

文章编号: 1000- 0615(2003)02- 0131- 06

诱导皱纹盘鲍浮游幼虫附着和变态的物质

康庆浩¹, 郑家声², 金炳鹤³

(1. 国立丽水大学水产生命科学部, 韩国 丽水 550- 749; 2. 中国海洋大学海洋生命学院, 山东 青岛 266003;
3. 国立水产振兴院南海水产种苗试验场, 韩国 庆尚南道 668- 820)

摘要: 根据鲍育苗中常用的 6 种底栖硅藻氨基酸的组成分析结果, 选择 15 种人工合成氨基酸作为诱导物质, 进行鲍浮游幼虫附着、变态的影响实验, 发现天冬氨酸组附着率最高, 谷氨酸组次之, 但均略低于底栖硅藻组, 明显高于对照组。变态率实验, 天冬氨酸和谷氨酸组结果基本一致, 均略高于底栖硅藻组, 明显高于对照组。不同氨基酸浓度对附着、变态的影响实验结果表明: 无论是天冬氨酸还是谷氨酸, 实验浓度为 $10^{-5} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 组的附着率和变态率最高。

关键词: 皱纹盘鲍; 附着; 变态; 底栖硅藻; 氨基酸

中图分类号: S968. 31⁺ 5 文献标识码: A

Study on substances inducing settlement and metamorphosis of planktonic larvae of *Haliotis discus hannai*

KANG Qing-hao¹, ZHENG Jia-sheng², JIN Bing-he³

(1. Department of Aquaculture, Yeosu National University, Yeosu 550- 749, Korea;

2. College of Marine Life Sciences, China Ocean University, Qingdao 266003, China;

3. Namhae Hatchery, National Fisheries Research and Development Institute, Kyeongsangnam-do 668- 800, Korea)

Abstract: The impacts of some inducing substances on the settlement and metamorphosis of planktonic larvae of the abalone *Haliotis discus hannai* were studied. According to the composition of amino acid in 6 monocultured benthic diatom, 15 artificial synthetic amino acids were chosen as the inducer. The results of the inducing experiments showed that the highest settlement rate appeared in the group with L-aspartic and the second in L-glutamic test group. These two rates were a little lower than that of benthic diatom test group and much higher than control group. About inducing metamorphosis rate, L-aspartic test group and L-glutamic test group are same. Both are a little higher than benthic diatom test group and are much higher than the control test group. The experiments with different concentration of inducing substances indicated that the highest inducing rates occurred when the concentration was $10^{-5} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ for both L-aspartic and L-glutamic acid.

Key words: *Haliotis discus hannai*; settlement; metamorphosis; benthic diatom; amino acid

收稿日期: 2002-07-16

资助项目: 中国博士后基金会(中韩科技合作交流项目)

作者简介: 康庆浩(1959-), 男, 韩国济洲岛人, 副教授, 青岛海洋大学博士后, 从事经济水产无脊椎动物研究。Tel: 0082- 61- 6593165, E-mail: mobidic@yosu.ac.kr

通讯作者: 郑家声(1941-), 男, 上海人, 教授, 主要从事海洋无脊椎动物发育生物学研究。Tel: 0532- 2031647, E-mail: jszheng@ouqd.edu.cn

皱纹盘鲍(*Haliotis discus hannai* Ino) 作为珍贵的保健食品被广为人知。20世纪70年代末研究发现其体内含有抗癌物质 paolin, 所以鲍的商品价值与日俱增。鲍浮游幼虫的附着率、特别是变态率是鲍育苗的一个关键问题。Norman Boudreau 等^[1]研究了鲍在变态期有寻找饵料的特性; Harada^[2] 研究报道与核酸有关的化合物的引诱效果; Maria 等^[3]报道了鲍稚贝对配合饲料的选择性与饲料的引诱效果; Harada 和 Kawasaki^[4]研究了海藻对幼鲍的引诱作用。这些研究都以鲍的稚贝为对象, 未涉及到决定人工苗种生产成败关键问题即鲍浮游幼虫附着和变态的研究。Heslinga^[5]报道了一种热带腹足类大马蹄螺(*Trochus niloticus*) 幼虫的附着和变态与孔石藻(*Porolithon*) 有关; Morse 等^[6]也报告了非神经递质—— γ -氨基丁酸能诱导鲍浮游幼虫附着和开始变态。但这些研究大多未涉及到诱导鲍幼虫附着变态的具体物质。底栖硅藻是诱导鲍浮游幼虫附着和变态的优良生物, 底栖硅藻中起诱导作用的物质是什么, 是氨基酸还是其他物质, 目前在这方面还缺乏系统的研究。

本研究旨在探明底栖硅藻重要物质氨基酸的组成, 再用合成氨基酸来代替底栖硅藻中所含有的各种氨基酸, 研究其对鲍浮游幼虫附着和变态的影响。利用合成氨基酸诱导促进鲍浮游幼虫附着和变态, 以提高人工苗种生产效率。

1 材料和方法

1.1 取材和人工受精

本实验选用5年生皱纹盘鲍30只(雌26只, 雄4只)。为减少实验误差, 每只鲍单独饲养, 进行采卵受精, 每次实验所用的受精卵都是同一个母鲍所产。采用改变水温和海水紫外线照射等复合刺激方法诱导产卵。产出的卵用60 μ m网目的网收集, 受精时水中精子密度为 $(20\sim 50) \times 10^4$ 个 \cdot mL⁻¹。实验选用了受精80h后还未形成第一上足触角的后期面盘幼虫。

1.2 底栖硅藻培养

分别培养了长柄曲壳藻(*Achnanthes longipes*); 线型双眉藻(*Amphora lineate*), *Navicula pelliculosa* 和 *Navicula incerta*; 长菱形藻(*Nitzschia longissima*), *Nitzschia* sp.) 等6个种底栖硅藻供附着和变态实验用。培养方法如下: 使用Conwy培养液, 为促进硅藻生长, 每升培养液再添加了1 mL 硅酸钠溶液($\text{Na}_2\text{SiO}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 100g 溶于1 L 蒸馏水)。培养容器为1 L 烧杯。在烧杯内垂直插入3张透明的聚乙烯平板(5cm \times 10cm \times 0.1cm, 两面表面积100cm²), 供硅藻附着。培养条件: 室内温度20~22 $^{\circ}$ C, 培养容器表面照度为3 000~4 000 lx, 明暗周期为24L: 0D。

1.3 底栖硅藻氨基酸组成成分分析

把培养的硅藻从聚乙烯平板刮下, 离心分离(10 000 r \cdot min⁻¹, 10min), 分别各取0.1~0.5 g 湿重, 用3~5 mL 6 mol \cdot mL⁻¹ HCl 在真空恒温(110 $^{\circ}$ C) 条件下水解24h, 取出样品, 放入梨形长颈瓶内, 在恒温(40~50 $^{\circ}$ C) 减压过滤器中减压过滤, 过滤液添加pH2.2 钠缓冲液2 mL, 用带刻度的试管定量到10 mL 后, 取1 mL, 用0.2 μ m 滤膜过滤, 滤液作为分析样品。氨基酸自动分析仪(Pharmacia, Biodrom 20) 分析。

1.4 鲍幼虫附着与变态的观察和分期

鲍幼虫附着和变态的培育条件如下: 水温(18 \pm 0.5) $^{\circ}$ C, 盐度31~32, pH 8.1~8.2, 溶解氧5.2~6.8 mg \cdot L⁻¹, 照度500 lx 以下, 通气量50~100 mL \cdot min⁻¹。每隔3 h 用光学显微镜(Olympus BX 60) 观察一次; 幼虫附着后, 每隔5 h 用万能投影仪(Nikon V-12) 进行观察。将受精80 h 还未形成第一上足触角的后期面盘幼虫(图1-1)的附着和变态分为以下几个重要阶段: (1) 受精后97 h 出现第一上足触角, 开始附着称初期匍匐幼体期(Primary creeping stage) (图1-2), 此时幼虫具有游泳和匍匐两种运动功能, 但无形态变化。它在附着板上不时地匍匐运动, 但运动范围小, 幼虫已开始探索附着场所,

后来可观察到幼虫利用纤毛在基质上连续匍匐的行为。(2) 经过 115 h 发育, 幼虫已附着得很牢固, 即使提起附着板也不会脱落下来。这时幼虫壳最大长度为 $268 \pm 21 \mu\text{m}$ 。(3) 受精后 139 h, 可观察到外套膜变长, 开始分泌围口壳, 内脏器官和口盖部也已发育完善, 称早期围口壳幼体期(Early peristomal shell stage)(图 1- 3)。(4) 受精后 171 h, 围口壳幼体期(peristomal stage)(图 1- 4), 壳长达到 $350 \pm 6 \mu\text{m}$ 。对以上各阶段, 在受精后以 97, 115, 139, 171 h 为准进行观察和统计以确定幼虫附着和变态率。

附着率、变态率以及反应率各用以下公式计算

$$\text{附着率}(\%) = (\text{附着个体数} / \text{实验个体数}) \times 100$$

$$\text{变态率}(\%) = (\text{变态个体数} / \text{附着个体数}) \times 100$$

$$\text{反应率}(\%) = [(\text{附着个体数} + \text{变态个体数}) / \text{实验个体数}] \times 100$$

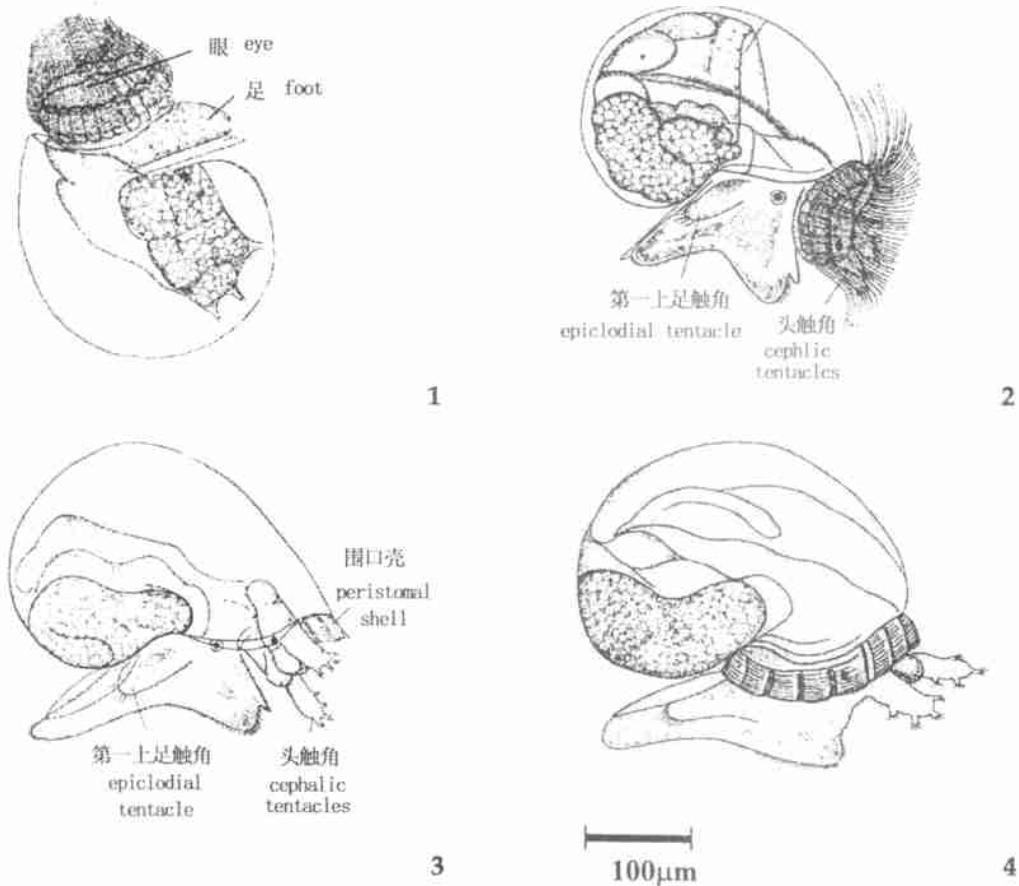


图 1 皱纹盘鲍发育早期幼体附着和变态时的变化

Fig. 1 Changes in settlement and metamorphosis during early development of *H. discus hannai*

1. 面盘幼虫后期; 2. 匍匐初期; 3. 围口壳初期; 4. 围口壳期

1: later veliger stage; 2: primary creeping stage; 3: early peristomal shell stage; 4: peristomal shell stage

1.5 氨基酸对鲍浮游幼虫的附着和变态影响

根据底栖硅藻氨基酸组成分析结果, 购买了 L- 丙氨酸, L- 天冬氨酸, L- 半胱氨酸, L- 谷氨酸, L- 甘氨酸, L- 组氨酸, L- 亮氨酸, L- 赖氨酸, L- 蛋氨酸, L- 苯丙氨酸, L- 脯氨酸, L- 丝氨酸, L- 苏氨酸, L- 酪氨酸和 L- 缬氨酸等 15 种人工合成氨基酸。将实验分为氨基酸组、底栖硅藻组和对照组, 每个实验组培育水体为 1 000 mL, 每组实验水体中垂直插入 3 张透明的聚乙烯平板(5cm × 10cm × 0.1cm, 两面表面积 100cm²), 分别投放 30 只受精后经过 80 h 发育的鲍后期面盘幼虫, 进行 3 次重复实验。氨基酸组实验时把 15 种氨基酸分别加入上述水体使其浓度为 $10^{-5} \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 。底栖硅藻组

实验时,在培育容器中加入3块附有底栖硅藻的聚乙烯平板,对照组为培育水体中不加氨基酸。

氨基酸浓度对幼虫附着和变态的影响实验,是把在各种氨基酸对幼虫附着变态的影响实验中呈现最高反应率的L-天冬氨酸和L-谷氨酸,配制成 10^{-6} , 10^{-5} , 10^{-4} mol·L⁻¹浓度的溶液,以观察不同氨基酸浓度对幼虫附着和变态的影响,其实验方法和条件同前述。所有实验都重复3次,实验数据用Statistical Analysis System(SAS Inc, 2000) program 软件,进行ANOVA方差分析,用Duncan's multiple range test^[7]处理,鉴定了在95%置信度下,平均值之间的显著度。

2 结果

2.1 底栖硅藻的氨基酸组成

6种底栖硅藻氨基酸组成分析的结果如表1所示。各种底栖硅藻中天冬氨酸含量最高,依*A. longipes*, *A. lineate*, *N. incerta*, *N. logissimia*及*N. sp.*的顺序,其含量依次为117.94, 96.96, 113.42, 60.73, 96.96, 98.24mg·(100g)⁻¹·L⁻¹;谷氨酸的含量位居第二,依次为99.23, 90.76, 102.93, 55.15, 90.76, 92.58mg·(100g)⁻¹·L⁻¹。

表1 各种底栖硅藻的氨基酸组成

Tab.1 Amino acid composition of various benthic diatoms mg·(100g)⁻¹ dry matter

组分 component	<i>Achnanthes longipes</i>	<i>Amphora lineate</i>	<i>Navicula incerta</i>	<i>Navicula pediculosa</i>	<i>Nitzschia logissimia</i>	<i>Nitzschia</i> sp.
丙氨酸(Ala)	50.01	46.54	54.98	26.49	46.54	47.80
精氨酸(Arg)	49.03	38.64	48.40	24.61	38.64	40.42
天冬氨酸(Asp)	117.94	96.96	113.42	60.73	96.96	98.24
半胱氨酸(Cys)	7.60	14.07	15.08	7.79	14.07	6.26
谷氨酸(Glu)	99.23	90.76	102.93	55.15	90.76	92.58
甘氨酸(Gly)	62.39	53.25	109.24	36.07	53.25	50.31
组氨酸(His)	21.97	15.20	19.08	10.83	15.20	12.47
异亮氨酸(Iso)	39.77	36.19	36.03	20.55	36.19	35.50
亮氨酸(Leu)	59.44	59.38	59.13	32.09	59.38	55.10
赖氨酸(Lys)	43.10	28.97	43.80	21.86	28.97	37.91
蛋氨酸(Met)	1.24	16.80	16.91	7.30	16.80	10.64
苯丙氨酸(Phe)	36.87	40.55	40.08	22.25	40.55	39.90
脯氨酸(Pro)	34.51	30.84	30.36	20.69	30.84	32.70
丝氨酸(Ser)	58.99	48.75	29.12	32.99	48.75	48.06
苏氨酸(Thr)	59.71	49.35	55.36	28.15	49.35	51.50
酪氨酸(Tyr)	31.09	23.66	33.64	15.34	23.66	21.74
氨酸(Val)	53.29	47.24	46.44	27.32	47.24	51.34
氨(Ammonia)	163.93	83.05	110.16	53.54	83.05	76.78

2.2 不同种类氨基酸对附着变态的影响

15种氨基酸和底栖硅藻对鲍浮游幼虫的附着率、变态率和反应率影响实验结果见表2。可见15种氨基酸对鲍浮游幼虫的附着率、变态率和反应率都有效。从97、115、139和171h幼虫附着和变态的观察统计看,天冬氨酸组的效应最高,谷氨酸组次之,两者的反应率都略低于天然的底栖硅藻组;单就变态率看两者还略高于硅藻组,在所有实验组差异显著($P < 0.05$)。

2.3 氨基酸浓度对幼虫附着和变态的影响

鲍浮游幼虫在 10^{-6} , 10^{-5} , 10^{-4} mol·L⁻¹浓度的L-天冬氨酸和L-谷氨酸溶液中,随着时间的延长

幼虫附着率升高, 3个浓度组中又以 $10^{-5} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 浓度组的附着率和变态率最高。在反应率研究中, 两种氨基酸的 $10^{-5} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 浓度组同样也显示了最高反应率(表3)。在所有实验组差异显著($P < 0.05$)。

表2 15种氨基酸和底栖硅藻对皱纹盘鲍浮游幼虫的附着率、变态率和反应率

Tab.2 Rate of settlement, metamorphosis and response of larval abalone on 15 amino acids and benthic diatom

氨基酸 amino acid	附着率 settlement rate			变态率 metamorphosis rate			反应率 response rate
	97h	115h	139h	115h	139h	171h	
丙氨酸(Ala)	24.45±6.94 ^c	44.45±3.85 ^d	53.33±3.34 ^d	67.46±3.64 ^{abc}	68.67±1.96 ^b	64.89±7.54 ^{bc}	87.78±1.92 ^{cd}
天冬氨酸(Asp)	50.00±3.33 ^b	75.55±3.85 ^b	80.00±5.77 ^b	82.32±4.63 ^{ab}	90.36±1.64 ^a	94.54±1.93 ^a	155.5±9.62 ^b
半胱氨酸(Cys)	20.00±3.33 ^{cd}	43.34±5.77 ^{de}	60.00±3.33 ^c	56.93±6.82 ^{bc}	57.63±6.30 ^{bcd}	65.15±10.87 ^{bc}	98.89±3.85 ^c
谷氨酸(Glu)	54.44±1.93 ^b	63.33±3.34 ^c	73.33±5.77 ^b	82.51±2.22 ^{ab}	91.07±3.90 ^a	97.02±2.59 ^a	144.4±10.72 ^b
甘氨酸(Gly)	14.44±5.09 ^{def}	36.67 ^e	46.67±3.34 ^{de}	57.58±5.25 ^{abc}	64.32±6.20 ^{bc}	69.11±2.38 ^b	78.89±5.09 ^d
组氨酸(His)	6.67±3.34 ^{gh}	28.89±9.62 ^f	38.89±10.18 ^{efg}	78.5±25.75 ^{abc}	68.62±18.29 ^b	62.02±13.64 ^{cd}	62.2±11.71 ^{ef}
亮氨酸(Leu)	14.44±3.85 ^{def}	25.56±1.93 ^{fg}	34.44±1.93 ^{gh}	61.3±10.76 ^{abc}	68.18±12.82 ^b	67.88±10.65 ^{bc}	57.7±3.85 ^{efg}
赖氨酸(Lys)	12.22±5.09 ^{efg}	25.55±3.85 ^{fg}	38.89±3.85 ^{efg}	55.56±11.98 ^c	57.81±10.09 ^{bcd}	65.97±5.95 ^{bc}	64.44±5.09 ^c
蛋氨酸(Met)	7.78±1.92 ^{gh}	13.33 ^h	23.33 ⁱ	83.33±14.43 ^a	57.14±14.29 ^{bcd}	61.90±8.25 ^{bcd}	37.78±1.92 ^{ij}
苯丙氨酸(Phe)	4.44±1.93 ^h	14.44±1.93 ^h	27.78±5.09 ^{hi}	70.00±26.46 ^{abc}	59.88±2.68 ^{bcd}	44.29±5.15 ^{ef}	40.00±6.67 ^{ij}
脯氨酸(Pro)	17.78±1.92 ^{cd}	25.56±1.93 ^{fg}	35.56±1.93 ^{gh}	64.88±9.16 ^{abc}	56.67±12.41 ^{bcd}	40.61±4.58 ^f	50.00±3.33 ^{ghi}
丝氨酸(Ser)	8.89±1.92 ^{gh}	15.56±1.93 ^h	30.00±5.77 ^{gh}	58.33±17.56 ^{abc}	55.71±5.15 ^{bcd}	55.71±5.15 ^{bcd}	46.67±8.82 ^{ghi}
苏氨酸(Thr)	8.89±1.92 ^{gh}	25.56±1.93 ^{fg}	41.11±5.09 ^{ef}	56.55±18.76 ^{bc}	50.87±5.89 ^{cd}	54.29±4.17 ^{de}	63.33±6.67 ^c
酪氨酸(Tyr)	4.44±1.93 ^h	20.00±5.77 ^{gh}	30.00±5.77 ^{gh}	59.52±10.91 ^{abc}	44.29±5.15 ^{de}	49.05±8.61 ^f	44.44±6.94 ^{hij}
氨酸(Val)	5.56±1.93 ^{gh}	28.89±1.92 ^f	35.56±1.93 ^{gh}	62.04±11.23 ^{abc}	43.94±6.94 ^g	56.36±9.62 ^{bcde}	55.56±3.85 ^{efgh}
硅藻 diatom	70.00±8.82 ^a	92.22±8.39 ^a	93.33±6.67 ^a	73.81±5.41 ^{abc}	87.12±4.65 ^a	95.40±3.99 ^a	182.22±10.18 ^a
对照 control	4.44±1.93 ^h	14.44±1.93 ^h	24.44±1.93 ⁱ	53.33±5.77 ^c	31.55±5.15 ^e	36.31±7.22 ^f	33.33±3.33 ^j

注: 1. 对照为空白聚乙烯板; 2. 表中数据为3个重复组的平均值, 差异显著($P > 0.05$)

Notes: 1. control is non diatom on the polyethylene plates; 2. values (mean ±SD of three replicate groups) in the same column not sharing a common superscript are significantly different ($P > 0.05$)

表3 不同浓度天冬氨酸和谷氨酸鲍幼虫的附着率、变态率和反应率

Tab.3 Rate of settlement, metamorphosis and response of larval abalone on two kinds of amino acids and different concentration

氨基酸浓度 ($\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$) amino acid concentration	附着率 settlement rate			变态率 metamorphosis rate			反应率 response rate
	97h	115h	139h	115h	139h	171h	
天冬氨酸 Asp	10^{-6}	44.44±5.09 ^a	64.44±6.94 ^b	66.67±8.82 ^a	75.97±4.31 ^{ab}	73.24±6.79 ^b	75.06±3.17 ^b
	10^{-5}	50.00±3.33 ^a	75.56±3.85 ^a	80.00±5.77 ^a	82.32±4.63 ^a	90.36±1.64 ^a	94.54±1.93 ^a
	10^{-4}	27.78±6.94 ^b	41.11±3.85 ^c	42.22±5.09 ^c	72.96±3.85 ^b	65.90±10.08 ^b	71.60±10.14 ^b
谷氨酸 Glu	10^{-6}	48.89±1.92 ^b	56.67±3.33 ^{ab}	63.33 ^{ab}	76.54±5.44 ^a	75.44±8.04 ^b	75.44±8.04 ^b
	10^{-5}	54.44±1.92 ^a	63.33±3.33 ^a	73.33±5.77 ^a	82.51±2.22 ^a	91.07±3.90 ^a	97.02±2.59 ^a
	10^{-4}	43.33±3.33 ^c	51.11±8.39 ^b	55.56±10.72 ^b	79.29±11.29 ^a	58.33±3.02 ^c	70.77±7.00 ^b

注: 表中数据为3个重复组的平均值, 差异显著($P > 0.05$)

Notes: Values (mean ±SD of three replicate groups) in the same column not sharing a common superscript are significantly different ($P > 0.05$)

3 讨论

Scheltema^[8]报导嵌线螺属的金口嵌线螺(*Cymatium nicobaricum*)和*C. parthenopeum*等可以延期120d变态, 指出无脊椎动物幼虫大部分经过浮游和匍匐期, 变态之前的幼虫虽寻找附着物质, 但若碰不到合适的基质或诱导物质, 则会延长浮游幼虫期, 出现推迟变态(delayed metamorphosis)的现象。这种现象因种而异, 但找不到合适的环境。延长浮游期的同时, 幼虫会降低对附着基质的选择要求, 选择差一些的场所附着, 最终因未能及时变态, 过了浮游期限而死亡。本实验中氨基酸组在受精后139h观察时, 虽然有些幼虫未能附着, 一直浮游, 最终死亡。究其原因, 我们认为可能与没有饵料, 营养不足有关。在本实验中, 底栖硅藻组的附着率最高, 因为, 底栖硅藻不但有促进幼体附着的物质, 而且还是幼虫的饵料生物

为幼虫发育提供营养。从以上结果可以判断,浮游幼虫后期和匍匐幼体初期,底栖硅藻的有无会影响鲍浮游幼虫的附着和变态,即底栖硅藻的存在是幼虫附着变态的必要条件。螺旋虫(*Spirorbis* sp.)对海藻类有物种特异性依赖关系^[9,10]。底栖硅藻促进鲍幼体变态也与其氨基酸组成成分有密切关系;天冬氨酸和谷氨酸含量高的长柄曲壳藻(*A. longipes*)和 *N. incerta* 对促进鲍的变态效果更好。

L-谷氨酸是一种兴奋性神经递质,促进钾离子运输到脑部,而L-天冬氨酸亦系兴奋性神经传递物质,与毒性物质的吸收排泄、DNA和RNA的合成、抗体生成有关。这两种物质诱导鲍幼体附着的机制,目前推断是通过刺激幼虫足部及第三触角等感觉器官,从而诱导附着。Kawahara等^[11]认为L-谷氨酸会促使自然海水中高达 $9\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 的氯化钾传递到中枢神经系统,从而诱导变态。以上推断与本实验结果L-谷氨酸和L-天冬氨酸对鲍浮游幼虫附着和变态有较强的促进作用一致,底栖硅藻诱导作用更强,这是因为底栖硅藻不但含有促进幼体附着的物质,而且是饵料,能为幼虫发育提供营养。因此,单纯用氨基酸难以替代底栖硅藻。另外,还应该分析底栖硅藻中氨基酸以外的组成成分并试验其对幼虫附着和变态的作用。当然,氨基酸是幼虫附着和变态最重要物质,也有必要进一步深入研究。虽然氨基酸不能完全替代底栖硅藻类,但在有底栖硅藻的条件下加入L-谷氨酸和L-天冬氨酸能进一步提高鲍浮游幼虫附着率和变态率。

Morse等^[6]曾报告珊瑚藻体内含浓度高达 $10^{-2}\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 的 γ -氨基丁酸(GABA),在 $10^{-6}\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ GABA浓度时,鲍浮游幼虫的附着率高达98%。但是,Akashige等^[12]指出鲍浮游幼虫在有含 $10^{-6}\sim 10^{-4}\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 的GABA培育海水中,鲍浮游幼虫的纤毛运动会抑制,发生脱落而后死亡。因此可以推测上述化学物质在高浓度下对幼虫有毒害作用。

在本实验中,使用 $10^{-4}\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 浓度的L-天冬氨酸和L-谷氨酸的培育海水,未观察到鲍幼虫纤毛运动被抑制和脱落现象,也未出现个体死亡。因此,可断定 $10^{-6}\sim 10^{-4}\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 的L-天冬氨酸和L-谷氨酸对鲍幼体无毒害作用。L-谷氨酸和L-天冬氨酸比其他氨基酸实验组和对照实验组效果好,且在 $10^{-5}\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 浓度下呈现最好效果。故可以认为,促进鲍幼体附着和变态的最适L-谷氨酸和L-天冬氨酸浓度为 $10^{-5}\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 。

参考文献:

- [1] Nomarr Boudreau K, Burns D, Cooke C A, et al. A simple technique for detection of feeding in newly metamorphosed abalone[J]. Aquac, 1986, 51: 313- 317.
- [2] Harada K. Feeding attraction activities of nucleic acid related compounds for abalone, oriental weatherfish and yellowtail[J]. Bull Jap Soc Sci Fish, 1986, 52(11): 1961- 1968.
- [3] Maria T V, Margarita C T, Ragael S S. Attraction and palatability activities in juvenile abalone (*Haliotis fulgens*), nine ingredients used in artificial diets[J]. Aquac, 1994, 127: 19- 28.
- [4] Harada K, Kawasaki O. The attractive effect of seaweeds based on the behavioral responses of young herbivorous abalone *Haliotis discus*[J]. Bull Jap Soc Sci Fish, 1982, 48: 617- 621.
- [5] Heslinga G A. Larval development, settlement and metamorphosis of the tropical gastropod *Trochus nilotocus*[J]. Malacologia, 1981, 20, : 349- 357.
- [6] Morse D E, Hooker N, Duncan H, et al. γ aminobutyric acid, neurotransmitter, induces planktonic abalone larvae to settle and begin metamorphosis[J]. Science, 1979, 204: 407- 410.
- [7] Duncan D B. Multiple range and multiple F test[J]. Biometrics, 1955, 11: 1- 42.
- [8] Scheltema R S. Larval dispersal as a means of genetic exchange between geographically separated populations of shallow water benthic marine gastropods[J]. Biol Bull, 1971, 140: 284- 322.
- [9] Crisp D J, Williams G B. Effects of extracts from fucoids in promoting settlement of epiphytic polyzoa[J]. Nature, 1960, 188: 1206- 1207.
- [10] Knight Jones E W, Bailey J H, Issac M J. Choice of algae by larvae of *Spirorbis spiralis* [A]. Crisp D J: Proc 4th Europ Mar Biol Symp[C]. Cambridge Univ Press, London, 1971, 89- 104.
- [11] Kawamura I, Hirose S, Ito S, et al. Effect of KCl on the settlement and metamorphosis of the sea urchin, *Pseudoacentrotus depressus*[J]. Suisanzoshoku, 1995, 43: 237- 244.
- [12] Akashige S, Seki T, Karro H, et al. Effects of γ aminobutyric acid and certain neurotransmitters on the settlement and the metamorphosis of the larvae of *Haliotis discus hannai* Ino (Gastropoda)[J]. Bull Tohoku Reg Fish Res Lab, 1981, 43: 37- 45.