
6. Kirk, J. T. O. 1994. Optics of UV-B radiation in natural waters. *Ergeb. Limnol. Oceanogr* 43:1-16.
7. Dunne, R. P. and B. D. Brown 1996. Penetration of solar UVB radiation in shallow tropical waters and its potential biological effects on coral reefs: results from the central Indian Ocean and Andaman Sea. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 144: 109-118.
8. Kuwahara, V. S., T. Toda, K. Hamasaki, T. Kikuchi and S. Taguchi 1999. Seasonal variability in the penetration of relative ultraviolet radiation and photosynthetically available radiation in temperate coastal waters. *J. Oceanogr.* (Submitted)
9. Suzuki, R. and T. Ishimaru 1990. An improved method for the determination of phytoplankton chlorophyll using N, N-Dimethylformamide. *J. Oceanogr.* 46: 190-194.
10. Holm-Hansen, O., C. J. Lorenzen, R. N. Holmes, and J. D. H. Strickland 1965. Fluorometric determination of chlorophyll. *J. Cons. Perm. Int. Expl. Mer.* 30: 3-15.
11. Hama, T., T. Miyazaki, Y. Ogawa, T. Iwanuma, M. Takahashi, A. Otsuki, and S. Ichimura 1983. Measurement of photosynthetic production of a marine phytoplankton population using a stable  $^{13}\text{C}$  isotope. *Mar. Biol.* 73: 31-36.
12. Jokiel, P. L. and R. H. York, Jr. 1984. Importance of ultraviolet radiation in photoinhibition of microalgal growth. *Limnol. Oceanogr.* 29:192-199.
13. Guillard, R. R. L. and J. H. Ryther 1962. Studies on marine plankton diatoms. I. *Cyclotella nana* and *Detonula confervacea* (Cleve) Gran. *Can. J. Microbiol.* 8: 229-239.

[ 国際共同研究等の状況 ]

なし

[ 研究成果の発表状況 ]

(1) 口頭発表

- ① V. S. Kuwabara, K. Hamasaki, T. Toda, T. Kikuchi, and S. Taguchi : 日本海洋学会 (1996) "Seasonal UVR penetration in the coastal waters of Sagami Bay"
- ② J. I. Goes, N. Handa, S. Taguchi, and T. Hama : 日本海洋学会 (1996) "Impact of ultraviolet radiation on the bio-optical properties of marine phytoplankton : Implications for estimation of phytoplankton biomass and productivity from remotely sensed data."
- ③ T. Kaneshiro and S. Taguchi : 14th International Diatom Symposium, Tokyo, Japan, 1996. "Effect of ultraviolet radiation (UVB) on marine diatom *Chaetoceros gracilis*."



- ④ 齊藤宏明、田口 哲：日本海洋学会（1997）「*Paracalanus* sp. の卵孵化率に対する紫外線の影響」
- ⑤ V. S. Kuwabara, K. Hamasaki, T. Toda, T. Kukuchi, and S. Taguchi：日本海洋学会（1997）“The relationship between seasonal UVR penetration and environmental factors in the coastal waters of Sagami Bay.”
- ⑥ 上 真一、齊藤宏明、田口 哲：生物に対する太陽放射光の影響に関するシンポジウム、神戸（1997）「海洋プランクトンに対する紫外線の影響」
- ⑦ V.S. Kuwabara, T. Toda, T. Kikuchi, and S. Taguchi：日本海洋学会（1997）“Spectral models to estimate the daily insolation of PAR and UVR.”
- ⑧ 大竹英一郎、濱崎恒二、戸田龍樹、菊地知彦、田口 哲：日本海洋学会（1997）“鞭毛藻 *Isochrysis galbana* の成長に対する紫外線Bの影響”
- ⑨ 菅原 隆、高橋一生、濱崎恒二、戸田龍樹、菊地知彦、田口 哲：日本海洋学会（1998）「相模湾の年間基礎生産量に対する紫外線の影響」
- ⑩ J. I. Goes, K. Suzuki, T. Saino, and S. Taguchi：XXVII SIL Congress, Dublin, Ireland 1998. “Effect of UV-B radiation on the pathways of carbon biosynthesis in marine ecosystem.”
- ⑪ T. Ichikawa and S. Taguchi：XXVII SIL Congress, Dublin, Ireland 1998. “Influence of UV-B radiation on growth, carbon/chlorophyll a ratio, and chlorophyll a specific absorption coefficient of marine diatom *Thalassiosira weissflogii*.”
- ⑫ 田口 哲：紫外線の影響に関するシンポジウム、東京（1998）「生態系に対する紫外線の影響」
- ⑬ M. Naganobu, K. Kutsuwada, Y. Sasaki, S. Taguchi, and V. Siegel：日本海洋学会（1998）“Relationship of Antartic krill (*Euphausia superba*) recruitment with westelies fluctuations in the Antarctic Peninsula area.”

## (2) 論文発表

- ① 田口 哲：月間海洋、特別号10、78-96（1996）「紫外線」
- ② 田口 哲：太陽紫外線防御研究委員会学術報告8、1、121-144（1996）
- ③ J. I. Goes, N. Handa, S. Taguchi, and H. Saito：Limnology and Oceanography 41, 7, 1478-1489 (1996) “Metabolism of neutral monosaccharide constituents of storage and structural carbohydrates in natural assemblages of marine phytoplankton exposed to ultraviolet radiation.”
- ④ J. I. Goes, N. Handa, K. Suzuki, S. Taguchi, and T. Hama：Proceedings of National Institute of Polar Research, Polar Biology 10, 25-28 (1997) “Ultraviolet radiation induced changes in the production of organic compounds in Antarctic marine phytoplankton.”
- ⑤ S. Uye, H. Saito, and S. Taguchi：Photomedicine and Photobiology 19, 19 (1997) “Effects of enhanced ultraviolet ray on marine plankton.”
- ⑥ T. Kaneshiro, K. Hamasaki, T. Toda, and S. Taguchi：Proceedings of 14th

International Diatom Symposium, 241-255 (1997) "Effects of ultraviolet radiation (UVB) on growth of *Chaetoceros gracilis*."

- ⑦ H. Saito, S. Uye, and S. Taguchi : Global Environmental Research 3, 15-22 (1998)  
"Effects of ultraviolet radiation (UVB) on marine zooplankton : migratory vs neustonic copepods."
- ⑧ T. Ichikawa and S. Taguchi : International Association of Theoretical and Applied Limnology 27, (1998 in press) "Influence of UVB radiation on growth, carbon/chlorophyll a ratio, and chlorophyll a specific absorption coefficient of marine diatom *Thalassiosira weissflogii*."

(3) 出願特許、受賞等  
なし

Table 1. The average  $n$  values and average ratio of reliability for predicting daily insolation values ( $R_{aw}Q_B - EstQ_B / R_{aw}Q_B$ ) for the 6 clear-sky condition days. S.D. is the standard deviation of the mean from all 6 months. Minus signs indicate the over estimation of the daily insolation.

| Surface (+0)            | Mean $n$ | $\pm$ | S. D. | Ratio | $\pm$ | S. D. |
|-------------------------|----------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 305nm                   | 4.09     |       | 0.43  | -0.1  |       | 0.05  |
| 320nm                   | 2.12     |       | 0.20  | 0.00  |       | 0.04  |
| 340nm                   | 1.78     |       | 0.24  | 0.00  |       | 0.05  |
| 380nm                   | 1.77     |       | 0.26  | 0.00  |       | 0.05  |
| PAR                     | 1.74     |       | 0.34  | 0.00  |       | 0.07  |
| <b>Sub-surface (-0)</b> |          |       |       |       |       |       |
| 305nm                   | 4.00     |       | 0.98  | -0.01 |       | 0.12  |
| 320nm                   | 1.94     |       | 0.47  | -0.02 |       | 0.08  |
| 340nm                   | 1.76     |       | 0.47  | 0.01  |       | 0.09  |
| 380nm                   | 1.93     |       | 0.37  | 0.00  |       | 0.07  |
| PAR                     | 2.07     |       | 0.54  | -0.04 |       | 0.13  |

**Table 2.** UVR and PAR diffuse attenuation coefficients ( $K_d$ ) at Station M from June 1995 to December 1998. Coefficients shown were used to determine the 1% penetration depth.

| Month     | $K_d$ <sub>305nm</sub> | $K_d$ <sub>320nm</sub> | $K_d$ <sub>340nm</sub> | $K_d$ <sub>380nm</sub> | $K_d$ <sub>PAR</sub> |
|-----------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|----------------------|
| 17-Jun-95 | 1.01                   | 0.81                   | 0.65                   | 0.35                   | 0.062                |
| 18-Jul-95 | 1.25                   | 1.04                   | 0.83                   | 0.53                   | 0.089                |
| 18-Aug-95 | 1.11                   | 0.86                   | 0.46                   | 0.30                   | 0.099                |
| 23-Sep-95 | 0.27                   | 0.21                   | 0.17                   | 0.11                   | 0.072                |
| 7-Nov-95  | -                      | 0.12                   | 0.09                   | 0.06                   | 0.047                |
| 22-Dec-95 | 0.18                   | 0.17                   | 0.13                   | 0.09                   | 0.065                |
| 21-Jan-96 | 0.26                   | 0.20                   | 0.15                   | 0.10                   | 0.067                |
| 27-Apr-96 | 0.39                   | 0.30                   | 0.22                   | 0.13                   | 0.081                |
| 24-May-96 | 0.30                   | 0.25                   | 0.19                   | 0.12                   | 0.068                |
| 18-Jun-96 | -                      | 0.48                   | 0.36                   | 0.23                   | 0.073                |
| 13-Jul-96 | 0.86                   | 0.69                   | 0.45                   | 0.27                   | 0.071                |
| 12-Aug-96 | 1.24                   | 1.01                   | 0.84                   | 0.61                   | 0.128                |
| 16-Sep-96 | 0.34                   | 0.26                   | 0.22                   | 0.15                   | 0.076                |
| 18-Oct-96 | 0.46                   | 0.39                   | 0.31                   | 0.19                   | 0.096                |
| 20-Dec-96 | 0.28                   | 0.22                   | 0.16                   | 0.11                   | 0.069                |
| 15-Jan-97 | 0.33                   | 0.25                   | 0.19                   | 0.13                   | 0.093                |
| 8-Feb-97  | 0.25                   | 0.19                   | 0.14                   | 0.08                   | 0.056                |
| 14-Mar-97 | 0.48                   | 0.33                   | 0.25                   | 0.16                   | 0.088                |
| 11-Apr-97 | 0.98                   | 0.76                   | 0.57                   | 0.13                   | 0.065                |
| 18-May-97 | -                      | -                      | -                      | -                      | -                    |
| 30-Jun-97 | 0.70                   | 0.52                   | 0.39                   | 0.22                   | 0.064                |
| 13-Jul-97 | 0.93                   | 0.64                   | 0.44                   | 0.27                   | 0.110                |
| 15-Oct-97 | 0.35                   | 0.29                   | 0.22                   | 0.16                   | 0.087                |
| 14-Nov-97 | 0.26                   | 0.22                   | 0.18                   | 0.11                   | 0.070                |
| 18-Dec-97 | 0.32                   | 0.25                   | 0.18                   | 0.12                   | 0.078                |
| 22-Jan-98 | 0.27                   | 0.21                   | 0.14                   | 0.09                   | 0.062                |
| 14-Feb-98 | 0.26                   | 0.19                   | 0.16                   | 0.12                   | 0.095                |
| 31-Mar-98 | 0.56                   | 0.45                   | 0.29                   | 0.23                   | 0.210                |
| 18-Apr-98 | 1.19                   | 0.89                   | 0.47                   | 0.24                   | 0.174                |
| 18-May-98 | 0.63                   | 0.47                   | 0.35                   | 0.21                   | 0.112                |
| 15-Jun-98 | 1.14                   | 0.86                   | 0.63                   | 0.36                   | 0.132                |
| 18-Jul-98 | 0.79                   | 0.61                   | 0.46                   | 0.30                   | 0.150                |
| 22-Aug-98 | 1.17                   | 0.98                   | 0.84                   | 0.59                   | 0.263                |
| 13-Sep-98 | 0.74                   | 0.64                   | 0.47                   | 0.28                   | 0.114                |
| 19-Oct-98 | 0.88                   | 0.75                   | 0.51                   | 0.31                   | 0.130                |
| 18-Nov-98 | 0.28                   | 0.21                   | 0.17                   | 0.11                   | 0.078                |
| 14-Dec-98 | 0.36                   | 0.28                   | 0.18                   | 0.12                   | 0.078                |
| Average   | 0.61                   | 0.47                   | 0.35                   | 0.21                   | 0.096                |
| S. D.     | 0.36                   | 0.28                   | 0.21                   | 0.14                   | 0.045                |
| C. V. (%) | 59                     | 60                     | 62                     | 65                     | 46                   |

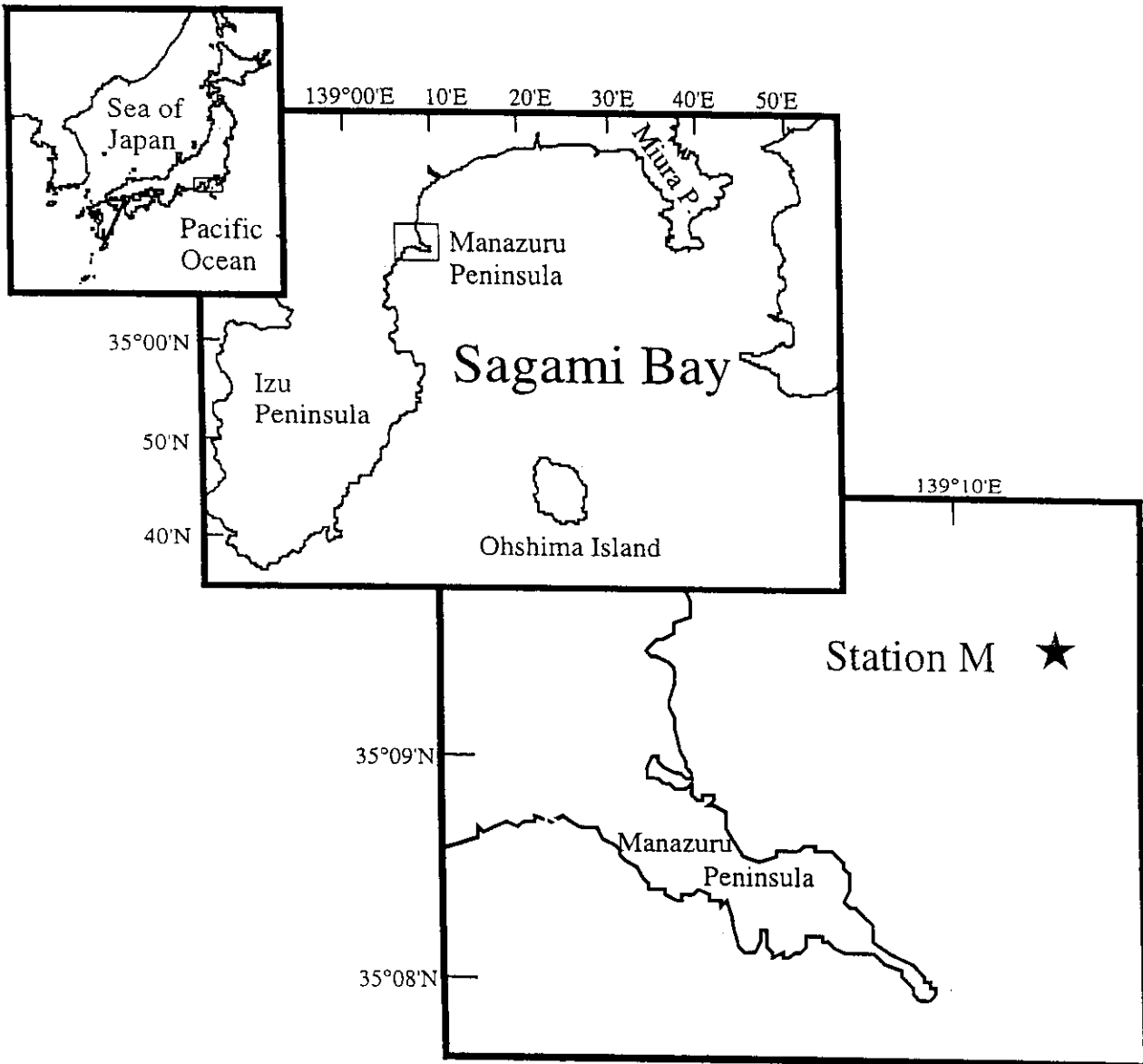


Fig. 1. Map of Sagami Bay and locations of Station M.

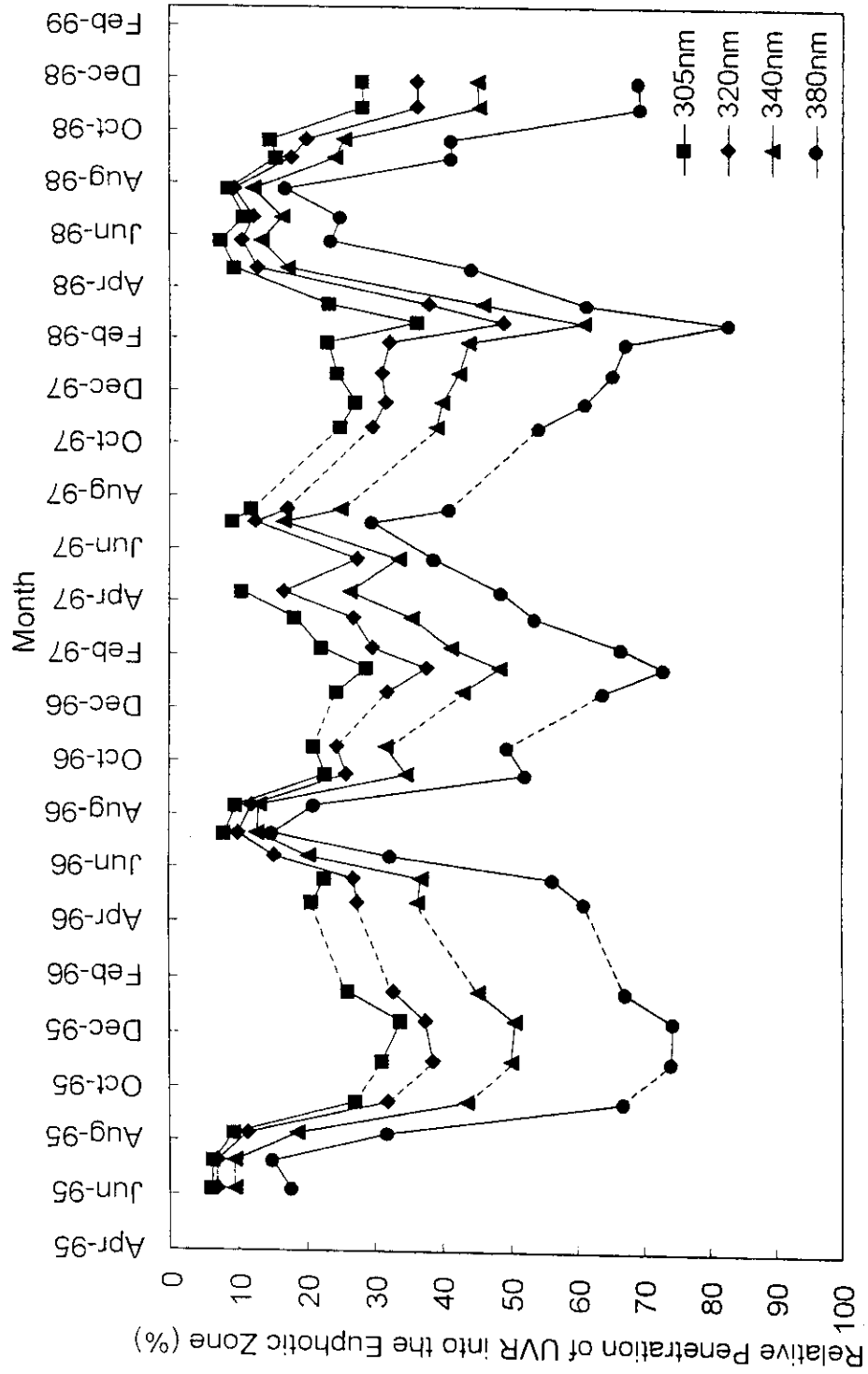


Fig.2. Seasonal variation of the percent penetration of relative UVR within the euphotic zone (1% penetration of PAR) at Station M from June 1995 to November 1998. Dashed line indicates unavailable data.

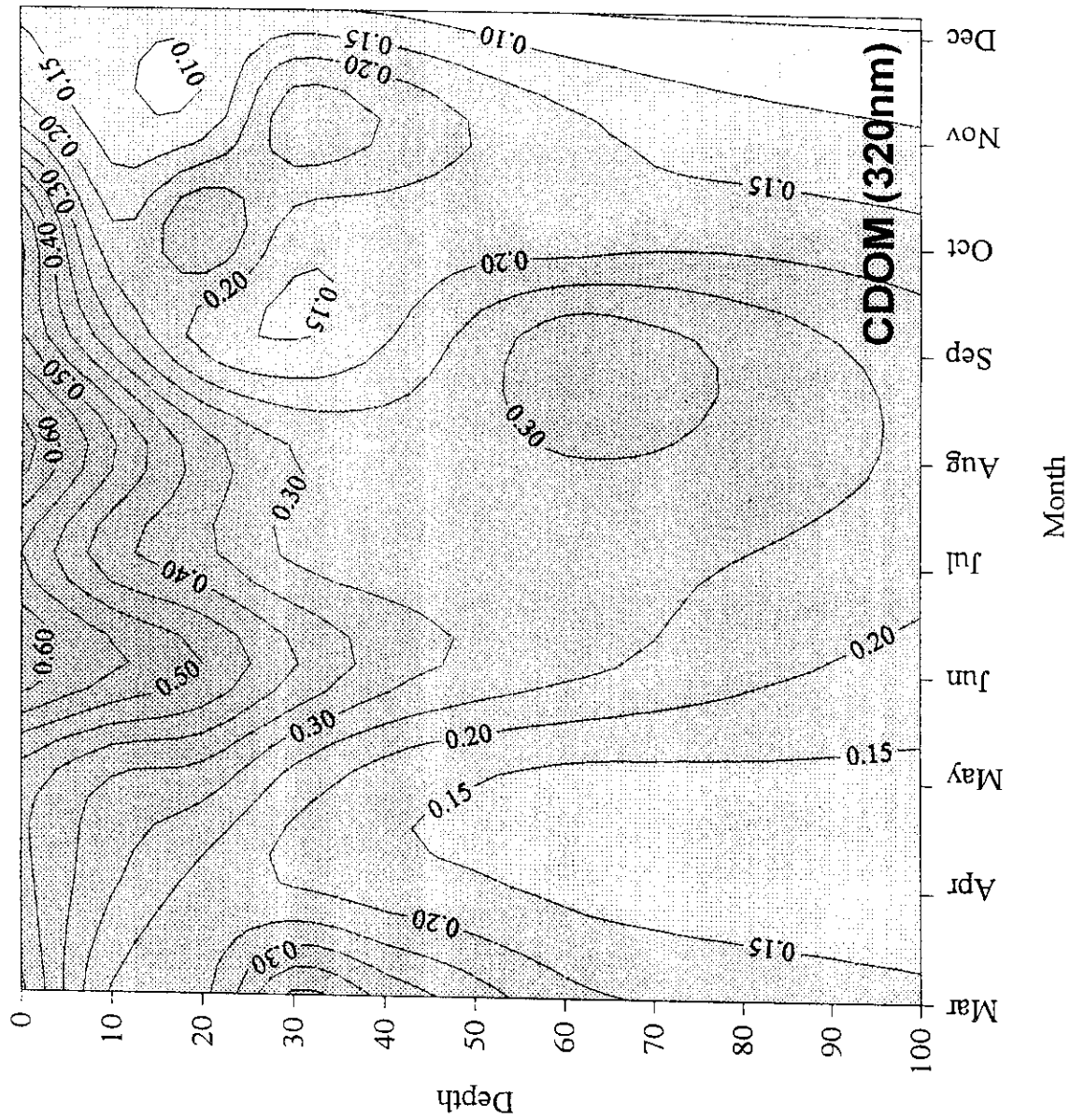


Fig. 3. Seasonal variation of  $a_{\text{CDOM}} \text{ (m}^{-1}\text{)}$  at Station M from March 1998 to December 1998. CDOM absorption was determined by the equation:  $a_{\text{CDOM}}(\lambda) = a_{\text{CDOM}}(440) \exp [S (440 - \lambda)]$

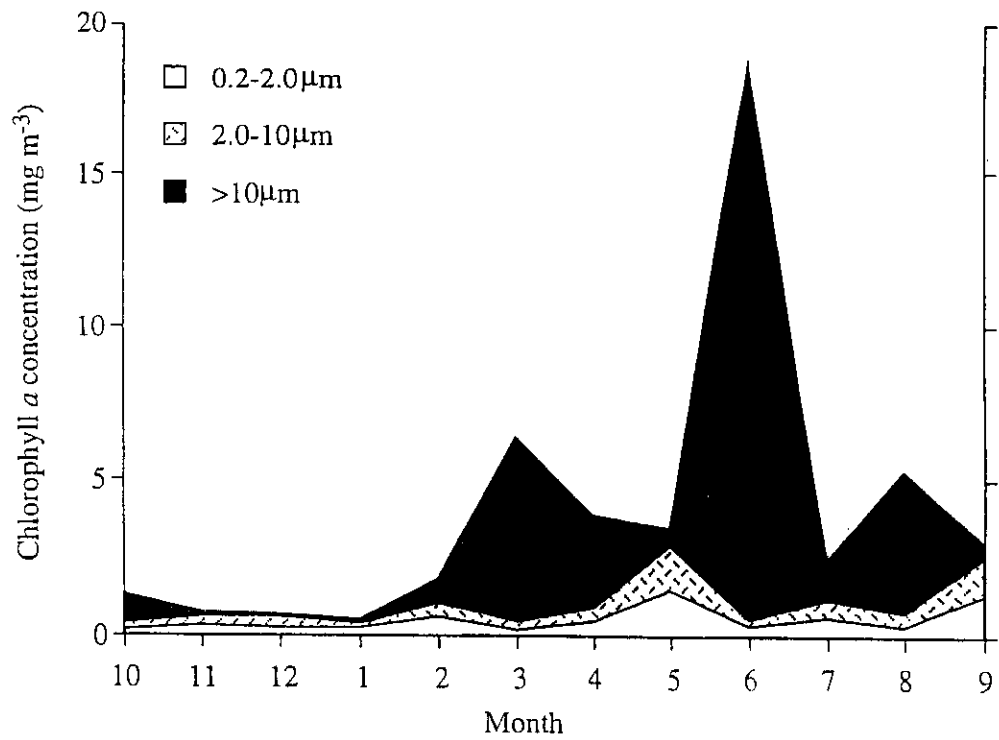
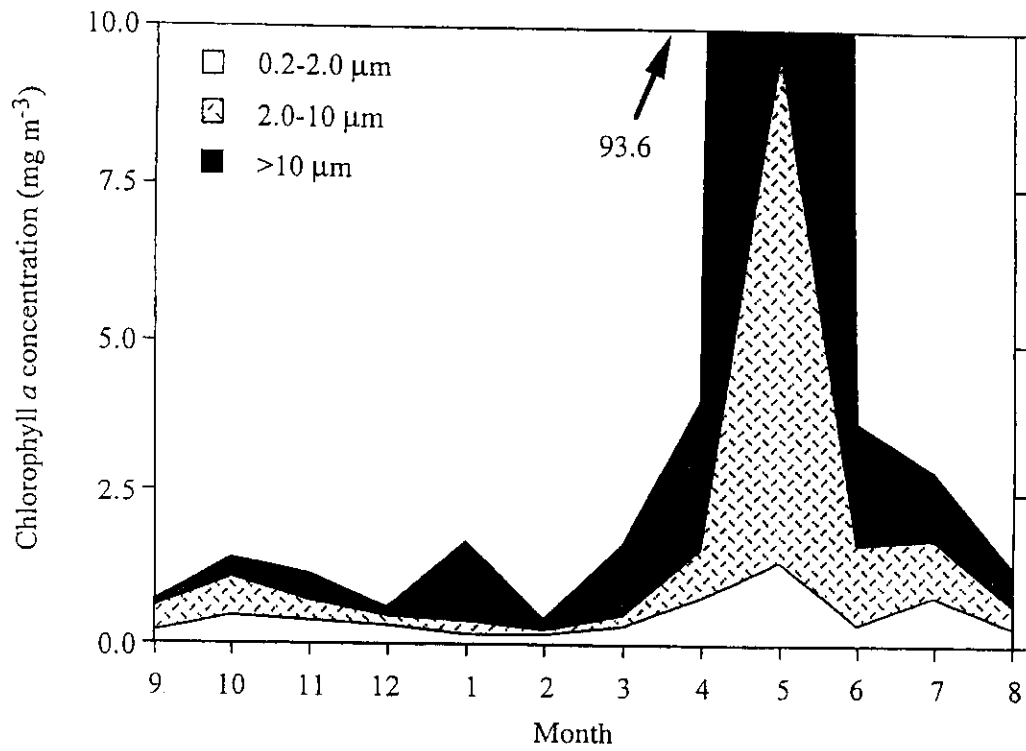


Fig.4. Seasonal variation of chlorophyll *a* concentration for three size fractions (0.2-2.0 $\mu\text{m}$ , 2.0-10 $\mu\text{m}$ , > 10 $\mu\text{m}$ ) at St. M during the period from September 1996 to August 1997 (upper panel) and from October 1997 to September 1998 (lower panel).



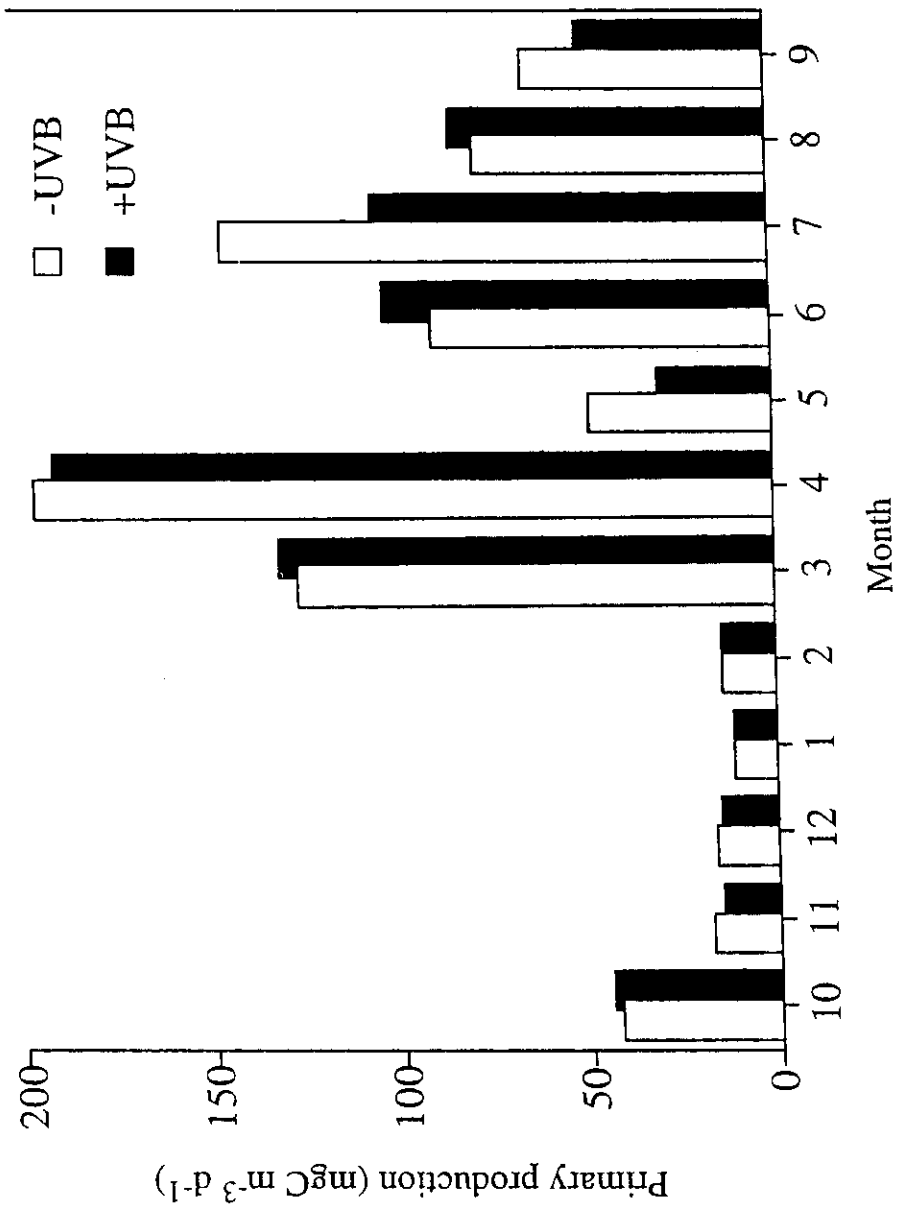


Fig. 5. Surface primary production incubation without UVB and with UVB during the period from October 1997 to September 1998.

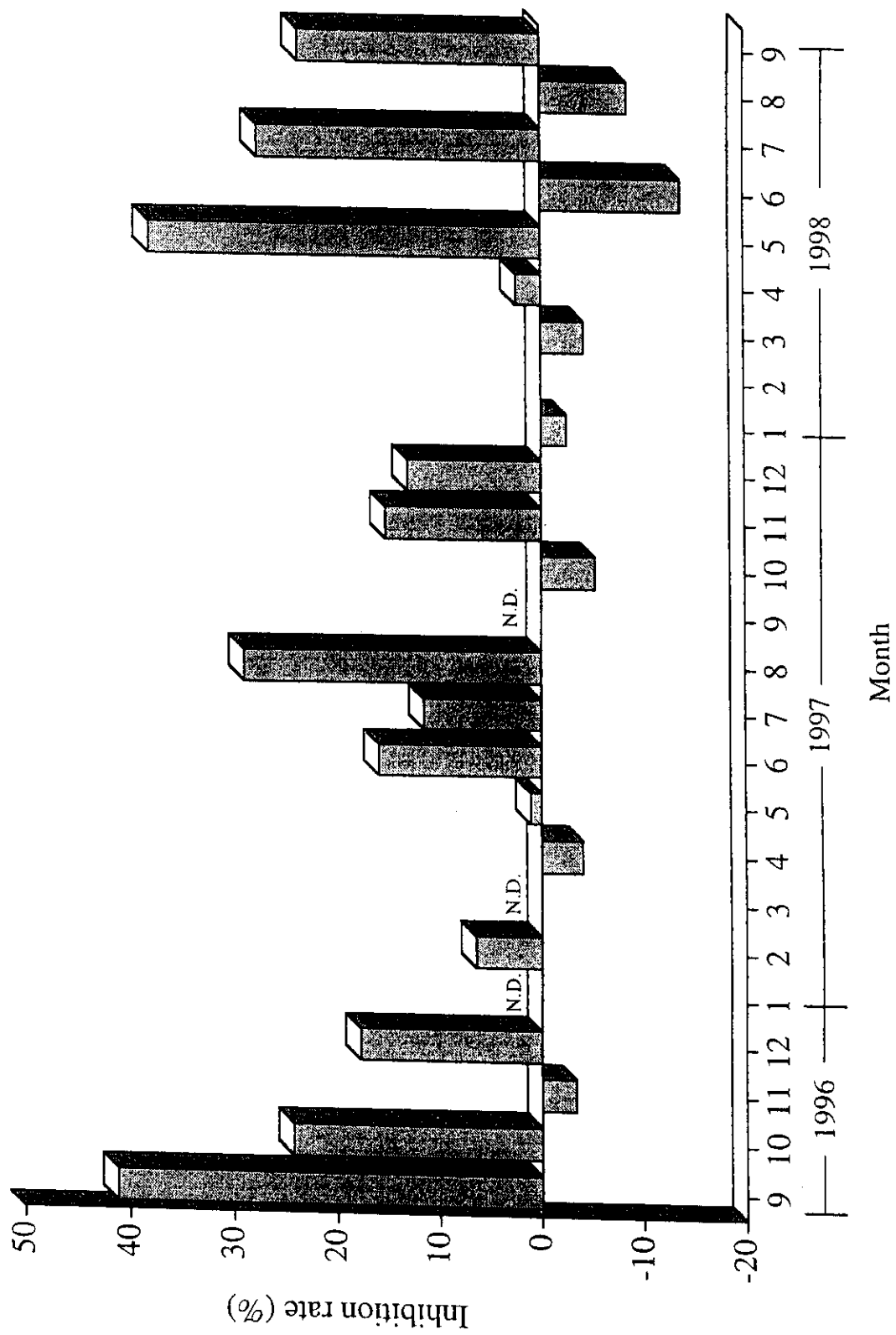


Fig. 6. Seasonal variations of inhibition rate at Station M during the period from September 1996 to September 1998.

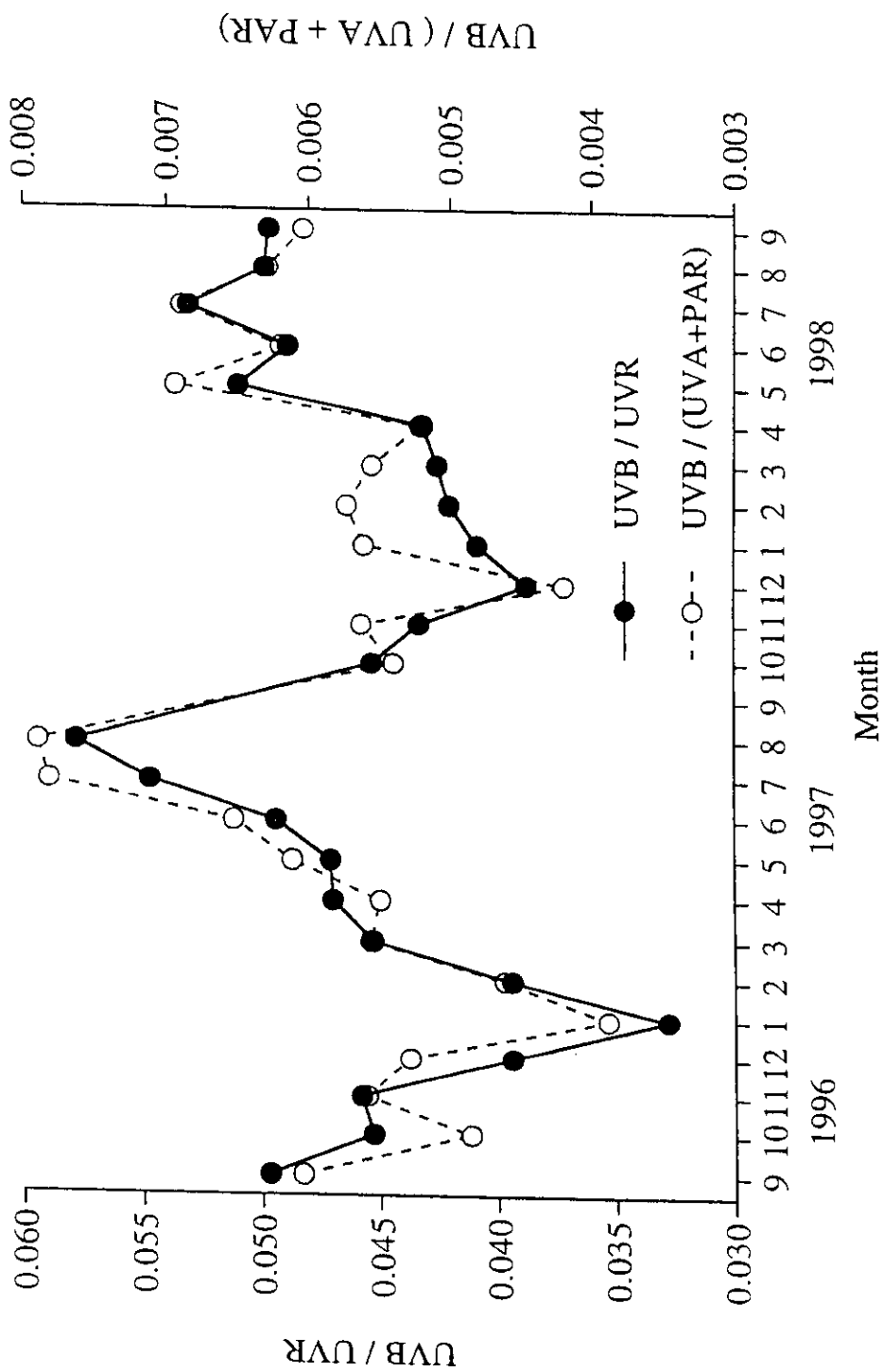


Fig. 7. The ratio of UVB to UVR and UVA plus PAR in incubation time from during the period from September 1996 to September 1998.

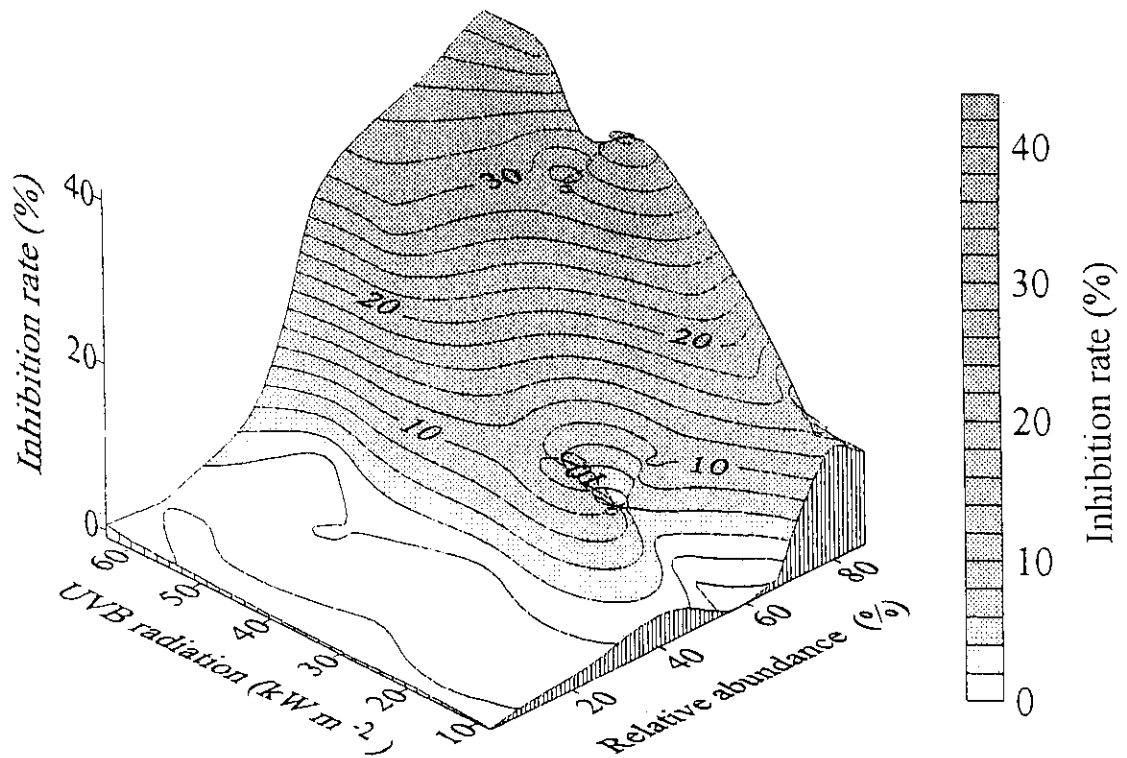


Fig.8. Relationship among  $<10\mu\text{ m}$  relative abundance, UVB radiation and inhibition rate.

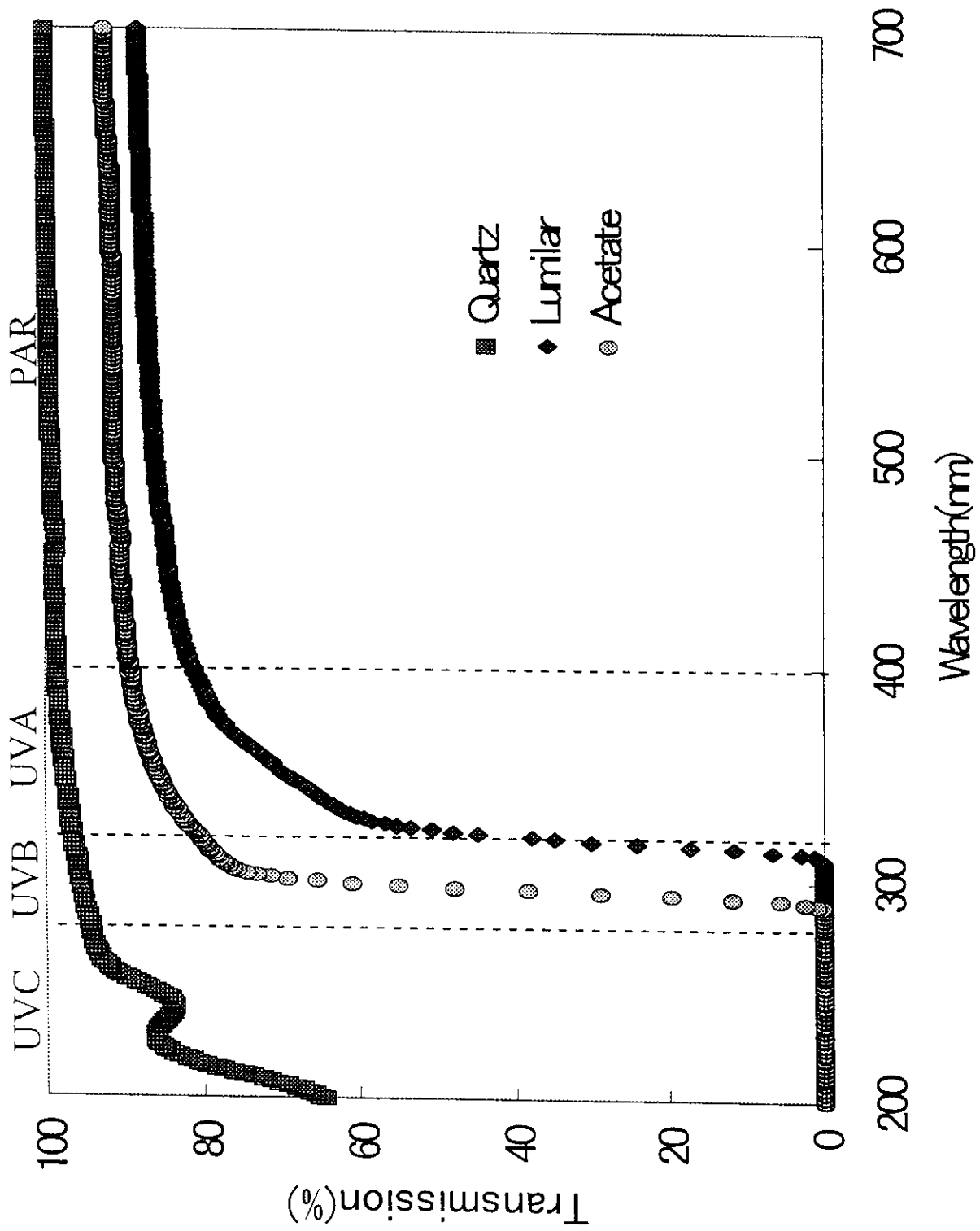


Fig.9. Transmission curves of quartz, lumilar, and acetate film.

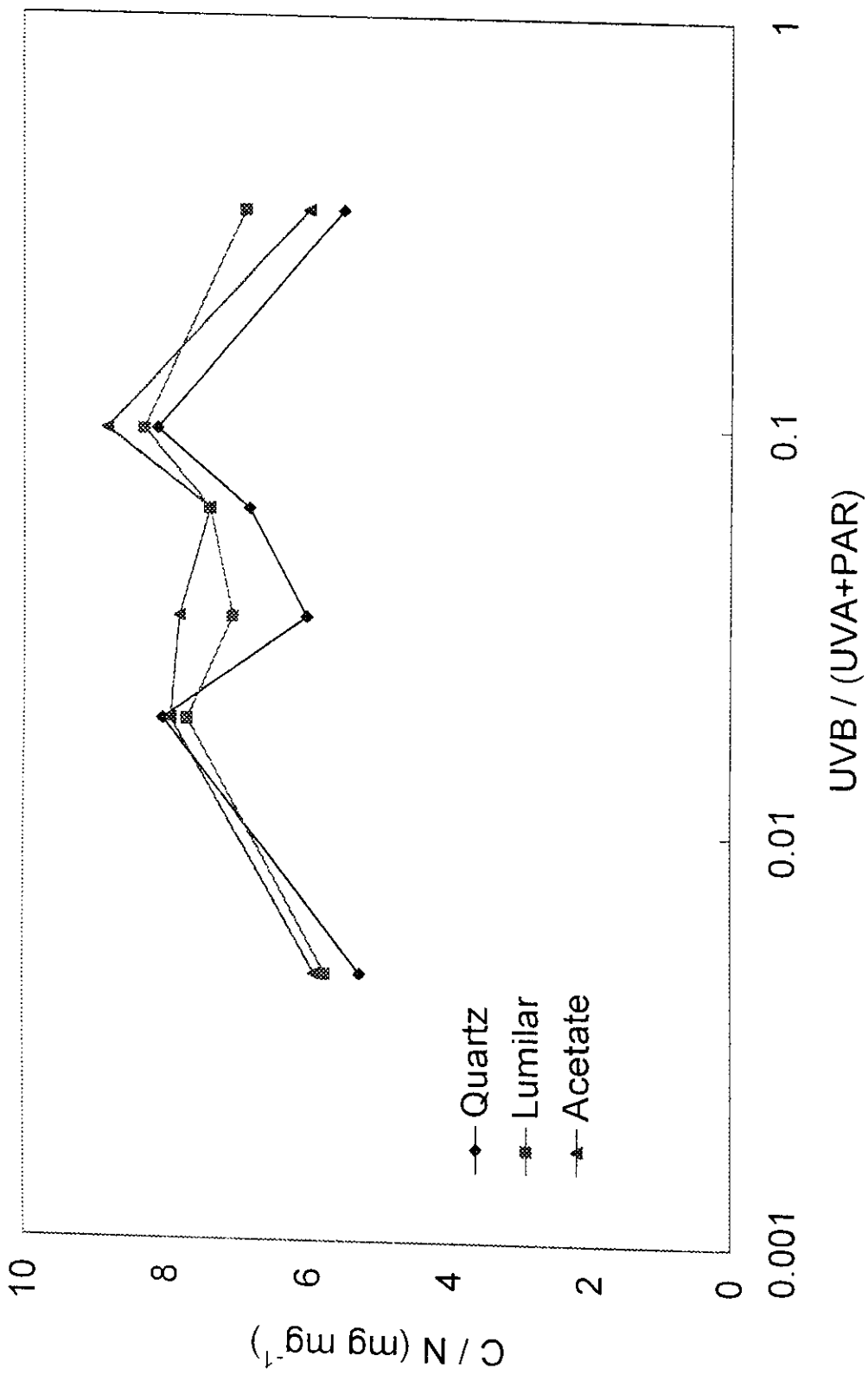


Fig.10. Carbon/nitrogen ratio under the different UVB/(UVA+PAR) ratios.

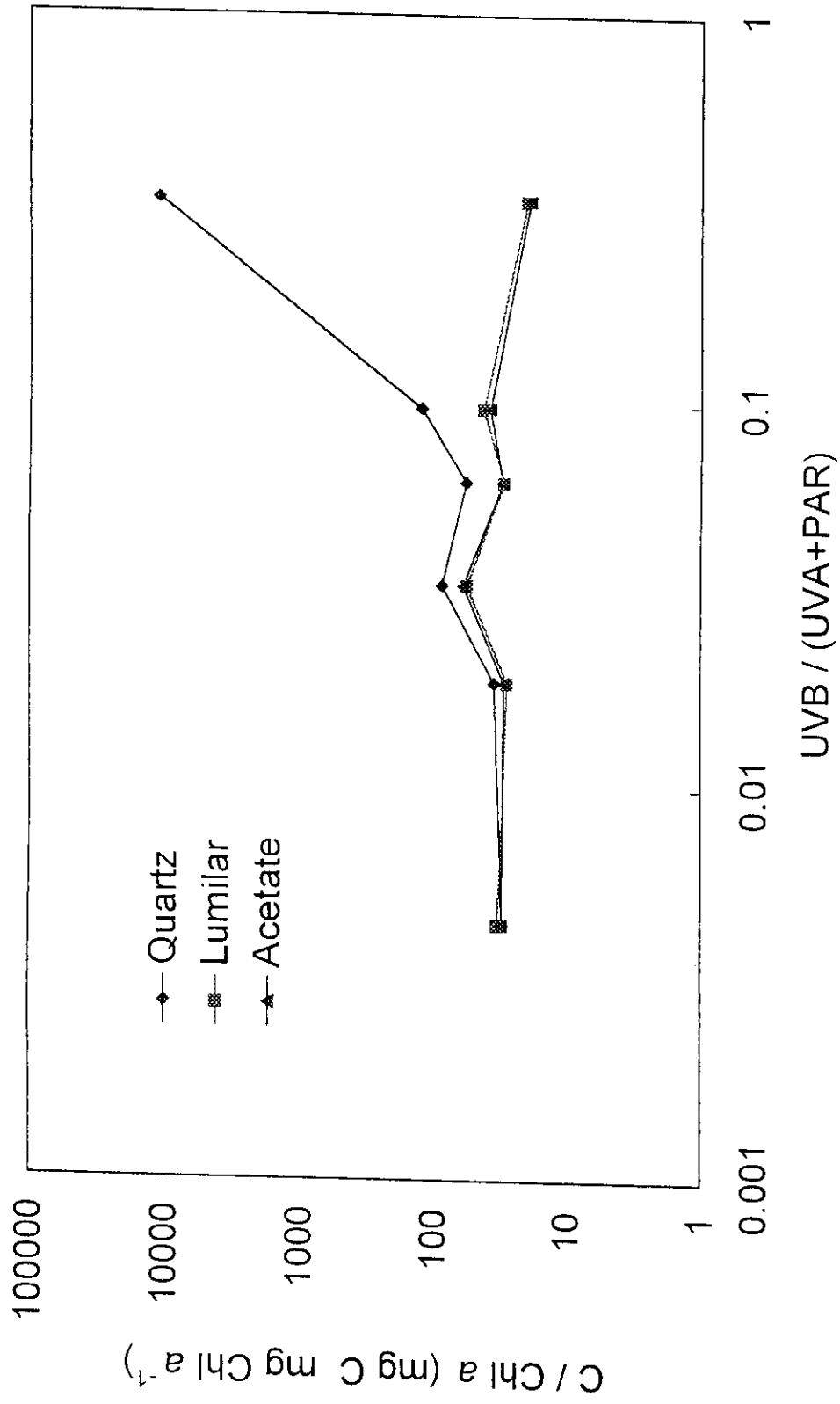


Fig.1.1. Carbon/chlorophyll *a* ratio under the different UVB/(UVA+PAR) ratios.

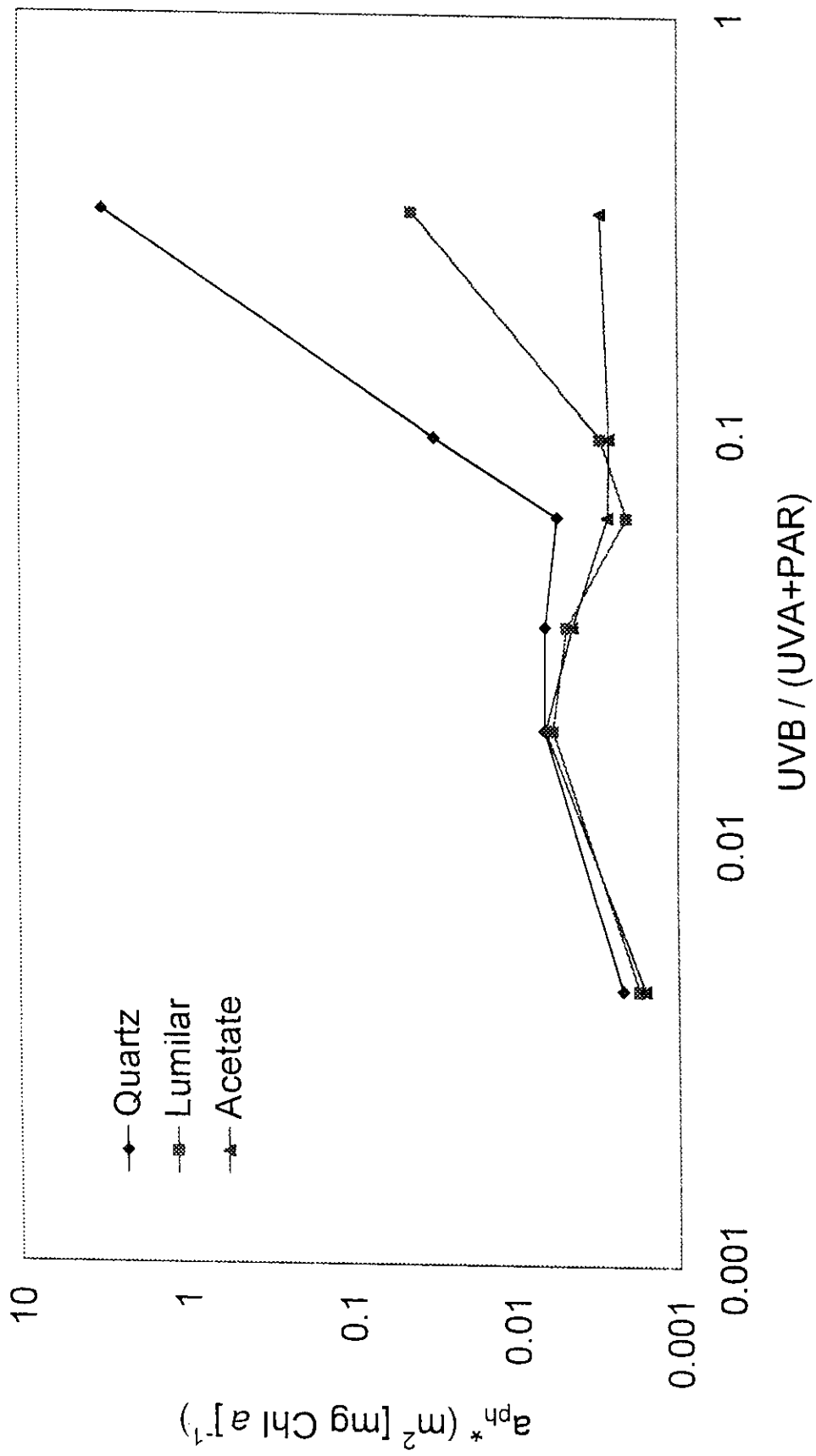


Fig.1.2.  $a_{ph}^*$  under the different UVB/(UVA+PAR) ratios.



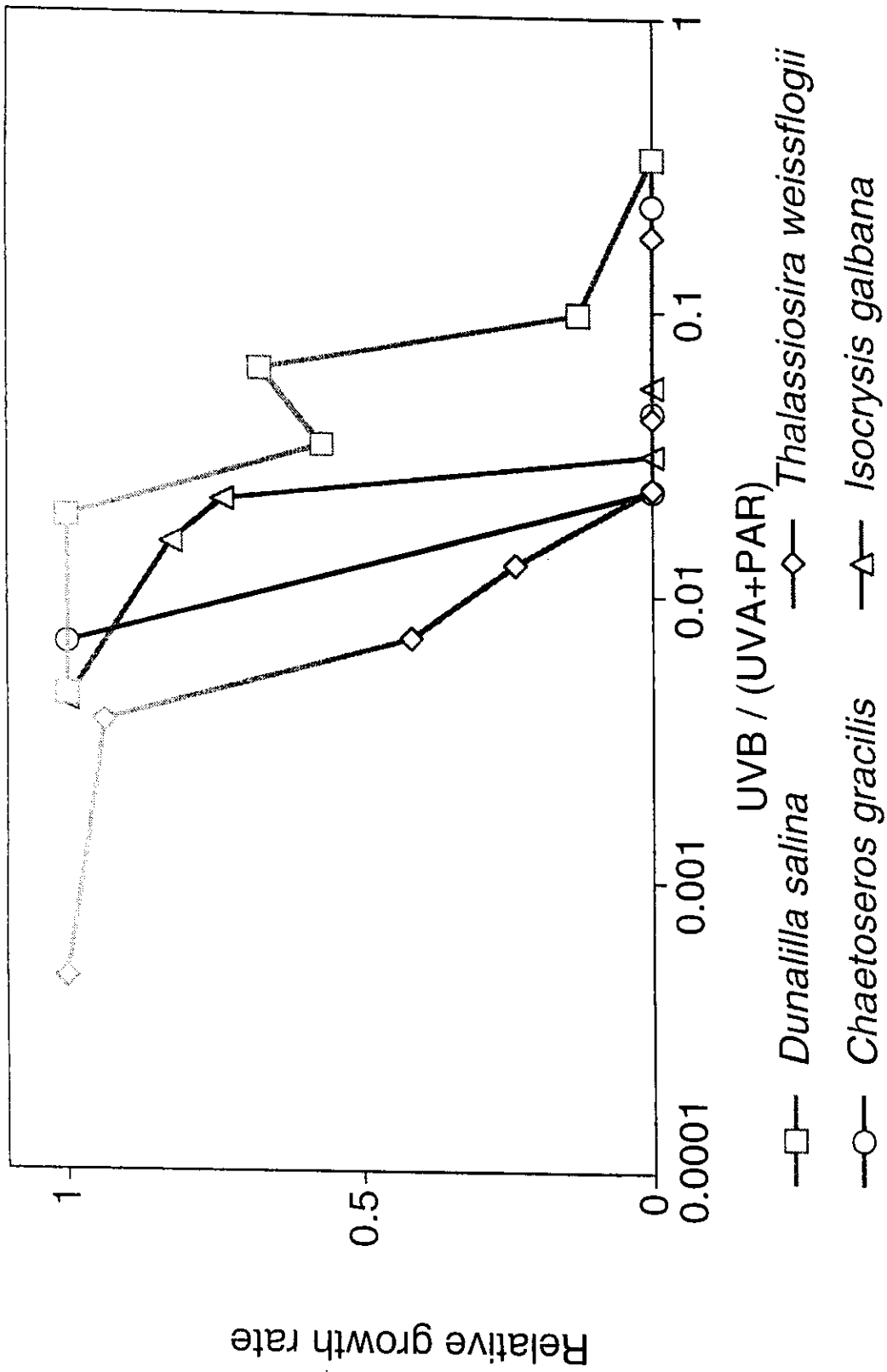


Fig.1.3. Relationship between the relative growth rate and UVB/(UVA+PAR) ratios.