

## 중국산 식물먹이생물 4종의 최적 배양환경

박정은 · 허성범

부경대학교 양식학과

### Optimum Culture Conditions of Four Species of Microalgae as Live Food from China

Jung Eun Park and Sung Bum Hur

Department of Aquaculture, Pukyong National University, Pusan 608-737, Korea

Optima for temperature, salinity and light intensity for *Nitzschia closterium*, *Chlorella salina*, *Isochrysis galbana* and *Tetraselmis subcordiformis*, which are widely used in bivalve hatcheries of Shandong Province in China, were estimated. The temperature optimum was 23°C for *N. closterium* and *I. galbana*, and 25 and 27°C for *C. salina* and *T. subcordiformis*, respectively. That for salinity was 23‰ for *N. closterium* and *T. subcordiformis*, but was 33‰ for *C. salina* and *I. galbana*. In general, all the four microalgae grew faster under 6,000 lux than under 4,000 lux. Growth of *N. closterium* was faster at <23°C and dropped abruptly >25°C, and that of *C. salina* and *T. subcordiformis* progressively increased upto 25°C but dropped beyond 27°C. *T. subcordiformis* was the most eurythermal among the 4 species. For mass culture of microalgae in Korea, *N. closterium* and *C. salina* are suitable during spring and autumn but *C. salina* and *I. galbana* during summer. *T. subcordiformis* is suitable for culture throughout the year.

Key words: *Nitzschia closterium*, *Chlorella salina*, *Isochrysis galbana*, *Tetraselmis subcordiformis*, Temperature, Salinity, Light.

## 서 론

최근 우리나라 연안은 환경오염과 어장의 노후화로 조개류 모패의 자원량이 현저히 줄어들어 자연채묘가 어려워지고 있다. 따라서 조개류의 인공종묘생산의 필요성이 고조되고 있고 이를 위한 질적으로 우수한 식물플랑크톤의 대량배양기술의 확보가 중요한 실정이다.

현재 조개류 종묘생산시 많이 이용되고 있는 식물플랑크톤은 *Isochrysis galbana*, *Pavlova lutheri*, *Thalassiosira psonana*, *Phaeodactylum tricornutum*, *Chaetoceros* spp., *Tetraselmis* spp. (D'Elia et al., 1979; Fulks and Main, 1991) 등을 들 수 있다. 식물플랑크톤의 배양에 대한 연구는 빛, 온도, 염분, 영양염 등에 따른 성장 변화가 대부분

이다. 그러나 이러한 환경 요인들은 상호 복합적으로 작용하여 성장은 물론 영양 성분 조성에도 크게 영향을 미치고 있어 각 환경요인의 단독적인 조사만으로는 식물플랑크톤의 성장에 따른 구체적인 생리현상을 구명하기 어렵다.

따라서 실험실에서의 식물플랑크톤 배양에 관한 연구는 비교적 많이 수행되었으나 여러 환경요인이 복합적으로 작용하는 옥외에서의 배양에 관한 연구는 매우 미흡한 실정이다. 특히 먹이생물의 관점에서 식물플랑크톤의 대량배양은 옥외에서 자연적인 환경조건에 의존하는 경우가 많으므로 경제적이고 보다 안정적인 대량배양을 위해서는 그 지역의 기후 특성에 적합한 종의 선택이 중요하다.

중국 산둥성(山東省)의 경우 조개류의 인공종묘생산이

본 논문은 첨단 농림수산특정연구과제의 연구비 지원에 의하여 수행되었음.

발달하여 식물먹이생물의 옥외 대량배양도 국내의 경우보다 활발하다. 또 이곳의 환경 여건이 우리나라와 유사하기 때문에 유럽이나 북미에서 조개류 인공종묘생산시 활용하는 식물먹이생물보다는 산동성에서 사용하는 먹이생물이 우리나라에서 대량배양하기에 더 적합할 수 있을 것으로 판단된다. 따라서 본 연구에서는 최근 산동성에서 피조개, 가리비 등의 인공 종묘생산에 많이 이용되고 있는 대표적인 식물먹이생물 4종을 대상으로 실내에서 최적 성장 환경요인을 구명하고 이들 종류를 국내에서 옥외 대량배양하고자 할 때 계절 변화에 따른 적합한 종의 선택을 파악하고자 실시하였다.

## 재료 및 방법

본 실험에 사용된 4종의 식물먹이생물(*Nitzschia closterium*, *Chlorella salina*, *Tetraselmis subcordiformis*, *Isochrysis galbana*)은 산동성의 패류양식장에서 입수하여 본 실험실에서 한천배지와 원심분리 방법을 이용하여 순수 상태로 배양하였다. 순수배양된 4종의 먹이생물은 부경대학교 한국해양미세조류은행에서 f/2배지(Guillard and Ryther, 1962),  $19 \pm 1^\circ\text{C}$ , 4,000~6,000 lux (LD cycle 24:0)로 정제 배양하며 실험에 이용하였다.

각 종의 최적 성장 환경요인을 조사하기 위해서 각기 다른 온도, 조도 및 염분에 따른 성장을 측정하였다. 온도 실험구는 17, 19, 21, 23, 25, 27,  $29^\circ\text{C}$ 로, 조도는 4,000과 6,000 lux의 연속 조명하에서 실험하였으며, 염분은 23, 28, 33‰로 구분하였다. 실험용기는 250 ml 삼각 flask에 100 ml의 멸균 f/2 배지를 넣고 초기 접종밀도는  $1 \times 10^5$  cells/ml로 8일간 저온부란기에서 2 반복으로 배양하였고 매일 동일한 시간에 haemocytometer로 3회 반복 계수하여 매일 매일의 평균 세포수를 구하였다. 일간성장율, specific growth rate (SGR)는 Guillard (1973)의 공식 ( $\text{SGR}/\text{day} = 3.322 \times \log(N_1/N_0)/(t_1-t_0)$ ,  $N_1$ :  $t_1$ 시의 세포수,  $N_0$ :  $t_0$ 시의 세포수)을 이용하였다.

## 결 과

### *Nitzschia closterium*

온도, 조도 및 염분이 다른 배양 조건에서 *N. closterium*을 8일간 배양한 성장 결과는 Table 1과 같다.  $23^\circ\text{C}$ 까지는 온도가 증가할수록 성장이 빨라  $23^\circ\text{C}$ , 6,000 lux, 33‰에서

$1,914 \times 10^4$  cells/ml로 최고에 달하였고  $23^\circ\text{C}$  이상에서는 성장이 급감소하였다.

일간성장율(SGR)도  $23^\circ\text{C}$ 까지는 계속 증가하여  $23^\circ\text{C}$ , 4,000 lux, 33‰에서 0.98로 최고에 달한 후 그 이후부터는 급격히 감소하여  $29^\circ\text{C}$ , 4,000 lux의 23, 28‰에서는 -0.32으로 성장이 가장 낮았다.  $23^\circ\text{C}$  이상에서의 급격한 성장율의 감소는 조도가 높은 6,000 lux에서 더욱 뚜렷하였고 온도가 가장 높은  $29^\circ\text{C}$ 에서는 조도가 낮은 4,000 lux에서 더 크게 감소하였다. 조도에 따른 일간성장율은 6,000 lux에서는 염분이 높을수록 높았고, 특히  $25^\circ\text{C}$ 에서는 4,000 lux보다 6,000 lux에서의 SGR이 더 급격히 감소하였다 (Fig. 1).

염분에 따른 일간성장율은 23‰에서는 조도가 낮은 4,000 lux에서의 SGR이 6,000 lux보다 높은 경향이였다. 33‰에서는  $21^\circ\text{C}$ 까지는 조도가 높은 6,000 lux에서의 SGR이 높았고,  $23^\circ\text{C}$  이상에서는 큰 차이가 없다가  $29^\circ\text{C}$ 에서는 4,000 lux에서의 성장율이 마이너스로 크게 감소하였다(Fig. 5-A).

### *Chlorella salina*

*C. salina*를 8일간 배양한 성장 결과는 Table 2와 같다. 세포의 성장은  $15^\circ\text{C}$ 부터 계속 증가하여  $25^\circ\text{C}$ , 6,000 lux, 23‰에서 배양 7일만에  $3,375 \times 10^4$  cells/ml로 최고에 달했다. 6,000 lux에서는  $25^\circ\text{C}$  이후 성장이 감소하였으나 4,000 lux에서는  $27^\circ\text{C}$ 에서 더욱 증가하여, 23‰에서  $2,178 \times 10^4$  cells/ml로 최고에 달한 후  $29^\circ\text{C}$ 에서는 다시 감소하였다.  $29^\circ\text{C}$ , 4,000 lux에서는 최고  $1,305 \times 10^4$  cells/ml로 6,000 lux의  $337 \times 10^4$  cells/ml보다 훨씬 높은 성장을 보였다.

일간성장율을 보면 높은 염분보다는 23‰의 낮은 염분에서 SGR이 더 높은 경향을 보였다. 또 6,000 lux에서 염분이 높은 33‰에서의 SGR은  $21^\circ\text{C}$ 에서 최고(1.12)를 보였으나 4,000 lux에서는  $27^\circ\text{C}$ 에서 최고(1.01)을 보였다(Fig. 2). 조도에 따른 일간성장율을 보면 염분 23, 33‰에서 모두 조도가 높은 6,000 lux가 4,000 lux보다 높은 경향이였다. 그러나 23‰,  $29^\circ\text{C}$ 에서는 4,000 lux에서의 SGR이 더 높았다(Fig. 5-B).

### *Tetraselmis subcordiformis*

*T. subcordiformis*를 8일간 배양한 결과는 Table 3과 같다. 세포 밀도는  $27^\circ\text{C}$ 까지 계속 증가하여  $27^\circ\text{C}$ , 6,000lux, 33‰에서 배양 8일만에  $243 \times 10^4$  cells/ml 로 최고의 성장

Table 1. Growth of *Nitzschia closterium* at different temperatures, salinities and light intensities (unit :  $\times 10^4$  cells/ml)

Temperature (°C)	Light intensity (lux)	Salinity (‰)	Culture day								
			0	1	2	3	4	5	6	7	8
17	4,000	23	10	14	28	79	226	408	694	788	847
		28	10	12	26	72	198	364	611	697	736
		33	10	13	25	74	187	319	504	554	536
	6,000	23	10	14	21	60	208	376	503	674	702
		28	10	14	27	83	236	409	597	706	745
		33	10	13	28	91	279	481	706	850	923
19	4,000	23	10	16	30	81	266	609	783	1060	1237
		28	10	13	29	92	280	491	716	823	957
		33	10	14	30	84	226	399	587	692	745
	6,000	23	10	13	23	71	239	482	703	976	1092
		28	10	14	25	80	273	594	864	1168	1391
		33	10	13	30	110	370	646	1077	1346	1534
21	4,000	23	10	15	33	125	351	753	941	1113	1524
		28	10	25	38	101	309	643	840	967	1097
		33	10	17	35	89	242	466	619	782	857
	6,000	23	10	15	57	198	507	773	1056	1201	1276
		28	10	17	80	467	952	1235	1297	1356	1425
		33	10	18	92	257	727	831	1106	1502	1617
23	4,000	23	10	16	65	509	446	832	1155	1467	1634
		28	10	18	45	150	398	712	1027	1286	1321
		33	10	18	40	122	297	535	896	1160	1102
	6,000	23	10	13	23	113	373	523	782	1075	1218
		28	10	14	38	151	464	753	889	1240	1473
		33	10	16	40	256	602	927	1215	1775	1914
25	4,000	23	10	12	21	35	31	29	22	18	13
		28	10	11	18	30	27	24	20	19	15
		33	10	13	19	24	22	19	18	15	9
	6,000	23	10	10	11	9	9	7	7	6	6
		28	10	9	9	10	11	12	19	18	17
		33	10	12	17	15	15	14	14	13	11
27	4,000	23	10	11	13	14	14	13	12	9	7
		28	10	11	12	12	11	11	10	8	7
		33	10	12	11	8	8	6	5	5	4
	6,000	23	10	13	11	8	7	5	5	5	4
		28	10	9	10	9	8	6	5	5	5
		33	10	11	14	13	13	11	9	9	8
29	4,000	23	10	8	7	6	6	4	4	3	1
		28	10	8	8	7	7	6	4	4	2
		33	10	9	8	6	6	5	5	4	2
	6,000	23	10	10	11	9	8	7	5	4	4
		28	10	10	11	9	8	7	6	6	5
		33	10	9	11	13	15	16	16	14	10

**Table 2. Growth of *Chlorella salina* at different temperatures, salinities and light intensities (unit :  $\times 10^4$  cells/ml)**

Temperature (°C)	Light intensity (lux)	Salinity (‰)	Culture day								
			0	1	2	3	4	5	6	7	8
17	4,000	23	10	11	17	29	58	127	228	342	404
		28	10	11	15	24	47	96	197	302	343
		33	10	11	14	23	41	79	136	212	237
	6,000	23	10	12	19	33	68	121	238	420	515
		28	10	11	17	29	57	103	212	376	451
		33	10	11	17	26	56	98	174	305	386
19	4,000	23	10	11	22	40	85	189	440	851	1159
		28	10	11	17	25	71	143	324	640	805
		33	10	10	22	35	68	124	325	512	764
	6,000	23	10	11	23	44	95	209	540	951	1300
		28	10	10	18	27	93	183	452	820	1205
		33	10	11	24	37	71	142	425	809	1160
21	4,000	23	10	14	22	36	77	152	335	835	1280
		28	10	14	18	35	84	150	348	675	1008
		33	10	13	19	30	70	139	396	742	823
	6,000	23	10	43	150	420	761	1348	2572	2800	2643
		28	10	39	101	197	588	1268	2082	2437	2655
		33	10	57	116	290	650	1225	1769	2332	2257
23	4,000	23	10	13	20	37	98	201	457	973	1481
		28	10	13	24	42	89	226	484	915	1485
		33	10	12	23	40	81	192	316	780	1001
	6,000	23	10	11	38	144	327	849	1837	2869	2801
		28	10	11	31	109	286	634	1497	2123	2102
		33	10	12	20	44	100	322	1082	1868	1839
25	4,000	23	10	16	27	39	142	297	640	1248	1995
		28	10	16	18	32	122	205	582	1062	1735
		33	10	14	18	25	84	159	413	805	1545
	6,000	23	10	9	44	199	825	1059	1631	3375	3213
		28	10	9	34	129	260	771	1547	2426	2394
		33	10	9	26	39	80	344	710	1495	1435
27	4,000	23	10	20	80	209	654	1236	1507	1826	2178
		28	10	19	51	160	526	1045	1342	1783	2092
		33	10	16	47	146	378	711	1184	1339	1221
	6,000	23	10	19	56	134	380	914	1210	1306	1295
		28	10	18	58	135	377	856	1042	1209	1130
		33	10	19	54	131	339	817	979	1052	1001
29	4,000	23	10	14	31	72	151	316	927	1305	1278
		28	10	14	25	52	108	201	452	643	744
		33	10	12	26	55	99	182	426	610	700
	6,000	23	10	15	32	55	88	132	293	337	304
		28	10	14	27	49	85	173	229	214	193
		33	10	14	29	53	78	108	147	188	173

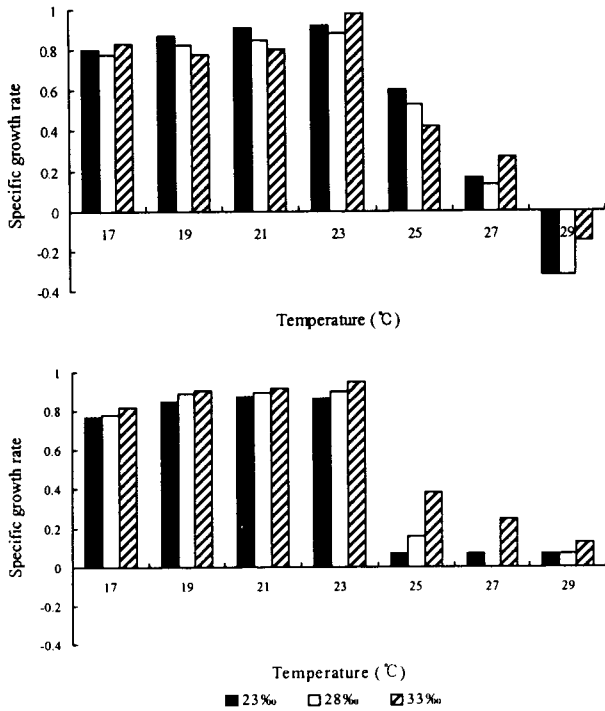


Fig. 1. Specific growth rate of *Nitzschia closterium* at different temperatures, salinities and light intensities (top: 4,000 lux; bottom: 6,000 lux).

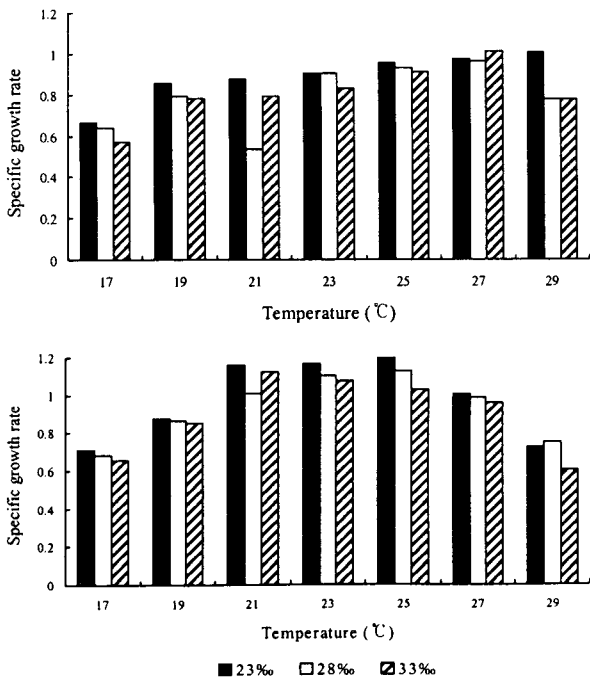


Fig. 2. Specific growth rate of *Chlorella salina* at different temperatures, salinities and light intensities (top: 4,000 lux; bottom: 6,000 lux).

을 보였고, 29°C에서는 감소하여 배양 8일 만에  $96 \sim 144 \times 10^4$  cells/ml의 수준이었다. 그러나 온도, 염분, 조도에 따른 급격한 성장의 변화는 없었다.

일간성장율도 최고 0.63(23°C, 6,000 lux, 33‰)에서 최저 0.40(15°C, 4,000 lux, 33‰)로 큰 차이가 없었다(Fig. 3). 또 조도에 따른 일간성장율도 6,000 lux가 4,000 lux 보다 다소 높은 경향이였으나 큰 차이는 없었다(Fig. 5-C).

### *Isochrysis galbana*

*I. galbana*를 8일간 배양한 결과는 Table 4와 같다. 세포의 성장은 15°C부터 계속 증가하여 배양 8일만에 23°C, 6,000 lux, 23‰에서  $2,670 \times 10^4$  cells/ml로 최고에 달했다. 6,000 lux에서는 23°C 이후 감소하였으나 4,000 lux에서는 25°C에서 더욱 성장하여 23‰에서  $1,443 \times 10^4$  cells/ml로 최고를 보인 후 감소하였다. 29°C에서는  $41 \sim 162 \times 10^4$  cells/ml로 크게 감소하였다.

일간성장율을 보면 25°C까지 계속 증가하여 6,000 lux, 25°C, 23‰에서 1.11로 최고에 달했고 염분이 높을수록 SGR이 낮은 경향이였다. 그러나 29°C, 6,000 lux에서는 염

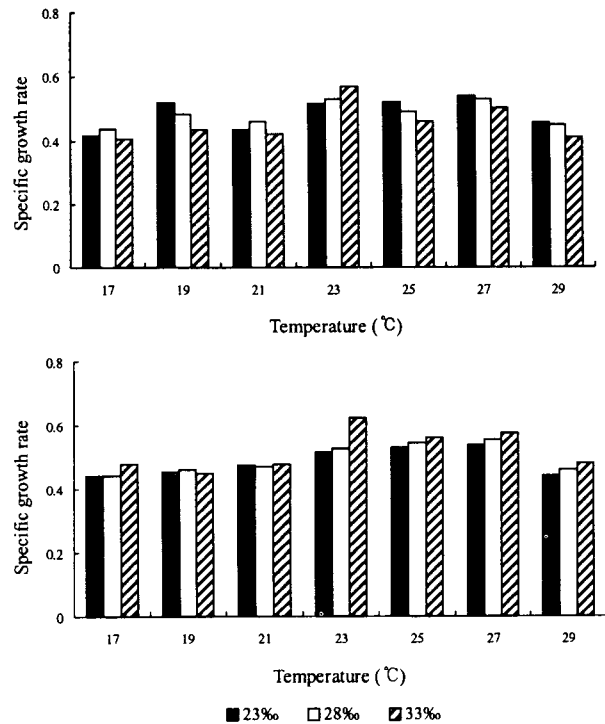


Fig. 3. Specific growth rate of *Tetraselmis subcordiformis* at different temperatures, salinities and light intensities (top: 4,000 lux; bottom: 6,000 lux).

Table 3. Growth of *Tetrasemis subcordiformis* under different temperatures, salinities and light intensities (unit :  $\times 10^4$  cells/ml)

Temp. ( $^{\circ}$ C)	Light intensity (lux)	Salinity (‰)	Culture days								
			0	1	2	3	4	5	6	7	8
17	4,000	23	10	11	12	15	31	54	69	75	72
		28	10	11	13	16	34	59	76	84	83
		33	10	11	13	18	35	63	78	88	94
	6,000	23	10	11	13	19	37	59	81	85	83
		28	10	12	13	20	33	56	79	86	82
		33	10	12	14	22	39	63	84	102	100
19	4,000	23	10	11	12	20	41	79	86	85	81
		28	10	11	13	18	32	55	81	104	101
		33	10	12	14	22	39	76	88	101	111
	6,000	23	10	12	14	24	41	79	91	108	124
		28	10	11	14	19	34	57	84	112	128
		33	10	11	13	23	44	81	90	107	121
21	4,000	23	10	12	17	24	26	58	73	82	80
		28	10	11	16	24	32	55	78	92	89
		33	10	12	15	20	27	44	76	99	102
	6,000	23	10	16	21	39	41	63	79	100	97
		28	10	18	27	43	81	93	104	129	136
		33	10	17	26	49	102	113	123	135	140
23	4,000	23	10	11	16	25	46	50	117	158	175
		28	10	11	17	31	52	88	109	131	112
		33	10	11	14	33	55	86	106	105	103
	6,000	23	10	14	36	51	75	98	120	149	173
		28	10	14	44	66	88	102	135	166	186
		33	10	16	48	74	109	135	154	208	198
25	4,000	23	10	17	22	42	63	87	116	139	178
		28	10	12	18	39	47	64	104	122	153
		33	10	15	24	40	51	63	90	115	126
	6,000	23	10	17	26	55	84	104	121	159	188
		28	10	18	28	58	51	116	143	180	204
		33	10	17	30	64	102	131	170	192	226
27	4,000	23	10	17	40	70	98	128	151	184	199
		28	10	17	35	62	83	109	133	176	189
		33	10	16	34	57	77	91	112	143	160
	6,000	23	10	17	27	65	91	104	121	164	197
		28	10	18	32	58	101	126	148	182	216
		33	10	20	42	76	110	158	192	215	243
29	4,000	23	10	12	18	30	45	59	79	103	124
		28	10	13	20	37	51	67	88	106	120
		33	10	15	23	42	56	71	83	92	96
	6,000	23	10	10	17	29	66	79	85	98	115
		28	10	13	21	38	66	105	115	119	129
		33	10	14	23	41	75	138	140	141	144

중국산 식물먹이생물 4종의 최적 배양환경

Table 4. Growth of *Isochrysis galbana* under different temperatures, salinities and light intensities (unit :  $\times 10^4$  cells/ml)

Temp. (°C)	Light intensity (lux)	Salinity (‰)	Culture days								
			0	1	2	3	4	5	6	7	8
17	4,000	23	10	13	16	24	37	65	124	164	181
		28	10	12	15	21	33	56	99	149	167
		33	10	12	14	21	32	50	76	94	108
	6,000	23	10	11	14	21	33	52	75	119	137
		28	10	12	15	23	35	59	90	122	153
		33	10	11	13	20	28	43	60	79	93
19	4,000	23	10	12	18	33	73	116	174	352	397
		28	10	11	15	28	66	116	168	342	356
		33	10	11	16	31	56	105	152	283	353
	6,000	23	10	12	19	28	41	60	92	159	284
		28	10	13	18	25	40	68	104	181	366
		33	10	11	14	23	34	52	69	87	99
21	4,000	23	10	13	21	42	89	148	281	398	507
		28	10	11	19	37	70	119	226	314	402
		33	10	12	17	29	44	79	144	289	371
	6,000	23	10	42	57	120	250	629	760	883	940
		28	10	64	83	127	286	577	751	1152	1155
		33	10	54	72	198	436	605	965	719	780
23	4,000	23	10	14	22	37	79	136	320	562	764
		28	10	11	20	35	63	114	295	492	699
		33	10	11	19	36	65	119	188	363	510
	6,000	23	10	26	79	221	534	1099	1742	2535	2670
		28	10	29	129	287	564	909	1588	2427	2498
		33	10	39	89	171	323	644	996	1498	1804
25	4,000	23	10	20	40	88	193	494	611	1210	1443
		28	10	17	32	67	126	241	518	987	1247
		33	10	21	31	62	111	207	401	727	981
	6,000	23	10	9	31	75	154	394	1059	2181	2097
		28	10	11	34	83	100	376	723	1411	1679
		33	10	9	29	52	80	282	550	1206	1807
27	4,000	23	10	18	30	48	85	196	393	707	979
		28	10	16	27	50	91	212	371	641	935
		33	10	15	22	42	85	177	305	509	752
	6,000	23	10	13	19	42	96	201	334	589	701
		28	10	12	16	39	89	172	266	424	616
		33	10	12	17	40	77	144	218	375	523
29	4,000	23	10	11	14	21	33	51	93	135	162
		28	10	11	13	20	27	36	64	101	113
		33	10	12	14	18	24	33	55	68	65
	6,000	23	10	12	15	19	23	31	37	44	41
		28	10	11	13	14	20	42	48	55	50
		33	10	11	14	18	29	61	108	153	161

분이 높을수록 SGR이 높았다(Fig. 4).

조도에 따른 일간성장율을 보면 수온이 낮은 17, 19°C에서는 조도가 낮은 4,000 lux에서의 성장율이 더 높았으나 21°C부터는 조도가 높은 6,000 lux에서 더 높았다. 온도가 높은 27°C부터는 다시 4,000 lux에서의 성장율이 더 높은 경향이었고 29°C, 33‰에서는 6,000 lux에서의 성장율이 더 높았다(Fig. 5-D).

### 일간성장율 비교

4종류 식물먹이생물의 최적 염분과 6,000 lux의 조도하에서 온도에 따른 일간성장율의 변화는 Fig. 6과 같다. 염분이 낮은 23‰이 최적 염분이었던 *C. salina*와 *I. galbana*는 25°C에서 성장율이 가장 높았던 반면, 염분이 높은 33‰이 최적이었었던 *N. closterium*과 *T. subcordiformis*는 23°C에서 성장율이 가장 높았다. 또 *T. subcordiformis*는 온도에 따른 성장율의 변화 폭이 가장 적었던 반면, *N. closterium*은 가장 높았다. *N. closterium*은 23°C에서, *C. salina*와 *I. galbana*는 25°C 이상에서 성장율이 급격히 감소하였다. 한편 19°C 이하에서는 *N. closterium*의 성장율이,

21°C 이상에서는 *C. salina*의 성장율이 가장 높았다.

## 고찰

조개류의 인공종묘생산을 위하여 질적으로 우수한 식물먹이생물의 대량 확보가 필수적이다. 그러나 식물먹이생물의 대량 배양은 비용이 많이 들 뿐 아니라 갑자기 폐사하는 경우가 많아 어려움이 있다. 따라서 식물먹이생물을 대체하기 위하여 효모(Epifanio, 1979; Coutteau et al., 1990, 1994; Nell et al., 1996; Kim, 2000)를 이용하는 방법과 *Tetraselmis*와 같이 세포 체적이 큰 식물먹이생물을 대량배양한 후 냉동 또는 건조하여 먹이로 사용하는 방법(Laing and Verdugo, 1991; Nell and O'Connor, 1991; Kim and Hur, 1998)이 연구되고 있으나 아직 충분히 개발되지 못한 실정이다. 따라서 조개류의 사육은 여전히 살아 있는 식물먹이생물의 대량배양에 의존하고 있다.

조개류 부화장에서의 식물먹이생물의 대규모 배양은 옥외에서 자연 조건에 의존할 경우가 많으므로 그 지역의 기후 조건에 적합한 종의 선택이 중요하다. 이와 같은 관점에서 본 실험에서 사용한 4종류의 중국산 식물먹이생물은 우리나라에서도 대량배양을 하기에 적합한 종류로 판단된다.

Hur (1991)는 고온과 저온에서 배양이 가능한 식물먹이생물을 파악하기 위하여 34종의 미세조류의 성장을 5, 10, 25, 30°C에서 조사한 결과 *Phaeodactylum tricornutum*과 *Skeletonema costatum*과 같은 규조류는 녹조류에 비하여 저온에서는 성장이 양호하나 고온에서는 저조하다고 하였다. 또 고온에서는 *Chlorella ellipsoidea*와 *Nannochloris oculata*같은 녹조류의 성장이 높고, *I. galbana*와 *T. subcordiformis*는 위의 종류들에 비하여 저온과 고온에서의 일간성장율이 상대적으로 큰 차이가 없었던 것으로 보고 하였다. 본 연구에서도 4종류의 식물먹이생물중 규조류인 *N. closterium*은 다른 종류에 비하여 17~19°C의 낮은 온도에서 성장이 가장 높았고 25°C이상의 고온에서는 성장이 급격히 감소하였으며 고온에서는 *C. salina*의 성장율이 가장 높아 Hur (1991)의 결과와 일치하였다.

또 *C. salina*와 *I. galbana*는 25°C까지 꾸준히 성장이 증가하여 21~25°C에서 대량배양에 적합하나 27°C 이상에서는 성장이 크게 감소하는 것으로 보아 여름철 고온기는 부적합 할 것으로 판단되었다. 그러나 이와는 달리 *T. subcordiformis*는 29°C에 이르기까지 온도에 대한 큰 변화

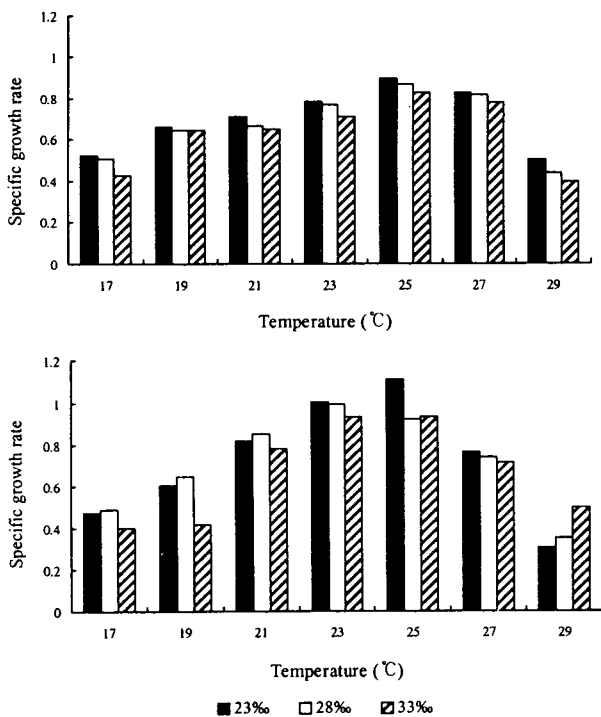


Fig. 4. Specific growth rate of *Isochrysis galbana* at different temperatures, salinities and light intensities (top: 4,000 lux; bottom: 6,000 lux).



중국산 식물먹이생물 4종의 최적 배양환경

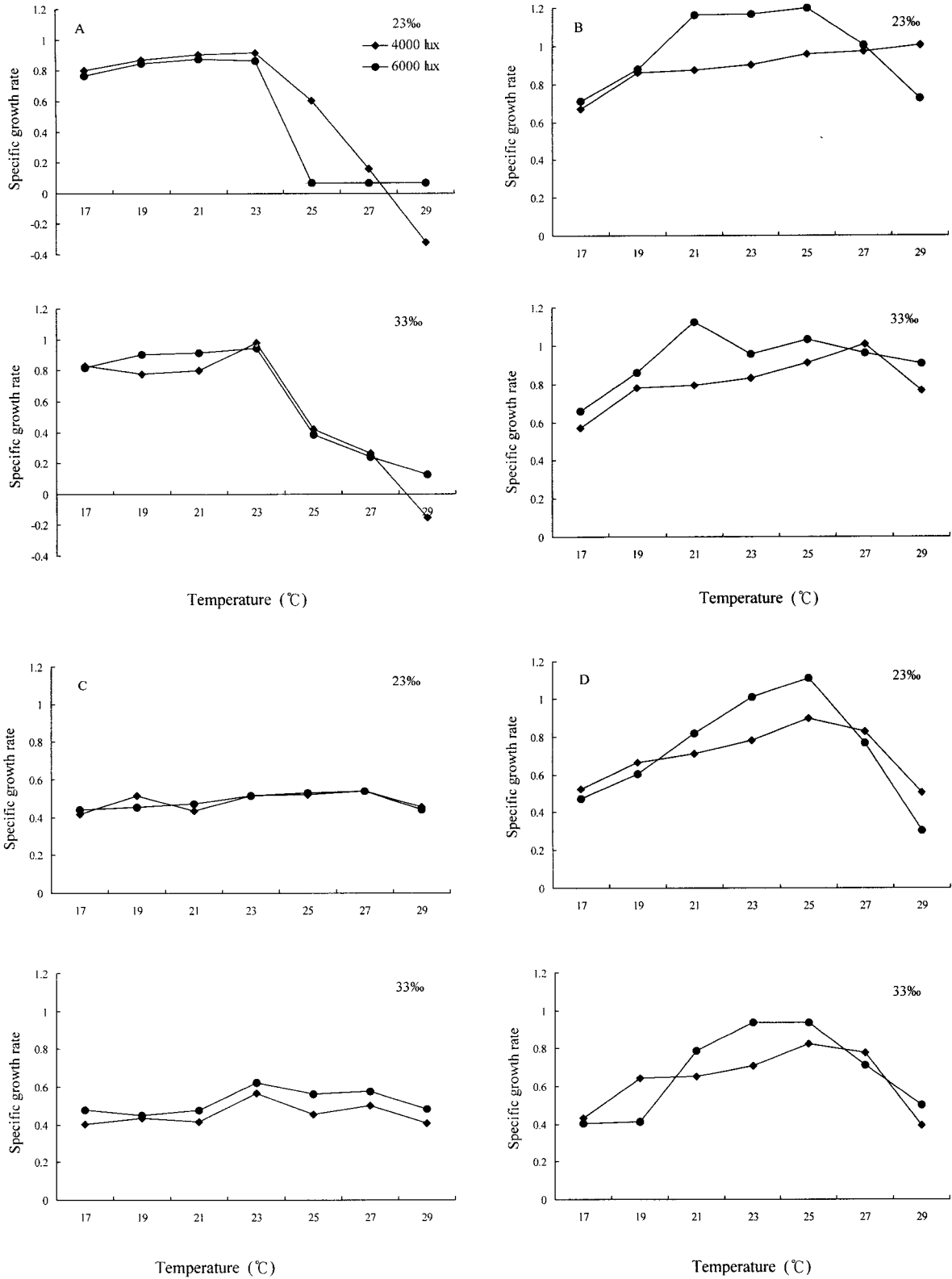


Fig. 5. Variations of specific growth rate of the microalgae at different temperatures and light intensities at 23 and 33‰ (A: *Nitzschia closterium*, B: *Chlorella salina*, C: *Tetraselmis subcordiformis*, D: *Isochrysis galbana*).

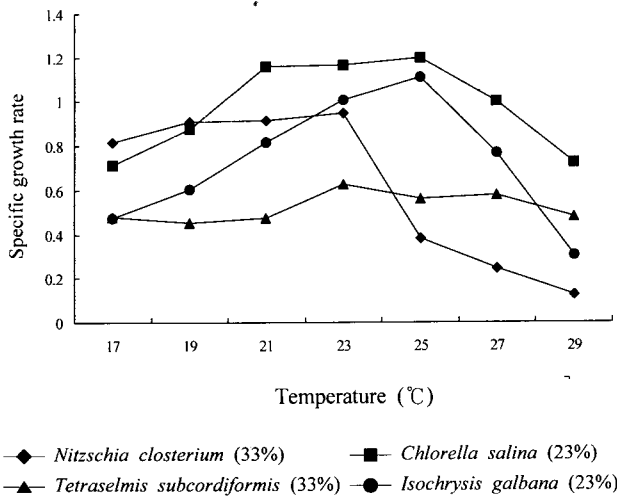


Fig. 6. Comparison of the specific growth rate of four microalgal species under 6,000 lux at the optimum salinity for each species.

가 없어 가장 광온성인 종류로 나타났다.

Kim and Hur (1998)은 우리나라에서 대량배양에 적합한 *Tetraselmis* 종의 선택을 위하여 본 연구에서 조사한 *T. subcordiformis*를 포함한 5종의 *Tetraselmis*의 성장을 조사한 결과 *Tetraselmis*는 광온성이고 광염성이며 최적 성장을 위한 수온과 염분은 각각 24~30°C, 27~30‰라 하여 본 연구에서의 결과를 뒷받침하였다.

한편 4종류 모두 4,000 lux에서 보다는 6,000 lux에서 성장이 더 양호하였고, *C. salina*와 *I. galbana*는 *N. closterium*과 *T. subcordiformis*에 비하여 조도가 높은 6,000 lux에서의 성장이 4,000 lux보다 월등히 높았다. *C. salina*와 *I. galbana*는 23‰의 낮은 염분에서, *N. closterium*과 *T. subcordiformis*는 33‰의 높은 염분에서 성장이 더 높아 종류에 따라 최적 염분이 달랐다. 본 연구에서 4종류의 평균 세포 크기는 *T. subcordiformis*는 720  $\mu\text{m}^3$ 로 *N. closterium*의 약 2.8배, *I. galbana*의 7.3배, *C. salina*의 42배이며(Park, 1994), 다른 *Tetraselmis* 종류에 비하여 고온에서 내성이 높고 불포화지방산의 함량도 높은 것으로 보고되었다(Kim and Hur, 1998),

따라서 우리나라 봄, 가을의 17~21°C의 온도에서는 *N. closterium*과 *C. salina*, 23°C 이상의 여름철에는 *C. salina*와 *I. galbana*를 선택하여 대량배양하는 것이 효과적일 것으로 판단된다. 또 *T. subcordiformis*는 다른 3종의 식물먹이 생물에 비하여 성장률이 느리긴 하나 세포가 크고 영양가가 높으며, 또 광염성, 광온성이므로 계절에 관계없이 대

량배양하기에 적합한 종으로 판단되었다.

Hur (1991)는 *C. ellipsoidea*의 경우 30°C 이상의 고온에서는 급격한 폐사가 발생하여 고온기에는 *N. oculata*가 더 적합하고, 또 10°C 이하의 저온에서는 *N. closterium*보다는 *P. tricorutum*이 대량배양에 더 적합한 종이라고 보고하였다. 이와 같은 결과들을 종합해 볼 때 본 실험에서 사용한 4종류 이외에도 여름철 고온기에 *N. oculata*, 겨울철 저온기에 *P. tricorutum*을 추가로 선택하여 대량배양하면 우리나라의 기후에 적합한 경제적이고 안정적인 식물먹이생물의 선택이 될 것으로 판단된다.

## 요 약

중국 산둥성에서 조개류의 먹이생물로 널리 이용되고 있는 4종의 미세조류(*N. closterium*, *C. salina*, *T. subcordiformis*, *I. galbana*)를 대상으로 최적 배양 환경 요인을 조사하여 국내 조개류 배양장에서의 대량배양에 적용 가능성을 검토하고자 하였다.

수온(17, 19, 21, 23, 25, 27, 29°C), 염분(23, 28, 33‰), 조도(4,000, 6,000 lux)에 따른 최대 성장을 조사한 결과, *N. closterium*과 *I. galbana*의 최적 수온은 23°C였고, *C. salina*와 *T. subcordiformis*는 각각 25, 27°C였다. 최적 염분은 *N. closterium*과 *T. subcordiformis*는 33‰이었으나 *C. salina*와 *I. galbana*는 23‰였다. 조도에 따른 성장은 4종 모두 6,000 lux에서 더 높았다.

조도 6,000 lux와 최적 염분하에서의 수온에 따른 일간 성장율은 *N. closterium*은 23°C 이하에서는 높으나 25°C 이상에서는 급격히 감소하였고, *C. salina*와 *I. galbana*는 25°C까지 계속 성장한 후 27°C부터는 크게 감소하였다. 그러나 *T. subcordiformis*는 수온에 따른 큰 차이가 없이 가장 광온성이었다.

이들 4종류를 국내에서 대량배양하고자 할 경우 21°C 이하의 봄, 가을에는 *N. closterium*과 *C. salina*, 23°C 이상의 여름에는 *C. salina*와 *I. galbana*가 적합하고 *T. subcordiformis*는 계절에 관계없이 적합한 종으로 판단되었다.

## 참 고 문 헌

- Coutteau, P., K. Cure and P. Sorgeloos, 1990. Baker's yeast as a potential substitute for live algae in aquaculture diets: *Artemia* as a case study. *J. World Aquacult. Soc.*, 21 : 1-9.

- Coutteau, P., N. H. Hadley, J. J. Manzi and P. Sorgeloos, 1994. Effect of algal ration and substitution of algae by manipulated yeast diets on the growth of juvenile *Mercenaria mercenaria*. *Aquaculture*, 120 : 135-150.
- D'Elia, C. F., R. L. Guillard and D. M. Nelson, 1979. Growth and competition of the marine *Phaeodactylum tricornutum* and *Thalassiosira pseudonana*. I. Nutrition effect. *Mar. Biol.*, 50 : 305-312.
- Epifanio, C. E., 1979. Comparison of yeast and algal diets for bivalve mollusc. *Aquaculture*, 16 : 187-192.
- Fulks, W. and K. L. Main, 1991. Rotifer and microalgae culture systems. The Oceanic Institute, Hawaii. 364pp.
- Guillard, R. L., 1973. Growth measurement. pp.302-306. *Handbook of Phycological Methods* (J. R. Stein). Cambridge Univ. Press, London.
- Guillard, R. L. and J. H. Ryther, 1962. Studies of marine planktonic diatoms. I. *Cyclotella nana* Hustedt and *Detonula confervacea* (Cleve). *Gran. Can. J. Microbiol.*, 8 : 229-239.
- Hur, S. B., 1991. The selection of optimum phytoplankton species for rotifer culture during cold and warm seasons and their nutritional values for marine finfish larvae. p. 163-173. *Rotifer and Microalgae Culture Systems* (W. Fulks and K. Main). The Oceanic Institute, Hawaii.
- Kim, H. Y., 2000. Screening and Testing dietary value of yeast as a food organism in aquaculture. Master thesis. Pukyong National University, Pusan. 45pp. (in Korean).
- Kim, C. W. and S. B. Hur, 1998. Selection of optimum species of *Tetraselmis* for mass culture. *J. Aquaculture*, 11 : 231-240.
- Laing, I. and C. G. Verdugo, 1991. Nutritional value of spray-dried *Tetraselmis suecica* for juvenile bivalves. *Aquaculture*, 92 : 207-218.
- Nell, J. A. and W. A. O'Connor, 1991. The evaluation of fresh algae and stored algal concentrates as a food source for Sydney rock oyster *Saccostrea commercialis* (Iredale and Roughley) larvae. *Aquaculture*, 99 : 277-284.
- Nell, J. A., J. A. Diemar and M. P. Heasman, 1996. Food value of live yeast and dry yeasted-based diets fed to Sydney oyster *Saccostrea commercialis* spat. *Aquaculture*, 145 : 235-243.
- Park, J. E., 1994. The optimum culture environment of four species of phyto-food organism. Master thesis, National Fisheries University of Pusan, Pusan. 34pp. (in Korean).