

鲍鱼理想饵料硅藻盾卵形藻
 微小变种 *Cocconeis scutellum*
 var. *parva* 增殖特性

3-15

河村知彦

(东北区水产研究所)

冈村和磨

(西海区水产研究所)

高见秀辉

(东北区水产研究所)

摘要

海洋底栖盾卵形藻微小变种 *Cocconeis scutellum* var. *parva* 是鲍鱼初期稚贝最适宜的饵料生物之一。在本研究中,在实验1中,即在水温(10,15,20,25℃)与光量(12,46,78,112,135 爱因斯坦/米²/秒)不同组合条件下,以及,在实验2中,即在水温(20℃)、光量(78 爱因斯坦/米²/秒)、光照周期(12小时明:12小时暗)相同,而盐度不同(12,23,28,31,33,36,40,44‰)条件下,对盾卵形藻微小变种增殖予以调查。2个实验均利用 Jørgensen 改变培养液,持续进行45~55天。在水温和光量实验中,实验开始时盖壳长为16.2±1.2微米;在盐度实验中,实验开始时盖壳长为22.0±0.7微米。结果表明,在各种实验条件下,盾卵形藻微小变种均见增殖。在指数增长期,日平均增殖速度变化于0.26~0.55(次分裂/日)。在光量相同场合,在46 爱因斯坦/米²/秒以上条件下,越是高水温组,增殖速度越快。在12 爱因斯坦/米²/秒条件下,各水温组之间,增殖速度未见差异。在水温15℃以上场合,12 爱因斯坦/米²/秒光量组增殖速度显著低于光量较高各组。就盐度而言,在28~40‰范围内,增殖理想。细胞单层增殖,一布满培养器内壁,即停止增殖。在130代(204天)内,细胞规格从34.4微米盖壳长逐渐减小到9.7±0.5微米盖壳长。有性繁殖见于第95代(盖壳长13.4±1.2微米),是时,大型营养细胞(盖壳长33.8微米)出现。

关键词:底栖硅藻,卵形藻,增殖,鲍鱼。

附着硅藻盾卵形藻微小变种 *Cocconeis scutellum* var. *parva* 是皱纹盘鲍浮游幼体的理想着底基质(河村知彦等,1992),是壳长约1毫米以上的初期稚贝的理想饵料(Kawamura et al., 1995; Tekami et al., 1997),并且,广泛分布于日本(河村知彦,1994)。

在鲍类苗种生产设施,被叫为舐板的采苗器

广泛得到利用,而在这种舐板上,卵形藻属 *Cocconeis* 硅藻占据优势(关哲夫,1978;庵谷晃等,1987; Suzuki et al., 1987; Mutthews et al., 1995)。舐板诱发浮游幼体着底·变态,保证变态稚贝良好生长(Takami et al., 1997; 关哲夫, 1998; Ebert et al., 1984; Hahn, 1989; Slattery, 1992),不过,存在诸如制作相当费时费力,管栖

多毛类等附着动物引起污染一类问题(浮永久, 1995)。若是能够大量培养,并合理利用卵形藻属硅藻培育藻株,苗种生产效率势必更上层楼。

关于卵形藻属硅藻的增殖特性,盾卵形藻华饰变种 *C. scutellum* var. *ornata* (Muzuno et al., 1985)和卵形藻 *Cocconeis* sp. (大贝政治等, 1992)已有报告,适于增殖的水温、盐度、光量等现已查明。虽未使用单种藻株,但在鲍鱼苗种生产设施大量培养卵形藻属硅藻也还试过(山本荣一等, 1984)。不过,目前,在实际苗种生产中,利用卵形藻属培养硅藻尚无实例。并且,现已知道,即使同为卵形藻属硅藻,对于鲍鱼稚贝的饵料价值也因种而异,因株而异(Kawamura et al., 1998)。

在本次研究中,以确立已经认定属于皱纹盘鲍初期稚贝理想饵料(Kawamura et al., 1995; Takami et al., 1997)的盾卵形藻微小变种大量培养方法为目的,探讨水温、光量和盐度对其增殖影响。

材料与方 法

实验所用盾卵形藻微小变种为由东北区水产研究所内鲍鱼饲养水槽采集、分离,用 Jørgensen 改变培养液(Jørgensen 营养盐添加海水培养基(Jørgensen, 1962)按 0.05 微克/升加入维生素 B₁₂ 所制成的培养液)继代培养的藻株。培养水温为 15℃,接近采集时水温。在水温和光量影响研究实验中,所用细胞实验开始时大小为盖壳长 16.2±1.2 微米(平均值±标准偏差),盖壳宽 10.5±1.3 微米。在盐度影响研究实验中,使用盖壳长 22.0±0.7 微米、盖壳宽 15.6±0.6 微米细胞。

在水温和光量影响研究实验中,设定 10, 15, 20, 25℃ 4 个水温实验组,针对每一水温又设定 12, 46, 78, 112, 135 爱因斯坦/米²/秒(分别约 1,000, 4,000, 7,000, 10,000, 12,000 勒克斯)5 级光量组。培养液使用 pH7.8~8.3、盐度 33‰ Jørgensen 改变培养基。在盐度影响研究实验中,调整 Jørgensen 改变培养基(pH7.8~8.3)盐度,设定 18, 23, 28, 31, 36, 40, 44‰ 7 个实验组。盐度通过蒸发或稀释调整,就是说,在培养基制备前,通过蒸发要使用的灭菌过滤海水水分制成高盐

度海水,通过蒸馏水稀释要使用的灭菌过滤海水制成低盐度海水。水温设定 20℃,光量设定 78 爱因斯坦/米²/秒。在全部实验中,光源使用白色荧光灯,明暗周期设定 12 小时明:12 小时暗。细胞培养用每穴加入 0.15 毫升培养液的 96 穴平底多穴培养皿(底面积 0.32 厘米²,内容积 0.37 毫升)进行。每一实验组按每穴 1 个细胞约接种 30 穴,尔后开始观察。4 天后选定其中生长良好的 7 穴,持续 45~55 天观察其增殖。观察·计数根据细胞增殖态势每隔 1~10 天用倒立显微镜进行 1 次,培养液每隔 5 天更换 1 次。对于水温和盐度,实验之前,预先驯适 1 周以上。

根据所测定的硅藻细胞数,应用下述公式(山本荣一等, 1984),推算各测定日间的日增殖速度(μ)。

$$\mu = 1/t \times \log_2(N_t/N_0)$$

式中, t 为培养日数, N_t 为培养期间最后日(t 日后)细胞数, N_0 为培养开始日细胞数。

为掌握细胞大小和形状随细胞分裂变化,在上述增殖特性研究实验同时,另行用 96 穴平底多穴培养皿持续 204 天实验继代培养。继代培养自通过有性繁殖恢复规格的细胞(盖壳长 34.4 微米,盖壳宽 23.1 微米)搞起。恢复规格以前的细胞盖壳长 15.1±0.8 微米,盖壳宽 10.1±0.9 微米。培养使用 pH7.8~8.3、盐度 31~33‰ Jørgensen 改变培养基,每隔 5 天改换新培养液。水温 20℃,光量 78 爱因斯坦/米²/秒,光照周期 12 小时明:12 小时暗。细胞规格测定与形态观察以每隔 5~10 天随机抽取的 30 个细胞为对象予以实施。为算定代数,同时测定细胞数。细胞布满穴底前,每隔 25~35 天及时分离小型细胞,接种到别的穴继续培养。观察期间(204 天),接种 7 次。

对于水温、光量对增殖速度影响,应用二元配置分散分析检定。结果,鉴于水温与光量交互影响($p < 0.001$),各实验组汇总进行一元配置分散分析。另外,鉴于各实验组间差异显著($p < 0.001$),应用 Tukey-Kramer HSD 检验进行多重比较。对盐度对增殖速度影响,鉴于一元配置分散分析出现显著差异($P < 0.001$),应用 Tukey-

Kramer HSD检验进行多重比较。

结 果

水温 and 光量对增殖影响:各水温组、光量组均见增殖,测定结束时(45~55天后),各实验组活细胞密度达 $4\sim 7 \times 10^5$ 个细胞/厘米²(图1, 2)。在各实验组,各测定日间的日增殖速度(μ)均随培养天数拉长而减小。各实验组最初10天内平均增殖速度、指数增殖期(细胞总数达2位数以后,活细胞率低于90%以前)平均增殖速度和最大增殖速度如表1所示。

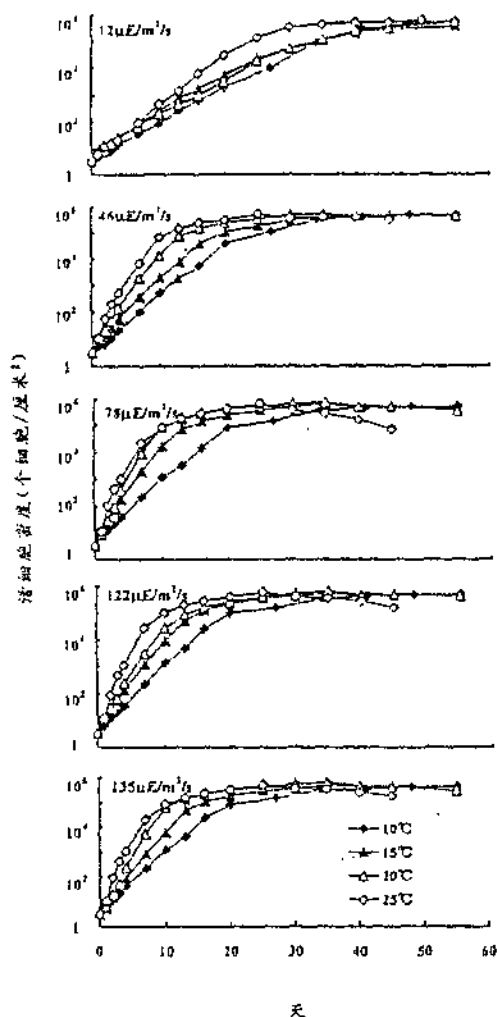


图1 在不同水温(10, 15, 20, 25°C)条件下看卵形藻微小支种增殖态势(平均值, n=7)(光量 12, 46, 78, 112, 135 爱因斯担/米²/秒, 光照周期 12 小时明:12 小时暗, 盐度 33‰)

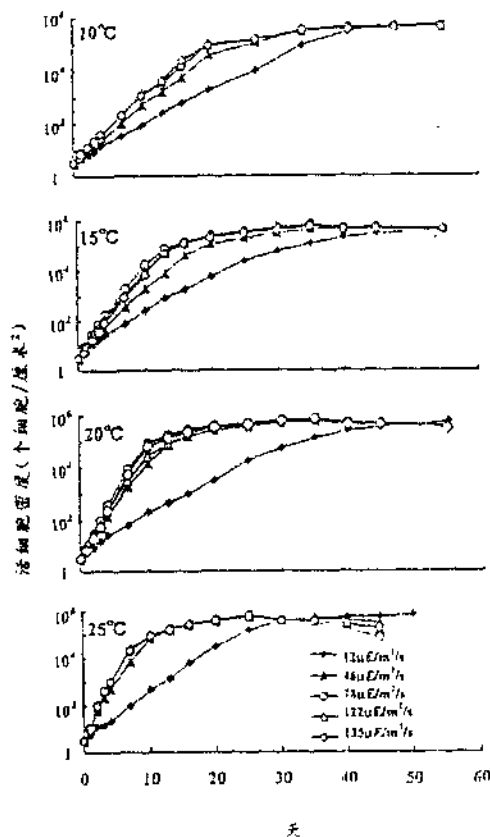


图2 在不同光量(12, 46, 78, 112, 135 爱因斯担/米²/秒)条件下看卵形藻微小支种增殖态势(平均值, n=7)(水温 10, 15, 20, 25°C, 光照周期 12 小时明:12 小时暗, 盐度 33‰)

活细胞布满培养皿底面后,死细胞开始出现。即使改换培养液,死细胞也见增多,活细胞密度不再增加。在水温 25°C·光量 46 爱因斯担/米²/秒以上各组,自开始测定第 25 天以后,在水温 15°C 或 20°C·光量 46 爱因斯担/米²/秒以上各组,自开始测定第 35 天以后,死细胞比例开始增大(图 3)。不过,在水温 10°C 条件下,直至实验结束,死细胞未见明显增多。实验中可见活细胞落在死细胞上增殖,但不见活细胞落在别的活细胞上增殖。

就指数增殖期平均增殖速度而言,从光量分组方面来看,一般来说,在光量 46 爱因斯担/米²/秒以上条件下,越是高水温组,该值越高,10°C 水温组显著低于其它水温组(Tukey-Kramer HSD 检验, $p < 0.05$)。但是,在光量 12 爱

因斯坦/米²/秒条件下,水温并未引起显著差异(Tukey-Kramer HSD检验, $p < 0.05$)。从水温分组方面来看,在15℃以上各实验组,12 爱因斯坦/米²/秒光量组显著低于其它光量组,但是,在光量46 爱因斯坦/米²/秒以上场合,光量并未引起显著差异(Tukey-Kramer HSD检验, $p < 0.05$),各光量组变化于0.26~0.29。最大平均增殖速度为25℃·78 爱因斯坦/米²/秒组的 0.55 ± 0.02 (平均值±标准偏差)(表1),最大增殖速度见于25℃·78 爱因斯坦/米²/秒组1穴,为开始测定后第2天和第3天之间所记录的3.94。

表1 在水温和光量不同组合条件下看卵形藻微小支种增殖速度(盐度33‰,光照周期12小时明:12小时暗)

水温(℃)	光量(爱因斯坦/米 ² /秒)	增殖速度(分裂次数/日,平均值±标准偏差)		
		最初10天内	指数增殖期	最大值
10	12	0.47 ± 0.03	0.29 ± 0.01	1.08 ± 0.31
	46	0.73 ± 0.05	0.28 ± 0.03	1.06 ± 0.11
	78	0.85 ± 0.03	0.29 ± 0.04	1.35 ± 0.12
	112	0.38 ± 0.02	0.26 ± 0.02	1.11 ± 0.14
	135	0.86 ± 0.05	0.26 ± 0.01	1.43 ± 0.44
15	12	0.59 ± 0.09	0.35 ± 0.01	1.28 ± 0.27
	46	0.92 ± 0.03	0.42 ± 0.00	1.57 ± 0.22
	78	1.24 ± 0.02	0.44 ± 0.03	1.97 ± 0.20
	112	1.13 ± 0.06	0.42 ± 0.01	1.30 ± 0.19
	135	1.09 ± 0.04	0.42 ± 0.01	1.96 ± 0.49
20	12	0.57 ± 0.07	0.27 ± 0.01	1.34 ± 0.33
	46	1.20 ± 0.05	0.42 ± 0.01	1.98 ± 0.26
	78	1.48 ± 0.03	0.43 ± 0.00	2.16 ± 0.19
	112	1.29 ± 0.08	0.42 ± 0.01	2.06 ± 0.32
	135	1.42 ± 0.06	0.42 ± 0.01	2.32 ± 0.42
25	12	0.72 ± 0.05	0.32 ± 0.05	1.08 ± 0.21
	46	1.44 ± 0.01	0.49 ± 0.12	2.40 ± 0.39
	78	1.45 ± 0.10	0.55 ± 0.02	3.19 ± 0.46
	112	1.50 ± 0.01	0.52 ± 0.10	2.86 ± 0.21
	135	1.48 ± 0.01	0.52 ± 0.07	3.19 ± 0.29

盐度对增殖影响:各盐度组均见增殖,但活细胞最大密度呈现组间显著差异(图4, $p < 0.001$)。在40‰组,第45天,活细胞密度达 3.7×10^5 个细胞/厘米²,在28~36‰各组,第45天,活细胞密度达 $3.1 \sim 3.2 \times 10^5$ 个细胞/厘米²。然而,在18,23和44‰各组,自第31天过后,细胞数量增长减慢,活细胞最大密度停留于 $1.4 \sim 1.9 \times 10^5$ 个细胞/厘米²(图4)。在44‰组,开始测定后第10天以前增殖速度(μ)显著低于其它实验组(表2, Tukey-Kramer HSD检验, $p < 0.05$)。并且,在18和23‰组,第25天以前增殖速

就最初10天内增殖速度而言,在同一水温实验组,分光量比较表明,在各水温实验组,也是12 爱因斯坦/米²/秒组显著低于其它光量组(Tukey-Kramer HSD检验, $p < 0.05$)。并且,在10℃和15℃实验组,46 爱因斯坦/米²/秒组也显著低于78 爱因斯坦/米²/秒以上各光量组(Tukey-Kramer HSD检验, $p < 0.05$)。在光量为46 爱因斯坦/米²/秒以上条件下,在同一光量实验组,越是高水温组,该值越高(差异显著, Tukey-Kramer HSD检验, $p < 0.05$)。

度显著偏低。各实验组最大增殖速度见于40‰组1穴,为开始测定后第4天与第7天之间所记录的1.45。

活细胞同伙并不重迭附着,细胞形成单层群落。在28~40‰各组,细胞基本贴培养器整个底面增殖,而在18,23,44‰各组,细胞未能增殖到布满整个底面。

活细胞密度接近最大值,即第31天以后,各实验组开始出现死细胞(图5)。在23‰以下低盐度组和40‰以上高盐度组,死细胞偏多。44‰组死细胞率最高。

细胞形态随细胞分裂变化:为时204天的继代培养历经近130代。细胞规格徐徐减小,第130代,盖壳长 9.7 ± 0.5 微米,盖壳宽 7.0 ± 0.3 微米(图6)。但是,细胞厚度基本不变,诸代均为 2.2 ± 1.1 微米。细胞构造本身也未见多大变化,不管大小,上壳切顶条线15根/10微米,下壳切顶条线12根/10微米。

约第95代,即第164天,出现有性生殖。同型配子接合,形成若干增大孢子,其中1个孢子形成大型营养细胞。这一大型细胞盖壳长33.8微米,盖壳宽24.3微米。形成增大孢子时,营养细胞平均规格是盖壳长 13.4 ± 1.2 微米,盖壳宽 8.7 ± 0.8 微米。第112代,即第184天以后,增大孢子也多见形成,但并不形成营养细胞。

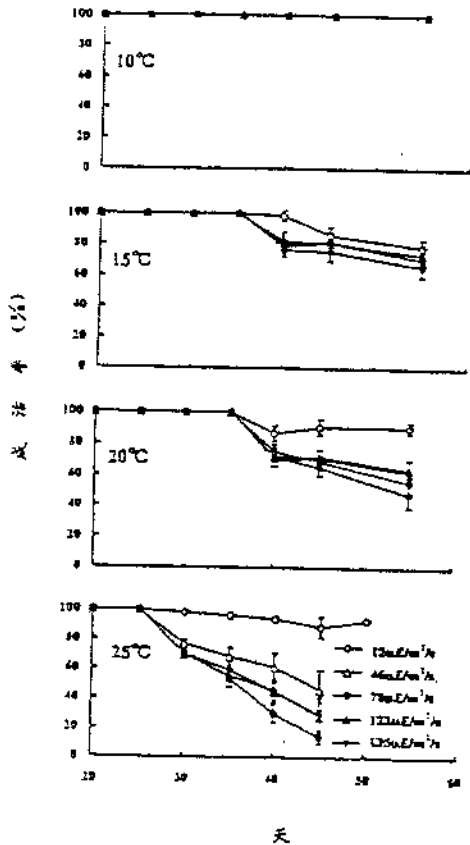


图3 在水温(10, 15, 20, 25°C)和光量(12, 46, 78, 112, 135 爱因斯坦/米²/秒)不同组合条件下看卵形藻微小变种成活率(平均值和标准偏差, n=7)(盐度33‰)

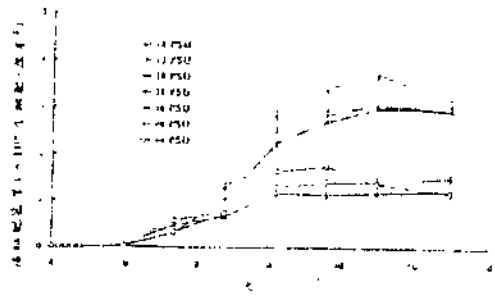


图4 在不同盐度(18, 23, 28, 31, 36, 40, 44‰)条件下看卵形藻微小变种增殖态势(平均值和标准偏差, n=7)(水温20°C, 光量78 爱因斯坦/米²/秒, 光照周期12小时明:12小时暗)

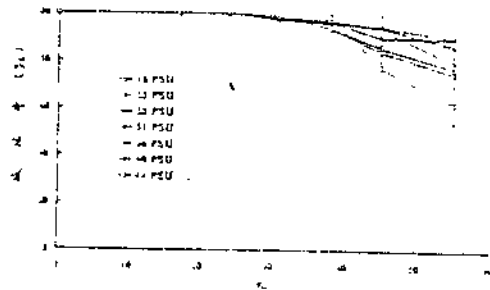


图5 在不同盐度(18, 23, 28, 31, 36, 40, 44‰)条件下看卵形藻微小变种成活率(平均值和标准偏差, n=7)(水温20°C, 光量78 爱因斯坦/米²/秒, 光照周期12小时明:12小时暗)

表2 在不同盐度条件下看卵形藻微小变种增殖速度(水温20°C, 光量78 爱因斯坦/米²/秒, 光照周期12小时明:12小时暗)

盐度 (%)	增殖速度(分裂次数/日, 平均值±标准偏差)		
	最初10天内	指数增殖期	最大值
18	0.89±0.06	0.27±0.08	0.94±0.33
23	1.02±0.04	0.24±0.06	0.85±0.42
28	1.01±0.02	0.30±0.04	1.27±0.08
31	1.08±0.05	0.29±0.02	1.32±0.08
36	1.03±0.03	0.30±0.05	1.32±0.07
40	0.93±0.04	0.30±0.03	1.02±0.25
44	0.57±0.10	0.43±0.04	0.71±0.06

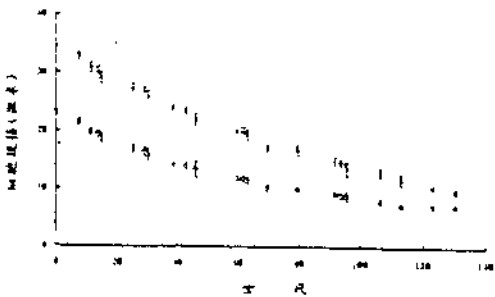


图6 130代(204)内盾卵形藻微小变种细胞规格变化(平均值和标准偏差, $n=30$)
点:盖壳长;图:盖壳宽。

讨 论

增殖特性:就本次实验所用盾卵形藻微小变种藻株而言,一般来说,在光量相同场合,在所设定的 $10\sim 25\text{C}$ 水温范围内,水温越高,增殖越快。但是,在光量 $12\text{爱因斯坦}/\text{米}^2/\text{秒}$ 条件下,水温并未导致增殖速度出现明显差异。在同一水温条件下,在 $46\text{爱因斯坦}/\text{米}^2/\text{秒}$ 以上各光量组,增殖速度未见显著差异,但在 15C 以上水温条件下, $12\text{爱因斯坦}/\text{米}^2/\text{秒}$ 光量组增殖显著慢于其它各光量组。增殖速度如此以水温和光量为转移,指数期平均增殖速度(μ)变化于 $0.26\sim 0.55$ 。与同样不成群体,单体增殖的其它种海产附着硅藻相比,这一平均增殖速度最大值偏低,变幅也偏小(Castenholtz, 1964; 大贝政治, 1986; 大贝政治等, 1986; 河村知彦, 1994)。该指标基本与同属的盾卵形藻华饰变种(Mizuno et al., 1985)和卵形藻*C. sublittratis*(河村知彦, 1994)相同。

Mchntire和Wulff(1969)室内研究光对附着硅藻群落影响发现,盾卵形藻微小变种只在弱光场合成为优势种。在海面垂挂基质上所形成的附着硅藻群落中,包含盾卵形藻微小变种在内的卵形藻属硅藻在弱光下和日射量少场合容易占据优势(河村知彦, 1994; Hudon et al., 1983; Kawamura et al., 1992)。观察附着硅藻群落演变发现(河村知彦, 1994),卵形藻属等匍匐固着型硅藻增殖速度不快,但是,即使在成为大型群体的群落下层,也还慢慢持续增多,以致不管光照如何,最终成为优势种(河村知彦, 1994, 1995;

Kawamura et al., 1992)。在光量少场合,想必更早占据优势(河村知彦, 1994, 1995)。本次研究同样表明,在强光下,盾卵形藻微小变种增殖速度低于其它许多附着硅藻,这是强光下难以占据优势原因之一。不过,在 $12\text{爱因斯坦}/\text{米}^2/\text{秒}$ (约 $1,000\text{勒克司}$)条件下,其增殖速度未必高于其它附着型硅藻(Castenholtz, 1964; 大贝政治, 1986; 大贝政治等, 1986; 河村知彦, 1994)。本种之所以在弱光下容易占据优势,想必是因为在弱光下,增殖速度不次于其它硅藻,附着力又极强,不形成立体群体(Kawamura et al., 1992),以致波浪和水流难以冲掉(Kawamura et al., 1992),多数植食动物难以吃掉(庵谷晃等, 1987; Suzuki et al., 1987; 河村知彦, 1994; Kawamura et al., 1992),等等,除增殖速度之外,还具有比其它附着型硅藻更有利于增殖的特性。

所使用的盾卵形藻微小变种在 $28\sim 40\%$ 盐度条件下良好增殖,适于增殖的盐度范围偏向较高盐度。根据对Mizuno(1992)区分海洋附着硅藻和河口附着硅藻盐度增殖适应结果判断,盾卵形藻微小变种为海洋种。但是,据报告,在三重县英虞湾,包括盾卵形藻微小变种在内的卵形藻属硅藻从湾口广泛分布到湾奥河口附近(田中信彦, 1984),看来,即使同种,以生息环境为转移,增殖适宜盐度范围可能不同。

在水温和光量影响研究实验和盐度影响研究实验中,在条件基本相同场合,增殖速度大不相同。就指数增殖期平均增殖速度而言,在前一实验中,在 $20\text{C}\cdot 78\text{爱因斯坦}/\text{米}^2/\text{秒}\cdot 33\%$ 场合,为 0.43 (表1),在后一实验中,在 $20\text{C}\cdot 78\text{爱因斯坦}/\text{米}^2/\text{秒}\cdot 31\%$ 场合,为 0.29 ,在 $20\text{C}\cdot 78\text{爱因斯坦}/\text{米}^2/\text{秒}\cdot 36\%$ 场合,为 0.30 (表2)。这一点想必是2个实验所用细胞大小不同(实验开始时平均盖壳长分别为 16.2 和 22.0微米)。为期204天的细胞形态变化研究实验表明,随着细胞规格减小,增殖速度趋于增大。现有报告指出,对不同硅藻种间比较表明,最大增殖速度与细胞体积负相关(Williams, 1964; Mizuno, 1991)。

即使在适于增殖的水温、光量、盐度范围内,细胞布满培养器内壁后,就是更换培养液,死细胞也还有增无减,活细胞并不重迭增殖。由此可见,本种增殖量受附着基质表面积制约。

形态变化:由神奈川县油壶湾全年所采集的盾卵形藻微小变种规格变化于盖壳长 $11.52\sim$

34.0微米,盖壳宽7.3~19.2微米(河村知彦等,1989)。本次研究所用藻株规格变化范围大体与之相同。第130代,盖壳长缩小到 9.7 ± 0.1 微米,但是,形成配子,开始进行有性生殖的细胞规格为盖壳长 13.4 ± 0.2 微米,想必在配子形成条件完备场合,一达这等大小,即进行有性生殖,恢复规格。本次研究尚米弄清配子形成条件,不过,现有报告指出,就盾卵形藻华饰变种而言,水温 and 天长影响配子形成(Mizuno et al., 1995)。

作为鲍鱼饵料大量培养方法:在盾卵形藻微小变种单种培养场合,在本次研究所设定的范围内,在水温 25°C 、光量46爱因斯打/米²/秒以上、盐度28~40‰条件下,最快增殖到最大密度。鉴于细胞不重迭附着,布满基质时停止增殖,要想提高细胞收量,必须扩大附着基质表而积。本种附着力非常强,若从基质上硬剥,许多细胞可就只剥下上壳坏掉。因此,不能采用田中信彦(1981)所开发的对其它硅藻有效的培养装置硅藻剥离收获培养法。以硅藻附着基质原样不动作为鲍鱼幼体饲养板为宜。

与其它硅藻相比,盾卵形藻微小变种属于适于鲍鱼幼体着底·变态的附着基质(河村知彦等,1992),但是,与砗板相比,效果时好时坏(Takami et al., 1997),对于变态后不到1毫米的初期稚贝来说,饵料价值未必就高(Takami et al., 1997; Kawamura et al., 1998; Kawamura et al., 1995)。壳长达0.8~1毫米以上,初期稚贝逐渐能够有效地摄取卵形藻(Kawamura et al., 1995; Kawamura et al., 1998)。利用盾卵形藻微小变种单种附着基质布放鲍鱼稚贝(壳长1厘米以上),诱导稚贝匍匐(诱导摄食硅藻),能够稳定提高着底·变态率(Takami et al., 1997)。要想利用所培养的盾卵形藻微小变种作为鲍鱼饵料,看来以利用稚贝舐过的波板或初期并用适作变态初期饵料的其它硅藻(Kawamura et al., 1998; Kawamura et al., 1995)为宜。

在实际苗种生产现场,重要的是在鲍鱼饲养水槽中尽可能长时期使所培养的硅藻以健康状态占据优势。本次研究结果表明,在低温、弱光条件下,本种虽说增殖慢,但能持续较长时间维持很高活细胞率,在作为饵料利用场合,也许倒很合适。并且,在弱光下,也可抑制其它硅藻。让不积极摄食卵形藻,优先摄食其它附着力较弱硅藻的壳长约1厘米以上鲍鱼稚贝(庵谷晃等,1987; Suzuki et al., 1987; 高见秀辉等,1996)砗板,想

必不仅提高幼体着底·变态率,保证稚贝初期饵料,而且有助于长期维持卵形藻优势。

[译自日本《水产增殖》1998年46卷
4期509~516页]

杜佳根为大连水产学院国外渔业研究中心代表,并在各地许多水产企业兼任常年顾问、项目顾问、总工程师,为企业提供海鲜国际贸易和水产养殖技术服务。主要学术论文有《东北地区湖泊水库鳊鱼渔业利用问题》(自然资源,1977, No. 3)、《鱼类链球菌病研究概况》(福建水产, 1986, No. 2)、《世界畅销海产虾贝类养殖与流通概要》(国外水产,1990, No. 1)等;主要技术成果有“福寿螺产高产综合养殖技术”(1995年入编《中国实用科技成果大辞典》(西南交通大学出版社))和发明专利“一种海湾扇贝苗种培育方法”(ZL88104378.8)(1994年获首届中国金榜产品与技术博览会金奖);主要译著有《水生生物移植驯化理论与实践》(1986年,62.8万字,科学出版社);重点长篇译文有《国外网箱养鱼业发展概况》(国外科技动态,1974, No. 4)和《大西洋海湾扇贝若干生物学问题》(现代渔业信息,1986, No. 3)等200余篇。1994年,入编《中国当代发明人才库》(中国农业出版社)和《当代科技之星》(吉林科学技术出版社);1995年,入编《当代发明家成果辞典》(珠海出版社)和《国家级科技成果研制功臣名录》(海洋出版社)等;1997年,入编《中国当代发明家大辞典》(红旗出版社);1998年,入编《中华人物辞海·当代文化卷》(第2集)(中华国际人物辞书出版社);1999年,入编《世界名人录》(第5版)(香港中国国际交流出版社)。