

影响浅海网箱养殖鱼类生长的因素分析 ——解析结构模型法的应用

ANALYZING FACTORS AFFECTING FISH GROWTH IN NET-CAGE MARICULTURE: APPLICATION OF INTERPRETIVE STRUCTURAL MODELING METHOD

王肇鼎 练健生

(中国科学院南海海洋研究所, 广州 510301)

WANG Zhao-Ding, LIAN Jian-Sheng

(South China Sea Institute of Oceanology, Academia Sinica, Guangzhou 510301)

关键词 海水网箱养殖, 生长因素, 解析结构模型法, 结构模型

KEYWORDS Net-cage mariculture, Growth factors, Interpretive Structural Modeling, Structure model

Brett[1979]认为影响养殖鱼类生长的因素中,食量大小不是影响生长率和总效率的唯一因素。生物的非生物的环境因素,经新陈代谢也会影响鱼类的活动与生长。Fry[1947, 1971]认为有四种非生物的环境因素:①控制因子如温度,控制代谢反应发生的速率;②限制因子如溶解氧,限制某些生化变化发生的速率;③潜伏因子如盐度,会对代谢系统强加一个额外负担,因而阻碍了代谢系统对温度变化的充分反应;④直接因子如光线,会引起代谢系统以适当方式反应,白天长度变化会激发腺成熟。Brett[1979]与Brett和Groves[1979]详细考察了这四类因子对生长率与生长效率的影响,其中生物因子如饵料、体重、优势度、群体中个体大小组成等。近年来,一些学者应用解析结构模型法(Interpretive Structural Modeling,简称ISM法)研究赤潮发生与环境因素在各个层次上的相互关系[王寿松等1994](周贤沛1996)。本文根据所收集的影响养殖鱼类生长的各种因素,从它们的直接作用关系,应用ISM法,通过自编计算机程序找出它们之间的间接关系,推导出有关影响生长因素的关联结构图,直观地反映出影响鱼类生长的各因素的层次,研究结果可为深入进行网箱养鱼的长期观测研究提供依据。

1 影响生长的因素的关系分析

根据刘元春和王明德[1989]与经验,本文收集了16种影响网箱养殖鱼类生长的因素。这些因素之间的直接作用关系如表1所示,以“1”表示行对应的因素直接作用于列对应的因素。其中COD为化学耗氧量,BOD₅为5天的生物耗氧量。

表 1 影响网箱养殖鱼类生长的因素之间的直接作用关系

Tab. 1 The direct affecting relation between growth factors in net-cage fish mariculture

原始矩阵	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	出度	
	水温	溶解氧	盐度	光照	饵料	密度	疾病	叶绿素 a	COD	BOD ₅	pH	气温	潮流	风	降雨量	个体大小		
1	水温						1	1			1						4	
2	溶解氧						1	1	1	1							4	
3	盐度		1					1									3	
4	光照							1									1	
5	饵料						1		1	1							3	
6	密度						1									1	2	
7	疾病															1	1	
8	叶绿素 a		1								1						2	
9	COD		1								1						2	
10	BOD ₅		1								1						2	
11	pH							1	1	1							3	
12	气温	1						1									2	
13	潮流	1	1	1				1									4	
14	风		1					1					1				3	
15	降雨量			1								1					2	
16	个体大小					1	1										2	
	入度	2	7	2	0	0	1	5	8	3	3	5	1	1	0	0	2	40

2 因素结构分析

从表 1 可知各因素之间的直接关系, 但各因素之间的间接关系以及各因素发生作用的先后次序与主次关系等整体结构尚不明确。ISM 法的理论基础是用“1”和“0”表示是否有关系, 通过矩阵的布尔代数运算, 由直接关系求出包括间接关系的总体结构关系。因此, ISM 法可用于结构分析。

参考王寿松等[1994] 和陆健健和周玉丽[1988], 本文给出 ISM 法的操作步骤:

(1) 建立因素的直接作用邻接矩阵(M₀) 由表 1 所示的直接作用关系中对应“1”的行列位置, 在矩阵 M₀ 的相应位置上赋予“1”, 其余位置赋予“0”。

(2) 计算自反的邻接矩阵(M) 按布尔和运算, 在 M₀ 上加一单位矩阵 E, 得到自反的邻接矩阵 M, 即 M=M₀+E。

(3) 计算可达矩阵(Mⁿ) 按布尔积运算 M×M=M², 反复运算, 直至 Mⁿ=Mⁿ⁺¹。由表 1 求得的可达矩阵为 M⁴, 见表 2。

(4) 编制因素集合分析表将可达矩阵 M⁴ 第 i 列为“1”的元素所对应的各因素组成先行集 P_i; 再将可达矩阵 M⁴ 第 i 行为“1”的元素所对应的各因素组成到达集 R_i 再求 P_i 和 R_i 的交集, 即共同集 Q_i=P_i∩R_i; 最后将 P_i、R_i、Q_i 对应于因素 S_i 编制成因素集合分析表(表 3)。

(5) 确定关联结构层次 ①先分出独立块: R_i 和 R_j 完全不同时, i 和 j 因素分属不同的独立块; ②对每一个独立块进行后面的分层结构分析: 从因素集合分析表抽出具有 R_i 和 Q_i 完全相同元素所对应的因素, 即构成关联结构第 1 层次的因素; ③从分析表中删去第 1 层次的所有因素及所对应的整列集合, 得到一个新的分析表。重复上面①②③的操作步骤, 反复进行下去, 直至全部因素所属层次结构均确定为止。

(6) 制作关联结构图 将上述步骤得出的关联结构各层次的因素从上到下按层次排列, 同一层次因素放在同一水平上; 再根据表 1 所示的有直接关系的因素之间用实线相连, 即形成关联结构图(图 1)。

表 2 影响鱼类生长因素的可达矩阵: M^4

Tab. 2 The reachable matrix of fish growth factors. M^4

可达矩阵	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
	水温	溶解氧	盐度	光照	饵料	密度	疾病	叶绿素 a	COD	BOD ₅	pH	气温	潮流	风	降雨量	个体大小
1 水温	1	1				1	1	1	1	1	1					1
2 溶解氧		1				1	1	1	1	1	1					1
3 盐度		1	1			1	1	1	1	1	1					1
4 光照		1		1		1	1	1	1	1	1					1
5 饵料		1			1	1	1	1	1	1	1					1
6 密度						1	1									1
7 疾病						1	1									1
8 叶绿素 a		1				1	1	1	1	1	1					1
9 COD		1				1	1	1	1	1	1					1
10 BOD ₅		1				1	1	1	1	1	1					1
11 pH		1				1	1	1	1	1	1					1
12 气温	1	1				1	1	1	1	1	1	1				1
13 潮流	1	1	1			1	1	1	1	1	1		1			1
14 风	1	1	1			1	1	1	1	1	1			1	1	1
15 降雨量	1	1	1			1	1	1	1	1	1					1
16 个体大小						1	1									1

表 3 影响鱼类生长因素集合分析表

Tab. 3 The common set taking out from analyse of fish growth factors

因素	S ₁	S ₂	S ₃	S ₄	S ₅	S ₆	S ₇	S ₈	S ₉	S ₁₀	S ₁₁	S ₁₂	S ₁₃	S ₁₄	S ₁₅	S ₁₆
	水温	溶解氧	盐度	光照	饵料	密度	疾病	叶绿素 a	COD	BOD ₅	pH	气温	潮流	风	降雨量	个体大小
S ₁ 水温	Q ₁															
S ₂ 溶解氧		Q ₂						Q ₈	Q ₉	Q ₁₀	Q ₁₁					
S ₃ 盐度			Q ₃													
S ₄ 光照				Q ₄												
S ₅ 饵料					Q ₅											
S ₆ 密度						Q ₆	Q ₇									Q ₁₆
S ₇ 疾病						Q ₆	Q ₇									Q ₁₆
S ₈ 叶绿素 a		Q ₂						Q ₈	Q ₉	Q ₁₀	Q ₁₁					
S ₉ COD		Q ₂						Q ₈	Q ₉	Q ₁₀	Q ₁₁					
S ₁₀ BOD ₅		Q ₂						Q ₈	Q ₉	Q ₁₀	Q ₁₁					
S ₁₁ pH		Q ₂						Q ₈	Q ₉	Q ₁₀	Q ₁₁					
S ₁₂ 气温												Q ₁₂				
S ₁₃ 潮流													Q ₁₃			
S ₁₄ 风														Q ₁₄		
S ₁₅ 降雨量															Q ₁₅	
S ₁₆ 个体大小						Q ₆	Q ₇									Q ₁₆

3 结果与讨论

(1) 浅海网箱养殖系统是一个开放的复杂体系, 与环境发生物质、能量和信息交流, 因此影响此系统中的养殖鱼类生长的因素众多。从本文收集的 16 种因素, 大致可归类为: ①生物要素为密度、疾病和个体大小; ②水质要素为溶解氧、COD、BOD₅、叶绿素 a 和 pH; ③饵料与水文要素为饵料、盐度、潮流、水温; ④气象要素为光照、风、降雨。我们需要从这些因素中找出其主次层次和相互关系, 才能深入研究。

(2)从关联结构图 1 可看出,对鱼类生长的各因素并非同时起作用,是分主次、先后关联相互作用。

第一层次正是本文归类的生物要素。这些因素跟鱼类的生长和健康直接相关,而且是可管理的因素,是我们进行优化组合的主要对象因素。这些因素之间密切相关,应作为相对独立一块建立子模型。

第二层次是本文归类的水质要素。当第一层次在某一时段里可视为稳定时,显然影响鱼类生长的要素是水质。溶解氧是鱼类养殖系统的主要限制因子,因受水质变化控制,成为影响鱼类生长的主要监控和间接可调控因子。水质要素本身构成一个大的缓冲系统,内部五个因子之间互相紧密相关,因此是一个相对独立的子系统。水质要素不但常常作为限制因子,而且处于养殖系统中承上启下的中央位置。从直接作用关系矩阵的出入度分析可明显看出这点:50%(39/80;水质要素出入度为 39,系统总出入度为 80)的相互作用通过这一层进行。特别有 65%(26/40;水质要素的入度 26,总入度 40)的生长作用因素进入到这一层,并在这里综合以后影响上一层。但水质要素本身直接可调控的量很小,因此,水质与其他因素相互作用的子模型是养殖系统调控的关键模型。

第三层次分为饵料和水文要素两个独立块。其中饵料是直接可调控的独立部分。水文要素(水温、盐度、潮流)少量可调控,如通过选择位置、方向和网的清洁等措施。

第四层次是气象要素:包括光照、风、气温、降雨,为基本不可调控且还有很大的突发成分的一个层次。

(3)本文对各因素的演绎结构分析,说明若深入研究网箱养殖鱼类正常生长过程,则需探索一定环境条件下投饵和密度与生长的关系;若探索网箱养殖容量,则需要考察密度和投饵组合对鱼类生长与系统的水质和疾病的关系,尤其是限制因子溶解氧的收支动态和与其他因素的关系模型。

(4)通过本文的实践,说明可以应用 ISM 分析影响鱼类网箱养殖生长的因素,建立这些因素之间的关联结构关系,直观地反映影响因素的层次和相关关系,为深入研究提供依据。虽然 ISM 方法是定性的分析方法,却为我们从总体上把握整个系统提供了整理构思、明晰思路的一个可行办法。这是一种自上而下的宏观分析方法。我们认为,应用 ISM 于象生态系统这类复杂系统的研究,值得重视。

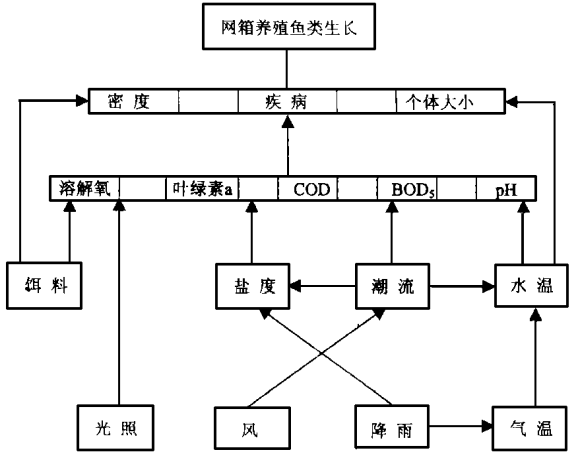


图 1 影响网箱养殖鱼类生长因素的关联结构

Fig. 1 The incidence structure of growth factors affecting fish growth in net-cage mariculture

参 考 文 献

王寿松, 冯国灿, 夏综万等. 1994. 大鹏湾夜光藻赤潮发生要素的结构分析. 海洋与湖沼, 25(2): 146~151

刘元春, 王明德(译). 1989. 渔业生态学. 台北: 五洲出版社. 104~111

陆健健, 周玉丽(译). 1988. 生态模型法原理. 上海: 翻译出版公司. 28~35

Brett J R. 1979. Environmental factors and growth. In: Hoar W S, Randall D J, Brett J R, eds. Fish physiology, Vol. 8: Bioenergetics and growth. Academic Press, New York. 599~75

Brett J R, Grove. 1979. Physiological energetics. In: Hoar W S, Randall D J, Brett J R, eds. Fish physiology, Vol. 8: Bioenergetics and growth. Academic Press, New York. 279~352

Fry F E J. 1947. Effects of the environment on animal activity. Univ Toronto Stud Biol Ser. 55: 1~62

Fry F E J. 1971. The effect of environmental factors on the physiology of fish. In: Hoar W S, Randall D J, eds. Fish Physiol, Vol. 6. Academic Press, New York. 1~98