

日本沼虾(*Macrobrachium nipponensis*)池养越冬抱卵亲虾表型性状对个体繁殖力的影响效应*

王志铮¹ 杨磊¹ 施建军² 朱卫东² 任夙艺¹

(1. 浙江海洋学院水产学院 舟山 316004; 2. 余姚市水产技术推广中心 余姚 315400)

提要 采用多元分析方法定量研究了日本沼虾池养越冬抱卵亲虾体重(*BW*)、净重(*NW*)、体长(*BL*)、头胸甲长(*CL*)、胸宽(*CW*)、胸高(*CH*)、腹节长(*AL*)、额剑长(*RL*)、尾节长(*TL*)等 11 项表型性状对其个体繁殖力的影响效应。结果表明: (1) 实验对象所测各表型性状间均呈极显著相关($P < 0.01$), 它们在对个体繁殖力各评价指标的影响上具较好的区分度; (2) 影响个体绝对繁殖力(F_j)、体重相对繁殖力(F_w)和体长相对繁殖力(F_L)的关键表型性状及其直接作用强弱排序分别为 $BW > BL > CH > RL > AL > NW$, $BW > CL > RL > CH > TL > NW$ 和 $BW > CL > CH > RL > NW$, 相关指数依次为 0.810、0.621 和 0.798, 其中 $BW-NW$ 组合和 $CH-RL$ 组合分别为决定个体繁殖力的核心变量和公共从属变量; (3) 适用于估算个体繁殖力的回归方程分别为: $F_j = 5087.802BW - 6599.877NW + 200.927CH + 114.774RL + 211.878BL - 154.965AL - 6266.840$, $F_w = 1140.538BW - 2018.663NW + 85.217CH + 70.852RL + 78.694CL + 74.623TL - 1152.576$, $F_L = 105.453BW - 134.613NW + 4.307CH + 2.709RL + 3.623CL - 61.737$; (4) $W(\text{♀}) = 0.029BL + 0.065CL + 0.121CW + 0.105CH - 2.448$ 可精确估算其净重值。

关键词 日本沼虾, 同生群, 越冬抱卵亲虾, 表型性状, 个体繁殖力, 多元分析
中图分类号 Q78

个体繁殖力作为反映物种生存对策的重要数量遗传性状和体现种质规定性与种内差异性双重特征的重要生物学指标, 既是影响种群数量变动的重要因子, 也是表征种内繁殖性能差异的重要依据。经典遗传学认为性状间的相关性是由基因连锁或一因多效所引起的(刘博等, 2010)。

日本沼虾 *Macrobrachium nipponensis* (De Haan) 系我国重要的淡水虾类养殖品种之一, 具春、夏季(繁殖群体为前一年出生的世代)和秋季(繁殖群体为当年出生的世代)两个繁殖高峰期, 属典型的短生命周期种类。研究表明, 日本沼虾个体繁殖力与体重、体长等生长表型性状有着密切的关系(屈忠湘, 1990; 何绪刚等, 2003), 具较高的种质评价与选育价值, 但上述研究均仅为孤立的简单相关分析, 故无法准确度量所涉表型性状与个体繁殖力间的关联实质。为进一步了解影响该虾个体繁殖力的关键表型性状, 以及它

们对该虾个体繁殖力影响的直接作用和间接作用, 以明确这些关联表型性状对其个体繁殖力影响的主次作用及它们之间的交互作用, 突破目前育种实践环节中因个体繁殖力无法准确度量而未能将其纳入目标选育性状这一技术瓶颈, 本研究以余姚市青港野生苗种场培育的同生群日本沼虾越冬抱卵亲虾为研究对象, 运用相关分析、通径分析和偏回归分析等多元分析方法, 定量研究了关联表型性状对该虾个体繁殖力的影响效应, 并建立了可用于精确估算该虾个体繁殖力的多元回归方程, 以期为更好地指导该虾选择育种生产实践提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 样品来源及其生物学指标的测定

2010 年 5 月 28 日自余姚市青港野生苗种场日本沼虾暂养网箱内随机选取肢体完整、体质健壮的抱卵

* 浙江省重大科技专项农业项目, 2008C12083 号。王志铮, 研究员, E-mail: wzz_1225@163.com

收稿日期: 2010-12-18, 收修改稿日期: 2011-04-18

雌虾 198 尾作为本研究实验样品。样品编号后, 参照王志铮等(2011)的测量方法, 用游标卡尺(精度 0.02mm)逐尾测量体长(BL)、头胸甲长(CL)、胸宽(CW)、胸高(CH)、腹节长(AL)、腹节高(AH)、腹节宽(AW)、尾节长(TL)、额剑长(RL)等 9 项长度性状; 用 BS223S 型电子天平(精度 1mg)称量经滤纸吸净体表水分后的体重(BW)和去除卵块后的净重(NW); 按孙建胎等(1998)的方法通过计数每尾实验虾的全部怀卵量, 并结合其净重和体长测定结果求得个体绝对繁殖力(F_J)、体重相对繁殖力(F_W)和体长相对繁殖力(F_L)等个体繁殖力评价指标值。

1.2 分析方法

整理所测结果, 借助 SPSS 17.0 软件分别计算个体繁殖力评价指标及表型性状的均值、标准差以及变异系数, 并在相关分析和表型性状对个体繁殖力评价指标通径分析的基础上, 剖析那些通径系数达到显著水平($P < 0.05$)的表型性状对个体繁殖力评价指标的直接作用和间接作用, 进而计算决定系数和复相关指数, 确定影响个体繁殖力评价指标的关键表型性状; 通过偏回归分析, 保留偏回归系数达到显著水平($P < 0.05$)的表型性状, 建立这些性状与个体繁殖力评价指标间相互关系的多元回归方程, 并进行拟合度检验。

2 结果与分析

2.1 日本沼虾越冬抱卵亲虾生物学测定指标的参数估计值

由表 1 可见, 本研究所涉生物学测定指标中 F_J 、 F_W 、 F_L 的变异系数均远高于其它性状, 表明日本沼虾池养越冬抱卵亲虾的个体繁殖力具有较强的选择潜力和较高的选育价值。

2.2 日本沼虾越冬抱卵亲虾个体繁殖力与表型性状间的相关性

由表 2 可见, 个体繁殖力各评价指标间、各表型性状间的相关系数均达到极显著水平($P < 0.01$); F_J 与 CW 、 AL 、 AH 相关性不显著($P > 0.05$), 与 NW 呈显著相关($P < 0.05$), 其余均呈极显著相关($P < 0.01$); F_W 仅分别与 NW 、 BL 、 CW 、 AL 呈极显著相关($P < 0.01$), 与 CL 、 CH 、 AW 呈显著相关($P < 0.05$); F_L 除与 BW 呈极显著相关($P < 0.01$)外, 其余相关性均不显著($P > 0.05$)。表明本研究所选表型性状在对个体繁殖力评价指标的影响上具较好的区分度。

2.3 日本沼虾越冬抱卵亲虾表型性状对个体繁殖力的通径分析

根据通径分析原理, 借助 SPSS 17.0 软件分别获得各表型性状对个体繁殖力的通径系数。经显著性检验, 剔除未达到显著水平($P > 0.05$)的表型性状, 并按

表 1 日本沼虾越冬抱卵亲虾生物学测定指标的参数统计
Tab.1 The apparent statistics of various trait for the pond cultured over-wintering gravid *M. nipponensis*

生物学测定指标	代码	单位	统计量		
			均值	标准差	变异系数(%)
个体绝对繁殖力	F_J	eggs	2453.7	758.1	30.89
体重相对繁殖力	F_W	eggs/g	998.4	317.2	31.77
体长相对繁殖力	F_L	eggs/mm	52.0	20.9	40.21
体重	BW	g	2.521	0.492	19.49
净体重	NW	g	2.087	0.418	20.03
体长	BL	mm	48.12	3.17	6.60
头胸甲长	CL	mm	15.13	1.15	7.62
胸宽	CW	mm	9.06	0.74	8.21
胸高	CH	mm	9.87	0.79	7.97
腹节长	AL	mm	24.48	2.03	8.31
腹节高	AW	mm	7.95	0.78	9.87
腹节宽	AH	mm	10.38	1.16	11.20
尾节长	RL	mm	11.59	1.14	9.81
额剑长	TL	mm	8.51	0.61	7.13

相关系数组成效应, 将保留下来的表型性状与相对应的个体繁殖力评价指标间的相关系数(r_{ij})剖分为直接作用(通径系数 P_1)和通过其它性状的间接作用(P_2)两部分。

由表 3 可见, F_J 与被保留的 6 个表型性状间的相关系数(均为正值)和直接作用(仅 NW 和 AL 为负值)

分别为 $BW > RL > CH > BL > NW > AL$ 和 $BW > BL > CH > RL > AL > NW$, 间接作用(仅 BW 和 BL 为负值)与直接作用排序正好相反, F_W 与被保留的 6 个性状间的相关系数(均为负值)、直接作用(仅 NW 为负值)和间接作用(仅 NW 为正值)分别为 $RL > CH > CL > BW > TL > NW$ 、 $BW > CL > RL > CH > TL > NW$ 和 $NW >$

表 2 日本沼虾越冬抱卵亲虾生物学测定指标间的相关系数(df=196)

Tab.2 The phenotype correlation coefficient between the traits of the pond cultured over-wintering gravid *M. nipponensis* (df=196)

指标	F_J	F_W	F_L	BW	NW	BL	CL	CW	CH	AL	AW	AH	RL
F_J	—												
F_W	0.811**	—											
F_L	0.987**	0.871**	—										
BW	0.454**	-0.090	0.327**	—									
NW	0.170*	-0.333**	0.028	0.939**	—								
BL	0.198**	-0.251**	0.045	0.848**	0.908**	—							
CL	0.261**	-0.143*	0.137	0.788**	0.817**	0.799**	—						
CW	0.062	-0.210**	-0.022	0.490**	0.554**	0.526**	0.432**	—					
CH	0.207**	-0.162*	0.094	0.740**	0.788**	0.731**	0.690**	0.406**	—				
AL	0.092	-0.287**	-0.044	0.687**	0.757**	0.905**	0.504**	0.483**	0.582**	—			
AW	0.189**	-0.169*	0.091	0.722**	0.738**	0.628**	0.567**	0.518**	0.604**	0.502**	—		
AH	0.113	-0.062	0.061	0.289**	0.310**	0.315**	0.241**	0.187**	0.329**	0.263**	0.242**	—	
RL	0.227**	-0.076	0.130	0.663**	0.686**	0.655**	0.478**	0.390**	0.544**	0.604**	0.607**	0.283**	—
TL	0.232**	-0.078	0.124	0.634**	0.659**	0.678**	0.590**	0.311**	0.558**	0.426**	0.527**	0.309**	0.497**

注: $r_{0.05, 196} = 0.140$, $r_{0.01, 196} = 0.183$; *表示性状间相关系数达到显著水平($P < 0.05$), **表示性状间的相关系数达到极显著水平($P < 0.01$), 下同

表 3 日本沼虾越冬抱卵亲虾表型性状对个体繁殖力影响的通径分析

Tab.3 The effects of morphologic traits on the fecundity of the pond cultured over-wintering gravid *M. nipponensis*

指标	性状	r	P_1	间接作用 P_2									
				BW	NW	CH	RL	BL	AL	CL	TL		
F_J	BW	0.454**	2.431	-1.977					0.554	-0.211			
	NW	0.170*	-2.682	2.852	2.282			0.121	0.087	0.593	-0.232		
	CH	0.207**	0.154	0.053	1.799	-2.114			0.069	0.477	-0.178		
	RL	0.227**	0.127	0.100	1.612	-1.839	0.084			0.428	-0.185		
	BL	0.198**	0.654	-0.456	2.061	-2.435	0.112	0.083			-0.277		
F_W	AL	0.092	-0.306	0.398	1.671	-2.031	0.089	0.077	0.592				
	BW	-0.090	1.768	-1.858		-2.498	0.156	0.169			0.225	0.090	
	NW	-0.333**	-2.661	2.328	1.660		0.167	0.174			0.234	0.094	
	CH	-0.162*	0.211	-0.374	1.308	-2.097		0.138			0.197	0.080	
	RL	-0.076	0.254	-0.330	1.172	-1.824	0.115				0.137	0.071	
	CL	-0.143*	0.286	-0.429	1.393	-2.173	0.146	0.121					0.084
	TL	-0.078	0.143	-0.221	1.120	-1.754	0.118	0.126			0.169		
F_L	BW	0.327**	2.481	-2.154		-2.529	0.120	0.098			0.157		
	NW	0.028	-2.693	2.722	2.330		0.128	0.101			0.163		
	CH	0.094	0.162	-0.069	1.836	-2.123		0.080			0.138		
	RL	0.130	0.148	-0.018	1.645	-1.847	0.088				0.095		
	CL	0.137	0.200	-0.063	1.955	-2.200	0.112	0.070					

$TL > RL > CH > CL > BW$, F_L 与被保留的 5 个性状间的相关系数(均为正值)、直接作用(仅 NW 为负值)和间接作用(仅 NW 为正值)分别为 $BW > CL > RL > CH > NW$ 、 $BW > CL > CH > RL > NW$ 和 $NW > RL > CL > CH > BW$; 其中, BW 对 F_J 、 F_W 、 F_L 的直接作用最大, 分别为 2.431、1.768 和 2.481, 但间接作用最小, 依次为 -1.977、-1.858 和 -2.154, NW 对 F_J 、 F_W 、 F_L 的直接作用最小, 分别为 -2.682、-2.661 和 -2.693, 而间接作用却最大, 依次为 2.852、2.328 和 2.722, 各性状对 F_J 、 F_W 、 F_L 的正向间接影响均主要通过 BW 来实现, 负向间接影响则均主要通过 NW 来实现; 除 NW 和 AL 外, 其余被保留的性状对个体繁殖力评价指标直接作用均大于间接作用的绝对值, 表明 $BW-NW$ 组合、 $RL-CL$ 组合分别为影响个体繁殖力各评价指标的核心变量和公共从属变量, 且 $RL-CL$ 组合主要通过直接作用来影响个体繁殖力。经计算, 上述被保留的表型性状对 F_J 、 F_W 、 F_L 的相关指数($R^2 = P_i \cdot r_{x_i y}$, P_i 为通径系数, $r_{x_i y}$ 为表型性状与所对应的个体繁殖力指标间的相关系数)分别为 0.809、0.620 和 0.797。

2.4 日本沼虾越冬抱卵亲虾表型性状对个体繁殖力的决定程度分析

计算单个性状对个体繁殖力评价指标的决定系数($d_i = P_i^2$, P_i 为性状对个体繁殖力评价指标的通径系数)和性状两两交互对个体繁殖力评价指标的共同决

定系数($d_{ij} = 2r_{ij} P_i P_j$, r_{ij} 为两性状间的相关系数, P_i 、 P_j 分别为两性状对个体繁殖力评价指标的通径系数)并列结果于表 4。

由表 4 可见, 被保留的各表型性状组合对 F_J 、 F_W 、 F_L 的决定系数排序依次为 $NW > BW > BL > AL > CH > RL$ 、 $NW > BW > CL > RL > CH > TL$ 和 $NW > BW > CL > CH > RL$; 各表型性状两两交互对 F_J 、 F_W 、 F_L 的共同决定系数, 除与 NW 、 AL 联合的为负值外, 其余均为正值, 且均以 $BW-NW$ 组合的干扰强度为最大, 依次为 -12.242、-8.832 和 -12.549。经计算, 与 F_J 、 F_W 、 F_L 相关联的表型性状组合的决定系数加和依次为 0.809、0.620、0.797, 均等于对应的相关指数值(表 5), 表明上述这些表型性状组合均为影响与之相关联的个体繁殖力评价指标的关键性状, 较其它性状对个体繁殖力评价指标的影响更具重要性。

2.5 日本沼虾越冬抱卵亲虾表型性状与个体繁殖力间多元回归方程的建立

统计实验所测数据并经通径分析和多元回归分析, 在剔除对个体繁殖力评价指标的偏回归系数不显著($P > 0.05$)的性状后, 再次进行复相关分析和回归分析并将所得结果分别列于表 5、表 6 和表 7。

复相关系数是测量一个变量与其它多个变量之间线性相关程度的指标, 复相关系数值越大, 变量间的关系越密切。由表 5 可知, 被保留的表型性状组合

表 4 日本沼虾越冬抱卵亲虾表型性状对个体繁殖力的决定系数

Tab.4 The determinant coefficients of morphometric traits on the fecundity of the pound cultured over-wintering gravid *M. nipponensis*

指标	性状	BW	NW	CH	RL	BL	AL	CL	TL
F_J	BW	5.909	-12.242	0.553	0.409	2.694	-1.024		
	NW		7.192	-0.650	-0.467	-3.183	1.244		
	CH			0.024	0.021	0.147	-0.055		
	RL				0.016	0.109	-0.047		
	BL					0.427	-0.363		
	AL						0.094		
F_W	BW	3.124	-8.832	0.553	0.596			0.796	0.320
	NW		7.080	-0.887	-0.927			-1.243	-0.501
	CH			0.045	0.058			0.083	0.034
	RL				0.065			0.069	0.036
	CL							0.082	0.048
	TL								0.020
F_L	BW	6.155	-12.549	0.596	0.485			0.781	
	NW		7.255	-0.689	-0.545			-0.879	
	CH			0.026	0.026			0.045	
	RL				0.022			0.028	
	CL							0.040	

与相对应的个体繁殖力评价指标间的复相关系数均达到极显著水平($R > r_{0.01}$), 表明它们与个体繁殖力评价指标间存在极为密切的关系。 F_J 、 F_W 、 F_L 与关联表型性状组合的复相关指数和被保留的各表型性状组

合与相对应的个体繁殖力指标间的多元回归方程见表 6, 回归截距及所有表型性状的偏回归系数均达到显著水平($P < 0.05$)。方差分析表明(表 7), 所建立的回归方程的回归关系也均达到极显著水平($P < 0.01$)。经

表 5 日本沼虾越冬抱卵亲虾表型性状与个体繁殖力的复相关分析

Tab.5 The multiple-correlation coefficients of morphometric traits to the fecundity of the pond cultured over-wintering gravid *M. nipponensis*

繁殖力	回归自由度	剩余自由度	复相关系数 R	复相关指数 R^2			
				计算值	校正值	标准误	显著性
F_J	6	191	0.899**	0.809	0.803	456.504	0.000
F_W	6	191	0.787**	0.620	0.608	198.532	0.000
F_L	5	192	0.893**	0.797	0.792	9.531	0.000

注: $r_{0.01(5, 192)} = 0.277$; $r_{0.01(6, 191)} = 0.288$

表 6 日本沼虾越冬抱卵亲虾表型性状与个体繁殖力的偏回归系数检验

Tab.6 Test of significance of the partial regressions and constants of the pond cultured over-wintering gravid *M. nipponensis*

因变量	自变量	代号	偏回归系数	标准误差	t 值	P 值
F_J	回归截距	C	-6266.840	1035.659	-6.051	0.000
	BW	X_1	5087.802	195.218	26.062	0.000
	NW	X_2	-6599.877	304.872	-21.648	0.000
	CH	X_3	200.927	67.948	2.957	0.003
	RL	X_4	114.774	40.186	2.856	0.005
	BL	X_5	211.878	41.023	5.165	0.000
	AL	X_6	-154.965	41.728	-3.714	0.000
F_W	回归截距	C	-1152.576	368.528	-3.128	0.002
	BW	X_1	1140.538	84.630	13.477	0.000
	NW	X_2	-2018.663	117.771	-17.141	0.000
	CH	X_3	85.217	29.555	2.883	0.004
	RL	X_4	70.852	17.602	4.025	0.000
	CL	X_7	78.694	22.227	3.540	0.001
	TL	X_8	74.623	31.493	2.370	0.019
	CL	X_7	3.623	1.059	3.422	0.001
F_L	回归截距	C	-61.737	16.183	-3.815	0.000
	BW	X_1	105.453	4.060	25.972	0.000
	NW	X_2	-134.613	5.611	-23.989	0.000
	CH	X_3	4.307	1.416	3.042	0.003
	RL	X_4	2.709	0.841	3.223	0.001
	CL	X_7	3.623	1.059	3.422	0.001

表 7 日本沼虾越冬抱卵亲虾表型性状与个体繁殖力间多元回归方程的方差分析

Tab.7 Analysis of variance of the multiple regression equations for the pond cultured over-wintering gravid *M. nipponensis*

因子	统计指标	平方和	df	均方	F	P
F_J	回归	1.687×10^8	6	2.812×10^7	134.920	0.000
	残差	3.980×10^7	191	2.084×10^5		
	总计	2.085×10^8	197			
F_W	回归	1.229×10^7	6	2.048×10^6	51.957	0.000
	残差	7.528×10^6	191	3.942×10^4		
	总计	1.982×10^7	197			
F_L	回归	6.855×10^4	5	1.371×10^4	150.921	0.000
	残差	1.744×10^4	192	9.084×10^1		
	总计	8.599×10^4	197			

回归预测, 估计值和实测值间无显著差异($P>0.05$), 表明所建方程能精准反映日本沼虾表型性状与个体繁殖力间的相互关系。另, 鉴于选育现场 NW 无法直接称量, 以及越冬前日本沼虾雌性个体形态性状与体重间的多元回归方程(王志铮等, 2011) 是否可用于估算 NW 之考量, 将该多元回归方程所得估算值分别与 BW 实测值和 NW 实测值进行比对分析, 结果见表 8。由表 8 可见, 该多元回归方程虽均适用于雌性抱卵个体 BW 值和 NW 值的估算($\chi^2 < \chi^2_{0.01}$), 但从其估算值与 BW 实测值具极显著差异($P<0.01$)而与 NW 实测值无差异($P>0.05$)的结果看, 更适用于估算 NW 值, 同时也表明繁殖阶段日本沼虾的增重主要体现为卵块增重而非净重增加。

3 讨论

3.1 影响个体繁殖力的关键表型性状组合的确定

由表 2 可见, F_J 、 F_W 和 F_L 分别与 BW 、 BL 、 CL 、 CH 、 AW 、 RL 、 TL 、 NW 、 BL 、 CL 、 CW 、 CH 、 AL 和 BW 呈极显著相关($P<0.01$), 表明日本沼虾个体繁殖力与部分表型性状存在极为密切的关系, 这就为该虾个体繁殖力表型标记的构建提供了重要的证据支持。由表 3 可见, 对 F_J 、 F_W 和 F_L 的直接影响达到显著水平($P<0.05$)的表型性状组合分别为 BW 、 NW 、 CH 、 RL 、 BL 、 AL 、 BW 、 NW 、 CH 、 RL 、 CL 、 TL 和 BW 、 NW 、 CH 、 RL 、 CL , 复相关分析也显示上述被保留的表型性状组合与对应的个体繁殖力评价指标均达到极显著水平($P<0.01$), 而其余性状则均不显著(表 5), 即通径分析不仅剔除了那些与个体繁殖力评价指标显著相关而通径系数却未达到显著水平的表型性状, 还保留了与个体繁殖力评价指标相关性不显著而通径系数却达到显著水平的表型性状(表 2、表 3), 表明通径分析较相关分析在度量两变量间实质性密切程度上更具可靠性, 这一情形与刘小林等(2004)的研究结果相似。

刘小林等(2002)认为, 在进行通径系数分析和决定系数分析时, 只有当相关指数 R^2 或决定系数加和

大于或等于 0.85 时, 表明影响应变量的主要自变量已经找到。表型性状是受遗传因子和环境因子共同影响的(Mayr *et al*, 1953)。日本沼虾个体繁殖力的变异系数明显高于其表型性状(表 1), 与各表型性状间的简单相关系数均较小(表 2), 以及不同水域间个体绝对繁殖力虽有一定差异但其与体长、体重函数关系却较为相似(屈忠湘, 1990; 何绪刚等, 2003)等的结果, 既与尼柯里斯基(1956)所指出的在生活条件改变的影响下, 鱼类繁殖力指标能适应地、在不超过该物种特性的一定范围以内起着变化的情形相似, 也与张沅(2001)认为繁殖性能属低遗传力性状, 受环境因素影响较大的观点相符, 表明日本沼虾个体繁殖力属受种质遗传特性和外界环境条件双重影响的繁殖性能指标。故本研究中, 虽影响 F_J 、 F_W 、 F_L 的表型性状组合的相关指数分别仅为 0.809、0.620 和 0.797(表 5), 但所建的多元回归方程的回归关系却均达到显著水平($P<0.05$)且回归预测也进一步验证了这些方程的可靠性(表 6、表 7)的结果, 既较好地解释了相关指数均略低于 0.85 系由个体繁殖力属低遗传力性状所致的原因, 也充分揭示了个体繁殖力与同样受种质遗传特性和外界环境条件双重影响的表型性状间存在本质关联的事实, 表明上述被保留的表型性状组合可基本认定为影响日本沼虾池养越冬抱卵亲虾个体繁殖力的关键表型性状。

3.2 关于 BW - NW 组合和 CH - RL 组合对日本沼虾个体繁殖力的影响机制分析

卵块重(BW - NW)既是繁殖能量输出状况的直观体现, 也是个体繁殖力水平高低的真实反映, 因此表型性状对个体繁殖力的影响均必须通过影响卵块重来实现。动物的繁殖是一个复杂而耗能的过程, 动物繁殖期间获得的能量主要用于母体自身的维持和后代的生存(戈峰, 2008), 屈忠湘(1990)也指出日本沼虾雌虾繁殖期间体内营养物质大部分供应性腺发育, 以及越冬前雌性个体体重估算方程所得估算值与本研究 BW 实测值具极显著差异, 而与 NW 实测值无差异的结果(表 8), 均表明日本沼虾繁殖阶段外源营养

表 8 日本沼虾越冬抱卵亲虾体重、净体重及估算值间的比对分析

Tab.8 Body weight, net weight, and estimation values of the pound cultured over-wintering gravid *M. nipponensis*

性状	n	实测值(均值±标准差)	估算值*(均值±标准差)	χ^2	$\chi^2_{0.05, 197}$	$\chi^2_{0.01, 197}$
$BW(g)$	198	2.521±0.492 ^a	2.022±0.290 ^b	34.511	234.74	246.10
$NW(g)$	198	2.087±0.418 ^b	2.022±0.290 ^b	3.665		

注: *估算值计算公式为 $W(\varnothing) = 0.029BL + 0.065CL + 0.121CW + 0.105CH - 2.448$ (王志铮等, 2011); 实测值、估算值间标不同小写字母表示差异极显著($P<0.01$), 标相同小写字母表示差异不显著($P>0.05$)

物质的同化利用主要花费于以净重维持为特征的母体自身消耗和以卵块增重为代表的繁殖能量积累,故 BW 和 NW 也就分别成为对个体繁殖力产生正向和负向影响的核心变量。与此同时,本研究中那些被保留的表型性状对个体繁殖力的正向和负向间接作用均主要通过 BW 和 NW 来实现的结果(表 2),也进一步验证了 $BW-NW$ 组合为影响个体繁殖力评价指标核心变量的真实性。

虾类头胸甲两侧部分即鳃盖向下延伸,形成狭窄而垂直的鳃室(堵南山,1993),体型基本定型的日本沼虾雌性个体处于以增粗为主的生长阶段(王志铮等,2011),即日本沼虾雌性繁殖个体 CH 对鳃室空间大小的影响较 CL 、 CW 更大;鳃作为甲壳动物的水-血屏障,具有呼吸、排泄、渗透压调节及病害防御等功能(周双林等,2001),故 CH 作为影响雌性繁殖个体鳃丝总表面积大小的相对重要因子,可通过直接影响与鳃丝总表面积有关的气体代谢、体内外离子交换和营养物质转运等诸多生命活动过程的运行效率,而对繁殖营养代谢产生直接影响。额剑突出于十足目虾类头胸甲前端,具防御敌害及在游泳中起平衡身体等作用。研究表明,凡纳滨对虾(刘小林等,2004)、中国对虾(董世瑞等,2007)、日本囊对虾(孙成波等,2008a)、墨吉明对虾(胡贤德等,2009)、长毛明对虾(孙成波等,2008b)等十足目虾类的额缘锯齿数均对其体重具较为直接的影响,秀丽白虾额剑长是直接影响其体重的重要变量(张敏莹等,2010),由此可认为额剑为表征十足目虾类强壮程度和生长代谢旺盛程度的重要体征,这就为 RL 成为影响日本沼虾雌性繁殖个体繁殖营养积累能力的性状指标提供了证据支持,故 $CH-RL$ 组合为影响个体繁殖力各评价指标的公共变量。

3.3 影响日本沼虾 F_J 、 F_W 、 F_L 关键表型性状组合间的差异探讨

F_J 是指一个雌性个体在一个生殖季节可能排出的成熟卵子数,何绪刚等(2003)在总结不同地区日本沼虾越冬虾绝对繁殖力均大于当年虾这一研究共识的基础上,指出日本沼虾个体绝对繁殖力与个体积累的能量密切相关; F_W 、 F_L 分别为单位净重和单位体长的个体绝对繁殖力,系宏观反映雌性繁殖个体单位净重和单位体长对繁殖能量累积状况贡献率的重要指标,故那些能表征个体营养积累效率的表型性状可作为影响 F_W 、 F_L 的重要变量。

基于此,笔者认为造成影响个体繁殖力评价指

标间关键表型性状组成差异的原因可能为:(1) BL 、 AL 作为分别可直观度量日本沼虾同生群个体间生长速率和肌肉积累状况差异的体征指标,虽均系可反映个体间能量积累状况差异的重要变量,但均不具表征个体间单位净重或体长对繁殖能量累积状况差异的作用,故仅为直接影响 F_J 的重要表型性状;(2) 头胸部作为虾类的感觉、摄食、消化、血循、排泄和运动中心,在外源营养物质的获取、同化利用及转运等生命代谢活动中具有重要作用,凡纳滨对虾(刘小林等,2004)、中国对虾(董世瑞等,2007)、日本囊对虾(孙成波等,2008a)、墨吉明对虾(胡贤德等,2009)、长毛明对虾(孙成波等,2008b)、日本沼虾(王志铮等,2011)等虾类头胸部形态性状对体重具正向直接作用的结果,也印证了头胸部表型性状与虾类生长代谢间存在较为密切关系的事实。 CL 对日本沼虾雌性个体体重的正向直接作用明显高于其它形态性状(王志铮等,2011),表明其对个体增重效果的影响较其它形态性状更为直接,故在以净重维持和卵块增重为主要特征的繁殖阶段(表 8),其也就势必转为可表征个体间营养利用与转化效率差异的重要变量而成为直接影响 F_W 、 F_L 的表型性状;(3) 尾扇在保持虾体运动平衡和遇敌急速逃逸方面具有重要作用(王克行,1997),即其发达程度对虾类具生存重要性,故表征尾扇发达程度的 TL 值越大,表明个体避敌应激活动能力越强,花费于尾扇运动的能量消耗也就越大,且这部分能量的花费仅与体重的增加直接有关。何绪刚等(2003)指出日本沼虾体重性状较长度性状更能准确反映其能量累积状况,故可认为 TL 能直观表征日本沼虾单位体重能量累积效率高的重要变量,即 TL 仅为影响 F_W 的重要变量。

致谢 余姚市青港野生苗种场提供实验用虾,本校 2009 级水产养殖专业叶盛、张亢、应巧英等同学参与本研究部分实验工作,谨致谢忱。

参 考 文 献

- 王志铮, 吴一挺, 杨 磊等, 2011. 日本沼虾(*Macrobrachium nipponensis*)形态性状对体重的影响效应. 海洋与湖沼, 42(4): 612—618
- 王克行, 1997. 虾蟹增养殖学. 北京: 中国农业出版社, 8
- 王银东, 熊邦喜, 马徐发等, 2007. 湖北道观河水库青梢鲌(*Culter dabryi*)的个体生殖力. 海洋与湖沼, 38(2): 180—185
- 戈 峰, 2008. 现代生态学(第 2 版). 北京: 科学出版社, 63
- 刘 博, 王清印, 李 健等, 2010. 中国对虾(*Fenneropenaeus*

- chinensis*) “黄海 1 号”部分生长相关性状的 QTL 定位分析. 海洋与湖沼, 41(3): 352—358
- 刘小林, 吴长功, 张志怀等, 2004. 凡纳滨对虾形态性状对体重的影响效果分析. 生态学报, 24(4): 857—862
- 刘小林, 常亚青, 相建海等, 2002. 栉孔扇贝壳尺寸性状对活体重的影响效果分析. 海洋与湖沼, 33(6): 673—678
- 孙成波, 邓先余, 李镇泉等, 2008a. 北部湾野生日本囊对虾(*Marsupenaeus japonicus*)体重和形态性状的关系. 海洋与湖沼, 39(3): 263—268
- 孙成波, 李镇泉, 黄海立等, 2008b. 北部湾野生毛明对虾(*Fenneropenaeus penicillatus*)体重和形态性状的关系. 广东海洋大学学报, 28(6): 76—80
- 何绪刚, 龚世圆, 张训蒲等, 2003. 武湖日本沼虾的种群繁殖生物学. 应用生态学报, 14(9): 1538—1542
- 张 沅, 2001. 家畜育种学. 北京: 中国农业出版社, 89—93
- 张敏莹, 刘 凯, 段金荣等, 2010. 太湖秀丽白虾形态性状对体重影响的通径分析. 中国农学通报, 26(21): 417—421
- 周双林, 姜乃澄, 卢建平等, 2001. 甲壳动物渗透压调节的研究进展. 鳃的结构与功能及其影响因子. 东海海洋, 19(1): 44—51
- 屈忠湘, 1990. 青虾的生物学观察. 淡水渔业, 20(1): 3—6
- 胡贤德, 孙成波, 李镇泉等, 2009. 北部湾墨吉明对虾和斑节对虾形态性状对体质量的影响分析. 海南大学学报(自然科学版), 27(1): 48—53
- 堵南山, 1993. 甲壳动物学. 北京: 科学出版社, 676
- 董世瑞, 孔 杰, 万初坤等, 2007. 中国对虾形态性状对体重影响的通径分析. 海洋水产研究, 28(3): 15—22
- 尼柯里斯基 Γ B 著, 于振中译, 1956. 论鱼类数量变动研究中的若干理论问题和方法问题. 水生生物学集刊, (2): 187—191
- Mayr E, Linsley E G, Usinger R L, 1953. Methods and Principles of Systematic Zoology. New York and London: McGraw Hill, 23—39, 125—154

EFFECT OF MORPHOMETRIC TRAITS ON INDIVIDUAL FECUNDITY OF THE POND CULTURED OVER-WINTERING GRAVID *MACROBRACHIUM NIPPONENSIS*

WANG Zhi-Zheng¹, YANG Lei¹, SHI Jian-Jun², ZHU Wei-Dong², REN Shu-Yi¹

(1. Fishery College of Zhejiang Ocean University, Zhoushan, 316004; 2. Fishery Technology Extension Center of Yuyao, Yuyao, 315400)

Abstract Effect of phenotypic and morphometric traits on fecundity of the pond cultured over-wintering gravid *Macrobrachium nipponensis* were studied using correlation analysis, path analysis, and regression analysis. Body weight (*BW*), net weight (*NW*), Body length (*BL*), carapace length (*CL*), carapace width (*CW*), carapace height (*CH*), total length of the abdominal segment (*AL*), width of the first abdominal segment (*AW*), height of the first abdominal segment (*AH*), rostrum length (*RL*), and telson length (*TL*) were measured, and the amount of eggs were counted for all individual. Before analyzing, absolute fecundity F_J , relative fecundity F_w , and relative fecundity F_L were calculated, respectively. The result indicated that: (1) The correlation coefficients among traits were at extremely significant level ($P < 0.01$), and these correlation coefficients were significant different from each other. (2) By path analysis, *BW*, *NW*, *CH*, and *RL* can be regard as the main public variables that were most relevant to the fecundity of the gravid *M. nipponensis*. The path coefficients between traits and F_J ($d = 0.810$), F_L ($d = 0.621$), and F_w ($d = 0.798$) were ranged in the following order $BW > BL > CH > RL > AL > NW$, $BW > CL > RL > CH > TL > NW$, and $BW > CL > CH > RL > NW$, respectively. (3) By regression analysis, absolute fecundity F_J , relative fecundity F_w , and relative fecundity F_L , were calculated as $F_J = 5087.802BW - 6599.877NW + 200.927CH + 114.774RL + 211.878BL - 154.965AL - 6266.840$, $F_w = 1140.538BW - 2018.663NW + 85.217CH + 70.852RL + 78.694CL + 74.623TL - 1152.576$, and $F_L = 105.453BW - 134.613NW + 4.307CH + 2.709RL + 3.623CL - 61.737$, respectively. (4) Moreover, *NW* of the gravid shrimp can be well estimated by $W(\text{♀}) = 0.029BL + 0.065CL + 0.121CW + 0.105CH - 2.448$, that was used to estimate the *BW* of the over-wintering females before mating.

Key words *Macrobrachium nipponensis*, Cohort, Over-wintering gravid parent, Morphometric trait, Fecundity, Multivariate analysis