

# 主成分分析对黄海6种主要饵料鱼类的质量分析评价

李忠义 林群 戴芳群 张波 金显仕\*

(农业部海洋渔业资源可持续利用重点开放实验室 中国水产科学研究院黄海水产研究所, 青岛 266071)

**摘要** 根据黄海6种饵料鱼类的碳氮比、脂肪含量、蛋白质含量、磷含量及非水分含量5个指标,采用主成分分析法对其进行质量排序。结果表明,依代表生物基本能量的第1主成分,6种鱼的质量顺序为鲢 *Engraulis japonicus*、凤鲚 *Coilia mystus*、黄鲫 *Setipinna taty*、赤鼻棱鲮 *Thryssa kammalensis*、细条天竺鲷 *Apogonichthys lineatus* 和黑鳃梅童鱼 *Collichthys niveatus*;依代表营养价值的第2主成分,6种鱼的质量顺序为黄鲫、凤鲚、黑鳃梅童鱼、赤鼻棱鲮、鲢和细条天竺鲷;营养质量的综合排序为凤鲚、黄鲫、鲢、赤鼻棱鲮、细条天竺鲷和黑鳃梅童鱼。结果表明,单一营养质量指标或同类营养质量指标都不能完全代表整个饵料鱼类的质量。

**关键词** 主成分分析 黄海 饵料鱼类 营养质量

**中国分类号** S931.1 **文献标识码** A **文章编号** 1000-7075(2009)05-0064-05

## Food quality analysis of some forage fish in Yellow Sea with principal component method

LI Zhong-yi LIN Qun DAI Fang-qun ZHANG Bo JIN Xian-shi\*

(Key Laboratory for Sustainable Utilization of Marine Fisheries Resource, Ministry of Agriculture, Yellow Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Qingdao 266071)

**ABSTRACT** There are many food quality indices, such as carbon content, fat content, protein content, *P. content*, C and N ratio, RNA and DNA ratio and various amino acids content etc. In this study, five food quality indices including C/N, fat content, protein content, carbon content and dry matter content of six species of forage fish were calculated and ranked with the major component analysis method. The results showed that, according to the first major component which represented energy content of the organisms, quality of the six fish species ranked from high to low was: Japanese anchovy, tapertail anchovy, scaly hairfin anchovy, madura anchovy, lined cardinalfish and bighead croaker. The second major component represented nutrition of the organisms, and the ranking of the fish, from high to low was: scaly hairfin anchovy, tapertail anchovy, bighead croaker, madura anchovy, Japanese anchovy and lined cardinalfish. The integrated major components represented food quality, by which the ranking of the six or-

国家重点基础研究发展计划(2006CB400607)、国家863计划项目(2009AA09Z401)、“泰山学者”建设工程专项经费和中国水产科学研究院黄海水产研究所博士生启动基金(61200603)共同资助

\*通讯作者。E-mail: jin@ysfri.ac.cn

收稿日期:2008-09-02;接受日期:2008-11-13

作者简介:李忠义(1974-),男,助理研究员,主要从事海洋生态学研究。E-mail: lizy@ysfri.ac.cn, Tel: (0532)85836344

评价

示,采  
量顺  
len-  
第 2  
合排  
营养

sheries

nt, pro-  
content  
carbon  
with the  
or com-  
ranked  
lura an-  
d nutri-  
chovy,  
alfish.  
six or-

学研究院黄

ganisms was: tapertail anchovy, scaly hairfin anchovy, Japanese anchovy, madura anchovy, lined cardinalfish and bighead croaker. It is suggested that single food quality index or one sort of food index could not fully represent food quality of the organisms.

KEY WORDS *Principal component* Yellow Sea Forage fish Food quality

生物的生长发育与繁殖需有能量和营养基础,食物质量对生物的生长率、发育时间、成体大小和生殖有显著影响(Olle 1998)。食物质量总体上取决于其提供的能量与营养,还包括食物提供的必需氨基酸等营养物的种类和浓度。通常生物对食物选择具有很强的能动性,取决于食物质量,即正营养因子(营养组成)和负营养因子(饵料的物理特性和次级化合物),以及能量胁迫的综合作用(Scriber *et al.* 1981)。负营养因子主要影响生物对食物的最初选择,正营养因子和能量胁迫对生物食物选择的变化和食物利用效率影响更大,这些因素的变化导致生物产生各种适应对策(Wang *et al.* 1998)。国内外学者非常重视食物质量对捕食者和生态系统影响等方面的研究,王 溪等(1992)研究了食物质量对中国海北高原鼠兔食物选择的影响。Spencer 等(2007)提出了生态系统中生产者营养质量的优劣能影响营养级联效应强度的研究结果,Kyoungsoon 等(2003)研究发现食物质量能影响桡足类 *Acartia omorii* 的产卵率和生长发育。

食物质量的判断指标很多,如核糖核酸与脱氧核糖核酸比、碳氮比、碳含量、氮含量、磷含量、脂肪含量、能值、非水分含量及各种微量元素的含量等。通常判断指标越多,质量结果的可靠性越强(朱圣陶等 1985;王庆国 2003;陈庆堂等 2008)。本文采用主成分分析法,依碳氮比、碳含量、蛋白质含量、脂肪含量、非水分含量 5 个指标对黄海 6 种饵料鱼类的质量进行初步研究,以期对黄海生物食物网的研究及养殖饵料评价提供科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 样品现场采集

样品于 2005 年 4 月~2006 年 7 月取自黄海海域(32°00'~36°30'N, 121°00'~125°00'E),为中国水产科学研究院黄海水产研究所的资源调查船“北斗”号定点底拖网调查所获样品,昼夜连续进行。所取样品进行了碳氮比、脂肪含量、蛋白质含量、碳含量及非水分含量 5 个指标的测定,这些数据来源于两个独立研究,其中碳氮比与碳含量测自肌肉干重样,其余 3 个指标测自整个样品湿重。样品的体长范围和取样数量见表 1。

### 1.2 统计学处理

应用 SPSS16.0 统计学软件中的主成分分析。主成分分析是设法将原来众多具有一定相关性,重新组合成一组新的互相无关的综合指标来代替原来的指标。

主成分分析数学模型:

$$\begin{cases} F_1 = a_{11}ZX_1 + a_{12}ZX_2 + \dots + a_{1p}ZX_p \\ F_2 = a_{21}ZX_1 + a_{22}ZX_2 + \dots + a_{2p}ZX_p \\ \dots \\ F_i = a_{i1}ZX_1 + a_{i2}ZX_2 + \dots + a_{ip}ZX_p \\ \dots \\ F_m = a_{m1}ZX_1 + a_{m2}ZX_2 + \dots + a_{mp}ZX_p \end{cases}$$

式中,  $a_{11}, a_{12}, \dots, a_{ip}$  ( $i=1, \dots, m$ ) 为  $X$  的协方差矩阵的特征值对应的特征向量(张文霖 2005)。为

表 1 各种饵料鱼的体长范围和样品数量

Table 1 Size range and sample size of each forage fish species

种名 Species	体长范围 (mm) Rang of size	平均体长 ± 标准误差 Mean ± S. E	尾数 Number
鳀 <i>Engraulis japonicus</i>	77~142	107 ± 2.57	33
赤鼻棱鳀 <i>Thryssa kammalensis</i>	62~77	68.67 ± 5.52	75
凤鲆 <i>Coilia mystus</i>	80~157	109 ± 15.62	107
黄鲷 <i>Setipinna taty</i>	58~169	115.63 ± 21.81	212
黑翅梅童 <i>Collichthys niveatus</i>	50~112	77.72 ± 13.39	131
细条天竺鲷 <i>Apogonichthys lineatus</i>	28~70	44.38 ± 7.48	191

消除量纲的影响,作者对原始变量进行了Z标准化处理。

## 2 结果

6种饵料鱼类5个质量指标的测定结果及SPSS计算结果如表2~表6。

表2 6种饵料鱼类的5个质量指标  
Table 2 Five quality indices of six species of forage fish

种类 Fish species	非水分含量(%) No water content (%)	碳氮比 C/N ratio	蛋白质含量(%) Protein content (%)	脂肪含量(%) Fat content (%)	碳含量(%) Carbon content (%)
鲮 <i>Engraulis japonicus</i>	29.96	3.52	16.62	8.43	47.49
赤鼻稜鯉 <i>Thryssa kammalensis</i>	24.94	4.47	14.32	7.35	48.24
凤鲚 <i>Coilia mystus</i>	31.25	3.93	14.67	14.03	46.99
黑翅梅童鱼 <i>Collichthys niveatus</i>	21.91	4.39	11.91	7.50	42.87
黄鲷 <i>Setipinna taty</i>	28.19	4.57	14.81	10.55	47.14
细条天竺鲷 <i>Apogonichthys lineatus</i>	24.32	3.23	15.64	3.29	44.88

从表3可知非水分含量与蛋白质含量、脂肪含量和碳浓度这3个指标间的相关性比较强,他们之间存在信息上的重叠。

由表4判断,前两个主成分特征值的累积贡献率已达到86.670%,超过85%。因此,只求出前两个主成分即可,即 $m=2$ 。从表4(初始因子载荷矩阵)可知非水分含量、蛋白质含量和碳浓度在第1主成分上有较高载荷,说明第1主成分基本反映了这3个指标的信息;碳氮比和脂肪含量在第2主成分上有较高载荷,说明第2主成分基本反映了这两个指标的信息。所以可用两个新变量来代替原来的5个变量。

根据表4和表5(主成分载荷矩阵)计算出两个主成分表达式:

$$F_1 = 0.592ZX_1 - 0.156ZX_2 + 0.489ZX_3 + 0.342ZX_4 + 0.519ZX_5$$

$$F_2 = 0.113ZX_1 + 0.675ZX_2 - 0.443ZX_3 + 0.567ZX_4 + 0.118ZX_5$$

以每个主成分所对应的特征值占所提取主成分总的特征值之和的比例作为权重计算主成分。综合模型:

$$F = 0.399ZX_1 + 0.178ZX_2 + 0.114ZX_3 + 0.432ZX_4 + 0.358ZX_5$$

根据主成分综合模型即可计算综合主成分值,并对其按综合主成分值进行排序,即可对各饵料鱼类进行综合评价比较(张文霖 2005),结果见表5。

表3 相关系数矩阵

Table 3 Correlation matrix

种类 Fish species	非水分含量(%) No water content (%)	碳氮比 C/N ratio	蛋白质含量(%) Protein content (%)	脂肪含量(%) Fat content (%)	碳含量(%) Carbon content (%)
非水分含量 No water content	1.000				
碳氮比 C/N ratio	-0.191	1.000			
蛋白质含量 Protein content	0.634	-0.651	1.000		
脂肪含量 Fat content	0.729	0.039 3	-0.061	1.000	
C含量 Carbon content	0.681	0.096	0.621	0.391	1.000

表4 方差分解主成分提取分析表

Table 4 Total variance explained

因子 Component	初始特征值 Initial Eigenvalue			总方差解释 Sums of squared extraction loadings		
	总值 Total	方差贡献率 Variance (%)	累积贡献率 Cumulative (%)	总值 Total	方差贡献率 Variance (%)	累积贡献率 Cumulative (%)
1	2.590	51.808	51.808	2.590	51.808	51.808
2	1.743	34.863	86.670	1.743	34.863	86.670
3	0.611	12.227	98.898			
4	0.055	1.09	99.991			
5	0.000	4.009	100.000			

从表6可以看出,鳀和凤鲚的第1主成分排名较高,而非水分含量、蛋白质含量和碳浓度在第1主成分上都有较高载荷,说明鳀和凤鲚能值含量较高,是一些捕食者的偏爱饵料。鳀是东黄海生物资源量最大的生物,其以中华哲水蚤 *Calanus sinicus*、太平洋磷虾 *Euphausia pacifica* 等浮游动物为主要捕食对象(朱德山等 1990),同时又是蓝点马鲛 *Scomberomorus niphonius* 等多种鱼类的饵料生物,在整个海洋生态系统中起着承上启下的重要作用,是黄、东海生态系统动力学研究的资源关键种(唐启

升等 2000)。张衡等(2004)研究发现鳀从幼鱼长至成鱼,其能值从 5 250 J/g 升至 12 317 J/g,高于大多数饵料生物。在黄海,鳀是 30~40 种高营养层次种类的饵料(韦晟等 1992)。而凤鲚和黄鲫的第2主成分排名较高,说明其蛋白质相对含量和脂肪酸含量较高,具备较高的营养价值,这可从凤鲚和黄鲫不仅是人类餐桌上的营养美食,也是众多捕食者的饵料得到证实(唐启升等 1990)。

表5 初始因子载荷矩阵  
Table 5 Component matrix

项目 Item	因子 Component	
	1	2
非水分含量 No water content	0.953	0.149
碳氮比 C/N ratio	-0.250	0.891
蛋白质含量 Protein content	0.787	-0.585
脂肪含量 Fat content	0.550	0.748
C含量 Carbon content	0.835	0.156

表6 综合主成分值

Table 6 Integrated principal component

种类 Fish species	第1主成分 The first major component	排名 Sequence	第2主成分 The second major component	排名 Sequence	综合主成分 The integrated major component	排名 Sequence
鳀 <i>Engraulis japonicus</i>	1.577	1	-1.001	5	0.540	3
赤鼻棱鳀 <i>Thryssa kammalensis</i>	-0.134	4	0.521	4	0.130	4
凤鲚 <i>Coilia mystus</i>	1.475	2	0.943	2	1.261	1
黑鳃梅童鱼 <i>Collichthys niveatus</i>	-2.728	6	0.712	3	-1.344	6
黄鲫 <i>Setipinna taty</i>	0.543	3	1.049	1	0.747	2
细条天竺鲷 <i>Apogonichthys lineatus</i>	-0.734	5	-2.224	6	-1.333	5

### 3 讨论

从表2和表6看出,6种饵料鱼类5个质量指标中的任何一个及第一、第二和综合主成分间的营养质量排序两两间都不一致。单个或同类质量指标的综合代表性不强,如仅仅从其高低去判断整个生物饵料质量将有失偏颇,可导致错误结论。综合判断食物质量优劣的多指标方法主要有指数法和主成分分析法,二者都是数学统计法。指数法对人类营养及饲料营养的研究较多,主成分分析法在经济运算上应用的较多(廖显珍 1997; 白仲华 2000; 王庆国 2003)。目前对水生生物食物质量的研究集中于浮游生物的室内实验,对鱼类食物质量的研究较少见,且多为单一指标或同类指标的比较,或有明显质量差异食物的研究,多指标综合评价其食物质量优劣的研究则较鲜见。如Persson(2007)分别就饵料核糖核酸与脱氧核糖核酸比、二十碳五烯酸和多不饱和脂肪酸等质量指标的高低对蚤状溞 *Daphnia pulex* 生长发育的影响进行了研究;Jose等(2003)研究发现食物质量对游动能力较强生物在潮间带的栖息位置有很大影响,以双壳类为食的光鳃 *Girella laevis* 比以藻类为食的光鳃的栖息环境温度要高。如研究对象所有质量指标都高于其他研究生物,则易得出结论,如所有指标参差不齐,有的高于其他生物,有的低于其他生物,则易得出错误结论,融合了所有质量指标的主成分分析法则不存在此问题。本文得出的结论是6种鱼能量和营养的综合质量排序,由5个指标计算得出。如能纳入饵料核糖核酸与脱氧核糖核酸比、基本氨基酸含量及不饱和脂肪酸比例等指标,其结果将更趋合理。

水生生态系统中,因栖息环境的特殊性,生物几乎可以利用水体中所有可得食物资源。不同粒径的生物有着特定粒径的饵料和捕食者,生物摄食除遵循粒径谱原则外,还遵循获取能量最大化和消耗能量最小化的优化

原则,当食物丰富时,生物的食物谱集中,在整个摄食期间表现出恒定喜食性,集中于一定能量与营养范围内的生物;当食物相对匮乏时,生物的食物谱泛化,此时生物会摄食一些质量相对较低的食物。仅从饵料质量的综合排名推测其于捕食者的偏食程度有失偏颇,还需考虑捕食者与其食物的生物量、粒径、体形和游泳速度等饵料易得因素。在这些因素相差无几的情况下,即在食物粒径谱内,生物通常会选择质量较高饵料以获得最大的生长发育速率。对生态系统中的生物进行质量排序,可为生物捕食策略、食物组成及其时空变化和摄食量的研究、饵料的变动、胃排空率的研究及水产养殖等提供科学依据,结合系统营养结构与生物的生物学特征等因素,可及时应对生物资源的变动情况,有助于生态环境的保护。

### 参 考 文 献

- 王 溪,刘季科,刘 伟,纪兰菊. 1992. 植食性小哺乳类营养生态学的研究: 高原鼠兔的食物选择模式与食物质量. 兽类学报, 12(3): 183~192
- 王庆国. 2003. 食物营养质量指数图表的研究. 海峡预防医学杂志, 9(3): 8~11
- 市 晟,姜卫民. 1992. 黄海鱼类食物网的研究. 海洋与湖泊, 23(2): 182~192
- 白种华. 2000. 用主成分分析法对企业财务状况进行综合评价. 天津商学院学报, 20(3): 41~43
- 朱圣陶,于守洋. 1985. 食物的营养质量指数评价. 哈尔滨医科大学学报, 1: 64~68
- 朱德山, Iversen, S. A. 1990. 黄、东海鲈鱼及其他经济鱼类资源声学评估的调查研究. 海洋水产研究, 11: 18~41
- 张文霖. 2005. 主成分分析在 SPSS 中的操作应用. 市场研究, 12: 31~31
- 张 衡,张 波,金显仕,赵宪勇. 2004. 黄海鲈鱼鱼体能值的季节变化. 海洋水产研究, 25(6): 7~12
- 陈庆堂,胡 兵,张燕南. 2008. RNA/DNA 比值在水产动物研究中的应用. 饲料工业, 29(2): 30~34
- 唐启升,苏纪兰著. 2000. 中国海洋生态系统动力学研究 I. 关键科学问题与研究发展战略. 北京: 科学出版社, 252
- 唐启升,叶德中著. 1990. 山东近海渔业资源开发与保护. 北京: 农业出版社, 90~115
- 廖显珍. 1997. 常见蔬菜的营养成分及营养质量指数评价. 中国食物与营养, 1: 23~25
- Pulgar, J. M., Aldana, M., Bozinovic, F., and Ojeda, F. P. 2003. Does food quality influence thermoregulatory behavior in the intertidal fish *Girella laevis*? *Journal of Thermal Biology*, 28: 539~544
- Kyoungsoo Shin, Jang Min-chul, Jang Pung-kuk, Ju Se-jong, LEE Tea-kyun, and MAN Chang. 2003. Influence of food quality on egg production and viability of the marine planktonic copepod *Acartia omorii*. *Progress in Oceanography*, 57: 265~277
- Olle Soderstrom. 1988. Effects of temperature and food quality on life-history parameters in *Parameletus chelifera* and *P. minor* (Ephemeroptera): A laboratory study. *Freshwater Biology*, 20(3): 295~303
- Persson, J. 2007. Food quality effects on zooplankton growth and energy transfer in pelagic freshwater food webs. *Acata Universitatis Upsalien-sis. Digital comprehensive summaries of Uppsala dissertations from the faculty of science and technology*, 292: 43
- Scriber, J. M., and Slansky, F. J. 1981. The nutritional ecology of immature insects. *A R E*, (26): 183~211
- Hall, S. R., Shurin, J. B., Diehl, S., and Nisbet, R. M. 2007. Food quality, nutrient limitation of secondary production, and the strength of trophic cascades. *Oikos* 116(7): 1 128~1 143
- Wang, R., Li, C. L., Wang, K. E., and Zhang, W. C. 1998. Feeding activities of zooplankton in the Bohai Sea. *Fisheries Oceanography*, 7: 265~271