

基于圆形统计和时间序列的月相对两种拖网渔业CPUE的影响

Effects of lunar phases on CPUEs of trawl fisheries based on circular statistics and time series



关键词：月相；拖网；单位捕捞努力量渔获量 (CPUE)；圆形统计；时间序列；交叉验证

Key words: lunar phase; trawl; catch per unit effort (CPUE); circular statistics; time series; cross-validation



研究背景

※月相是月亮自东向西移动、形状不断发生改变的周期性相位变化；
※许多海洋生物易受其环境微妙变化的影响，周期性的月光变化，以及与之相应的潮汐变化会影响部分海洋生物的丰度及其时空分布；
※研究月相对渔业影响的关键在于量化月相，以及选择与之相适应的统计方法：

① 将月相视为离散型变量(或分类变量)，结合方差分析(ANOVA)等统计方法分析月相对渔获率的影响。这些方法在数据缺失较多且间隔较大时会导致分类不平衡，进而引起结果偏差^[1]；

② 将月相视为连续型变量，并结合时间序列分析和广义可加模型(GAM)^[2]等统计方法，分析月相对渔获率、群体分布等的影响，这些方法考虑了前后月份间月相的连续性，能较好地反映出月相与物种行为及其分布之间的关系^[1]，但忽略月相的周期循环属性，同样可能会给结果带来偏差；

③ 结合生物学特点将月相视为连续的圆形统计变量^[3]，以此分析月相对海洋生物行为及时空分布的影响，该方法体现了月相的周期循环特性，且对数据缺失不敏感，已在探究月相对海洋生物摄食强度变化、洄游行为的影响等方面得到了广泛应用，但在商业性渔业渔获量或CPUE等的时空分布相关研究中鲜有提及。

结果

表2 基于圆形统计的GLM拟合结果

种类 Species	参数 Parameters	期望值 Estimated	标准误S.E.	t值 t value	P值 P value	AIC	
独角新对虾 <i>M. monoceros</i>	截距Intercept γ_0	2.6458	0.0647	37.828	<0.001	18226	
	月相Lunar	$\cos \gamma_1$	0.0348	0.0136	2.566		0.010
		$\sin \gamma_2$	0.0697	0.0134	5.172		<0.001
狭鳕 <i>Theragra chalcogramma</i>	截距Intercept γ_0	3.6273	0.1029	36.295	<0.001	2174	
	月相Lunar	$\cos \gamma_1$	0.0957	0.0424	2.258		0.024
		$\sin \gamma_2$	-0.0189	0.0447	-0.423		0.672

表3 基于时间序列的GAM拟合结果

种类 Species	有效自由度 Effective dof	F值 F value	P值 P value	AIC
独角新对虾 <i>Metapenaeus monoceros</i>	2.734	4.307	<0.001	18001
狭鳕 <i>Theragra chalcogramma</i>	3.56	1.259	0.043	7884

($AIC_{GLM} < AIC_{GAM}$)，表明对于所选取的2个物种，基于圆形统计的GLM在拟合月相循环变量时，较基于时间序列的GAM更适合。

- 狭鳕CPUE在每月的新月前(农历28日)到满月前(农历13日)呈下降趋势，随后的月相周期内CPUE呈上升趋势；虽然缺乏统计显著性，但基于时间序列的GAM拟合的CPUE仍显示出一定的效果，即在每月的新月期(农历1日)到满月期(农历12日)CPUE呈下降趋势，之后呈上升趋势。

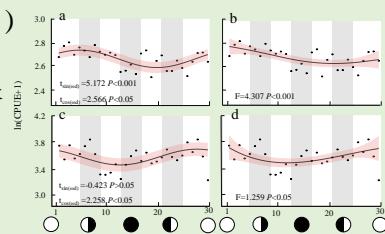


图1 月相对独角新对虾和狭鳕CPUE的影响

- 2种渔获种类，不同模型的决定系数 R^2 均具有显著性差异($P < 0.05$)，且GLM拟合优度更佳($R^2_{GLM} > R^2_{GAM}$)。

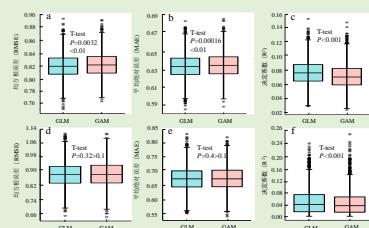


图2 基于圆形统计的GLM和基于时间序列的GAM拟合优度检验

结论

- 虽然商业性拖网渔业中较少关注月相等周期性循环变量对渔业产量或CPUE的影响，但本研究结果表明，月相对马达加斯加西海岸底拖网渔业独角新对虾和西北令海中层拖网狭鳕的CPUE具有显著的影响。
- 基于圆形统计的GLM模型和基于时间序列的GAM模型均适用于月相等周期性循环变量对拖网渔业CPUE影响的分析；基于圆形统计的GLM模型具有更好的准确性、稳定性和拟合优度，当月份具有较弱的显著性时，GLM模型更能反映月相对拖网渔业CPUE的影响。

不足与展望

- 月相对渔业CPUE的影响可能还涉及其他外部因素，如作业区域、水深和作业方式等
- 光照度、水温等环境因素可能会对CPUE产生10倍的潜在影响。今后研究中需要考虑月相与其他环境因素对CPUE的交互影响。
- 月光强度受天气等因素的影响，今后的相关研究中应详细记录天气情况，或者使用监测的月光光照度数据划分月相，从而减小误差。



作者：李成，从事渔业资源研究
邮箱: chli4016@163.com
地址: 沪城环路999号
上海海洋大学



目的及意义

- 了解和掌握月相对商业性渔业产量或CPUE的影响规律，对于合理安排渔业生产、规范渔业管理及促进渔业资源养护等具有重要的意义。
- 本研究中，利用马达加斯加西海岸捕虾底拖网和西北令海狭鳕中层拖网的渔业生产数据，使用广义线性模型(GLM)结合圆形统计，以及广义可加模型(GAM)结合时间序列这2种月相效应分析方法，探索了月相对2种不同主捕种类，即独角新对虾(*Metapenaeus monoceros*)和狭鳕(*Theragra chalcogramma*) CPUE的影响，对比了2种月相效应分析方法在周期性循环变量相关研究中的适用性和优劣性，以期为进一步开展月相等周期性时空要素的影响分析提供科学参考。



狭鳕 (柴鱼)
Theragra chalcogramma



独角新对虾
Metapenaeus monoceros

数据来源

▶ 独角新对虾: 中国水产公司马达加斯加代表处的生产渔捞日志——马达加斯加西海岸捕虾拖网渔业数据

▶ 狭鳕: 来自上海开成远洋渔业有限公司“开利”号大型拖网加工船渔捞日志——西北令海狭鳕拖网渔业数据

表1 马达加斯加西海岸捕虾拖网独角新对虾和西北令海狭鳕渔获量汇总

Date	Lat	Long	Species	CPUE	CPUE	CPUE	CPUE
2017-01-01	17.5	43.5	M. monoceros	1.2	1.5	1.8	2.1
2017-01-02	17.5	43.5	M. monoceros	1.5	1.8	2.1	2.4
2017-01-03	17.5	43.5	M. monoceros	1.8	2.1	2.4	2.7
2017-01-04	17.5	43.5	M. monoceros	2.1	2.4	2.7	3.0
2017-01-05	17.5	43.5	M. monoceros	2.4	2.7	3.0	3.3
2017-01-06	17.5	43.5	M. monoceros	2.7	3.0	3.3	3.6
2017-01-07	17.5	43.5	M. monoceros	3.0	3.3	3.6	3.9
2017-01-08	17.5	43.5	M. monoceros	3.3	3.6	3.9	4.2
2017-01-09	17.5	43.5	M. monoceros	3.6	3.9	4.2	4.5
2017-01-10	17.5	43.5	M. monoceros	3.9	4.2	4.5	4.8
2017-01-11	17.5	43.5	M. monoceros	4.2	4.5	4.8	5.1
2017-01-12	17.5	43.5	M. monoceros	4.5	4.8	5.1	5.4
2017-01-13	17.5	43.5	M. monoceros	4.8	5.1	5.4	5.7
2017-01-14	17.5	43.5	M. monoceros	5.1	5.4	5.7	6.0
2017-01-15	17.5	43.5	M. monoceros	5.4	5.7	6.0	6.3
2017-01-16	17.5	43.5	M. monoceros	5.7	6.0	6.3	6.6
2017-01-17	17.5	43.5	M. monoceros	6.0	6.3	6.6	6.9
2017-01-18	17.5	43.5	M. monoceros	6.3	6.6	6.9	7.2
2017-01-19	17.5	43.5	M. monoceros	6.6	6.9	7.2	7.5
2017-01-20	17.5	43.5	M. monoceros	6.9	7.2	7.5	7.8
2017-01-21	17.5	43.5	M. monoceros	7.2	7.5	7.8	8.1
2017-01-22	17.5	43.5	M. monoceros	7.5	7.8	8.1	8.4
2017-01-23	17.5	43.5	M. monoceros	7.8	8.1	8.4	8.7
2017-01-24	17.5	43.5	M. monoceros	8.1	8.4	8.7	9.0
2017-01-25	17.5	43.5	M. monoceros	8.4	8.7	9.0	9.3
2017-01-26	17.5	43.5	M. monoceros	8.7	9.0	9.3	9.6
2017-01-27	17.5	43.5	M. monoceros	9.0	9.3	9.6	9.9
2017-01-28	17.5	43.5	M. monoceros	9.3	9.6	9.9	10.2
2017-01-29	17.5	43.5	M. monoceros	9.6	9.9	10.2	10.5
2017-01-30	17.5	43.5	M. monoceros	9.9	10.2	10.5	10.8
2017-01-31	17.5	43.5	M. monoceros	10.2	10.5	10.8	11.1
2017-02-01	17.5	43.5	M. monoceros	10.5	10.8	11.1	11.4
2017-02-02	17.5	43.5	M. monoceros	10.8	11.1	11.4	11.7
2017-02-03	17.5	43.5	M. monoceros	11.1	11.4	11.7	12.0
2017-02-04	17.5	43.5	M. monoceros	11.4	11.7	12.0	12.3
2017-02-05	17.5	43.5	M. monoceros	11.7	12.0	12.3	12.6
2017-02-06	17.5	43.5	M. monoceros	12.0	12.3	12.6	12.9
2017-02-07	17.5	43.5	M. monoceros	12.3	12.6	12.9	13.2
2017-02-08	17.5	43.5	M. monoceros	12.6	12.9	13.2	13.5
2017-02-09	17.5	43.5	M. monoceros	12.9	13.2	13.5	13.8
2017-02-10	17.5	43.5	M. monoceros	13.2	13.5	13.8	14.1
2017-02-11	17.5	43.5	M. monoceros	13.5	13.8	14.1	14.4
2017-02-12	17.5	43.5	M. monoceros	13.8	14.1	14.4	14.7
2017-02-13	17.5	43.5	M. monoceros	14.1	14.4	14.7	15.0
2017-02-14	17.5	43.5	M. monoceros	14.4	14.7	15.0	15.3
2017-02-15	17.5	43.5	M. monoceros	14.7	15.0	15.3	15.6
2017-02-16	17.5	43.5	M. monoceros	15.0	15.3	15.6	15.9
2017-02-17	17.5	43.5	M. monoceros	15.3	15.6	15.9	16.2
2017-02-18	17.5	43.5	M. monoceros	15.6	15.9	16.2	16.5
2017-02-19	17.5	43.5	M. monoceros	15.9	16.2	16.5	16.8
2017-02-20	17.5	43.5	M. monoceros	16.2	16.5	16.8	17.1
2017-02-21	17.5	43.5	M. monoceros	16.5	16.8	17.1	17.4
2017-02-22	17.5	43.5	M. monoceros	16.8	17.1	17.4	17.7
2017-02-23	17.5	43.5	M. monoceros	17.1	17.4	17.7	18.0
2017-02-24	17.5	43.5	M. monoceros	17.4	17.7	18.0	18.3
2017-02-25	17.5	43.5	M. monoceros	17.7	18.0	18.3	18.6
2017-02-26	17.5	43.5	M. monoceros	18.0	18.3	18.6	18.9
2017-02-27	17.5	43.5	M. monoceros	18.3	18.6	18.9	19.2
2017-02-28	17.5	43.5	M. monoceros	18.6	18.9	19.2	19.5
2017-02-29	17.5	43.5	M. monoceros	18.9	19.2	19.5	19.8
2017-03-01	17.5	43.5	M. monoceros	19.2	19.5	19.8	20.1
2017-03-02	17.5	43.5	M. monoceros	19.5	19.8	20.1	20.4
2017-03-03	17.5	43.5	M. monoceros	19.8	20.1	20.4	20.7
2017-03-04	17.5	43.5	M. monoceros	20.1	20.4	20.7	21.0
2017-03-05	17.5	43.5	M. monoceros	20.4	20.7	21.0	21.3
2017-03-06	17.5	43.5	M. monoceros	20.7	21.0	21.3	21.6
2017-03-07	17.5	43.5	M. monoceros	21.0	21.3	21.6	21.9
2017-03-08	17.5	43.5	M. monoceros	21.3	21.6	21.9	22.2
2017-03-09	17.5	43.5	M. monoceros	21.6	21.9	22.2	22.5
2017-03-10	17.5	43.5	M. monoceros	21.9	22.2	22.5	22.8
2017-03-11	17.5	43.5	M. monoceros	22.2	22.5	22.8	23.1
2017-03-12	17.5	43.5	M. monoceros	22.5	22.8	23.1	23.4
2017-03-13	17.5	43.5	M. monoceros	22.8	23.1	23.4	23.7
2017-03-14	17.5	43.5	M. monoceros	23.1	23.4	23.7	24.0
2017-03-15	17.5	43.5	M. monoceros	23.4	23.7	24.0	24.3
2017-03-16	17.5	43.5	M. monoceros	23.7	24.0	24.3	24.6
2017-03-17	17.5	43.5	M. monoceros	24.0	24.3	24.6	24.9
2017-03-18	17.5	43.5	M. monoceros	24.3	24.6	24.9	25.2
2017-03-19	17.5	43.5	M. monoceros	24.6	24.9	25.2	25.5
2017-03-20	17.5	43.5	M. monoceros	24.9	25.2	25.5	25.8
2017-03-21	17.5	43.5	M. monoceros	25.2	25.5	25.8	26.1
2017-03-22	17.5	43.5	M. monoceros	25.5	25.8	26.1	26.4
2017-03-23	17.5	43.5	M. monoceros	25.8	26.1	26.4	26.7
2017-03-24	17.5	43.5	M. monoceros	26.1	26.4	26.7	27.0
2017-03-25	17.5	43.5	M. monoceros	26.4	26.7	27.0	27.3
2017-03-26	17.5	43.5	M. monoceros	26.7	27.0	27.3	27.6
2017-03-27	17.5	43.5	M. monoceros	27.0	27.3	27.6	27.9
2017-03-28	17.5	43.5	M. monoceros	27.3	27.6	27.9	28.2
2017-03-29	17.5	43.5	M. monoceros	27.6	27.9	28.2	28.5
2017-03-30	17.5	43.5	M. monoceros	27.9	28.2	28.5	28.8
2017-03-31	17.5	43.5	M. monoceros	28.2	28.5	28.8	29.1
2017-04-01	17.5	43.5	M. monoceros	28.5	28.8	29.1	29.4
2017-04-02	17.5	43.5	M. monoceros	28.8	29.1	29.4	29.7
2017-04-03	17.5	43.5	M. monoceros	29.1	29.4	29.7	30.0
2017-04-04	17.5	43.5	M. monoceros	29.4	29.7	30.0	30.3
2017-04-05	17.5	43.5	M. monoceros	29.7	30.0	30.3	30.6
2017-04-06	17.5	43.5	M. monoceros	30.0	30.3	30.6	30.9
2017-04-07	17.5	43.5	M. monoceros	30.3	30.6	30.9	31.2
2017-04-08	17.5	43.5	M. monoceros	30.6	30.9	31.2	31.5
2017-04-09	17.5	43.5	M. monoceros	30.9	31.2	31.5	31.8
2017-04-10	17.5	43.5	M. monoceros	31.2	31.5	31.8	32.1
2017-04-11	17.5	43.5	M. monoceros	31.5	31.8	32.1	32.4
2017-04-12	17.5	43.5	M. monoceros	31.8	32.1	32.4	32.7
2017-04-13	17.5	43.5	M. monoceros	32.1	32.4	32.7	33.0
2017-04-14	17.5	43.5	M. monoceros	32.4	32.7	33.0	33.3
2017-04-15	17.5	4					