

浙江北部沿海婆罗囊螺 (*Retusa borneensis*) 生态敏感因子的筛选研究*

王志铮 史海东 张义浩 严世强
(浙江海洋学院 舟山 316004)

提要 根据2001年4月—2002年9月间对浙江北部沿海婆罗囊螺资源生态调查与实验生态观察、生物学特性研究、敏感药物选择与区域应用实验所获资料,以婆罗囊螺繁殖盛期优势群体与同时期滩涂养殖主要经济种类泥螺、彩虹明樱蛤优势群体间生态耐受特性比较为基础,通过建立基于利比希最小因子定律和谢尔福德耐受性定律基础之上的婆罗囊螺生态敏感因子确定方法,对婆罗囊螺生态敏感因子及其敏感度指数进行定量分析研究。结果表明,婆罗囊螺6h内温度、盐度及酸碱度的最大生态幅分别为0—40℃、5—65和3.92—9.5,最适生态幅分别为温度10—30℃、盐度17—35和酸碱度5.5—9.5;各实验动物对温度、盐度及酸碱度的生态敏感度指数分别为:婆罗囊螺呈酸碱度>温度>盐度,泥螺呈温度=盐度>酸碱度,彩虹明樱蛤则表现为温度≈酸碱度≈盐度;各实验生物间对温度、盐度及酸碱度生态敏感度指数分别表现为,温度呈彩虹明樱蛤≈婆罗囊螺>泥螺,盐度呈泥螺>彩虹明樱蛤≈婆罗囊螺,酸碱度呈婆罗囊螺>泥螺>彩虹明樱蛤。在讨论并设定酸碱度作为婆罗囊螺生态敏感因子的同时,为不影响涂泥底质安全,保证泥螺和彩虹明樱蛤的正常存活,确定酸碱度对婆罗囊螺的有效作用水平为9.5—10。

关键词 婆罗囊螺,泥螺,彩虹明樱蛤,生态耐受性,生态敏感因子,浙江北部沿海
中图分类号 Q959.212

生态修复理论和实践的研究与探讨(Barrow, 1991; Cairns *et al.*, 1988; Freedman, 1989; Manuel, 2000)已成为目前生态研究的热点之一,近年来许多学者就生态修复研究引伸的有关生物栖息地与环境因子适应性的定量分析、评估模式与方法开展了较为深入的研究和探讨(Hirzel *et al.*, 2002; Fielding *et al.*, 1997; Hirzel *et al.*, 2001; Dole' dec *et al.*, 2000; Akc, akaya *et al.*, 1997),并从污染生态学角度开展了生物生态敏感度研究及其在生态系统中的应用(李宏文等, 2001; 杜虹等, 2003; Eriksson, 1996),但以上工作仅局限于采用常规毒性试验的方法而无明确的敏感度定量指标,有关干扰人控经济群落危害性目标生物生态敏感因子的定量筛选方法迄今国内外尚未见有报道。

目前,在浙江沿海许多地区的养殖滩涂中野生婆罗囊螺(*Retusa borneensis* A. Adams)种群密度远高于养殖贝类,且有进一步扩增趋势,已严重制约了当地滩涂贝类养殖的产量和效益。因此作者利用浙江北部沿海婆罗囊螺资源生态调查与实验生态观察、生物学特性研究(王志铮等, 2003a)、敏感药物选择与区域应用试验(王志铮等, 2003b)等资料,以婆罗囊螺繁殖盛期优势群体与同时期滩涂养殖主要经济种类泥螺(*Bullacta exarata* Philippi)、彩虹明樱蛤(*Moerella iridescens* Benson)优势群体间生态耐受特性比较为基础,通过建立基于利比希最小因子定律和谢尔福德耐受性定律基础之上的婆罗囊螺生态敏感因子确定方法,对婆罗囊螺生态敏感因子及其敏感度指数进

* 国家科技部星火计划项目资助,2003EA700104号;浙江省科技厅计划项目资助,21102058号;浙江省教育厅科研项目资助,20010659号;舟山市科技局科研项目资助,01224号。王志铮,副教授,E-mail:wzz_1225@163.com

收稿日期:2003-12-30,收修改稿日期:2004-03-11

行了定量分析研究,并以此就抑制婆罗囊螺生存、繁衍的有效途径进行了探讨,从而在生态机理上为婆罗囊螺敏感药物选择与区域应用试验结果(王志铮等,2003b)提供理论支撑,旨为养殖滩涂敌害生物的安全、高效防治提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 实验动物

研究用婆罗囊螺(*Retusa borneensis*)、泥螺(*Bul-lacta exarata*)和彩虹明樱蛤(*Moerella irdescens*)均采自浙江省岱山县岱西镇仇江门养殖滩涂。

1.2 野外观察

2001年4月—2002年9月在浙江省岱山县岱西镇仇江门养殖滩涂,通过现场逐月测量各实验生物的优势鲜重与壳高,比较观察各实验动物的栖息分布、摄食方式、移动节律和繁殖活动等生活习性,了解婆罗囊螺与泥螺、彩虹明樱蛤在繁殖、生长时序上的差异以及栖息分布和行为习性的异同,初步确定开展婆罗囊螺生态敏感因子筛选的适宜时机和有效途径。

1.3 室内生态因子耐受特性的观察

1.3.1 婆罗囊螺生态因子的适应性与耐受性

将采集到用于实验的表层油泥和婆罗囊螺优势壳高组带回实验室,养殖于玻璃钢容器(1200mm×750mm×450mm,内铺表层油泥高度50mm)内,稳定1天后,开展婆罗囊螺生态因子的适应性与耐受性急变实验。具体方法为:经预备实验,在确定单因子6h急变致死大致范围后,各因子分别以自然状态(自然海水盐度23.8、酸碱度8.04、平均水温27.3℃)为对照,设置若干梯度(根据预备实验结果,以因子对照组为界,在其前后按需设置等差梯度间隔),在直径为12cm的玻璃培养皿内,各放试验对象20个为一组,设2个平行组,连续6h观察受试对象的活动状况,确定婆罗囊螺优势壳高组各因子的极限耐受范围与存活适宜范围。每1h记录一次死亡率,并及时取出死亡个体(以针刺法和复水法来鉴别存活、假死与死亡个体),实验动物均用游标卡尺(精度0.02mm)测量,大小一致。

研究用海水均为自然海水经脱脂棉双重过滤、煮沸、冷却后备用,用粗盐和蒸馏水、HCl和NaOH调节各试验梯度的海水盐度和酸碱度。采用30solinity conducting temperature型温盐度计、PHS-3C型精密pH计测定其水温、盐度和酸碱度。

1.3.2 婆罗囊螺与泥螺、彩虹明樱蛤生态因子耐

受特性的比较观察 以婆罗囊螺生态因子的适应性与耐受性等观察结果为基础,为保证试验的代表性和同一性,以同时期该海涂实验生物壳高优势组为试验对象。按婆罗囊螺生态因子的适应性与耐受性急变实验方法,开展泥螺、彩虹明樱蛤同期壳高优势组生态因子适应性与耐受性急变实验,根据各实验所得结果,分析、找寻婆罗囊螺与泥螺、彩虹明樱蛤壳高优势组间在耐受限度上具显著差异的生态敏感因子及其作用水平。

1.4 数据处理

同一实验生物对不同生态因子的生态敏感指数 M_x 和不同实验生物对同一生态因子的生态敏感指数 M_y 分别采用以下公式计算:

$$M_x = \frac{Y_{su} - Y_{sd}}{Y_u - Y_d} \times 100\% \quad M_y = \frac{1}{Y_u - Y_d} \times 100\%$$

式中, Y_{su} 、 Y_{sd} 分别表示6h内某实验生物成活率为100%时,某生态因子数值的上限和下限; Y_u 、 Y_d 则分别表示6h内某实验生物死亡率为100%时,某生态因子数值的上限和下限。

2 结果

2.1 各实验生物间生活习性的比较

野外观察结果显示各实验生物在生活习性方面存在如下共同点:(1)数量密度均随潮位降低而提高,数量以中、低潮带为最多;(2)摄食习性相似,主要以底栖硅藻为食;(3)垂直分布表现为退潮后多出没于泥表,涨潮前夕多钻潜入泥;(4)繁殖期相近。婆罗囊螺的繁殖期为5—9月,以6—7月为盛期;泥螺的繁殖期为3—11月,盛期分别为5—6月和10月;彩虹明樱蛤的繁殖期为6—8月。

各实验动物生活习性的差异主要表现为:(1)受外界干扰强度。彩虹明樱蛤属完全的底内生物,外界对其干扰比较小;泥螺、婆罗囊螺为底上生物,受外界干扰明显要大于彩虹明樱蛤;(2)抗外界干扰能力。婆罗囊螺个体小于泥螺,腹足也没有泥螺发达,因此逃逸能力明显弱于泥螺,也即其抗外界干扰能力不如泥螺;(3)栖息分布。与泥螺、彩虹明樱蛤相比较,婆罗囊螺喜阳,晴天落潮后多集中分布于较为干燥的涂表,故其更易受外界环境因子的干扰。

2.2 婆罗囊螺对温度、盐度及酸碱度的适应性与耐受性

观察发现,在10—30℃各水温梯度组中,随着水温升高,婆罗囊螺的活动能力加强,爬行速度加快,针刺反应灵敏度增强,未发现有死亡个体。

10℃以下,足缩反应迟钝,运动减慢。0℃时多呈休眠状。水温达到35℃时,3h后30%个体呈假死状(复水仍能存活),水温超过35℃,死亡率明显上升,至45℃,4h后所有个体便全部死亡。由此判定其极限水温生态幅为0—40℃,适应范围为10—30℃。

婆罗囊螺盐度耐受极限范围为5.0—65.0,较适宜范围为17.0—35.0。观察发现,婆罗囊螺对高盐度环境表现出很强的耐受力,虽足畏缩不动,反应十分微弱,甚至出现壳肉分离现象,但在6h内65.0以前高盐度条件下婆罗囊螺仍具较高的成活率;随着盐度的下降,婆罗囊螺对低盐环境的适应性明显下降,足部膨胀程度明显提高,当盐度降至10.0,2h后,足部因膨胀变白,肌肉失去弹性,且伸缩困难,活动十分微弱;盐度下降至5.0以后6h内个体死亡率为100%。

婆罗囊螺对低酸碱度值环境的耐受力强于高酸碱度值海水,在pH值为5.5时尚能正常生活,4.0以后才开始出现死亡现象,至pH为3.92时6h内个体死亡率为100%;在高pH值环境中,当pH低于9.0时,婆罗囊螺均能正常生活,而升至9.5时,则6h内个体死亡率为100%。

据以上观察,可确定繁殖期内婆罗囊螺对温度、盐度、酸碱度6h内的生存范围分别为0—40℃、5—65和3.92—9.5;适宜范围分别为10—30、17—35和5.5—9.0。

2.3 各实验生物对温度、盐度及酸碱度耐受特性和敏感特征的比较

由表1可见,婆罗囊螺对温度、盐度及酸碱度的生态敏感指数呈酸碱度>温度>盐度,泥螺对温度、盐度及酸碱度的生态敏感指数呈温度=盐度>酸碱度,彩虹明樱蛤则表现为温度≈酸碱度≈盐度。

表1 各实验生物生态因子耐受特性的观察

Tab.1 Observation of ecological factors tolerance on the experimental organisms

实验生物	壳高范围(mm)	平均壳高(mm)	生态因子	Y_u	$Y_{su}-Y_{sd}$	Y_d	$M_x(\%)$
婆罗囊螺	7.80—12.26	10.38 ± 0.9298	温度(℃)	0	10—30	40	50
			盐度	5	17—35	65	30
			酸碱度(pH)	3.92	5.5—9.0	9.5	63
泥螺	7.18—12.08	9.78 ± 1.2076	温度(℃)	-3	5—38	42	73
			盐度	3.3	6.5—40	49	73
			酸碱度(pH)	2.91	4.0—10	10.21	40
彩虹明樱蛤	7.56—10.81	9.74 ± 1.0286	温度(℃)	1	8—32	39	63
			盐度	3.6	12—45	59.7	59
			酸碱度(pH)	2.72	5.01—10	10.82	62

由表2可知,各实验生物间对温度的生态敏感指数呈彩虹明樱蛤≈婆罗囊螺>泥螺,对盐度的生态敏感指数呈泥螺>彩虹明樱蛤≈婆罗囊

螺,对酸碱度的生态敏感指数呈婆罗囊螺>泥螺>彩虹明樱蛤。

表2 各实验生物间生态因子敏感度差异的比较

Tab.2 The diversity analysis of ecological sensitive factors among the experimental organisms

生态因子	实验生物	Y_u	Y_d	$M_y(\%)$
温度(℃)	泥螺	-3	42	2.2
	彩虹明樱蛤	1	39	2.6
	婆罗囊螺	0	40	2.5
盐度	泥螺	3.3	49	2.2
	彩虹明樱蛤	3.6	59.7	1.8
	婆罗囊螺	5	65	1.7
酸碱度(pH)	泥螺	2.91	10.21	13.7
	彩虹明樱蛤	2.72	10.82	12.3
	婆罗囊螺	3.92	9.5	17.9

3 讨论与结语

3.1 主要生态耐受因子及其作用时效与时机的选择

彩虹明樱蛤为底内生物,而婆罗囊螺和泥螺为退潮后的底上生物,因此生态因子对各实验生物的作用时效明显受到潮汐特征的限制,即复水后,因子作用强度均随之明显减弱,达不到有效抑制实验生物生存的目的。由于本试验海区属正规半日潮,潮水落涨潮时滩涂露空时间仅为 6h 左右,故本实验中以 6h 为限开展实验生物的生态因子耐受特性研究。众所周知,繁殖期为生物最为敏感的生活阶段,也是开展生物耐受性研究的关键时期,且婆罗囊螺具明显的集群产卵特性(王志铮等, 2003a),故本研究将婆罗囊螺的繁殖盛期作为各实验生物间主要生态耐受因子作用的时机。滩涂为特殊的生境,具地势平坦,水交换较差等特点(尼贝肯, 1991),影响泥相生物水平分布的常规限制性因子主要为温度、盐度和酸碱度,故本研究中以为 6—7 月晴天落潮后为婆罗囊螺生态敏感因子筛选的适宜时机,以温度、盐度和酸碱度作为各实验生物间的主要生态耐受因子。

3.2 生态敏感度计算公式及其作用

生物对某因子耐受生态幅越宽,表明该生物对该因子耐受能力越强,即该生物对该因子生态敏感程度也就越低,反之亦然。由此,可采用 $M_Y = \frac{1}{Y_u - Y_d} \times 100\%$ 作为不同生物对同一生态因子间生态敏感程度差异的指标;同样,某生物对某因子的生存适宜范围与耐受生态幅越接近,表明该生物承受该因子的干扰能力就越弱,即该生物对该因子生态敏感程度也就越高,反之亦然。由此,本文中采用 $M_X = \frac{Y_{Su} - Y_{Sd}}{Y_u - Y_d} \times 100\%$ 作为同一生物对不同生态因子间生态敏感程度差异的指标。通过 M_X 间的比较,可以了解群落内危害性目标物种对各生态因子生态敏感程度的差异,从而探明该目标物种的主要生态敏感因子;通过 M_Y 间的比较,可以了解群落内危害性目标物种与其它物种间对同一生态因子生态敏感程度的差异,从而探明该目标物种与其它物种间在生态耐受性上存在的主要生态敏感因子,由此,通过对 M_X 、 M_Y 的综合分析,结合危害性目标物种与其它物种对各生态因子的耐受水平,可得出在保证其它物种间正常存活、商品价值以及环境本底安全不受影响

的条件下,该目标物种与其它物种间在生态耐受性上存在的主要生态敏感因子及其作用水平。

虽然有关因子间作用大小的比较一般多采用因子交互作用进行相关分析,而本文中 M_X 、 M_Y 两公式具有鲜明的生态学意义,完全能满足各生态限制因子对同种和异种动物作用大小的比较,渔业生态学中生物捕食选择性系数计算公式 $E = \frac{r_i - p_i}{r_i + p_i} \times 100\%$ (r_i 指某食物在某捕食生物肠、胃食物团中出现率, p_i 指某食物在渔获物中出现率)其实也从侧面印证了这一点,因此 $M_Y = \frac{1}{Y_u - Y_d} \times 100\%$ 和 $M_X = \frac{Y_{Su} - Y_{Sd}}{Y_u - Y_d} \times 100\%$ 两公式可为筛选生态敏感因子提供依据;同时,在本研究中,因基于实际效果的考虑,试验时间相对较短(6h),导致各实验动物的耐受能力,即各因子最佳生存适宜范围(死亡率为零)和最大生态幅(成活率为零)均明显被放大,势必造成因子相关性出现较大的偏差,故在本研究中采用因子交互作用进行相关分析意义不大,因此该两计算公式在其实也是对本研究因子间相关性分析确定因子作用大小的一种有效补充。

但本文中 M_X 、 M_Y 公式仅是在规定了目标危害生物与主要经济生物种类主要生态耐受因子及其作用时效与时机前提上建立的,因此,上述两公式仅为海水滩涂养殖生态系中生物环境敏感因子筛选研究的特例。

3.3 婆罗囊螺生态敏感因子及其作用水平的确定

通过对 M_X 、 M_Y 的综合分析(表 1、表 2),发现各实验生物对温度、盐度变化具较宽的耐受生态幅,对酸碱度变化又均呈现出较强的敏感性,且婆罗囊螺对酸碱度的耐受能力均弱于泥螺和彩虹明樱蛤,表明酸碱度可作为婆罗囊螺生态敏感因子。考虑到不影响涂泥底质安全和保证泥螺、彩虹明樱蛤的正常存活与较好的商品价值的需要(表 1、表 2),作者认为酸碱度对婆罗囊螺的有效作用水平应设定为 9.5—10(在低 pH 条件下不仅贝壳易受腐蚀影响商品价值,而且也易使涂质酸化,威胁涂质安全),以上结果也与该螺的药物选择与野外实际应用情况(王志铮等, 2003b)相吻合。

3.4 婆罗囊螺生态敏感因子作用途径的探讨

婆罗囊螺属于泥相滩涂的机会型种群(王志

铮等, 2003a), 其种群数量密度的快速扩增缘于养殖生物均有一个较为明显的采捕期(3—4月、9—10月为泥螺的采捕期、4—9月为彩虹明樱蛤的采捕期)所致, 因此, 作者认为可以通过生态敏感因子的人为作用, 通过杀灭亲螺群体抑制其繁殖, 以达到调控其种群总量的目的, 缓减养殖生物采捕期间给予婆罗囊螺种群获得“大发展”的机会。具体操作办法为: 在繁殖期晴天退潮后 1—2h 后, 利用婆罗囊螺卵群分布较为集中、卵粒个体小, 易受干扰和喜阳、晴天落潮后多集中分布于较为干燥的涂表的特性, 通过酸碱度的急变应激, 对其卵群和亲螺群体实施有效抑制。

致谢 岱山县岱西镇科委冯庆立同志, 岱山县仇江门海涂综合开发有限公司王海岳同志, 岱山县职业技术学校陈启恒同志, 本校 98、99 级渔业科学与技术专业班陈国灿、邵青、胡迪、朱勇、齐其军同学, 00 级水产养殖班陈婷、徐成兴、刘华香等同学参加部分实验工作, 谨致谢忱。

参 考 文 献

- 王志铮, 张义浩, 李太武等, 2003a. 浙江北部沿海婆罗囊螺的生物学特征. 水产学报, 27(4): 343—349
- 王志铮, 邵青, 冯庆立等, 2003b. 婆罗囊螺 *Retusa borneensis* (A. Adams) 杀灭效果的药物选择及其应用技术研究. 浙江海洋学院学报(自然科学版), 23(4): 299—305
- 李宏文, 梁娜, Paul K Chien, 2001. 水生植物的生态敏感度研究. 生态学杂志, 20(2): 20—22
- 杜虹, 黄长江, 陈善文等, 2003. 2001—2002 年粤东柘林湾浮游植物的生态学研究. 海洋与湖沼, 34(2): 604—617
- 尼贝肯 J W 著, 林光恒, 李和平译, 1991. 海洋生物学——生态学探讨. 北京: 海洋出版社, 187—191
- Manuel C Molles, 2000. 生态学: 概念与应用. 北京: 科学出版社, 302—455
- Akc, akaya H R, Atwood J L, 1997. A habitat-based metapopulation model of the California Gnatcatcher. Conservation Biology, 11: 422—434
- Barrow C J, 1991. Land Degradation. London: Cambridge University Press, 285
- Dole' dec S, Chessel D, Gimaret-Carpentier C, 2000. Niche separation in community analysis: a new method. Ecology, 81: 2914—2927
- Eriksson S, 1996. The Operational Concept of Ecological Sensitivity. Stockholm: Royal Institute of Technology Publishers, 30—45
- Fielding A H, Bell J F, 1997. A review of methods for the assessment of prediction errors in conservation presence/absence models. Environmental Conservation, 24: 38—49
- Freedman B, 1989. Environmental Ecology: The Impact of Pollution and Other Stresses on Ecosystem Structure and Function. London: Academic Press, 116
- Hirzel H, Helfer V, Metral F, 2001. Assessing habitat-suitability models with a virtual species. Ecological Modelling, 145: 111—121
- Hirzel A H, Hausser J, Chessel D *et al*, 2002. Ecological-niche factor analysis: how to computer habitat-suitability maps without absence data? Ecological Society of America, 83(7): 2027—2036

SELECTION OF ECOLOGICAL SENSITIVE FACTORS OF POLUO MUD SNAIL *RETUSA BORNEENSIS* IN NORTH OF ZHEJIANG COAST

WANG Zhi-Zheng, SHI Hai-Dong, ZHANG Yi-Hao, YAN Shi-Qiang

(Zhejiang Ocean University, Zhoushan, 316004)

Abstract In past several years, scientist advanced their researches to quantitative analysis, digital modeling and other methods to evaluate environment of inhabitation and adaptation, and to assess environmental factors in their roles of importance in ecology, especially in those polluted areas. However, most of such research were limited to regular tests on toxicity and no specific quantitative index, such as selective quantitative method of ecological sensitive factors, has been reported so far in China.

As it is known that the population density of poluo mud snail *Retusa borneensis* is much higher than other

aquicultural seashell. The proportion has increased in north of Zhejiang Coast and become an important academic base for studying selection of inhibitor and the prevention of harmful species in tidal flat. This paper is the report of the ecological investigation for *R. borneensis* in north of Zhejiang coastal area from April 2001 to September 2002. Ecological differences in propagation, growth, behavior, inhabitation, distribution and other characters of *R. borneensis*, mud slug *Bullacta exarata* and clam *Moerella irdescens* populations were studied. To research the ecological tolerance between dominance population of *R. borneensis* and other species such as *B. exarata* and *M. irdescen* during the eugenic period of *R. borneensis* 6 hours examinations were done. The ecological sensitive factors and the threshold value inhabiting to *R. borneensis*' survival were selected. Result indicates that *R. borneensis*' ecological tolerance range of temperature, salinity and pH is respectively 0—40℃, 5—65, 3.92—9.5, and the suitable range is respectively 10—30℃, 17—35 and 5.5—9.5 determined in 6 hours.

Based on the law of ecological tolerance, the result of investigation, and the consideration of the characteristic of aquacultural environment, this paper proposed a new formula to calculate Ecological Sensitive Degree Exponent (ESDE) index.

The value of ESDE is used to select ecological sensitive factor from all the ecological factors after the ecological investigation and ecological tests directed by the method. *R. borneensis* is more sensitive to pH value than to temperature and salinity, *B. exarata* is less sensitive to pH value than to temperature and salinity. But there are a slight difference in degree of the sensitiveness among the three factors for *M. irdescen*. The indexes of temperature, salinity and pH value for each experimental species are presented as follows: for temperature, $M. irdescen \approx R. borneensis > B. exarata$, for salinity, $B. exarata > M. irdescen \approx R. borneensis$, and for pH value, $R. borneensis > B. exarata > M. irdescen$.

So the most sensitive environmental factor for *R. borneensis* is pH value, which showed a little sensitive to the main economic species such as *B. exarata* and *M. irdescens* in aquiculture. The suitable range of pH value is 9.5 to 10.0. The investigation also indicated that sunny day 1 to 2 hours after the ebb during period of *R. borneensis* breeding, *R. borneensis* and their eggs were more abundant, and the eggs are relatively small, so the group is easy to be interfered, and the surface of the mud beach shows drier. By this formula, we can restrain the quantity increasing of *R. borneensis* by rapidly changing the pH value of the environment. Results indicates that the method is suitable and the ESDE value can be used to select sensitive factors.

Key words Poluo mud snail *Retusa borneensis*, Mud slug *Bullacta exarata*, Clam *Moerella irdescens*, Ecological tolerance, Ecological sensitive factors, North of Zhejiang Coast