

文章编号:1000-0615(2008)05-740-09

仿刺参与虾夷马粪海胆和菲律宾蛤仔混养效果的初步研究

王吉桥¹, 程鑫¹, 高志鹰¹, 迟伟¹, 王年斌²

(1. 大连水产学院生命科学与技术学院, 辽宁 大连 116023;

2. 辽宁省海洋水产科学研究院, 辽宁 大连 116023)

摘要: 水温 13.8~20.0 °C 下, 在容积 50 L 的塑料水槽中, 放养体质量为 (1.4±0.6) g 的虾夷马粪海胆 (*Strongylocentrotus intermedius*) 11 个, 过量投喂海带 (*Laminaria japonica*), 再分别混养体质量为 (3.4±0.6) g 的仿刺参 (*Apostichopus japonicus*) 0 (A 组)、3 (B 组)、5 (C 组) 和 10 个 (D 组), 体质量为 (12.4±1.7) g 的菲律宾蛤仔 (*Ruditapes philippinarum*) 6 个, 排出水培养底栖硅藻和石纯 (*Ulva lactuca*), 用底栖硅藻饲喂仿刺参。77 d 的饲养表明, 仿刺参和海胆的成活率差异不显著 ($P>0.05$), 但混养组海胆的特定生长率 (SGR) 显著高于单养组 ($P<0.05$), B、C 和 D 组海胆的 SGR 分别比单养高 9.12%、7.24% 和 10.06%, 各混养组间差异不显著 ($P>0.05$); 混养海胆的饲料系数 (7.28~7.70) 分别显著低于单养 (9.12) ($P<0.05$) 组 20.2%、15.5% 和 18.0%。将刺参的产量计算在内, B、C 和 D 组海胆的饲料系数分别比对照组降低 31.5%、26.8% 和 16.0%, 但混养组间差异不显著 ($P>0.05$)。海胆和仿刺参的适宜混养比例为 11:3。蛤仔和石纯生长慢, 死亡率高。养殖排水培养的底栖硅藻以菱形藻 (*Nitzschia* sp.) 和卵形藻 (*Cocconeis* sp.) 为主, 少量舟形藻 (*Navicula* sp.)。混养海胆性腺中亚麻酸、EPA+DHA 含量和 n-3/n-6 比值显著大于单养组 ($P<0.05$), 混养池水中氨氮含量低而稳, 溶氧量高。

关键词: 虾夷马粪海胆; 仿刺参; 菲律宾蛤仔; 混养

中图分类号: S962.92

文献标识码: A

可持续水产养殖业是全世界高度关注的课题, 其核心是经济、社会和生态效益的和谐统一, 而采用生物间共生互利的生态养殖是实现可持续发展的关键技术之一^[1-2]。海胆主要以海带和裙带菜等植物为食, 摄食量大, 排泄物多, 对环境压力大。海参是新兴高值海珍品, 人工育苗、底播增殖和池塘养殖发展很快^[3-4]。但目前刺参池塘养殖多采用改造后的虾池粗养, 饵料不足, 海参产量低。海参为底栖碎屑食性, 主要以底质中的有机质、硅藻等藻类、某些细菌和原生动物为食, 是很好的“清道夫”^[5]。目前, 已有海参与鲍^[6]、对虾^[7]、鲑^[8]和海湾扇贝^[9]等混养的报道, 以清除池塘和网箱中的有机质或附生生物, 增加经济效益。

这种混养方式既促进了鱼、虾、贝的生长, 又减轻了养殖排水和排污对环境的污染, 是一种清洁的生态养殖方式。我们于 2005 年 5-10 月曾进行了不同密度虾夷马粪海胆 (*Strongylocentrotus intermedius*) 与仿刺参 (*Apostichopus japonicus* Selenka) 投饵混养的试验, 发现在静水精养下混养时海胆的特定生长率 (SGR) 和成活率比单养高, 水质稳定, 适宜密度为每立方米 446.4 g^[10]。但在同样情况下, 仿刺参的适宜密度迄今还未见报道; 水中的悬浮颗粒和残饵、粪便底泥中的有机物质仍未充分利用。为此, 我们于 2006 年 4 月 13 日至 7 月 27 日比较了不同密度仿刺参与海胆和菲律宾蛤仔 (*Ruditapes philippinarum*) 混养

收稿日期: 2007-07-18

资助项目: 欧盟资助项目 (Code ICA4-CT-2001-10025); 辽宁省自然科学基金资助项目 (20022153)

作者简介: 王吉桥 (1950-), 男, 辽宁大连人, 博士, 教授, 从事水产养殖生态学方面的研究。Tel: 0411-81759532; E-mail: jqwang1950@163.com

的效果,探讨了仿刺参的适宜放养密度和滤食性贝类在混养中的生长和成活率及对水质的影响,以为海珍品持续健康养殖提供技术支撑。

1 材料与方法

1.1 材料

实验用虾夷马粪海胆(简称海胆)体质量(1.4 ± 0.6) g,仿刺参(简称刺参)体质量(3.4 ± 0.6) g,分别购自大连太平洋海珍品有限公司和大连海兴水产食品有限公司;菲律宾蛤仔(简称蛤仔)采自辽宁省大连市黑石礁海滨,体质量(12.4 ± 1.7) g。实验容器为45 cm × 31 cm × 30 cm 硬质塑料水箱。实验用水为砂滤的黑石礁海滨自然海水。

1.2 方法

实验设计及日常管理 实验采用2因子、3水平、4个重复设计,即单养海胆组(A组)和海胆与刺参混养组:单、混养组中海胆的密度均为每箱11个;混养组中刺参的放养密度为每箱3(B组),5(C组),10(D组)个,并混养蛤仔6个,每组4个重复。各水箱内放一块20 cm × 30 cm 的塑料波纹板。实验开始前,养殖动物经一周暂养后,用高锰酸钾溶液消毒后放养。

实验期间,水温13.8~20.0℃,盐度32~34。静水养殖,弱光环境,24 h连续充气,溶解氧保持在5.23~7.0 mg·L⁻¹。每周给海胆投喂足量采自大连黑石礁海滨的海带。投喂前将海带在甩干机中甩干10 min,称重,以保持干湿度一致。每周换水一次,约为总水量的2/3。换水时,将海胆及刺参粪便用200目筛绢揉碎,连同养殖废水,用虹吸法收集入同规格塑料水箱中,培养底栖硅藻,喂养刺参;一周后,此水再养殖孔石莼(*Ulva pertusa*)。石莼采自大连黑石礁海边,放在阳光充足处养殖。每组石莼密度约为2.5 g·L⁻¹。

底栖硅藻培养液中加入硅酸钠3.5 mg·L⁻¹、柠檬酸铁0.35 mg·L⁻¹、磷酸二氢钠3.5 mg·L⁻¹及微量元素、V_{B1}和V_{B12}等。用日光灯为光源,光照强度约为2 000 lx。

测定项目 定期用次溴酸氧化法和碘量法测定水中的总氮和溶解氧(DO)。每月用游标卡尺测量海胆壳的直径,用感量为0.001 g的电子天平测量海参、海胆和蛤仔的重量。用浮游植物计数板计数底栖硅藻数量和生物量。每周测定石莼

的生长、硅藻的数量。实验结束时从每组随机取海胆生殖腺和刺参,测定体组分和脂肪酸等。

将样品在75℃下烘至恒重,测定水分含量;分别用凯式定氮法(总氮×6.25)、索氏抽提法(以乙醚为抽提液)、马福炉中灼烧(550℃)5 h和差值法测定粗蛋白、粗脂肪、灰分和糖类的含量。

采用改进的Folich法提取养殖动物体内的脂质,经水解和甲酯化处理后用气相色谱仪(GC-9A型)进行归一化定量测定脂肪酸含量^[11]。其它指标的计算公式为:饲料系数=(一定时期内海胆摄食海带重量(g)/该时期海胆增重量(g));特定生长率(SGR, %·d⁻¹)=(LnW_t - LnW₀) × 100%/t,其中:W₀和W_t为初始和末体重,t为饲养天数。

1.3 数据处理

实验数据用平均数±标准差表示,数据经SPSS 11.0统计软件进行相关性检验、方差分析;用Duncan氏多重比较法比较各组间平均值的差异显著性,以P<0.01为差异极显著,P<0.05为差异显著。

2 结果

2.1 不同密度下海胆、刺参和蛤仔的生长和成活率

单养和混养中海胆的生长和成活率 77 d的饲养表明,单养和混养时,海胆的成活率均为100%,差异不显著(P>0.05),但混养组海胆的SGR却显著高于单养组(P<0.05)(表1),B、C和D组分别比单养组高9.12%、7.24%和10.06%,但各混养组间差异不显著(P>0.05)。

不同实验阶段,单养和混养的海胆生长速度不同(表2)。前29 d,混养和单养的海胆生长均较快,SGR值均较高,B组的海胆生长速度略慢于其它组;饲养51 d,混养和单养的海胆生长均减慢,SGR值降低,混养组海胆的生长速度略快于单养组,并随刺参密度的增加而增加;饲养77 d,SGR值降低,混养海胆的生长速度均快于单养组,且B和C两组海胆的SGR显著高于单养组海胆(P<0.05),但整个实验期间,混养组间差异不显著(P>0.05)。

不同密度下刺参的生长和成活率 B、C和D组刺参的增重分别为3.796 g、2.396 g和0.790 g,生长速度随其放养密度的增加而降低(表3)。统计分析表明,B和C组刺参的增重率显著高

于D组($P < 0.05$),但B和C组间差异不显著($P > 0.05$)。混养组刺参的成活率均为100%。

整个实验中,刺参的SGR随其放养密度的增加而逐渐降低(表3),但不同养殖阶段不同。6月1日前,B和C组刺参的SGR显著高于D组($P < 0.05$),但是,至7月27日水温达20.0℃时,不同密度间海参的SGR差异不显著($P > 0.05$)。

蛤仔的生长和成活率 整个实验期间,蛤

仔的体质量逐渐减轻[(12.97 ± 2.57) g ~ (6.10 ± 5.19) g],死亡率逐渐增加(最高达75%),不同密度间差异不显著($P > 0.05$)。蛤仔的生长和成活与水温 and 生物量密切相关。5月10日以前,菲律宾蛤仔生长停滞,但成活率都高于90%;至6月1日,随着水温升高,蛤仔死亡率增加;至7月27日,随着水温继续升高,蛤仔的体质量继续减轻,死亡率增加。

表1 单养和混养方式下海胆的生长和成活率

Tab. 1 Growth and survival rate of sea urchin in polyculture and monoculture mean ± SD, n=4

养殖方式 culture pattern	组别 group	壳径(cm) shell length	体质量(g) body weight	特定生长率(%·d ⁻¹) SGR	成活率(%) survival rate
单养 monoculture	A	2.86 ± 0.02	7.53 ± 1.29	1.06 ^a	100
	B	3.06 ± 0.09	9.14 ± 0.56	1.16 ^b	100
混养 polyculture	C	2.99 ± 0.05	8.45 ± 0.56	1.14 ^b	100
	D	3.03 ± 0.05	8.64 ± 0.46	1.17 ^b	100
	平均 average	3.03 ± 0.03	8.74 ± 0.36	1.16 ± 0.02	100

注: 同列标有不同字母者示组间差异显著($P < 0.05$),下同

Notes: Means in the same column followed by different letters are significantly different ($P < 0.05$), et sequentia

表2 不同实验阶段单养和混养方式下各组海胆的生长

Tab. 2 Growth of sea urchin in polyculture and monoculture at different densities mean ± SD, n=4

饲养天数(d) period	养殖方式 culture pattern	组别 group	壳径(cm) shell length	体质量(g) body weight	特定生长率(%·d ⁻¹) SGR
29	单养 monoculture	A	2.17 ± 0.04	3.36 ± 0.16	1.69
		B	2.17 ± 0.04	3.46 ± 0.22	1.69
	混养 polyculture	C	2.18 ± 0.04	3.36 ± 0.23	1.71
		D	2.15 ± 0.13	3.29 ± 0.33	1.72
	平均 average		2.17 ± 0.02	8.37 ± 0.08	1.70 ± 0.02
51	单养 monoculture	A	2.60 ± 0.14	5.58 ± 0.80	0.98
		B	2.69 ± 0.05	5.59 ± 0.54	1.05
	混养 polyculture	C	2.62 ± 0.06	5.72 ± 0.53	1.07
		D	2.61 ± 0.04	5.73 ± 0.53	1.09
	平均 average		2.64 ± 0.05	0.58 ± 0.13	1.07 ± 0.02
77	单养 monoculture	A	2.86 ± 0.2	7.53 ± 1.29	0.50 ^a
		B	3.06 ± 0.09	9.14 ± 0.56	0.72 ^b
	混养 polyculture	C	2.99 ± 0.05	8.45 ± 0.52	0.69 ^b
		D	3.03 ± 0.05	8.64 ± 0.46	0.65 ^a
	平均 average		3.03 ± 0.03	8.74 ± 0.36	0.69 ± 0.03

表 3 混养方式下刺参的体质量和特定生长率

Tab. 3 Growth and SGR of sea cucumber in polyculture at various stocking densities mean±SD, n=4

日期 date	水温(°C) temperature	体质量(g) body weight			特定生长率(%·d ⁻¹) SGR		
		B	C	D	B	C	D
05-10	13.8	5.06±0.63 ^a	4.32±0.27 ^{ab}	3.56±0.76 ^b	0.52 ^a	0.35 ^{ab}	0.22 ^b
06-01	17.8	6.16±1.14 ^a	5.08±0.52 ^{ab}	3.89±0.47 ^b	0.36	0.31	0.19
07-27	20.0	7.20±1.68 ^a	5.80±0.89 ^{ab}	4.19±0.65 ^b	0.25	0.21	0.12

注: 同行标有不同小写字母者表示组间差异显著($P<0.05$)

Notes: Means with different superscript letters are significantly different ($P<0.05$)

2.2 石莼的生长

实验期间,石莼的 SGR 随刺参密度的增加而增加(图 1),单养组中,石莼特定生长率较低,而 D 组比 A 组高 16.1%;C、B 组石莼的 SGR 分别比 A 组高 11.7% 和 11.9%。

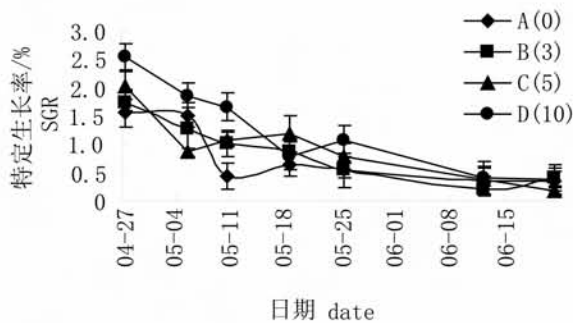


图 1 不同时期各实验组中石莼的特定生长率

Fig. 1 SGR of *Ulva* in various treatments at different times

石莼特定生长率也与水温密切相关。水温 11.5 °C 时,石莼的特定生长率相对较高;随着水温升高,特定生长率逐渐降低,水温升至 18.8 °C 时,石莼开始腐烂。初期石莼的 SGR 是末期的 6.0 倍。

2.3 排出水养殖硅藻和石莼时水中的氨氮和溶解氧含量

刺参密度相同时,随着换水后时间的推移,硅藻和石莼试验组的氨氮含量都下降,养硅藻的水体比养石莼的水体氨氮波动大。单养海胆池排出水养殖硅藻和石莼较混养组水体氨氮含量略低,混养组水体氨氮含量略高,但变化幅度小。刺参密度为每箱 10 个时,混养的排出水养硅藻和石莼时,氨氮含量最高,但二者差异不显著($P>0.05$)。

混养池排出水养殖硅藻和石莼时,水中溶氧

含量略低于单养海胆池,刺参密度为每箱 10 个时,溶氧含量最低。硅藻组的溶氧含量略高于石莼组,但差异不显著。刺参密度相同时,随着换水后时间的推移,硅藻和石莼试验组的溶氧含量逐渐下降。

2.4 单养和混养池排出水培养的和投喂后波纹板上底栖硅藻的数量

用未养殖的正常海水培养的的底栖硅藻以菱形藻(*Nitzschia* sp.)>卵形藻(*Cocconeis* sp.)为主,少量的舟形藻(*Navicula* sp.) (图 2);用养殖排出水培养的的底栖硅藻则以卵形藻>菱形藻为主,少量的舟形藻。单养池水培养的底栖硅藻中,舟形藻的数量显著高于混养池水,而卵形藻的数量低于混养池;混养池水的卵形藻数量略随海参的放养密度增加而升高,但差异不显著($P>0.05$)。

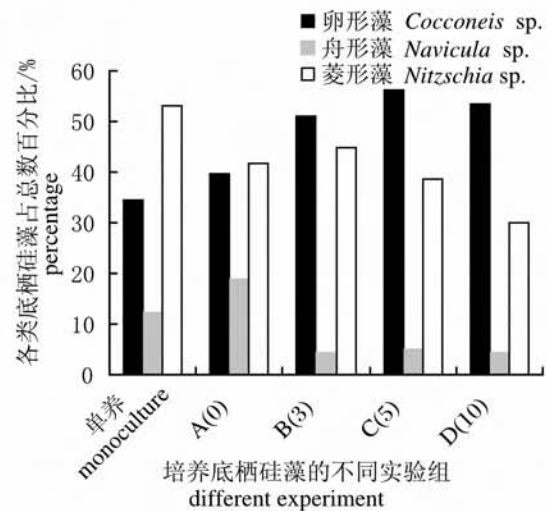


图 2 用未养殖的正常海水和养殖排出水培养的的底栖硅藻

Fig. 2 Marine benthic diatoms cultured in natural seawater and effluent from experimental tanks

培养的底栖硅藻投喂后,种类和数量的主要变化是菱形藻>卵形藻(图3),卵形藻的数量显著减少,即刺参对三种底栖硅藻的选择性由强至弱依次为:卵形藻>菱形藻>舟形藻,但差异不显著($P>0.05$)。

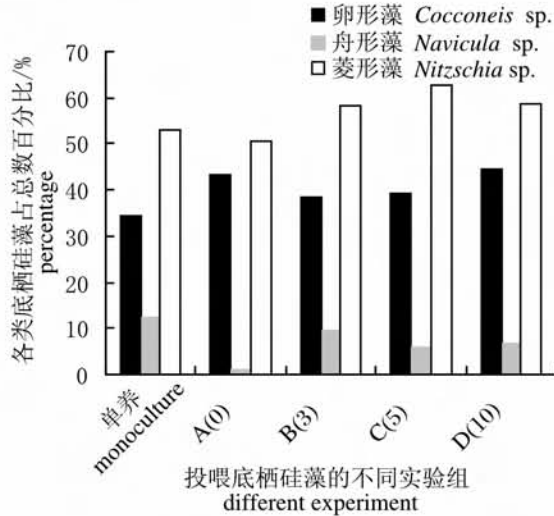


图3 投喂后不同试验组波纹板上的底栖硅藻
Fig.3 Marine benthic diatoms in different experimental tanks after being fed

2.5 饲料中不同脂肪酸含量和比例对海胆、刺参体组成的影响

饲料中不同脂肪酸含量和比例 硅藻含有的脂肪酸种类多,单不饱和脂肪酸、EPA + DHA含量、 $n-3/n-6$ 比值均大于海带,分别是海带的1.3、2.7和3.0倍;海带的 $n-6$ 系列脂肪酸、亚油酸和亚麻酸的含量均大于硅藻,分别是硅藻的1.7、5.0和1.7倍(表4)。

表4 海带和硅藻的脂肪酸组成(占总脂肪酸含量的%)

Tab.4 Fatty acid composition of the kelp and benthic diatoms (percentage in total fatty acid) %

脂肪酸 fatty acid	海带 kelp	硅藻 benthic diatoms
14:0	8.59	9.05
C14:1	1.87	1.41
C15:1	1.01	-
C16:0	25.17	20.47
C16:1	5.02	21.93
C17:0	-	2.05
C17:1	-	4.94
C18:0	-	1.08
C18:1	15.98	3.45
C18:2n-6	7.36	1.47
C18:3n-6	4.36	0.89
C18:3n-3	1.90	1.09
C18:4n-3	5.19	2.44
C20:2n-6	-	1.28
C20:4n-6	10.08	5.75
C20:5n-3	6.56	15.48
C20:3n-6	-	3.76
C22:6n-3	-	2.14
饱和脂肪酸 SFA	33.75	32.65
单不饱和 MUFA	23.88	31.73
EPA + DHA	6.56	17.62
$n-3/n-6$	0.63	1.91

对海胆营养成分的影响 海胆生殖腺中粗蛋白的含量与养殖方式和海参的密度有关。刺参密度为每箱3个时,海胆的粗蛋白含量显著高于单养组($P<0.05$);密度为每箱5个时,与单养组无显著差异;每箱10个时,显著低于单养组($P<0.05$) (表5)。混养组海胆的粗脂肪含量均高于单养组,且随刺参放养密度的增加而降低;但刺参密度为每箱3和5个时,显著高于单养组($P<0.05$);每箱10个时,与单养组无显著差异($P>$

表5 海胆和刺参的生化组成

Tab.5 Approximate composition in sea urchin (SU) and sea cucumber (SC) mean±SD, n=4

成分 composition	单养组 monoculture	混养组 polyculture					
	海胆 SU	B		C		D	
		海胆 SU	刺参 SC	海胆 SU	刺参 SC	海胆 SU	刺参 SC
粗蛋白 crude protein	54.78±0.85 ^a	59.75±1.40 ^b	52.5±0.09	57.60±0.84 ^{ab}	47.35±2.95	51.57±0.82 ^c	49.53±0.26
粗脂肪 crude fat	17.67±0.50 ^a	22.19±0.90 ^b	9.06±0.26	22.05±0.99 ^c	7.88±0.91	20.63±0.12 ^a	8.56±0.84
糖类 carbohydrate	21.98±1.50	12.23±1.39	5.57±1.26	14.81±1.63	10.76±5.46	22.66±0.71	9.53±0.69
灰分 crude ash	5.57±0.74	5.83±0.22	32.87±1.43	5.54±0.27	34.01±1.6	5.14±0.04	32.38±1.79

0.05)。海胆性腺中糖类含量与粗脂肪含量相反。各试验组海胆的灰分含量差异不显著($P>0.05$)。

海胆生殖腺中脂肪酸的组成和含量与养殖方式和海胆的密度有关(表6)。单养组海胆的亚油酸和 n-6 系列脂肪酸含量均高于混养组,且与混养组海胆的 n-6 系列脂肪酸含量差异显著($P<0.05$)。混养组海胆的亚麻酸、饱和脂肪酸量、单不饱和脂肪酸量、n-9 系列脂肪酸、EPA+DHA 含量和 n-3/n-6 比值均大于单养组,且与单养组海胆的亚麻酸含量、EPA+DHA 含量、n-3/n-6 比值差异显著($P<0.05$),约为单养组的 1.4、1.4 和 2.3 倍。混养组中,刺参密度为每箱 3 个时,海胆的 EPA+DHA 含量和 n-3/n-6 比值最高;刺参密度为每箱 5 个时,饱和脂肪酸、单不饱和脂肪酸和 n-9 系列脂肪酸含量最高;刺参密度为每箱 5 个时,亚麻酸含量最高。

表 6 单养和混养海胆总脂中的脂肪酸组成

Tab. 6 The fatty acid constituents in total lipids from sea urchin in polyculture and monoculture %

脂肪酸 fatty acid	单养组 monoculture	混养组 polyculture		
		B	C	D
C14:0	9.05	10.15	12.62	9.55
C14:1	-	0.32	0.84	-
C16:0	8.30	16.06	16.71	9.42
C16:1	1.51	3.58	4.08	1.86
C17:1	0.43	0.33	-	0.42
C18:0	1.60	2.13	2.19	2.06
C18:1	3.18	3.85	4.41	4.20
C18:2n-6	1.40	1.22	1.32	1.28
C18:3n-6	0.93	1.36	1.34	1.33
C18:3n-3	1.01 ^a	1.38 ^b	1.36 ^b	1.41 ^b
C18:4n-3	3.91	5.43	5.69	5.66
C20:0	-	0.27	-	-
C20:1	6.70	8.55	8.69	9.67
C20:2	8.58	8.30	5.49	4.98
C20:2n-6	3.74	-	1.89	2.14
C20:3n-9	-	-	0.95	0.68
C20:3n-6	0.99	2.15	1.24	1.30
C20:4n-6	9.43	13.04	12.68	12.97
C20:3n-3	0.98	1.50	1.27	1.41
C20:4n-3	1.83	2.06	1.82	2.05
C20:5n-3	7.97 ^a	11.61 ^b	10.38 ^c	11.17 ^c
C22:1n	2.75	3.04	2.92	3.90
C22:2	-	0.90	0.70	0.79
C22:3n-6	12.10	-	-	-
C22:4n-6	2.53	-	-	0.32
C22:6n-3	-	0.69	-	-
饱和脂肪酸 SFA	18.95	28.60	31.52	21.02
单不饱和 MUFA	14.57	19.66	20.94	20.06
n-6	31.12 ^a	17.77 ^b	18.46 ^b	19.33 ^b
n-9	-	-	0.95	0.68
EPA+DHA	7.97 ^a	12.30 ^b	10.38 ^c	11.17 ^c
n-3/n-6	0.51 ^a	1.28 ^b	1.11 ^c	1.12 ^c

对刺参营养成分的影响 刺参体壁粗蛋白和粗脂肪含量随其密度的增加而有所降低,其中密度为每箱 3 个时,含量最高,但差异不显著($P>0.05$)(表 5);密度为每箱 5 个时,刺参糖类和灰分含量最高,但各组间差异不显著($P>0.05$)。

刺参体壁中脂肪酸的组成与养殖方式及其密度有关(表 7)。为比较饵料对刺参营养成分的影响,另在同规格水槽中饲养 3 头相近规格的刺参(2 个重复)。单养的刺参只投喂底栖硅藻,其 n-6 系列脂肪酸、EPA+DHA 含量和 n-3/n-6 比值均大于混养组,且与混养组刺参的 n-3/n-6 比值差异显著($P<0.05$);混养组刺参亚油酸和单不饱和脂肪酸含量均显著大于单养组($P<0.05$),约是单养组刺参的 1.2 和 1.1 倍。混养组刺参密度为每箱 3 个时,不饱和脂肪酸含量最高;密度为每箱 10 个时,亚油酸含量最高。

表 7 刺参体壁中脂肪酸的组成

(占总脂肪酸的%)

Tab. 7 The fatty acid composition in body walls from sea cucumber (percentage in total fatty acid) %

脂肪酸 fatty acid	单养组 monoculture	混养组 polyculture		
		B 组	C 组	D 组
C14:0	1.58	1.25	0.98	1.04
C16:0	7.54	9.56	8.52	8.80
C16:1	7.85	10.46	9.70	9.12
C17:0	-	0.55	0.96	0.49
C17:1	2.18	1.43	1.50	1.29
C18:0	4.61	4.13	3.92	4.05
C18:1	8.41	11.87	12.42	11.49
C18:2n-6	2.00 ^a	2.17 ^{ac}	2.39 ^{bc}	2.53 ^b
C18:3n-6	1.18	1.06	0.97	0.99
C20:0	1.65	1.30	1.23	1.35
C20:1	7.44	8.22	7.56	7.60
C20:2n-6	1.15	2.06	1.98	2.08
C20:4n-6	13.48	13.55	12.97	13.98
C20:5n-3	10.43 ^a	7.02 ^b	7.03 ^b	8.34 ^{ab}
C20:3n-6	1.32	-	-	-
C22:0	1.55	0.67	1.11	1.13
C22:1n	4.34	3.98	3.79	3.56
C22:4n-6	10.54	5.82	5.93	6.01
C22:5n-6	1.04	0.60	1.08	1.00
C22:5n-3	0.80	-	-	-
C22:6n-3	6.42	5.29	5.58	5.46
饱和脂肪酸 SFA	16.93	17.46	16.71	16.87
单不饱和 MUFA	30.22 ^a	35.96 ^b	34.98 ^{ab}	33.06 ^{ab}
n-6	30.70	25.25	25.31	26.60
EPA+DHA	16.85	12.30	12.61	13.80
n-3/n-6	0.58 ^a	0.49 ^b	0.50 ^{bc}	0.52 ^c

2.6 不同密度和养殖方式下海胆的饵料系数

整个实验中,混养海胆的饵料系数(7.28~7.70)显著低于单养(9.12)($P < 0.05$),分别比单养组低 20.2%、15.6%和 18.0%。混养时,刺参密度为每箱 3 个时,饵料系数最低(7.28)。若将刺参的产量计算在内,刺参密度为每箱 3、5 和 10 个时,海胆的饵料系数分别降低 23.6%、18.3%和 19.5% (表 8),但各混养组间差异不显著($P > 0.05$)。

表 8 不同养殖方式下海胆的饵料系数
Tab. 8 Feed conversion ratio (FCR) of sea urchin in monoculture and polyculture

组别 group	饵料系数 FCR	饵料系数(包括刺参产量) FCR (including sea cucumber yield)
A	9.12 ^a	9.12 ^a
B	7.28 ^b	6.97 ^b
C	7.70 ^b	7.45 ^b
D	7.48 ^b	7.34 ^b

3 讨论

3.1 实验中混养生物之间的作用

国内外大量研究表明,水产养殖中水质净化的关键是高效、经济和安全除去或转化养殖动物的排泄物和粪便等^[12]。本实验中,海带直接为海胆所摄食;海胆的粪便不能直接为海参摄食^[10]。而是放出氮磷等营养盐,为底栖硅藻和石莼等提供了营养;底栖硅藻为海参和海胆等食用,等于海带被间接地二次利用,海胆既食海带,又补充了底栖硅藻。所以,在这个系统中,混养海胆的生长快于单养,饲料系数低于单养(图 4)。本实验中,海参和海胆(SGR 为 $1.158\% \cdot d^{-1}$)的生长速度快于我们先前同样混养时的生长速度($0.354\% \cdot d^{-1}$)^[10],其原因在于投喂了底栖硅藻。在食物网中,虽然培养的底栖硅藻种类和比例与陈冲等^[12]的试验结果有所不同,但底栖硅藻至少起了生态和营养两个作用:前者吸收水中的营养盐,光合作用产氧,除去了水中氮和磷等营养盐的生态作用^[13],所以混养水槽中溶解氧含量高,氨氮含量低而稳,养殖排出水培养硅藻的水槽中氨氮含量下降,即是例证;后者是供海参摄食的高营养饵料。这表明,在生产中向水产养殖排出水中投放网片、波纹板或其他附着物培养底栖硅藻或附着

生物,再喂养海参等,不仅简单易行,更是健康水产养殖,实现“以渔养水”,即具有保护环境功能的养殖生物组合的有效途径之一;证明在海参饲料中添加“网泥”的效果优于简单的“海泥”,原因就在于“泥”中的营养成分不同^[14]。

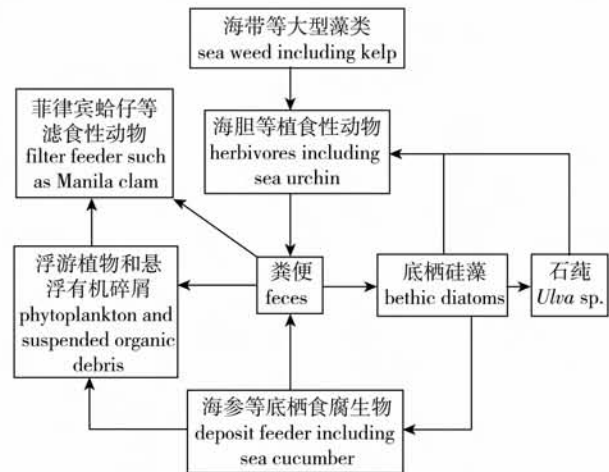


图 4 混养生物之间的食物关系

Fig. 4 Nutrient cycle in the aquatic organisms polycultivated in the experiment

国内外多用大型藻类作生物滤器(biofilter)除去鲍和鲑鳟等养殖水体中的氮磷等营养盐^[15]。大型藻类生物滤器多为经济藻类,食用和经济价值较高,但具有养殖的阶段性和季节性,很难全年养殖而发挥持久净化作用。本实验中,石莼的特定生长率随混养刺参密度的增加而增加,但随着水温升高,生长减慢,并开始腐烂,不仅难以发挥净化作用,反而污染水体。本实验中石莼的最大生长率仅为 2.5%,与刘静雯等^[16]的结果(SGR 为 $12.28\% \cdot d^{-1}$)相差很多。用养殖排出水培养单细胞藻类可克服这一不足而长期使用,也可用于饲喂其他经济水生动物(如贝类等),不失为一种新型生物滤器。

本实验中,菲律宾蛤仔的体质量逐渐减轻,死亡率逐渐增加。笔者认为,这是水质较清,水中浮游植物和悬浮物含量低,营养不良所致,并不能完全证明在此系统中菲律宾蛤仔等底栖滤食性贝类不能生存和生长。在底泥中有机质含量高的沉淀池中,含有大量浮游植物和悬浮有机碎屑等,底栖滤食生物一定有“用武”之地。所以,在海参和鲍等海珍品养殖中混养底栖滤食性贝类值得深入研究。

本实验表明,刺参的密度显著影响其生长。刺参密度为每箱 3 个时,刺参和海胆饲料系数最

低(6.97),差异显著($P < 0.05$)。本实验中,刺参的特定生长率与其密度的回归方程为: $y = -0.0026x^2 + 0.0139x + 0.322$, $R^2 = 0.8471$,根据该方程,刺参的最佳放养密度为每箱 2.7 个或 $121.1 \text{ g} \cdot \text{m}^{-3}$,此时,其生长率最高。综合刺参及海胆的生长,可以看出,每箱 11 个海胆 + 3 个刺参的混养比例较好。

应当指出,本实验系统并不能将所产生的粪便等代谢物完全转化或清除,还应探索物理(如快速沉淀等)、化学(如添加保型剂以利于清除)和生物方法加以清除。海参肠道中细菌环境为海参存活所必需。所以,生产中常在海参饲料中添加海泥。由此推想,在海参饲料中添加有益微生物^[14],或将植物性饲料源发酵后,或将海胆养殖废水培养单细胞藻类后的沉淀物以海泥的形式再加入海参饲料中重复使用,可提高饲料的消化率,减少粪便的排泄量和对环境的污染。

3.2 混养对养殖生物营养成分的影响

单食海带或裙带菜等大型藻类的海胆生殖腺中亚油酸 C18:2n-6、亚麻酸 C18:3n-3 和花生四烯酸 C20:4n-6 含量高^[17-19]。本实验中,混养组海胆的 EPA+DHA 含量和不饱和脂肪酸含量均大于单养组。造成这种差异的主要原因可能与海胆所摄食的饵料有关。本实验中混养海胆除了摄食海带外,还摄食底栖硅藻。研究表明,海胆脂肪酸的组成受食物特点的影响。Cook 等^[20]报道,4 个不同海区的海胆以及用大麻哈鱼鱼丸、海带喂养的此种海胆,其脂肪酸组成不同,认为海胆脂肪酸的组成与食物类型和海区位置有关。

本实验中,刺参体壁中的蛋白质、脂肪含量高,不饱和脂肪酸(UFA) 13 种,占 83.01%,其中多不饱和脂肪酸 8 种,占 49.46%。饱和脂肪酸 6 种,占 16.99%。与向怡卉等^[18]的试验相比,饱和脂肪酸的种类及含量略高。本实验,刺参体组分中的粗脂肪和糖分含量略高于李丹彤等^[17]的试验结果,但 EPA 及 DHA 含量却低于其试验结果,原因可能是刺参的养殖环境和饵料不同所致。

参考文献:

- [1] Shapiro J. Biomanipulation: the next phase-making it stable [J]. *Hydrobiologia*, 1990, 200/201, 13-27.
- [2] Gophen M. Biomanipulation: retrospective and future development [J]. *Hydrobiologia*, 1990, 200/201, 1-11.
- [3] 乔聚海,程波. 刺参人工池塘养殖现状及展望 [J]. *海洋科学*, 2005, 29(9): 80-82.
- [4] 常亚青,丁君,宋坚,等. 海参海胆生物学研究与养殖 [M]. 北京:海洋出版社, 2004: 88-89.
- [5] 于东祥,宋本祥. 池塘养殖刺参幼参的成活率变化和生长特点 [J]. *中国水产科学*, 1999, 6(3): 109-110.
- [6] Ahlgren M O. Consumption and assimilation of salmon net pen fouling debris by the red sea cucumber *Parastichopus callifornicus*: implication for polyculture [J]. *J World Aquac Soc*, 1998, 29: 133-139.
- [7] 徐广远,朱淑琴. 对虾与海参混养技术研究 [J]. *中国水产*, 2002, 6: 42-43.
- [8] Kang K H, Kwon J Y, Kim Y M. A beneficial coculture: charm abalone *Haliotis discus Hannai* and sea cucumber *Stichopus japonicus* [J]. *Aquaculture*, 2003, 216: 87-93.
- [9] 于瑞海,马强. 在海湾扇贝亲贝促熟培养中混养海参的研究 [J]. *齐鲁渔业*, 2004, 21, (3): 11-13.
- [10] 王吉桥,程鑫,杨义,等. 不同密度的虾夷马粪海胆与仿刺参混养的研究 [J]. *大连水产学院学报*, 2007, 22(2): 102-108.
- [11] 张丽英. 饲料分析及饲料质量监测技术 [M]. 北京: 中国农业大学出版社, 2002: 45-79.
- [12] 陈冲,宋广军. 鲍采苗板上底栖硅藻种类变化的观察 [J]. *水产科学*, 2005, 24(10): 40-41.
- [13] Crab R, Avnimelech Y, Defoirdt T, *et al.* Nitrogen removal techniques in aquaculture for a sustainable production. [J]. *Aquaculture*, 2007, 270: 1-14.
- [14] Dybas L, Fankboner P V. Holothurian survival strategies: Mechanisms for the maintenance of a bacteriostatic environment in the coelomic cavity of the sea cucumber [J]. *Aquaculture Research*, 2002, 33: 112-116.
- [15] Neori A, Shpigel M, Ben-Ezra D. A sustainable integrated system for culture of fish, seaweed and abalone [J]. *Aquaculture*, 2000, 186: 279-291.
- [16] 刘静雯,董双林. 温度和盐度对几种大型海藻生长率和 $\text{NH}_4\text{-N}$ 吸收的影响 [J]. *海洋学报*, 2001, 23(2): 109-117.
- [17] 李丹彤,常亚青,陈炜,等. 獐子岛野生刺参体壁营养成分的分析 [J]. *大连水产学院学报*, 2006, 21(3): 278-282.
- [18] 向怡卉,苏秀榕,董明敏. 刺参体壁及消化道的氨

- 基酸和脂肪酸分析[J]. 水产科学, 2006, 25(6): 281-283.
- [19] 王丽梅, 陈 炜, 石 莹, 等. 杂交海胆与两亲本性腺一般营养成分及脂肪酸组成的分析比较[J]. 大连水产学院学报, 2006, 21(3): 255-258.
- [20] Cook E J, Bellm V, Black K D. Fatty acid compositions of gonadal material and diets of the sea urchin (*Psammechinu smilliaris*) trophic and nutritional implications[J]. Exp Mar Biol Ecol, 2000, 2: 261-274.

**Primary results of polyculture of juvenile sea cucumber
(*Apostichopus japonicus* Selenka) with juvenile sea urchin
(*Strongylocentrotus intermedius*) and manila clam
(*Ruditapes philippinarum*)**

WANG Ji-qiao¹, CHENG Xin¹, GAO Zhi-ying¹, CHI Wei¹, WANG Nian-bin²

(1. Life Science and Technique Institute, Dalian Fisheries University, Dalian 116023, China;

2. Liaoning Ocean and Fisheries Science Research Institute, Dalian 116023, China)

Abstract: In a polyculture system, sea urchin (*Strongylocentrotus intermedius*) juveniles weighing (1.4 ± 0.6) g were stocked into 16 plastic tanks of each $45 \text{ cm} \times 31 \text{ cm} \times 30 \text{ cm}$ at a rate of 11 individuals per tank and polycultured with juvenile sea cucumber (*Apostichopus japonicus* Selenka) averaging (3.4 ± 0.6) g in body weight at a rate of 0 (Group A), 3 (Group B), 5 (Group C) and 10 individuals (Group D), and manila clam (*Ruditapes philippinarum*) averaging (12.4 ± 1.7) g in body weight at a rate of 6 individuals per tank at water temperature of $13.8 - 20.0$ °C for 77 days. The sea urchin were *ad libitum* fed kelp (*Laminaria japonica*) and the sea cucumber fed marine benthic diatoms cultured by the effluents from the tanks. Survival rates of the sea cucumber and the sea urchin were all found to be almost 100%, no significant differences ($P > 0.05$). However, there were significantly 9.12%, 7.24% and 10.06% higher in specific growth rate (SGR) of the sea urchin in Group B, Group C and Group D than that in Group A ($P < 0.05$), respectively. There was significantly lower feed conversion ratio (FCR) of the sea urchin in the polycultured tanks than that in the monocultured tanks ($P < 0.05$), 20.2%, 15.5% and 18.0% lower in Group B, Group C and Group D than that in Group A, respectively. The optimal ratio of sea urchin to sea cucumber was 11:3, with the optimal stocking density of $64 \text{ 121.1 g} \cdot \text{m}^{-3}$ sea cucumber. Poor growth and high mortality were observed in manila clam in the polyculture system and in sea lettuce *Ulva lactuca* cultivated by the tank effluents. *Nitzschia* sp. and *Cocconeis* sp. were predominantly found in the benthic algae cultivated by the effluents from the tanks. The sea urchin in the polycultured tanks had significantly higher gonadal C18:3n-3 and EPA+DHA levels and n-3/n-6 ratio than those in the monocultured group had. In the polyculture water, ammonia-N levels were registered low and constant, whereas high dissolved oxygen levels were observed in the polyculture system.

Key words: *Strongylocentrotus intermedius*; *Apostichopus japonicus* Selenka; *Ruditapes philippinarum*; polyculture