

黄 强,季寅星. 南通市重点增殖区水质评价及因子分析[J]. 江苏农业科学,2016,44(2):356-359.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2016.02.104

南通市重点增殖区水质评价及因子分析

黄 强,季寅星

(江苏省南通市海洋环境监测预报中心,江苏南通 226006)

摘要:于 2012—2014 年分别对江苏省南通市紫菜、贝类增殖区进行 9 个航次共计 11 个指标的水质监测,采用有机污染评价指数法分别评价 2 个增殖区的水质状况,并采用因子分析法对水质指标进行分析。结果表明,监测期间 2 个增殖区的水质均受到污染,但各月份污染程度不同,污染因子包括亚硝态氮、硝态氮、活性磷、化学需氧量、氨态氮。贝类增殖区水质监测结果的总体方差主要来源于盐度、溶解氧、硝态氮、溶解性无机氮,其次为亚硝态氮、活性磷、叶绿素 a,再次为 pH 值、化学需氧量、氨态氮,最后为温度;紫菜增殖区主要来源于氨态氮、溶解性无机氮、活性磷、温度、叶绿素 a,其次为硝态氮、化学需氧量、亚硝态氮,再次为 pH 值、盐度、溶解氧。贝类增殖区的盐度、溶解氧、硝态氮、溶解性无机氮之间,亚硝态氮与活性磷之间,pH 值、化学需氧量、氨态氮之间均呈较好的正相关,而亚硝态氮、活性磷、叶绿素 a 之间呈较好的负相关;紫菜增殖区的氨态氮、溶解性无机氮、活性磷之间,温度与叶绿素 a 之间,化学需氧量与亚硝态氮之间,pH 值、盐度、溶解氧之间均呈较好的正相关,而氨态氮、溶解性无机氮、活性磷与温度、叶绿素 a 之间,硝态氮与化学需氧量、亚硝态氮之间均呈较好的负相关。

关键词:南通市;增殖区;水质评价;因子分析

中图分类号: S967.2;X824 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2016)02-0356-04

江苏省南通市浅海滩涂可利用开发面积达 12.3 万 hm^2 ^[1],养殖品种涵盖条斑紫菜、文蛤、泥螺等,已形成集养殖、加工、销售为一体的产业链^[2-3]。近年来,随着海岸带经济和养殖产业的快速发展,营养物质的大量输入使水体中营养盐体积分数快速提升,进而导致养殖海区富营养化^[4-5]。同时,水体中有毒有害物质不断积累,附生性藻类大量孳生,严重影响水产品的产量和品质^[6]。研究南通市重点海水增殖区的环境质量及其变化特征,确定污染因子,进而改善养殖海域环境,调整养殖产业布局,已成为保持南通市海水养殖产业可持续发展亟待解决的问题。

对南通市启东市贝类增殖区、如东县紫菜增殖区进行连续 3 年共计 9 个航次的生态环境调查。针对环境调查结果,采用有机污染评价指数法分别对 2 个增殖区不同时期的水质状况进行评价,并采用因子分析法确定各水质与环境指标的变化情况,确定不同时期各增殖区的主要污染因子。水质评价及因子分析结果对该增殖区的养殖产业规划及水质修复具有指导意义。

1 材料与方法

1.1 样品采集与测定

于 2012—2014 年对南通市重点海水增殖区 ($121^{\circ}35' \sim 121^{\circ}42'E, 32^{\circ}08' \sim 32^{\circ}32'N$) 水质进行监测,分别在如东县紫菜重点海水增殖区、启东市贝类重点增殖区

各设置 7 个采样站位(图 1)。根据养殖期,分别于 8、9、10 月在启东市贝类重点增殖区进行监测,并于 3、4、5 月在如东县紫菜增殖区进行监测。采样工作于每月小潮平潮期进行,采集水面下 15~20 cm 的表层水,每站位平行采集 3 瓶水样,每瓶 500 mL,并使用 HANNA 型快速分析仪测定表层水温、pH 值、盐度、溶解氧。水样于 4 $^{\circ}\text{C}$ 下运至实验室,按照《海水增殖区监测技术规程》中的分析方法进行水质监测^[7],测定指标为活性磷、氨态氮、亚硝态氮、硝态氮、化学需氧量、叶绿素 a。

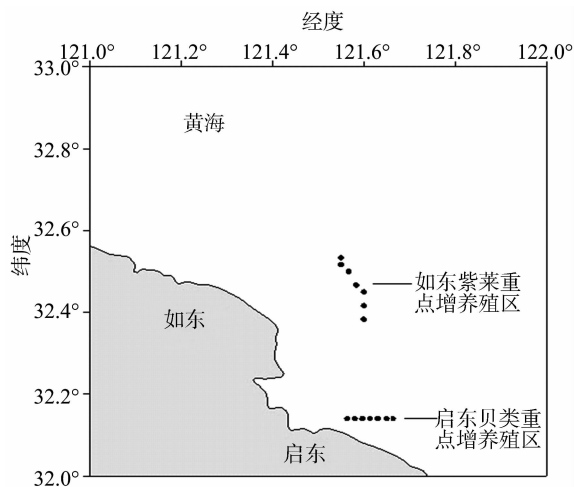


图1 南通市重点海水增殖区调查站位

1.2 水质评价

1.2.1 水质综合评价 采用海水有机污染评价指数(A)分别评价贝类、紫菜增殖区的海水环境状况,该评价方法利用水体中化学需氧量(COD)、溶解性无机氮(DIN)、溶解性无机磷(DIP)、溶解氧(DO)4项水质指标。该方法综合考虑水体

收稿日期:2015-08-28

基金项目:国家科技支撑计划(编号:2012BAC07B03)。

作者简介:黄 强(1982—),男,江苏丹阳人,硕士研究生,工程师,主要从事海洋环境与渔业生态环境研究。Tel:(0513) 83549590; E-mail:q_huang1982@sina.com。

中有机、无机污染指标,比单因子评价方法更全面地对水质进行评价,计算方法为:

$$A = COD/COD_0 + DIN/DIN_0 + DIP/DIP_0 - DO/DO_0。$$

式中:COD、DIN、DIP、DO 分别为 4 项水质指标的实测浓度,mg/L;COD₀、DIN₀、DIP₀、DO₀ 分别为该评价指标的标准体积分数,对应值分别为 3.000、0.100、0.015、5.000 mg/L。根据计算结果,参照 17378.4—2007《海洋监测规范》中规定的评价分级表对海水污染状况进行评价^[8]。

1.2.2 因子分析 采用 R 型因子分析法分析各变量之间的关系,运用 SPSS 软件进行主成分及相关性分析,计算各因子

的贡献率、载荷矩阵、因子得分,确定各因子的相关性,最终确定不同时期各养殖区的主要污染因子^[9]。

2 结果与分析

2.1 水质监测结果

将各站位现场测定指标温度、pH 值、盐度与室内测定指标活性磷含量、氨态氮、亚硝态氮、硝态氮含量、化学需氧量、叶绿素 a 含量分别求平均值,作为该养殖区当月指标值,以各月平均值代表本年度指标值,从而得到各指标在不同年份的平均值及波动范围(表 1)。

表 1 南通市重点海水增养殖区 9 个航次水质监测结果

采样区域	采样时间	pH 值	温度(℃)	盐度(‰)	叶绿素 a 含量(μg/L)	化学需氧量(mg/L)	溶解氧含量(mg/L)	溶解性无机氮含量(mg/L)	活性磷含量(mg/L)
紫菜养殖区	2012 年	8.10	16.91	31.18	0.955	0.49	7.75	0.183	0.045
		(7.94~8.29)	(12.71~21.05)	(30.73~31.70)	(0.448~1.419)	(0.42~0.53)	(6.86~8.42)	(0.152~0.217)	(0.023~0.077)
	2013 年	8.23	17.50	35.77	1.019	0.70	9.55	0.234	0.033
贝类养殖区	2012 年	8.27	23.15	28.82	0.775	1.04	6.83	0.193	0.046
		(8.23~8.30)	(17.37~26.36)	(26.03~31.14)	(0.192~1.268)	(0.65~1.32)	(6.39~7.07)	(0.154~0.213)	(0.034~0.053)
	2013 年	8.06	25.55	35.00	0.873	0.68	7.80	0.325	0.047
	2014 年	8.10	24.84	28.34	1.913	0.85	6.19	0.120	0.032
		(8.07~8.12)	(20.77~31.74)	(27.73~29.55)	(1.583~2.570)	(0.78~0.95)	(5.64~6.60)	(0.113~0.131)	(0.025~0.043)

2.2 水质评价结果

由养殖区海水有机污染评价指数计算结果(图 2)可知,贝类增养殖区各月份均受到污染。其中,2012 年 8—9 月 A 值为 3.42~4.32,均值为 3.98,呈升高趋势,参照水质分级表可知,2012 年 8 月水质为中度污染,2012 年 9—10 月为重度污染;2013 年 8—10 月,贝类增养殖区 A 值均在 4.00 以上,表明 2013 年养殖区水质为严重污染;2014 年 8—10 月,贝类增养殖区 A 值分别为 2.16、3.13、1.85,均值为 2.38,表明 2014 年 8—10 月贝类养殖区水质整体呈轻度污染。

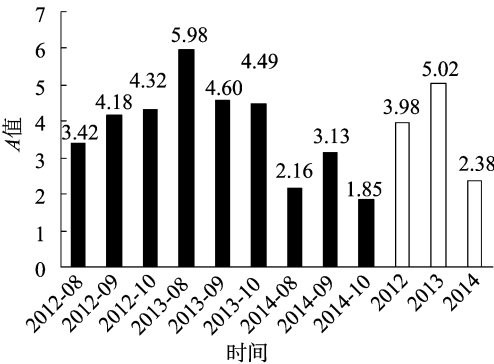


图 2 贝类增养殖区 A 值变化趋势

由水质评价结果(图 3)可知,紫菜养殖区水质均受到污染。其中,2012 年 3 月 A 值达到 10.03,大幅高于其他月份,表明该月份紫菜养殖区严重污染;2013 年 4 月 A 值达到 4.35,水质严重污染;其他月份水质基本为轻度以下污染。

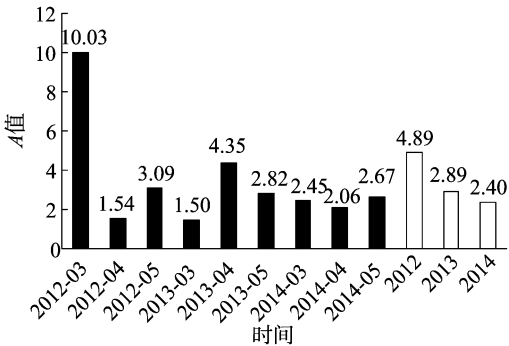


图 3 紫菜增养殖区 A 值变化趋势

2.3 水质成分因子分析结果

采用 SPSS 软件对监测数据进行因子分析,分别从贝类养殖区、紫菜养殖区监测数据中提取 4、3 个主因子,并得到旋转后的因子载荷矩阵(表 2、表 3)和不同因子在主因子上的得分情况(表 4、表 5)。

2.3.1 旋转后的因子载荷矩阵 由表 2 可知,贝类养殖区 4 个主因子的方差累积贡献率已达到 92.01%,可有效反映养殖区的水质状况^[10]。第 1 主因子正方向载荷盐度、溶解氧、硝态氮、溶解性无机氮,载荷系数分别达到 0.848、0.957、0.911、0.916,均接近于 1,表明盐度、溶解氧、硝态氮、溶解性无机氮之间存在较好的正相关;而负方向不载荷指标。第 2 主因子正方向载荷亚硝态氮、活性磷,载荷系数分别达到 0.949、0.830,表明亚硝态氮与活性磷之间存在较好的正相关;负方向载荷叶绿素 a,载荷系数为 -0.767,接近于 -1,由于亚硝态氮、活性磷、叶绿素 a 分别位于第 1 主因子的正负

轴,因此亚硝态氮、活性磷、叶绿素 a 之间存在较好的负相关。第 3 主因子正方向载荷 pH 值、化学需氧量、氨态氮,三者之间呈正相关。第 4 主因子仅正方向载荷温度。

表 2 贝类养殖区旋转后因子载荷矩阵

水质成分	第 1 主因子	第 2 主因子	第 3 主因子	第 4 主因子
温度	-0.016	0.051	0.109	0.975
pH 值	-0.439	0.556	0.680	-0.140
盐度	0.848	0.271	-0.317	0.047
叶绿素 a	-0.261	-0.767	-0.266	-0.114
溶解氧	0.957	-0.011	-0.015	-0.277
化学需氧量	-0.270	-0.272	0.888	0.051
亚硝态氮	-0.126	0.949	-0.044	0.238
硝态氮	0.911	-0.210	-0.287	0.086
氨态氮	-0.061	0.389	0.823	0.192
溶解性无机氮	0.916	0.374	-0.062	0.082
活性磷	0.232	0.830	-0.003	-0.253
特征值	4.328	3.290	1.315	1.187
贡献率(%)	33.74	27.03	20.01	11.24
累积贡献率(%)	33.74	60.77	80.78	92.01

各主因子对总方差的贡献率依次为 33.74%、27.03%、20.01%、11.24%,由此可得引起贝类养殖区水质变化的指标主次程度。第 1 组为盐度、溶解氧、硝态氮、溶解性无机氮;第 2 组为亚硝态氮、活性磷、叶绿素 a;第 3 组为 pH 值、化学需氧量、氨态氮;第 4 组为温度。今后对贝类增养殖区水质监测工作的重点应放在盐度、溶解氧、硝态氮、溶解性无机氮 4 个变化较大的水质指标上。

由紫菜养殖区旋转后因子载荷矩阵(表 3)可知,第 1 主因子正向载荷氨态氮、溶解性无机氮、活性磷,载荷系数分别为 0.936、0.869、0.843;负向载荷温度、叶绿素 a,载荷系数分别为 -0.753、-0.727,表明氨态氮、溶解性无机氮、活性磷呈正相关,温度与叶绿素 a 呈正相关,而氨态氮、溶解性无机氮、活性磷与温度、叶绿素 a 呈负相关。第 2 主因子正向载荷硝态氮,载荷系数为 0.648;负向载荷化学需氧量、亚硝态氮,载荷系数分别为 -0.878、-0.948,表明化学需氧量与亚硝态氮呈正相关,而硝态氮与化学需氧量、亚硝态氮呈负相关。第 3 主因子正向载荷 pH 值、盐度、溶解氧,载荷系数分别为 0.927、0.908、0.834,表明 pH 值、盐度、溶解氧呈正相关。

表 3 紫菜养殖区旋转后因子载荷矩阵

水质成分	第 1 主因子	第 2 主因子	第 3 主因子
温度	-0.753	0.250	0.099
pH 值	-0.168	-0.004	0.927
盐度	0.094	-0.310	0.908
叶绿素 a	-0.727	0.078	0.236
溶解氧	-0.209	0.255	0.834
化学需氧量	-0.298	-0.878	0.110
亚硝态氮	-0.113	-0.948	0.036
硝态氮	-0.061	0.648	0.066
氨态氮	0.936	0.178	-0.094
溶解性无机氮	0.869	0.449	-0.054
活性磷	0.843	0.341	0.096
特征值	3.624	2.671	2.483
贡献率(%)	32.95	24.28	22.57
累积贡献率(%)	32.95	57.23	79.80

由各主因子对总方差的贡献率可得各水质指标的主次梯度。第 1 组为氨态氮、溶解性无机氮、活性磷、温度、叶绿素 a;第 2 组为硝态氮、化学需氧量、亚硝态氮;第 3 组为 pH 值、盐度、溶解氧。今后对紫菜养殖区水质监测工作的重点应放在氨态氮、溶解性无机氮、活性磷、温度、叶绿素 a 5 个变化较大的水质指标上。

2.3.2 因子得分 由表 4 可知,对于第 1 主因子的得分,2013 年 8、9、10 月为较高的正值,分别为 0.546、1.538、1.426 分,而 2014 年因子得分均低于 -0.500 分。第 1 主因子正向载荷因子为盐度、溶解氧、硝态氮、溶解性无机氮,因此这 4 个水质因子在 2013 年具有较高值,而在 2014 年具有较低值。由第 2 主因子的得分可知,亚硝态氮、活性磷在 2012 年 9、10 月及 2013 年 8 月具有较高值,在 2014 年 9、10 月具有较低值;叶绿素 a 在 2012 年 9、10 月及 2013 年 8 月具有较低值,在 2014 年 9、10 月具有较高值。由第 3 主因子的得分可知,pH 值、化学需氧量、氨态氮在 2012 年 8、9 月具有较高值,在 2014 年 8 月具有较低值。由第 4 主因子的得分可知,温度在 2014 年 8 月具有较高值,在 2012 年 10 月具有较低值。

贝类养殖区海水水质评价结果表明,2012 年 8 月水质受到中度污染,结合因子得分可知,此时海水污染主要由化学需氧量、氨态氮引起;2012 年 9 月水质重度污染由亚硝态氮、活性磷、化学需氧量、氨态氮引起;2012 年 10 月水质重度污染由亚硝态氮、活性磷引起;2013 年 8 月水质重度污染由亚硝态氮、活性磷引起;2013 年 9、10 月水质重度污染由硝态氮、溶解性无机氮引起。

表 4 贝类养殖区不同时期主因子的得分情况

采样时间	得分(分)			
	第 1 主因子	第 2 主因子	第 3 主因子	第 4 主因子
2012 年 8 月	0.299	-0.632	2.328	0.287
2012 年 9 月	-0.791	0.895	0.935	-0.081
2012 年 10 月	-0.408	1.046	-0.328	-1.645
2013 年 8 月	0.546	1.874	-0.323	0.943
2013 年 9 月	1.538	-0.594	-0.443	0.063
2013 年 10 月	1.426	-0.403	-0.535	-0.109
2014 年 8 月	-1.188	-0.491	-0.789	1.843
2014 年 9 月	-0.676	-0.853	-0.552	-0.821
2014 年 10 月	-0.746	-0.842	-0.293	-0.481

由表 5 可知,对于第 1 主因子的得分,2012 年 3 月具有较高的正值 2.500,而 2014 年 5 月具有较低的负值 -0.817 分。第 1 主因子正向载荷氨态氮、溶解性无机氮、活性磷,因此这 3 个水质因子在 2012 年 3 月具有较高值,在 2014 年 5 月具有较低值。由第 2 主因子的得分可知,硝态氮在 2013 年 4、5 月具有较高值,而化学需氧量、亚硝态氮在 2013 年 3 月具有较高值。由第 3 主因子的得分可知,pH 值、盐度、溶解氧在 2013 年 3、4、5 月具有较高值,在 2014 年 3、4、5 月具有较低值。

紫菜养殖区海水水质评价结果表明,2012 年 3 月水质受到重度污染,结合因子得分可知,此时海水污染主要由氨态氮、溶解性无机氮、活性磷引起;2013 年 4、5 月水质污染由硝态氮引起。

表 5 紫菜养殖区不同时期主因子的得分情况

采样时间	得分(分)		
	第 1 主因子	第 2 主因子	第 3 主因子
2012 年 3 月	2.500	0.488	-0.403
2012 年 4 月	-0.556	0.284	0.448
2012 年 5 月	-0.315	0.255	-0.149
2013 年 3 月	0.307	-2.475	0.915
2013 年 4 月	0.148	0.724	0.863
2013 年 5 月	-0.552	0.943	1.579
2014 年 3 月	-0.367	-0.078	-1.151
2014 年 4 月	-0.347	0.105	-0.990
2014 年 5 月	-0.817	-0.246	-1.111

3 结论与讨论

养殖区污染已成为海水养殖普遍存在的问题。天津市汉沽贝类增殖区有机污染程度较高、营养盐超标严重;厦门市同安湾内的养殖区出现海水富营养化状况^[11-12]。南通市重点增殖区水质评价结果表明,各养殖区水质均受到不同程度的污染,且污染呈现出一定时空差别。2012 年 9—10 月及 2013 年 8—10 月,贝类增殖区水质严重污染;2012 年 3—4 月,紫菜增殖区水质严重污染,水质状况已无法达到健康养殖的要求。养殖区水质年度变化趋势表明,2012—2014 年贝类、紫菜增殖区的水质整体呈好转趋势。

不同养殖区因养殖品种及环境条件的差异,其污染因子也不同。广东省流沙湾贝类养殖区的主要污染物质为石油类,浙江省舟山市丁嘴门海水养殖区则表现为氮、磷为主的水体污染^[13-14]。本研究结果表明,南通市贝类重点增殖区的污染因子为亚硝态氮、活性磷、化学需氧量、氨态氮、硝态氮;紫菜养殖区的主要污染物为硝态氮、溶解性无机氮,而贝类养殖区的主要污染物为氨态氮、溶解性无机氮、活性磷。可见,南通市重点增殖区主要受氮、磷污染,这与国家海洋环境质量公报结果一致^[15]。

养殖区污染来源包括外源污染和内源污染,根据南通市海水重点增殖区的养殖品种及养殖方式,该海域不存在投饵导致的内源污染,因此该海域主要为外源污染^[16-17]。已有研究表明,该海域外源污染的输入途径包括沿海污水的直排入海、长江北上流、降水等^[18-19]。实现南通市重点增殖区养殖活动的可持续发展,必须将降低海区氮、磷营养水平作为首要目标。可控制和削减直排入海污染,通过栽培大型海藻等生物修复手段降低水体中已有营养物质,从而优化水体,确保健康养殖^[20-22]。

参考文献:

[1]李绪元,周永平. 百里滩涂展新容—南通市滩涂开发利用见闻[J]. 海洋开发,1986(2):71-72.

[2]范可章,孙国铭,陈爱华,等. 江苏南部海域文蛤增殖区底质中硫化物及其与 COD 的关系[J]. 南京师大学报:自然科学版,2005,28(4):90-94.

[3]周国平. 如东年鉴[M]. 北京:方志出版社,2004:1-308.

[4]黄通谋,李春强,于晓玲,等. 麒麟藻与贝类混养体系净化富营养化海水的研究[J]. 中国农学通报,2010,26(18):419-424.

[5]Wilfart A, Prudhomme J, Blancheton J P, et al. LCA and emergy accounting of aquaculture systems: towards ecological intensification[J]. Journal of Environmental Management, 2013, 121:96-109.

[6]詹文毅,王南平,叶辉,等. 江苏如东文蛤大面积死亡原因探究[J]. 海洋水产研究,2003,24(4):62-65.

[7]国家海洋局. 海水增殖区监测技术规程[S]. 2002.

[8]GB17378. 4—2007 海洋监测规范[S]. 北京:海洋出版社,2007.

[9]李占东,林钦,黄洪辉,等. 大鹏澳网箱养殖海域水质评价及因子分析[J]. 海洋水产研究,2005,26(3):35-40.

[10]Vidal M, Lopez A, Santoalla M C, et al. 2000. Factor analysis for the study of water resources contamination due to the use of live stock slurries as fertilizer[J]. Agricultural Water Management, 45(1):1-15.

[11]何荣,张秋丰,牛福新,等. 天津汉沽贝类增殖区环境质量综合评价[J]. 水产科学,2014,33(7):455-458.

[12]林涛. 厦门市近岸海域主要水产养殖区水质状况分析与评价[J]. 福建水产,2013,35(3):218-225.

[13]柯常亮,王增焕,李刘冬,等. 广东省流沙湾贝类养殖环境质量评价[J]. 江苏农业科学,2011(1):336-338.

[14]何东海,王晓波,朱志清,等. 赤潮多发期岱山丁嘴门增殖区海水水质分析与评价[J]. 海洋开发与管理,2011(3):61-64.

[15]国家海洋局. 中国海洋环境质量公报[R]. 2013.

[16]国家统计局. 第一次全国污染源普查公报[R]. 2010.

[17]罗锋,李瑞杰,朱宇新. 苏北辐射沙洲海域水文特征与 COD 潮扩散计算分析[J]. 海洋湖沼通报,2007(增刊1):23-30.

[18]简慧兰,秦洁. 苏北浅滩“怪潮”灾害预警报体系建设的几点思考[J]. 海洋开发与管理,2012(11):49-50.

[19]Ferreira J G, Saurel C, Lencart E, Silva J D, et al. Modelling of interactions between inshore and offshore aquaculture[J]. Aquaculture, 2014, 426-427(1):154-164.

[20]Huo Y Z, Wu H L, Chai Z Y, et al. Bioremediation efficiency of *Gracilaria verrucosa* for an integrated multi-trophic aquaculture system with *Pseudosciaena crocea* in Xiangshan harbor, China[J]. Aquaculture, 2012, 326-329(1):99-105.

[21]Kinne P N, Samocha T M, Jones E R. Characterization of intensive shrimp pond effluent and preliminary studies on biofiltration[J]. Aquaculture, 2001, 63(1):25-33.

[22]Yang Y F, Fei X G, Song J M, et al. Growth of *Gracilaria lemaneiformis* under different cultivation conditions and its effects on nutrient removal in Chinese coastal waters[J]. Aquaculture, 2006, 254(1/2/3/4):248-255.