

信息与资料 **Information and Data****五种底栖硅藻(鲍鱼饵料)的脂肪酸组成分析**黄鸿洲^{1,*}, 康燕玉^{1,2,*}, 梁君荣^{1,**}, 高亚辉¹¹厦门大学生命科学学院, 福建厦门361005; ²厦门市农产品质量安全检验检测中心, 福建厦门361000**Analysis of Fatty Acid Composition in Five Strains of Diatoms Used as the Food of Abalone**HUANG Hong-Zhou^{1,*}, KANG Yan-Yu^{1,2,*}, LIANG Jun-Rong^{1,**}, GAO Ya-Hui¹¹School of Life Sciences, Xiamen University, Xiamen, Fujian 361005, China; ²Quality and Security Checking Center of Farm Produce of Xiamen, Xiamen, Fujian 361000, China

提要: 采用气相色谱分析了5种从鲍鱼育苗池中分离获得的底栖硅藻的脂肪酸组成。结果表明, 作为鲍鱼饵料的5种硅藻的C_{16:0}和C_{16:1}含量都很高, 达总脂肪酸的40%~80%, 是5种硅藻中脂肪酸的主要成分。C_{20:5}的含量均较高, 而C_{22:6}含量均很低。其中, 咖啡双眉藻的C_{20:5}明显高于其他4种, 且C_{20:5}、C_{20:4}、C_{18:2}、C_{18:3}等4种脂肪酸的总含量也最高。而C_{16:0}、C_{18:0}、C_{18:1}、C_{20:4}、C_{20:5}、C_{22:5}脂肪酸的总含量及C₁₆系列脂肪酸和C₂₀系列高不饱和脂肪酸的总含量在舟形藻(MMDL51102)中最高。

关键词: 底栖硅藻; 脂肪酸组成; 鲍鱼饵料; 气相色谱分析

鲍鱼具有很高的经济价值和营养价值, 而其天然资源远远不能满足人们日益增长的需求, 人工养殖鲍鱼已经在世界范围迅速发展起来, 鲍鱼养殖技术也越来越受到世界各国的重视(李太武等2004)。鲍鱼对脂肪的需求量较低, 但其中的必需脂肪酸(essential fatty acid, EFA), 尤其是高度不饱和脂肪酸对幼鲍发育却至关重要。必需脂肪酸的主要作用是维持细胞的正常功能, 并在动物生长中作为前列腺素和其他花生酸的前体而发挥作用(杜少波2000)。Dunstan等(1996)结合前人的研究认为, 鲍鱼体内的主要脂肪酸包括C_{16:0}、C_{18:0}、C_{18:1}、C_{20:4}、C_{20:5}和C_{22:5}, 其中的C_{20:5(n-3)}[二十碳五烯酸(eicosapentaenoic acid, EPA)]对鲍鱼的生长具有极其重要的作用, 它能显著提高鲍鱼的生长和饲料的转化率, 改善鲍鱼的繁殖能力, 而其他系列的不饱和脂肪酸也有一定的协同作用(Mai等1996a)。前人对皱纹盘鲍、绿唇鲍、黑唇鲍和绿鲍的研究结果表明, 鲍鱼具有将C_{18:2}和C_{18:3}分别转化成C_{20:4}和C_{20:5}的能力, 而C_{20:4(n-6)}和C_{20:5(n-3)}之间的协同效应产生各自的脂肪酸衍生物对鲍鱼的营养生理有一定的影响(Dunstan等1996; Uki等1986; Durazo-Beltrán等2003; Nelson等2002)。和其他海洋生物相比而言, 鲍鱼中的C_{20:5(n-3)}

(EPA)含量较高, 但是其C_{22:6}的含量却非常低。另外, Dunstan等(1996)用富含C₁₆系列脂肪酸的饵料喂养鲍鱼发现, 鲍鱼体内的C₂₀系列高不饱和脂肪酸的含量显著升高。作为稚鲍主要饵料生物的底栖硅藻, 其脂肪酸含量丰富, 是鲍鱼生长中很长阶段的优良饵料, 对稚鲍到成鲍的发育过程有重大影响(李太武等2004; Picos-García等2000; Kawamura等1995, 1998; 高绪生等2000; Daume等2000)。本文测定并比较了饵料底栖硅藻中C_{20:5}和其他重要的脂肪酸的组成, 试图通过分析脂肪酸组成探讨硅藻的饵料效率。希望从脂肪酸的角度出发, 找出评判鲍鱼饵料优劣的标准, 并用于评判所测定硅藻的开发利用价值, 利于指导鲍鱼养殖和育苗。

材料与方法

采用水滴法和毛细管法从福建东山鲍鱼池中

收稿 2006-09-29 修订 2007-03-13
 资助 福建省自然科学基金(B0510005)和福建省科技计划重点项目(2003N053)。
 * 同等贡献。
 ** 通讯作者(E-mail: sunljr@163.com; Tel: 0592-2181386)。

分离出5种硅藻, 包括3种舟形藻(*Navicula* sp, 株系号分别为: MMDL51101、MMDL51102和MMDL51111)各1株, 亚历山大菱形藻(*Nitzschia alexandria*, 株系号为MMDL538)1株和咖啡双眉藻(*Amphora coffeaeformis*, 株系号为MMDL51011)1株。实验藻种置于250 mL锥形瓶中培养, 培养液为f/2培养基, 盐度30‰~32‰, 培养温度20℃, 光照强度为72 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, 光周期L:D=12 h:12 h。实验藻种生长到指数生长期末期时收集藻细胞(已有实验证明硅藻生长到指数生长期末期时脂肪酸含量最高, 另文发表), Watman 玻璃纤维滤膜过滤, 自然风干, 准确称重后放入试管内充氮气密封, -20℃下保存, 待测脂肪酸。

仪器有紫外分光光度计(UNICAM UV300)、光照培养箱(Sanyo growth cabinet)、PX系列人工气候箱(PYX-800Q-C)、显微镜(Olympus BH-2)、KQ-100DB型数控超声波清洗器和气相色谱仪(VARIAN CP3800)。不饱和脂肪酸系列标准品系美国Nu-chek公司生化试剂, 纯度大于99%。正己烷、乙醚、氯仿、甲醇和丙酮均为色谱纯, 盐酸为分析纯。

气相色谱检测脂肪酸时考虑到样品处理过程中不可避免的损失和脂肪酸甲酯的转化率问题, 本文采用内标法, 以海洋微藻中含量甚微的 $\text{C}_{19:0}$ 作为内标进行检测。检测时, 将冻存的200 mg带膜藻粉放入带盖的螺口试管1中, 加入4 mL $\text{CHCl}_3\text{-CH}_3\text{OH}$ 混合液(V/V=2:1), 充 N_2 1 min后密闭封口, 超声清洗器超声萃取30 min(温度低于40℃)。同时在带螺旋帽的水解管2中加入0.3 mL的内标溶液(0.2 $\text{mg}\cdot\text{mL}^{-1}$), 以 N_2 吹干后, 倒入螺口试管1中, 摇匀反应。再用 N_2 将螺口试管1中的溶液浓缩吹干, 加入2 $\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ $\text{HCl-CH}_3\text{OH}$ 溶液, 充 N_2 后用聚四氟乙烯材料密封瓶口并旋上螺帽, 置于100℃水浴中40 min; 冷却后用2 mL正己烷分2次提取, 合并提取液(正己烷层)于带盖离心管中, N_2 吹至100 μL , 气相色谱进行分析。分析条件为: 程序升温分4个阶段, 即(1) 50~120℃, 以20 $^\circ\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$ 的升温, 在120℃恒温1 min; (2) 120~180℃, 以6 $^\circ\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$ 的升温, 在180℃恒温1 min; (3) 180~210℃, 以5 $^\circ\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$ 的升温,

在210℃恒温10 min; (4) 210~280℃, 以3 $^\circ\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$ 的升温, 在280℃恒温5 min。进样器温度为300℃, 氢火焰离子检测器温度为300℃, 载气为高纯氮, 柱头压力0.42 MPa, 恒流控制, 氮气流量30 $\text{mL}\cdot\text{min}^{-1}$, 氢气流30 $\text{mL}\cdot\text{min}^{-1}$, 空气流量300 $\text{mL}\cdot\text{min}^{-1}$, 分流比1:18, 进样量3 μL (蔡阿根等1998; 廖启斌等2000)。

实验结果

5种硅藻的各类脂肪酸含量占总脂肪酸和干重的百分比分别见表1和表2。从表1可以看出, 脂肪酸 $\text{C}_{16:0}$ 和 $\text{C}_{16:1}$ 的含量很高, 两者之和达总脂肪酸含量的40%~80%, 是5种硅藻中脂肪酸的主要成分。但相比之下咖啡双眉藻 $\text{C}_{16:0}$ 的含量少于其他4种藻。5种硅藻中都不含有 $\text{C}_{20:1}$, 且 $\text{C}_{22:6}$ 的含量也非常低。比较5种硅藻脂肪酸组成结果表明, 咖啡双眉藻的 $\text{C}_{20:5}$ 明显高于其他4种, 是其它4种硅藻3倍以上, 而其 $\text{C}_{20:4}$ 的含量相对较低, 而作为鲍鱼生长所需的另外2种脂肪酸 $\text{C}_{18:1}$ 和 $\text{C}_{18:2}$ 在咖啡双眉藻中的含量也要高于其它4种。此外, 5种硅藻的 $\text{C}_{20:5}$ 的含量明显高于 $\text{C}_{22:6}$ 的含量。

将这些硅藻的5种脂肪酸 $\text{C}_{16:0}$ 、 $\text{C}_{18:0}$ 、 $\text{C}_{18:1}$ 、 $\text{C}_{20:4}$ 和 $\text{C}_{20:5}$ (这5种脂肪酸也是鲍鱼体内的主要脂肪酸组成)占细胞干重的比例(表2)分别相加, 所得脂肪酸占细胞干重的总比例分别是舟形藻(MMDL51101) 3.67%、亚历山大菱形藻3.19%、舟形藻(MMDL51102) 6.30%、舟形藻(MMDL51111) 1.68%、咖啡双眉藻2.20%。很明显这几种脂肪酸的含量在舟形藻(MMDL51102)中最高。将测定的各硅藻中对鲍鱼生长有较大影响的4种脂肪酸 $\text{C}_{18:2}$ 、 $\text{C}_{18:3}$ 、 $\text{C}_{20:4}$ 和 $\text{C}_{20:5}$ 占干重的百分比相加得到: 舟形藻(MMDL51101) 0.45%、亚历山大菱形藻0.66%、舟形藻(MMDL51102) 0.61%、舟形藻(MMDL51111) 0.34%、咖啡双眉藻1.58%。可见, 这4种脂肪酸的含量在咖啡双眉藻中最高。5种硅藻中所测定的 C_{16} 系列脂肪酸[$\text{C}_{16:0}$ 、 $\text{C}_{16:1(n-7)}$]和 C_{20} 系列高不饱和脂肪酸[$\text{C}_{20:4(n-6)}$ 、 $\text{C}_{20:5(n-3)}$]占干重的百分比之和分别是舟形藻(MMDL51101) 1.91%、亚历山大菱形藻4.80%、舟形藻(MMDL51102) 5.01%、舟形藻(MMDL51111) 1.77%、咖啡双眉藻4.50%。比较

表1 五种硅藻中各种脂肪酸占总脂肪酸的比例

硅藻种类	%						
	C _{14:0}	C _{15:0}	C _{16:0}	C _{16:1(n-7)}	C _{18:0}	C _{18:1(n-9)}	C _{18:2(n-6)}
舟形藻 MMDL51101	3.35	0.52	52.28	25.35	0.15	1.44	1.63
亚历山大菱形藻	4.99	0.26	27.34	45.92	—	1.07	0.34
舟形藻 MMDL51102	5.67	0.27	45.27	36.20	0.16	0.79	1.31
舟形藻 MMDL5111	3.02	—	29.44	33.56	—	2.14	0.93
咖啡双眉藻	9.16	—	6.88	38.55	—	2.86	1.94

硅藻种类	%					其他脂肪酸成分	总脂肪酸/% (DW)
	C _{18:3(n-3)}	C _{20:1(n-9)}	C _{20:4(n-6)}	C _{20:5(n-3)}	C _{22:6(n-3)}		
舟形藻 MMDL51101	—	—	3.28	2.48	0.17	9.35	6.16
亚历山大菱形藻	0.61	—	0.90	5.32	—	13.27	9.21
舟形藻 MMDL51102	0.83	—	0.47	2.08	0.17	6.79	12.92
舟形藻 MMDL5111	—	—	2.80	4.01	—	24.10	4.39
咖啡双眉藻	—	—	0.78	17.04	—	22.79	7.99

—表示未检出。下表同此。

表2 五种硅藻中各种脂肪酸成分占细胞干重的比例

硅藻种类	%						
	C _{14:0}	C _{15:0}	C _{16:0}	C _{16:1(n-7)}	C _{18:0}	C _{18:1(n-9)}	C _{18:2(n-6)}
舟形藻 MMDL51101	0.21	0.03	3.22	1.56	0.01	0.09	0.10
亚历山大菱形藻	0.46	0.02	2.52	4.23	—	0.10	0.03
舟形藻 MMDL51102	0.73	0.03	5.85	4.68	0.02	0.10	0.17
舟形藻 MMDL5111	0.13	—	1.29	1.47	—	0.09	0.04
咖啡双眉藻	0.73	—	0.55	3.08	—	0.23	0.16

硅藻种类	%					其他脂肪酸成分
	C _{18:3(n-3)}	C _{20:1(n-9)}	C _{20:4(n-6)}	C _{20:5(n-3)}	C _{22:6(n-3)}	
舟形藻 MMDL51101	—	—	0.20	0.15	0.01	0.58
亚历山大菱形藻	0.06	—	0.08	0.49	—	1.22
舟形藻 MMDL51102	0.11	—	0.06	0.27	0.02	0.88
舟形藻 MMDL5111	—	—	0.12	0.18	—	1.05
咖啡双眉藻	—	—	0.06	1.36	—	1.82

发现, 这几种脂肪酸在舟形藻(MMDL51102)中含量最高, 亚历山大菱形藻和咖啡双眉藻次之, 而在舟形藻(MMDL51101)和舟形藻(MMDL5111)中的含量则要明显少于其他3种硅藻。

将5种硅藻中C_{18:2}、C_{18:3}、C_{20:4}、C_{20:5}这4种脂肪酸占细胞干重的百分比(图1)比较发现, C_{18:2}在舟形藻(MMDL51102)和咖啡双眉藻中的含量较高; C_{18:3}在舟形藻(MMDL51102)中的含量最高; C_{20:4}在舟形藻(MMDL51101)中的含量较高, 在其他4种硅藻中分布较为平均; 而C_{20:5}在咖啡双眉藻的含量要明显高于其他4种硅藻, 其他4种硅

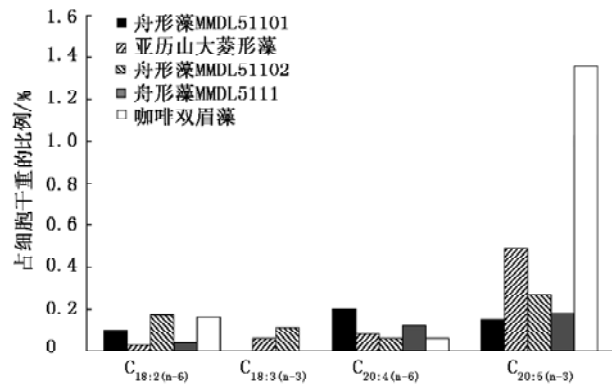


图1 五种硅藻中4种脂肪酸占细胞干重的比例

藻处于一个较平均的低水平。另外,将这4种脂肪酸占干重的百分比按一个整体比较发现, $C_{18:2}$ 、 $C_{18:3}$ 和 $C_{20:4}$ 的含量在这5种硅藻中普遍较低,而 $C_{20:5}$ 的含量相对较高,这一点在咖啡双眉藻表现的特别明显,其 $C_{20:5}$ 表现出明显的高含量。

讨 论

应该说,评定一种硅藻的饵料效率往往从其个体大小、附着力和营养组分等多个方面综合考虑。就饵料的脂肪含量而言,拥有较低脂肪含量(5%左右)和较高多不饱和脂肪酸(polyunsaturated fatty acid, PUFA)含量的饵料有利于鲍鱼生长(Mai等1996b;石军等2002)。拥有这一特征的底栖硅藻将会是鲍鱼生长较为理想的饵料,而不同时期鲍鱼饵料的不同脂肪酸组成可能是影响鲍鱼生长

发育的重要因素。因此,本文就仅从脂肪酸组成角度探讨底栖硅藻作为稚鲍饵料生物的饵料效率。

从本文结果可知,在所分析的5种硅藻脂肪酸组成有比其他藻种更适合鲍鱼生长的共同特性。如5种硅藻的脂肪酸 $C_{20:5}$ 的含量相对较高,而 $C_{20:6}$ 含量甚微(表1)。其中,咖啡双眉藻的 $C_{20:5}$ 明显高于其他4种,且 $C_{20:5}$ 、 $C_{20:4}$ 、 $C_{18:2}$ 、 $C_{18:3}$ 等4种脂肪酸的总含量也最高。将前人研究的稚鲍藻类饵料的脂肪酸组成列表(表3)比较,前人认为拥有较高饵料效率的3种硅藻舟形藻、卵形藻和菱形藻(高绪生等2000;Daume等2000)中,舟形藻和菱形藻都具有较高的 $C_{20:5}$ 含量,分别占总脂肪酸的26.5%和27.8%,但其 $C_{20:4}$ 、 $C_{18:2}$ 和 $C_{18:3}$ 的含量并不高。而卵形藻虽然没有很高的 $C_{20:5}$ 含量,但其 $C_{18:3}$ 的含量明显高于舟形藻和菱形藻。有研

表3 稚鲍饵料藻类的脂肪酸成分占总脂肪酸的比例

藻的种类	%						
	$C_{14:0}$	$C_{15:0}$	$C_{16:0}$	$C_{16:1(n-7)}$	$C_{18:0}$	$C_{18:1(n-9)}$	$C_{18:2(n-6)}$
三角褐指藻*	8.92	-	12.97	24.44	7.90	0.99	1.55
新月菱形藻*	6.68	—	14.45	19.36	1.01	1.58	2.21
球等鞭金藻	8.66	—	15.06	4.11	0.50	13.60	8.51
亚心形扁藻	1.28	—	32.90	—	—	9.81	8.17
青岛大扁藻	0.64	—	21.06	—	—	7.14	4.30
盐藻	0.42	—	18.67	—	—	4.50	6.08
衣藻	0.87	—	24.84	1.04	0.99	0.38	4.17
栅藻	0.78	0.74	42.57	1.09	1.08	10.36	3.91
微囊藻	9.34	2.29	28.57	0.50	6.33	5.00	4.01
水华鱼腥藻	0.96	0.49	31.25	16.81	3.99	5.50	7.59
卵形隐藻*	0.54	—	17.64	0.28	1.44	0.99	2.83
舟形藻*	6.0	0.3	18.7	19.4	1.1	3.2	2.7

藻的种类						参考文献
	$C_{18:3(n-3)}$	$C_{20:1(n-9)}$	$C_{20:4(n-6)}$	$C_{20:5(n-3)}$	$C_{22:6(n-3)}$	
三角褐指藻*	1.02	—	—	19.13	0.88	陆开宏和林霞 2001
新月菱形藻*	0.41	—	—	27.80	—	陆开宏和林霞 2001
球等鞭金藻	8.55	—	—	10.20	7.58	陆开宏和林霞 2001
亚心形扁藻	15.28	—	1.79	5.89	—	俞建江等 1999
青岛大扁藻	22.53	—	0.90	4.82	—	俞建江等 1999
盐藻	38.38	—	—	—	—	俞建江等 1999
衣藻	26.68	—	—	—	—	曹吉祥等 1997
栅藻	11.76	—	—	—	—	曹吉祥等 1997
微囊藻	2.96	—	—	—	—	曹吉祥等 1997
水华鱼腥藻	17.37	—	—	—	—	曹吉祥等 1997
卵形隐藻*	19.31	—	0.55	15.53	3.57	曹吉祥等 1997
舟形藻*	2.0	—	—	26.5	3.2	李荷芳和周汉秋 1999

* 表示硅藻。

究表明, 鲍鱼具有将 $C_{18:2}$ 和 $C_{18:3}$ 转化成 $C_{20:4}$ 和 $C_{20:5}$ 的能力, 这种能力是随着鲍鱼体内消化系统的发育而逐渐完善的(Dunstan 等 1996; Johnston 等 2005), 推测卵形藻更适合作为稚鲍后期的饵料食物。这一推测与聂宗庆和王素平(2002)的结果一致。正因为 $C_{20:5}$ 对稚鲍的生长显然有较大的影响, 因此饵料生物中 $C_{20:5}$ 含量的高低就成了评判稚鲍饵料优劣的一个重要指标。从表 3 所列的稚鲍饵料脂肪酸组成来看, 硅藻饵料的 $C_{20:5}$ 含量明显高于其他藻种, 而本实验的 5 种硅藻中咖啡双眉藻的 $C_{20:5}$ 含量及 $C_{20:5}$ 、 $C_{20:4}$ 、 $C_{18:2}$ 、 $C_{18:3}$ 等 4 种脂肪酸的总含量最高, 值得进一步开发利用。

就 $C_{16:0}$ 、 $C_{18:0}$ 、 $C_{18:1}$ 、 $C_{20:4}$ 、 $C_{20:5}$ 和 $C_{22:5}$ 这几种鲍鱼体内的主要脂肪酸而言, 其总含量在舟形藻(MMDL51102)中最高。且值得一提的是, 5 种硅藻 $C_{16:0}$ 和 $C_{16:1}$ 的含量都很高, 达总脂肪酸的 40%~80%, 远远高于其他海洋藻类(表 3)。现已有研究证实富含 C_{16} 系列脂肪酸的饵料喂养鲍鱼, 可以显著提高鲍鱼体内的 C_{20} 系列高不饱和脂

肪酸的含量(Dunstan 等 1996)。而测定的 5 种硅藻中 C_{16} 系列脂肪酸和 C_{20} 系列高不饱和脂肪酸的总含量在舟形藻 MMDL51102 中也最高。所以, 舟形藻(MMDL51102)可能具有进一步开发利用的潜力。但目前尚不了解 $C_{16:0}$ 和 $C_{16:1}$ 对鲍鱼生长发育的具体影响, 因此还需在今后的工作中进一步确认。

由于稚鲍和成鲍在饵料上存在较大的差异, 稚鲍主要以微型的底栖硅藻为主要食物, 而成鲍的主要饵料转变为绿藻、红藻和硅藻。现有研究认为, 具有较高饵料效率的海带和裙带菜(高绪生等 2000; 聂宗庆等 2000; 黄晓芳等 1995)在 $C_{20:5}$ 的含量上并不是占有绝对的优势, 但它们的 $C_{20:5}$ 、 $C_{20:4}$ 、 $C_{18:2}$ 和 $C_{18:3}$ 的含量较高, 且这 4 种脂肪酸的含量分布较为平均(表 4)。从混合饵料喂养鲍鱼的实验(李太武等 2004; 高绪生等 2000; 张朝晖等 1999)中可以看出, $C_{20:5}$ 、 $C_{20:4}$ 、 $C_{18:2}$ 和 $C_{18:3}$ 在具有较好互补性的石莼和紫菜组合、石莼和裙带菜组合以及石莼和江蓠组合中达到较均衡的高水

表 4 成鲍饵料藻类的脂肪酸成分占总脂肪酸的比例

藻的种类	$C_{14:0}$	$C_{15:0}$	$C_{16:0}$	$C_{16:1(n-7)}$	$C_{18:0}$	$C_{18:1(n-9)}$	$C_{18:2(n-6)}$	%
紫菜	17.83	0.38	1.26	6.73	—	—	44.76	
石花菜	3.7	0.7	33.7	3.6	1.3	4.5	1.5	
扁江蓠	3.4	0.2	27.8	1.4	0.9	4.7	1.0	
小珊瑚藻	1.8	0.7	32.6	3.0	1.9	4.1	2.5	
鼠尾藻	2.9	—	21.3	10.0	1.6	11.7	7.6	
厚点叶藻	8.9	1.4	38.7	4.3	3.1	18.0	3.8	
海带	5.4	0.5	16.8	6.6	0.5	12.6	11.1	
裙带菜	2.1	—	11.5	4.7	0.7	5.6	4.2	
石莼	1.1	0.1	24.8	0.8	0.3	7.6	4.6	
刺松藻	1.3	2.1	22.2	6.9	0.7	6.5	5.3	

藻的种类	$C_{18:3(n-3)}$	$C_{20:1(n-9)}$	$C_{20:4(n-6)}$	$C_{20:5(n-3)}$	$C_{22:6(n-3)}$	参考文献
紫菜	5.25	—	—	1.38	3.25	黄俊辉等 2001
石花菜	1.1	—	29.4	13.3	—	李宪瑾等 2002
扁江蓠	0.3	—	58.4	0.1	—	李宪瑾等 2002
小珊瑚藻	2.1	1.0	6.6	31.5	—	李宪瑾等 2002
鼠尾藻	9.4	1.0	12.6	9.2	—	李宪瑾等 2002
厚点叶藻	3.1	—	2.4	4.7	—	李宪瑾等 2002
海带	9.3	—	14.3	8.1	—	李宪瑾等 2002
裙带菜	11.5	—	12.0	14.8	—	李宪瑾等 2002
石莼	20.5	—	—	1.3	—	李宪瑾等 2002
刺松藻	18.3	—	5.8	7.9	—	李宪瑾等 2002

平。正因为成鲍已经具备了将 $C_{18:2}$ 和 $C_{18:3}$ 转化成 $C_{20:4}$ 和 $C_{20:5}$ 的能力, 并且 $C_{20:4}$ 和 $C_{20:5}$ 的衍生物对鲍鱼的生长发育均有作用(Dunstan 等 1996; Uki 等 1986; Durazo-Beltrán 等 2003; Nelson 等 2002)。所以, 成鲍的饵料需从 $C_{20:5}$ 、 $C_{20:4}$ 、 $C_{18:2}$ 和 $C_{18:3}$ 等 4 种脂肪酸的含量综合加以考虑, 拥有较高含量且分布较为平均的上述 4 种脂肪酸的藻类可能是成鲍较为理想的饵料。

总之, 本文所测定的 5 种作为稚鲍的饵料底栖硅藻中咖啡双眉藻的 $C_{20:5}$ 含量最高, 其 $C_{20:5}$ 、 $C_{20:4}$ 、 $C_{18:2}$ 、 $C_{18:3}$ 4 种脂肪酸的总含量也高于其他试验藻种, 可能最有利于稚鲍生长, 拥有较高的饵料效率和开发利用的价值。另外, 舟形藻(MMDL51102)中 $C_{16:0}$ 、 $C_{18:0}$ 、 $C_{18:1}$ 、 $C_{20:4}$ 、 $C_{20:5}$ 、 $C_{22:6}$ 这几种鲍鱼体内的主要脂肪酸的总含量最高, 且其 C_{16} 系列脂肪酸和 C_{20} 系列高不饱和脂肪酸的总含量也最高, 可能有进一步开发利用的潜力。

参考文献

- 蔡阿根, 郑爱榕, 李文权, 廖启斌, 陶瑞军, 陈清花(1998). 海洋微藻中脂肪酸的气相色谱分析. 海洋技术, 17 (4): 64~68
- 曹吉祥, 李德尚, 王金秋(1997). 10 种淡水常见浮游藻类营养组成的研究. 中山大学学报(自然科学版), 36 (2): 22~27
- 杜少波(2000). 皱纹盘鲍稚鲍消化生理和营养需求. 中国饲料, (11): 21~23
- 高绪生, 王琦, 王仁波, 李霞(2000). 鲍鱼. 沈阳: 辽宁科学技术出版社, 60~69, 86~94
- 黄俊辉, 曾庆孝, 余纲哲(2001). 南海海域数种海藻总脂质及脂肪酸含量的比较. 湛江海洋大学学报, 21 (2): 23~29
- 黄晓芳, 邹品, 张佩毅, 刘卫东, 高绪生(1995). 刺松藻对皱纹盘鲍的饵料效果. 水产科学, 14 (5): 8~9
- 李荷芳, 周汉秋(1999). 海洋微藻脂肪酸组成的比较研究. 海洋与湖沼, 30 (1): 34~40
- 李太武, 苏秀榕, 丁明进, 宋林生, 刘保忠(2004). 鲍的生物学. 北京: 科学出版社, 65~74
- 李宪瑾, 范晓, 韩丽君, 严小军, 姜清香(2002). 中国黄、渤海常见大型海藻的脂肪酸组成. 海洋与湖沼, 33 (2): 215~224
- 廖启斌, 李文权, 陈清花, 郑爱榕(2000). 海洋微藻的气相色谱分析. 海洋通报, 19 (6): 66~71
- 陆开宏, 林霞(2001). 13 种饵料微藻的脂肪酸组成特点及在河蟹育苗中的应用. 宁波大学学报(理工版), 14 (3): 27~32
- 聂宗庆, 王素平(2002). 鲍育苗生物学研究新进展. 湛江海洋大学学报, 22 (3): 78~82
- 聂宗庆, 王素平, 陈才松, 刘慧玲(2000). 不同食物与放养水层对九孔鲍生长的影响. 湛江海洋大学学报, 20 (3): 37~40
- 石军, 李俊婷, 陈安国(2002). 鲍的营养生理研究进展. 广东饲料, 11 (3): 36~37
- 俞建江, 李荷芳, 周汉秋(1999). 10 种海洋微藻总脂、中性脂和极性脂的脂肪酸组成. 水生生物学报, 23 (5): 481~488
- 张朝晖, 朱明远, 毛兴华(1999). 九孔鲍(*Haliotis diversicolor*)对饵料选择性的研究. 海洋科学, (3): 10~12
- Daume S, Krsinich A, Farrell S, Gervis M (2000). Settlement, early growth and survival of *Haliotis rubra* in response to different algal species. J Appl Phycol, 12: 479~488
- Dunstan GA, Baillie HJ, Barrett SM, Volkman JK (1996). Effect of diet on the lipid composition of wild and cultured abalone. Aquaculture, 140: 115~127
- Durazo-Beltrán E, D'Abramo LR, Toro-Vazquez JF, Vasquez-Peláez C, Viana MT (2003). Effect of triacylglycerols in formulated diets on growth, and fatty acid composition in tissue of green abalone (*Haliotis fulgens*). Aquaculture, 224: 257~270
- Johnston D, Moltschaniwskyi N, Well J (2005). Development of the radula and digestive system of juvenile blacklip abalone (*Haliotis rubra*): potential factors responsible for variable weaning success on artificial diets. Aquaculture, 250: 341~355
- Kawamura T, Saïdo T, Takami H, Yamashita Y (1995). Dietary value of benthic diatoms for the growth of post-larval abalone *Haliotis discus hannai*. J Exper Mar Biol Ecol, 194: 189~199
- Kawamura T, Roberts RD, Takami H (1998). A review of the feeding and growth of postlarval abalone. J Shellfish Res, 17 (3): 615~625
- Mai K, Mercer JP, Donlon J (1996a). Composition studies on the nutrition of abalone, *Haliotis tuberculata* L. and *Haliotis discus hannai* Ino. V. The role of polyunsaturated fatty acids of macroalgae in abalone nutrition. Aquaculture, 139: 77~89
- Mai K, Mercer JP, Donlon J (1996b). Composition studies on the nutrition of abalone, *Haliotis tuberculata* L. and *Haliotis discus hannai* Ino. VI. Further evaluation of the nutritional value of polyunsaturated fatty acids for abalone using purified diets. Proceeding of the International Symposium on Aquaculture, Qingdao. Qingdao: Ocean University Press, 15~26
- Nelson MM, Leighton DL, Phleger CF, Nichols PD (2002). Comparison of growth and lipid composition in the green abalone, *Haliotis fulgens*, provide specific macroalgal diets. Comp Biochem Physiol (Part B), 131: 695~712
- Picos-Garúa C, García-Carrenó FL, Serviere-Zaragoza E (2000). Digestive proteases in juvenile Mexican green abalone, *Haliotis fulgens*. Aquaculture, 181: 157~170
- Uki N, Sagiura M, Watanabe T (1986). Requirement of essential fatty acids in the abalone *Haliotis discus hannai*. Bull Jpn Soc Sci Fish, 52: 1013~1023