

王大鹏,程胜龙,雷建军,等. 广西浅海养殖生态压力评价体系[J]. 江苏农业科学,2015,43(2):225-229.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2015.02.073

广西浅海养殖生态压力评价体系

王大鹏¹,程胜龙²,雷建军¹,韩耀全¹,施 军¹,何安尤¹

(1. 广西壮族自治区水产科学研究院,广西南宁 530021; 2. 广西大学商学院,广西南宁 530003)

摘要:将广西北部湾主要浅海养殖海域分为 22 个养殖集中区,建立了包含 3 个层次的浅海养殖生态压力评价体系,该体系包括 2 个一级指标、7 个二级指标和 37 个三级指标,综合了李嘉图 5 分制标尺专家打分法、灰色系统分析法、改进的 TOPSIS 技术和层次分析法,对 22 个浅海养殖集中区的生态环境压力进行评价和排序。评价结果指出了目前广西北部湾浅海养殖生态压力的分布情况,对浅海养殖业规划和布局的调整具有较强的指导意义。

关键词:广西;浅海养殖;生态压力评价体系;TOPSIS;灰色系统

中图分类号: S967.2 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2015)02-0225-05

广西北部湾海域岸线总长 1 595 km,海域面积 1 283 万 hm²,20 m 等深线以内浅海面积约 65 万 hm²,适宜水产养殖的约 57 万 hm²。近 20 年来,随着养殖规模的不断扩大,在获取经济效益的同时,对生态环境的压力也不断扩大。如何定量评估浅海养殖产业对浅海生态环境造成的压力,是关系到养殖产业可持续发展的重要课题。国内外对生态环境压力的定量评价提出了很多方法,如用于评价区域可持续发展状态的生态足迹分析法^[1]和绿色核算法^[2]、基于能量利用效率的能值分析法^[3]、基于产业区环境状态的污染物排放指标法^[4]和环境质量法^[5]等。这些方法对养殖生态压力评估具有很高的参考价值,但其指标体系并不适用于浅海养殖业。由于浅海养殖品种多、模式不一,其分布也较散乱,难以获得准确的统计数据。因此,建立一个指标数据获得性较强且能够将各类浅海养殖模式造成的生态压力进行统一对比评估的评价体系是本试验的主要研究内容。

1 养殖集中区的筛选与划分

广西浅海养殖模式包括筏式养殖、底播养殖和网箱养殖,筏式养殖品种主要是近江牡蛎和马氏珠母贝,底播养殖品种有文蛤、象鼻螺、栉江珧等,网箱养殖品种有鲈鱼、鲷科鱼类、美国红鱼等。根据自然控制因子如河口位置、海水深度、底质条件、养殖面积、养殖品种等,在广泛征询专家、业内人士和当地渔民情况下,将广西北部湾主要浅海养殖海域分为 22 个养殖集中区,详见表 1。

2 评价指标体系的构建

2.1 指标选取

指标体系分为目标层、基础层和指标层,第一层为目标层,第二层为基础层,第三层为指标层(表 2)。

收稿日期:2014-04-14

基金项目:海洋公益性行业科研专项(编号:201005012);广西重点实验室系统性研究课题(编号:12-A-02-01);广西重点实验室开放课题(编号:GXKL-AQUA-2011-02)。

作者简介:王大鹏(1981—),男,辽宁开原人,硕士,副研究员,主要从事养殖生态学研究。E-mail:oucwp@163.com。

通信作者:何安尤,高级工程师。E-mail:heanyou2000@aliyun.com。

表 1 广西主要浅海养殖区分区情况	
养殖区名称	主要养殖方式
二白龙东部浅海养殖区	浅海筏式/网箱养殖
光坡浅海养殖区	浅海网箱养殖
江山半岛东侧浅海养殖区	浅海筏式/网箱养殖
廉州湾沙涌浅海养殖区	浅海底播养殖
廉州湾卸江-渔江浅海养殖区	浅海底播养殖
龙门港浅海养殖区	浅海网箱养殖
茅尾海浅海养殖区	浅海筏式养殖/底播养殖
企沙东部浅海养殖区	浅海筏式养殖/底播养殖
三娘湾浅海养殖区	浅海筏式养殖/底播养殖
山口南面浅海养殖区	山口南面浅海增殖
涠洲岛北面浅海养殖区	浅海筏式/网箱养殖
乌雷浅海养殖区	浅海筏式养殖/底播养殖
西村-营盘南面浅海养殖区	浅海底播养殖
英罗港湾口浅海养殖区	浅海底播养殖
营盘-彬塘南面浅海养殖区	浅海底播养殖
珍珠港东部浅海养殖区	浅海网箱养殖
白虎头南面浅海养殖区	浅海底播养殖
江山半岛南侧浅海养殖区	浅海筏式/网箱养殖
廉州湾内湾浅海养殖区	浅海筏式养殖/底播养殖
侨港西南浅海养殖区	浅海底播养殖
漓尾岛南侧浅海养殖区	浅海筏式/网箱养殖
涠洲岛东南浅海养殖区	浅海筏式/网箱养殖

层,有 2 项指标,即社会经济指标和自然生态指标;第二层为基础层,其中养殖传统、养殖现状、社会环境 3 项指标属于社会经济技术指标,水质、海洋生态、底质和气候条件 4 项指标属于自然生态指标;第三层为指标层(表 2)。

2.2 数据来源

通过现场调查指标体系中的养殖传统和养殖现状指标后,使用专家打分法获得定量数据,各养殖区具有生产许可的种苗场、注册登记养殖场、原种场、良种场、水产品冷冻加工厂等社会环境指标相关内容,由沿海 3 市水产畜牧兽医局提供,水质、海洋生态、底质数据来自广西 908 专项调查提供的参数平面分布图,将平面分布图导入 GIS 软件,调整参考坐标系后,用插值法得到各养殖区域的相关数据,气候条件来自当地统计资料。

表 2 广西浅海养殖压力评价体系

目标层	基础层	指标层	数据收集
社会、经济指标 (A1)	养殖传统 (C1)	养殖历史 (D1)	现场调查评分
		养殖从业人员 (D2)	现场调查评分
		养殖品种 (D3)	现场调查评分
	养殖现状 (C2)	养殖总量 (D4)	现场调查评分
		养殖单产 (D5)	现场调查评分
		养殖密度 (D6)	现场调查评分
		物种入侵 (D7)	现场调查评分
		养殖病害 (D8)	现场调查评分
自然生态指标 (A2)	社会环境 (C3)	注册登记养殖场数量 (D9)	统计数据
		原种场数量/良种场数量 (D10)	统计数据
		水产品冷冻加工厂数量/贝类净化厂数量 (D11)	统计数据
	水质指标 (C4)	pH 值 (D12)	监测数据
		化学耗氧量 (D13)	监测数据
		悬浮物含量 (D14)	监测数据
		溶解无机氮含量 (D15)	监测数据
		溶解无机磷含量 (D16)	监测数据
		油类含量 (D17)	监测数据
		铜含量 (D18)	监测数据
		铅含量 (D19)	监测数据
		锌含量 (D20)	监测数据
		初级生产力 (D21)	监测数据
	生态指标 (C5)	浮游植物量/多样性指数 (D22)	监测数据
		浮游动物量/多样性指数 (D23)	监测数据
		底栖生物量 (D24)	监测数据
		溶解态氮磷比 (D25)	监测数据
		溶氧量 (D26)	监测数据
		温度 (D27)	监测数据
		盐度 (D28)	监测数据
		油类含量 (D29)	监测数据
	底质指标 (C6)	总汞含量 (D30)	监测数据
		铜含量 (D31)	监测数据
		铅含量 (D32)	监测数据
		镉含量 (D33)	监测数据
		硫化物含量 (D34)	监测数据
		锌含量 (D35)	监测数据
	气候条件 (C7)	年均冻害次数 (D36)	资料统计
		年均台风侵袭次数 (37)	资料统计

2.3 社会、经济压力指标评分标准的建立

社会、经济压力指标评分标准见表 3。

3 压力评价

3.1 评价方法

构建养殖压力评价分层评价体系后,对社会、经济压力指标采用养殖区所在乡镇的相关数据,运用模糊数学的灰色统计方法对调查数据进行统计和 0-1 标准化处理,得出反映各指标相对重要度的权重;自然生态属性指标除气候环境指标外均为观测指标,对观测数据依据高优或低优数据,按照以下公式进行标准化。

对于高优(即数值越大越具有优势)指标:

$$v_{ij} = \frac{X_{ij} - \min(x_{ij})}{\max(X_{ij}) - \min(X_{ij})}^{\circ}$$

式中: X_{ij} 为指标特征值归一化值; X_{ij} 为第 j 个指标第 i 个值。

对于低优(即数值越小越具有优势)指标:

$$v_{ij} = \frac{\max(X_{ij}) - X_{ij}}{\max(X_{ij}) - \min(X_{ij})}^{\circ}$$

数据标准化后运用改进的逼近理想解排序(technique for order preference by similarity to ideal solution,TOPSIS)技术,计算出各指标相对重要度的客观权重;最后运用层次分析法,计算出各增养殖区的开发现状值。

3.2 C 层指标权重的确定

C 层指标的权重情况如表 4 所示。

3.3 D 层指标权重的确定

社会、经济指标的 D 层指标权重采用主观权重,由各专家和业内人士给出相对重要性判断矩阵,经过灰色统计得出最终的指标判断矩阵,计算出综合各位专家和业内人士的各指标权重,结果如表 5 所示。

自然生态因子的各指标权重采用客观权重法,利用

表 3 社会、经济压力指标评分标准

指标	分级	标准或特点
养殖历史	5	养殖业具有悠久的历史,为当地传统行业,也是当地的主要产业
	4	养殖业非传统行业,但养殖历史较长,养殖已成为当地的主要行业
	3	养殖正在兴起,养殖业已成为当地的主要产业之一
	2	养殖业逐渐受到重视,得到当地政府的支持,有一定的发展
	1	养殖业正在初步发展阶段,为新兴行业
养殖人口	5	拥有养殖传统,养殖人口众多,占当地从业人数很大比例
	4	养殖时期较长,有一定的养殖人口,占当地从业人数比例较大
	3	养殖正在兴起,养殖人较少,占当地从业人员比例较小
	2	部分具有开拓精神的从事养殖,占当地从业人员很小比例
	1	很少人从事养殖业,占当地从业人员的比例很少
养殖品种	1	当地为优势品种原产地,也是最佳生境地,无引进品种
	2	当地为优势品种次优生境地,适合 1 个以上特色品种养殖,无引进品种
	3	当地再尝试品种引种,有少量引进品种
	4	在逐步引种特殊品种
	5	大量引进养殖品种
养殖总量	5	养殖总量很大,密度高,是该养殖品种的主要养殖地
	4	养殖总量较大,密度较高,为该养殖品种的重要养殖地
	3	养殖总量一般,密度一般,为该养殖品种的一个养殖地
	2	养殖总量较小,密度较小,为该养殖品种的较小养殖地
	1	养殖总量小,密度小,为该养殖品种的小规模养殖地
养殖单产	5	养殖产量最高
	4	养殖产量较高
	3	养殖产量一般
	2	养殖产量较低
	1	养殖产量低
养殖密度	5	养殖密度高,资源利用率大
	4	养殖密度较高,资源利用率较大
	3	养殖密度一般,资源利用率一般
	2	养殖密度较小,资源利用率较低
	5	养殖密度小,资源利用率低
物种入侵	1	无品种引进,无物种入侵
	2	品种有序引进,物种入侵影响较小
	3	品种引进较多,物质入侵有一定影响
	4	品种引进较多,物种入侵有较大影响
	5	品种引进无序,物种入侵对当地影响较大
养殖病害	1	养殖病大面积暴发次数很少,小面积能得到很好的控制,防控措施完备
	2	养殖病大面积暴发次数较少,小面积疾病有发生,防控措施较完备
	3	养殖疾病大面积暴发次数较少,小面积疾病经常发生,防控措施一般
	4	间或有养殖病大面积暴发次数,小面积疾病经常发生,防控措施较少
	5	养殖病大面积暴发次数较多,小面积经常发生,无防控措施

表 4 浅海养殖压力评价 A - C 层判断矩阵

A - C 层的指标	养殖传统	养殖现状	社会环境	水质指标	生态指标	底质指标	气候条件	权重
养殖传统	1	1	1/3	1/5	1/5	1/5	3	0.040
养殖现状	5	1	3	1	1	1	9	0.222
社会环境	3	3	1	1/3	1/3	1/3	7	0.119
水质指标	5	5	3	1	1	1	9	0.222
生态指标	5	5	3	1	1	1	9	0.222
底质指标	5	5	3	1	1	1	9	0.222
气候条件	1/3	1/3	1/7	1/9	1/9	1/9	1	0.014

表 5 浅海养殖压力评价社会、经济指标 D 层指标权重			
C - D 层		指标	权重
C1 - D 层	养殖历史		0.103
	养殖从业人口		0.291
	养殖品种		0.605
C2 - D 层	养殖密度		0.24
	养殖单产		0.082
	养殖总量		0.082
	养殖病害		0.082
	物种入侵		0.433
C3 - D 层	基地注册登记养殖场数量		0.506
	原种/良种场数量		0.431
	冷冻加工厂数量/贝类净化厂数量		0.073

TOPSIS 技术确定各 D 层指标的熵权重作为客观权重,评价出各自然生态指标 C 层指标值。首先将观测指标 0 - 1 标准化,然后按照水质因子、底质因子、生态因子和气候因子计算其熵值,确定其熵权重,建立基于熵权的规范化判断矩阵后,求出正负最优解和距离最优解的逼近度,以距离最优解的逼近度作为该因子的评价得分,再对其进行 0 - 1 标准化,获得水质因子、底质因子、生态因子和气候因子的评价标准值。表 6 列出了部分养殖区底质指标的评价结果。

3.4 评价结果

将自然生态因子和社会经济因子标准值乘以 C 层权重获得评价总分,将各养殖区生态压力按由低到高进行排序,评价及排序结果如表 7 所示。

表 6 部分浅海养殖区底质因子指标客观权重与评价结果

名称/评价指标	基于熵权的加权规范化决策矩阵							C 层评价结果	
	油类含量	总汞含量	铜含量	铅含量	镉含量	硫化物含量	锌含量	评价值	等级
二白龙东部浅海养殖区	0.070	0.207	0.149	0.103	0.156	0.105	0.073	0.831	4
光坡浅海养殖区	0.070	0.173	0.150	0.094	0.117	0.110	0.070	0.731	4
江山半岛东侧浅海养殖区	0.045	0.000	0.045	0.073	0.091	0.006	0.065	0.325	2
廉州湾沙涌浅海养殖区	0.070	0.211	0.150	0.109	0.149	0.106	0.079	0.833	4
廉州湾卸江 - 渔江浅海养殖区	0.053	0.035	0.086	0.056	0.074	0.000	0.059	0.349	2
龙门港浅海养殖区	0.070	0.182	0.150	0.097	0.143	0.111	0.069	0.782	4
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
正最优解	0.033	0.153	0.131	0.021	0.000	0.115	0.010		
负最优解	0.061	0.193	0.142	0.095	0.156	0.116	0.057		
熵权值	0.073	0.220	0.160	0.131	0.208	0.124	0.103		

表 7 各养殖区评价结果

养殖区	评价结果								总分
	养殖历史	养殖现状	养殖技术	社会环境	水质指标	生态指标	底质指标	气候条件	
江山半岛南侧浅海养殖区	0.245	0	0.050	0.064	0.001	0.755	0.353	0.400	0.275
廉州湾沙涌浅海养殖区	0.036	0.213	0.050	0.000	0.012	0.800	0.332	0.500	0.277
三娘湾浅海养殖区	0.381	0.266	0.150	0.157	0.194	0.724	0.402	0.400	0.361
廉州湾内湾浅海养殖区	0.446	0.099	0.700	0.313	0.702	0.098	0.165	0.400	0.364
企沙东部浅海养殖区	0.000	0.167	0.300	0.157	0.249	0.729	0.402	0.000	0.368
英罗湾港口浅海养殖区	0.209	0.099	0.200	0.438	0.772	0.062	0.565	0.400	0.405
珍珠港东部浅海养殖区	0.136	0.004	0.250	0.093	1.001	0.365	0.260	0.400	0.414
廉州湾卸江 - 渔江浅海养殖区	0.690	0.135	0.700	0.626	0.661	0.222	0.068	0.900	0.417
二白龙东部浅海养殖区	0.834	0.706	0.300	0.502	0.018	0.798	0.330	0.400	0.418
江山半岛东侧浅海养殖区	0.726	0.135	0.700	0.594	0.759	0.192	0.034	0.900	0.422
白虎头南面浅海养殖区	0.690	0.231	0.700	0.594	0.533	0.403	0.044	1.000	0.425
乌雷浅海养殖区	0.245	0.411	0.050	0.281	0.295	0.748	0.561	0.500	0.429
龙门港浅海养殖区	0.690	0.592	0.700	0.719	0.282	0.740	0.001	0.900	0.462
光坡浅海养殖区	0.345	0.312	0.000	0.000	0.284	0.678	1.000	0.400	0.467
茅尾海浅海养殖区	0.899	0.692	0.650	0.719	0.305	0.724	0.203	0.900	0.515
侨港西南浅海养殖区	0.690	0.493	0.500	0.406	0.167	0.754	0.731	0.500	0.530
山口南面浅海养殖区	0.827	0.855	0.850	0.751	0.649	0.091	0.557	0.900	0.561
营盘 - 彬塘南面浅海养殖区	0.272	0.950	0.750	0.907	0.116	0.621	0.839	0.500	0.605
西村 - 营盘南面浅海养殖区	1.000	0.642	1.000	1.000	0.818	0.000	0.573	0.400	0.621
湾尾岛南侧浅海养殖区	0.726	0.706	0.700	0.406	0.703	0.877	0.831	0.500	0.733
涠洲岛东南浅海贝类养殖区	0.726	0.706	0.700	0.406	0.703	0.877	0.831	0.500	0.733
涠洲岛北面浅海养殖区	0.763	0.968	0.700	0.687	0.720	1.000	0.784	0.500	0.799

4 结论与讨论

4.1 关于评价中数据分析方法的选择

本研究对养殖区生态压力的分析共结合了 3 种方法,在整体上采用层次分析法,将指标体系分为 3 个层次进行分析。其中,对指标体系中主观性较强的指标如社会经济条件指标

首先选择国际通用并流行的李嘉图 5 分制标尺^[6]进行专家打分,为克服专家打分法可靠性与灵敏性较差的缺点,采用灰色系统分析方法^[7]对结果进行分析,该方法的优点是:要求样本量少;不要求样本有较好的分布规律;计算工作量少;不会出现量化结果与定性分析结果不符的情况;通过采用灰色统计方法进行数据处理,将定性的社会经济条件转变为定量数据,较好地纳入了评价体系,并保证数据的处理能客观地反映现实情况。对客观性较强的指标如水质、底质和生态指标采用改进的 TOPSIS 技术进行数据处理^[8-9],其主要优点包括:一是在评价 D 层指标权重时引入信息熵理论进行客观赋权,以避免各种水质、底质、生态指标权重计算的主观性;二是为去除传统 TOPSIS 技术理想解和负理想解距离同向性的问题,用垂直距离代替传统的欧式距离,从而提高结果的可信度。

4.2 评价体系指标合理性及数据易得性分析

对水环境进行评价体系的构建多考虑水质和底质 2 个方面,如通过底质指标评价筏式养殖对沉积环境的压力^[10],通过水质指标评价工业发展对湖泊生态的压力^[11]等,本研究建立的评价体系指标相对较多,包含了养殖历史、养殖现状、社会环境、水质指标、生态指标、底质指标、气候条件 7 个二级指标,其中包含三级指标共 37 个,囊括了滩涂养殖对生态环境各方面的压力。这些指标数据均有很强易得性,其中各项社会经济条件指标均是各级水产养殖管理单位的必须统计项目,从养殖报表中容易获得各年度数据及发展趋势变化。在自然生态因子中,气候指标可查阅海洋环境统计年报;而水质、底质和生态指标可在条件允许时进行现场测定获得准确值,也可如本研究一样借用大规模海洋专项调查结果,通过 GIS 软件中插值的方法获得各养殖区的数据。

4.3 评价结果的准确性及其意义

评价结果中生态压力较高的浅海养殖区均为养殖历史较长、养殖面积较大的养殖区,如山口南面浅海养殖区、西村 - 营盘南面浅海养殖区、漓尾岛南侧浅海养殖区和涠洲岛周边都是传统的贝类养殖区,老化现象严重,表明评价结果准确度

较高。由于评价所得的生态压力均为各养殖区之间的相对压力,因此,评价给出的排序结果指出了目前广西北部湾浅海养殖生态压力的分布情况,对浅海养殖业规划和布局的调整具有较强的指导意义。

参考文献:

- [1] 曹晶晶,李海波,杨军军,等. 基于传统生态足迹和能值生态足迹方法的湖北省可持续发展状态比较[J]. 湖北大学学报:自然科学版,2011,33(3):313-316,327.
- [2] Bartelmus P. Green accounting for a sustainable economy - policy use and analysis of environmental accounts in the Philippines[J]. Ecological Economics,1999,29(1):155-170.
- [3] Brown M T,Ulgitati S. Emergy - based indices and ratio to evaluate sustainability;monitoring economics and technology toward environmentally sound innovation[J]. Ecological Engineering,1991,9(1/2):51-69.
- [4] 余凤鸣,杜忠潮,周杜辉. 基于熵值法的发展与生态环境耦合关系演变分析——以西安市为例[J]. 安徽农业科学,2011,39(34):21224-21227.
- [5] 周静,杨桂山,戴胡爽. 经济发展与环境退化的动态演进——环境库兹涅茨曲线研究进展[J]. 长江流域资源与环境,2007,16(4):414-419.
- [6] 大卫·李嘉图. 论政治经济学及赋税原理[M]. 北京:光明日报出版社,2009.
- [7] 邓聚龙. 灰色系统理论教程[M]. 武汉:华中理工大学出版社,1990.
- [8] 张先起,梁川,刘慧卿. 基于熵权的改进 TOPSIS 法在水质评价中的应用[J]. 哈尔滨工业大学学报,2007,39(10):1670-1672.
- [9] 陈雷,王延章. 基于熵权系数与 TOPSIS 集成评价决策方法的研究[J]. 控制与决策,2003,18(4):456-459.
- [10] 张继红,任黎华,吴桃,等. 筏式养鲍对沉积环境压力的评价——MOM-B 监测系统模型在桑沟湾的应用[J]. 渔业现代化,2011,38(1):1-6.
- [11] 游文荪,丁惠君,许新发. 鄱阳湖水生态安全现状评价与趋势研究[J]. 长江流域资源与环境,2009,18(12):1173-1180.

(上接第 224 页)

条斑紫菜的生活史分为单倍体的叶状体阶段与二倍体的丝状体阶段^[7],而体细胞属于叶状体阶段细胞,壳孢子则属于丝状体发育成熟后产生的 F₁ 代细胞,为了验证中选育出的 NY-001 品系的耐低盐性能否稳定遗传到后代中,笔者对该品系生活史的 2 个阶段的细胞做了详细的低盐胁迫条件下的测试,试验结果初步证实,在体细胞阶段和壳孢子阶段, NY-001 品系的耐低盐特性都是显著优于 WT 品系的。

综上所述,筛选得到的优良品系 NY-001 的耐低盐性是显著优于 WT 品系的,可以对其进行进一步选育,并逐渐把它们培育成耐低盐的优良品种,用于海区养殖生产,为地方特色产业提供品种保障。

参考文献:

- [1] 赵素达,董树刚,吴以平,等. 盐胁迫对孔石莼的生理生化影响[J]. 海洋科学,2000,24(7):52-55.
- [2] 陈昌生,纪德华,谢潮添,等. 坛紫菜耐低盐品系的选育及经济性状的比较[J]. 集美大学学报:自然科学版,2009,14(1):1-7.

- [3] 严兴洪,陈敏. 坛紫菜耐低盐优良品系的筛选[J]. 上海水产大学学报,2008,17(3):316-320.
- [4] Kato M,Aruga Y. Comparative studies on the growth and photosynthesis of the pigmentation mutants of *Porphyra yezoensis* in laboratory culture[J]. Jap J Phycol,1984,32:333-347.
- [5] 严兴洪,梁志强,宋武林,等. 坛紫菜人工色素突变体的诱变与分离[J]. 水产学报,2005,29(2):166-172.
- [6] Yan X H,Wang S J. Studies on the development and differentiation of somatic cells in *Porphyra* spp. (Rhodophyta)[J]. Marine Sciences,1990,3(2):195-208.
- [7] 王华芝,严兴洪,李琳. 条斑紫菜(*Porphyra yezoensis*)耐高温品系的筛选及特性分析[J]. 海洋与湖沼,2012,43(2):363-369.
- [8] 严兴洪,黄林彬,周晓,等. 坛紫菜叶状体的细菌性红烂病研究[J]. 中国水产科学,2008,15(2):313-322.
- [9] 王长青,严兴洪,黄林彬,等. 坛紫菜优良品系“申福 2 号”的特性分析与海区中试[J]. 水产学报,2011,35(11):1658-1667.
- [10] 严兴洪,江海波. 盐度对条斑紫菜体细胞生长发育的影响及耐低盐应变异体的初步观察[J]. 上海水产大学学报,1993,2(1):34-40.