

## 基于人工神经网络的日本海舍氏贝乌贼 角质颚色素沉积特性分析

朱文斌<sup>1</sup>, 陈炫好<sup>2</sup>, 陆化杰<sup>2,3,4,5,6\*</sup>, 陈子越<sup>2</sup>, 宁欣<sup>2</sup>,  
崔国辰<sup>1</sup>, 郭爱<sup>1</sup>, 陈新军<sup>2,3,4,5,6</sup>

(1. 浙江省海洋水产研究所, 浙江 舟山 316021;

2. 上海海洋大学海洋科学学院, 上海 201306;

3. 上海海洋大学, 国家远洋渔业工程技术研究中心, 上海 201306;

4. 上海海洋大学, 大洋渔业资源可持续开发教育部重点实验室, 上海 201306;

5. 上海海洋大学, 农业农村部大洋渔业开发重点实验室, 上海 201306;

6. 上海海洋大学, 农业农村部大洋渔业资源环境科学观测实验站, 上海 201306)

**摘要:** 根据中国鱿钓船于 2018 年 12 月在日本海采集的 303 个舍氏贝乌贼样本, 进行基础生物学分析, 对其角质颚色素沉积等级进行划分和判定, 利用神经网络模型分析色素沉积等级与胴长、体质量、性腺成熟度、角质颚形态参数和胃级的关系, 并对各生长因子的中位数进行线性拟合。结果显示, 胴长对角质颚色素沉积的贡献率最大, 为 22.90%, 其次分别为下头盖长、性腺成熟度、体质量、下喙长和下翼长, 贡献率分别为 16.50%、14.40%、11.90%、11.70% 和 11.60%, 下侧壁长和胃级对角质颚色素沉积的贡献率较小, 分别为 6.30% 和 4.70%。舍氏贝乌贼角质颚的色素沉积与胴长、体质量、性腺成熟度和胃级这 4 项生长因子的关系均不存在性别间显著性差异。角质颚色素沉积等级与胴长、体质量和角质颚外部形态参数均呈正相关, 并随着性腺成熟度的增加而增加, 但与胃级的线性关系不明显。研究表明, 日本海舍氏贝乌贼角质颚色素沉积等级与胴长、性腺成熟度、体质量和角质颚形态参数均呈正相关关系, 可以利用胴长、性腺成熟度、体质量和角质颚形态参数预估色素沉积等级。

**关键词:** 舍氏贝乌贼; 角质颚; 色素沉积; 神经网络; 日本海

**中图分类号:** S 917.4

**文献标志码:** A

舍氏贝乌贼 (*Beryteuthis magister shevtsovi*) 属头足纲 (Cephalopoda) 枪形目 (Teuthida) 魷乌贼科 (Gonatidae) 贝乌贼属, 主要分布于日本海, 是贝乌贼的亚种之一<sup>[1-2]</sup>。舍氏贝乌贼栖息于水深 200~600 m 海域, 生命周期与海洋环境相关<sup>[3-4]</sup>, 通常为 1~2 年<sup>[5]</sup>。角质颚是头足类的主要摄食器官, 具有稳定的形态特征、良好的信息储存以及

耐腐蚀等特点<sup>[6]</sup>, 被广泛用于头足类种群判别<sup>[7-9]</sup>、日龄鉴定<sup>[10-11]</sup>等。色素沉积是指角质颚内在的黑色色素分布现象, 是角质颚生长过程中的重要变化, 反映了头足类食性的转变, 也影响头足类的摄食行为<sup>[12]</sup>。国内外学者对头足类角质颚的色素沉积<sup>[13-16]</sup>进行了研究, 但对舍氏贝乌贼角质颚色素沉积的研究尚为空白。人工神经网络 (artificial

收稿日期: 2020-11-02 修回日期: 2021-07-06

资助项目: 国家重点研发计划 (2019YFD090402); 国家自然科学基金青年科学基金 (41506184)

第一作者: 朱文斌 (照片), 从事渔业资源与管理研究, E-mail: fales@126.com

通信作者: 陆化杰, 从事渔业资源与管理研究, E-mail: hjlu@shou.edu.cn



neural networks, ANN) 具有优良的容错性、并行处理信息等优势, 被广泛用于海洋科学的研究<sup>[17-20]</sup>。鉴于此, 实验根据我国鱿钓船在日本海采集的舍氏贝乌贼样本, 采用人工神经网络模型对其角质颚色素沉积与生长因子的关系进行了研究, 以探讨各个生长因子对舍氏贝乌贼角质颚色素沉积的影响, 为后续研究舍氏贝乌贼的摄食渔业生态学等提供科学依据。

## 1 材料与方 法

### 1.1 样本采集

实验样本采集于 2018 年 12 月, 采样海域为 35°00'N—39°00'N、130°35'E—134°00'E, 共采集舍氏贝乌贼 303 个。

### 1.2 研究方法

**基础生物学参数测定** 舍氏贝乌贼样本经冷冻运回实验室, 在实验室中对样本进行解冻, 分别使用卷尺和弹簧秤测定舍氏贝乌贼样本的胴长 (mantle length, ML) 和体质量 (body weight, BW), 目测及鉴定性别, 性腺成熟度 (sexual maturity stage, SMS) 及胃级 (stomach stage, SS) 参考文献 [21]。从舍氏贝乌贼口器中取出上下角质颚, 对其进行编号、保存, 并对其外形数据进行测量 (图 1), 参照陈子越等<sup>[22]</sup>的方法, 实验共取得有效角质颚样本 285 对。测量中胴长测定精确至 1 mm, 体质量

精确至 1 g, 角质颚外形精确至 0.01 mm。

**角质颚色素沉积等级划分** 参考 Hernández-García<sup>[13]</sup> 对短柔鱼的分级方法, 结合舍氏贝乌贼角质颚的生长特点, 将角质颚色素沉积划分为 0~7 级, 共 8 个等级 (图 2)。

**人工神经网络模型** 采用多层感知器神经网络模型中的反向传播算法, 该模型属于多层前馈式神经网络, 能学习和存储大量的模式映射关系<sup>[23-25]</sup>。反向传播网络包含输入层、隐藏层和输出层, 输入层为胴长、体质量、性腺成熟度、角质颚外部形态参数和胃级等 8 项输入因子, 输出层为角质颚色素沉积等级。

### 1.3 数据处理

运用协方差分析, 判别色素沉积等级与胴长、体质量、外部形态参数、性成熟度和胃级等参数的关系间是否存在性别间显著性差异<sup>[14-15]</sup>, 并根据结果采用 EXCEL 2010 绘制箱型图, 拟合色素沉积等级与对应参数的线性关系<sup>[26]</sup>。

文中数据处理使用 OFFICE 2010 和 SPSS 23.0 软件。

## 2 结果

### 2.1 样本胴长、体质量组成

经测量, 舍氏贝乌贼样本胴长范围为 94~148 mm, 体质量范围为 36~116 g, 平均胴长和体质量

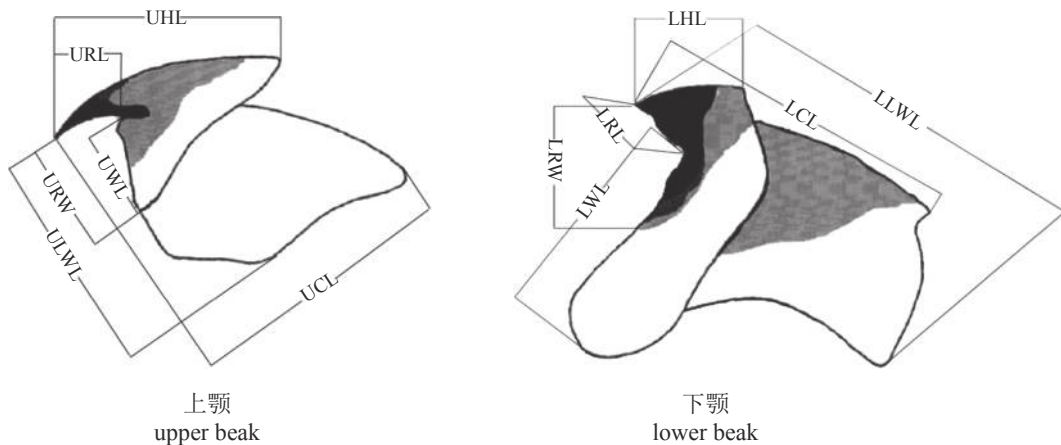


图 1 舍氏贝乌贼角质颚外形参数测量示意图

UHL. 上头盖长; UCL. 上脊突长; URL. 上喙长; URW. 上喙宽; ULWL. 上侧壁长; UWL. 上翼长; LHL. 下头盖长; LCL. 下脊突长; LRL. 下喙长; LRW. 下喙宽; LLWL. 下侧壁长; LWL. 下翼长

Fig. 1 Scheme of morphometric measurements for *B. magister shevtsovi* beaks

UHL. upper hood length; UCL. upper crest length; URL. upper rostrum length; URW. upper rostrum width; ULWL. upper lateral wall length; UWL. upper wing length; LHL. lower hood length; LCL. lower crest length; LRL. lower rostrum length; LRW. lower rostrum width; LLWL. lower lateral wall length; LWL. lower wing length

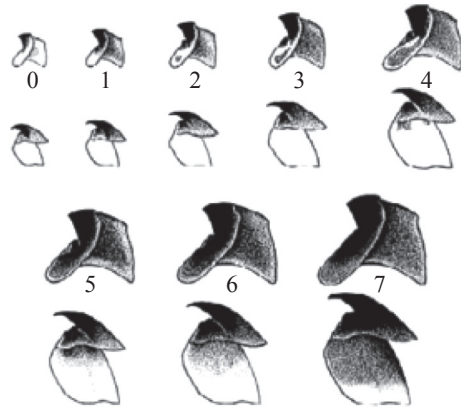


图2 短柔鱼角质颚色素沉积过程

(引自 Hernández-García<sup>[13]</sup>)

Fig. 2 Pigmentation process in beaks for *T. eblanae*

(Cited from Hernández-García<sup>[13]</sup>)

分别为 (115.30±8.86) mm 和 (62.27±13.65) g。

### 2.2 人工神经网络模型分析

结果显示，神经网络分析的最佳模型结构为 8 : 5 : 4 (图 3)。输入层与隐含层、隐含层与输出层之间的权重正负、大小各有不同，其中，两层之间连线为实线表示权重为正，且实线越粗，权重越大。胴长对色素沉积的贡献率最大，所占比例为 22.90%，其次为下头盖长、性腺成熟度、体质量、下喙长和下翼长，而下侧壁长和胃级的贡

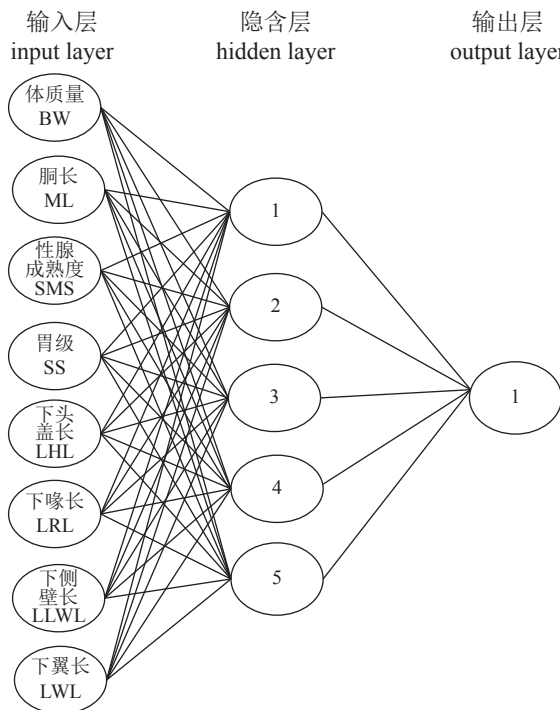


图3 神经网络解释图

Fig. 3 Neural interpretation diagram

献率所占比例仅占 6.30% 和 4.70% (表 1)。

### 2.3 色素沉积与胴长、体质量的关系

协方差分析表明，舍氏贝乌贼角质颚色素沉积等级与胴长 ( $F=0.26, P=0.611$ )、体质量 ( $F=0.074, P=0.786$ ) 的关系均不存在性别间显著性差异，因此不区分性别进行研究。样本包含 2 级、3 级、4 级和 5 级共 4 个级别色素沉积，经计算分析可知，色素沉积等级为 2 级、3 级、4 级和 5 级的样本，其对应的胴长和体质量中位值分别为 113.0 mm, 58.0 g; 118.5 mm, 65.5 g; 125.0 mm, 78.0 g 和 134.0 mm, 106.5 g; 对应的胴长四分位范围分别为 108.00~118.00 mm、114.75~123.25 mm、122.50~132.50 mm 和 129.50~137.50 mm，体质量四分位间距范围分别为 51.25~66.00 g、59.00~71.00 g、71.50~82.00 g 和 96.00~111.50 g (图 4)。

经线性拟合，色素沉积等级与胴长、体质量中位值的关系式：

$$ML=6.95x + 105.25 (R^2=0.9870, n=285)$$

$$BW=15.8x + 37.5 (R^2=0.9148, n=285)$$

### 2.4 色素沉积与性腺成熟度的关系

协方差分析显示，在不同性别间，舍氏贝乌贼角质颚色素沉积等级与性腺成熟度的关系不存在显著性差异 ( $F=2.291, P=0.132$ )，因此不区分性别进行研究。结果显示，样本主要由 I 期、II 期和 III 期个体组成。其中，当性腺成熟度为 I 期时，样本角质颚色素沉积等级以 2 级为主，所占比例为 83.65%，其次为 3 级，所占比例为 14.52%；当性腺成熟度为 II 期时，样本角质颚色素沉积等级以 2 级为主，所占比例为 61.82%，其次为 3 级，所占比例为 34.55%；而性腺成熟度为 III 期的个体，

表 1 神经网络模型的自变量重要性

Tab. 1 Importance of independent variables in neural network models

变量 variable	相关性贡献率/% contribution of relevance
胴长 ML	22.90
体质量 BW	11.90
性腺成熟度 SMS	14.40
胃级 SS	4.70
下头盖长 LHL	16.50
下喙长 LRL	11.70
下侧壁长 LLWL	6.30
下翼长 LWL	11.60

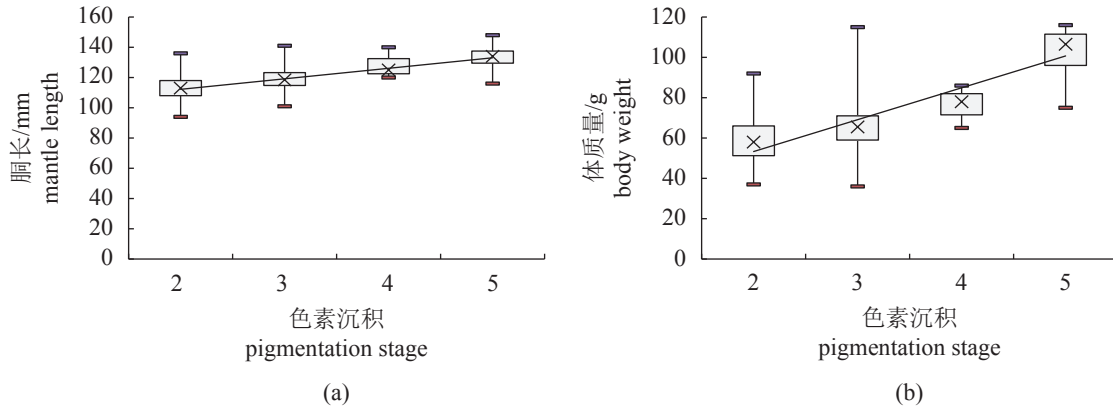


图 4 舍氏贝乌贼角质色素沉积等级 (a) 与胴长和体质量 (b) 的关系

Fig. 4 Relationships between beak pigmentation stage(a) and mantle length and body weight(b) of *B. magister shevtsovi*

其角质色素沉积等级以 3 级为主, 所占比例为 33.33% 和 16.67%。本实验中不存在性腺成熟度为 50.00%, 其次为 5 级和 2 级, 所占比例分别为 IV 期的个体 (表 2)。

表 2 舍氏贝乌贼角质色素沉积等级所占比例与性腺成熟度的关系

Tab. 2 Relationship between percentage of pigmentation stage and sexual maturity stage for *B. magister shevtsovi*

性腺成熟度等级 sexual maturity stage	不同色素沉积等级个体所占比例/% percentage of different pigmentation stage						
	1	2	3	4	5	6	7
I	00.00	83.65	14.52	0.81	1.61	00.00	00.00
II	00.00	61.82	34.55	3.64	00.00	00.00	00.00
III	00.00	16.67	50.00	00.00	33.33	00.00	00.00
IV	00.00	00.00	00.00	00.00	00.00	00.00	00.00

2.5 色素沉积与角质颚形态的关系

协方差分析显示, 不同性别间, 舍氏贝乌贼角质色素沉积等级与角质颚形态的关系存在显著性差异 (F=16.871, P=0.000), 因此分性别进行研究。研究表明, 色素沉积等级与雌雄性样本的角质颚外部形态参数中位值的关系均为线性关系, 且相关系数 R<sup>2</sup> 均大于 0.6877 (图 5)。

经拟合, 色素沉积等级与角质颚形态的中位值的关系式:

雌性 LHL=0.288x+2.9175 (R<sup>2</sup>=0.9082, n=158)

LRL=0.194x+2.4875 (R<sup>2</sup>=0.8768, n=158)

LLWL=0.854x+7.57 (R<sup>2</sup>=0.8329, n=158)

LWL=0.1655x+4.405 (R<sup>2</sup>=0.7807, n=158)

雄性 LHL=0.314x+2.9025 (R<sup>2</sup>=0.8938, n=127)

LRL=0.229x+2.37 (R<sup>2</sup>=0.6877, n=127)

LLWL=0.32x+7.9875 (R<sup>2</sup>=0.7474, n=127)

LWL=0.278x+3.94 (R<sup>2</sup>=0.7787, n=127)

2.6 色素沉积与胃级的关系

协方差分析显示, 舍氏贝乌贼角质色素沉

积等级与胃级的关系不存在性别间的显著性差异 (F=0.425, P=0.515), 因此不区分性别进行研究。实验样本共包含 0~4 级共 5 个级别的胃饱满度级别 (表 3)。结果显示, 色素沉积等级为 2 级时, 样本胃级以 2 级所占比例最高, 为 36.96%, 其次为 1 级、3 级和 4 级, 不存在色素沉积等级为 2 级、胃级为 0 级的样本; 色素沉积等级为 3 级时, 样本胃级包含 0~4 级, 其中, 以 1 级和 2 级所占的比例最高, 分别为 30.00% 和 30.00%, 其次为 3 级、4 级和 0 级; 色素沉积为 4 级时, 仅包含 2 级 1 个胃含物等级, 所占比例为 100.00%; 色素沉积为 5 级时, 样本胃级以 3 级所占比例最高, 为 75%, 其次为 1 级, 所占比例为 25% (表 3)。

3 讨论

3.1 舍氏贝乌贼各生长因子与色素沉积的关系

神经网络分析表明, 在角质颚外部形态中, 下头盖长的生长对色素沉积的贡献率最大; 在所有影响因子中, 胴长对色素沉积的贡献率最大,

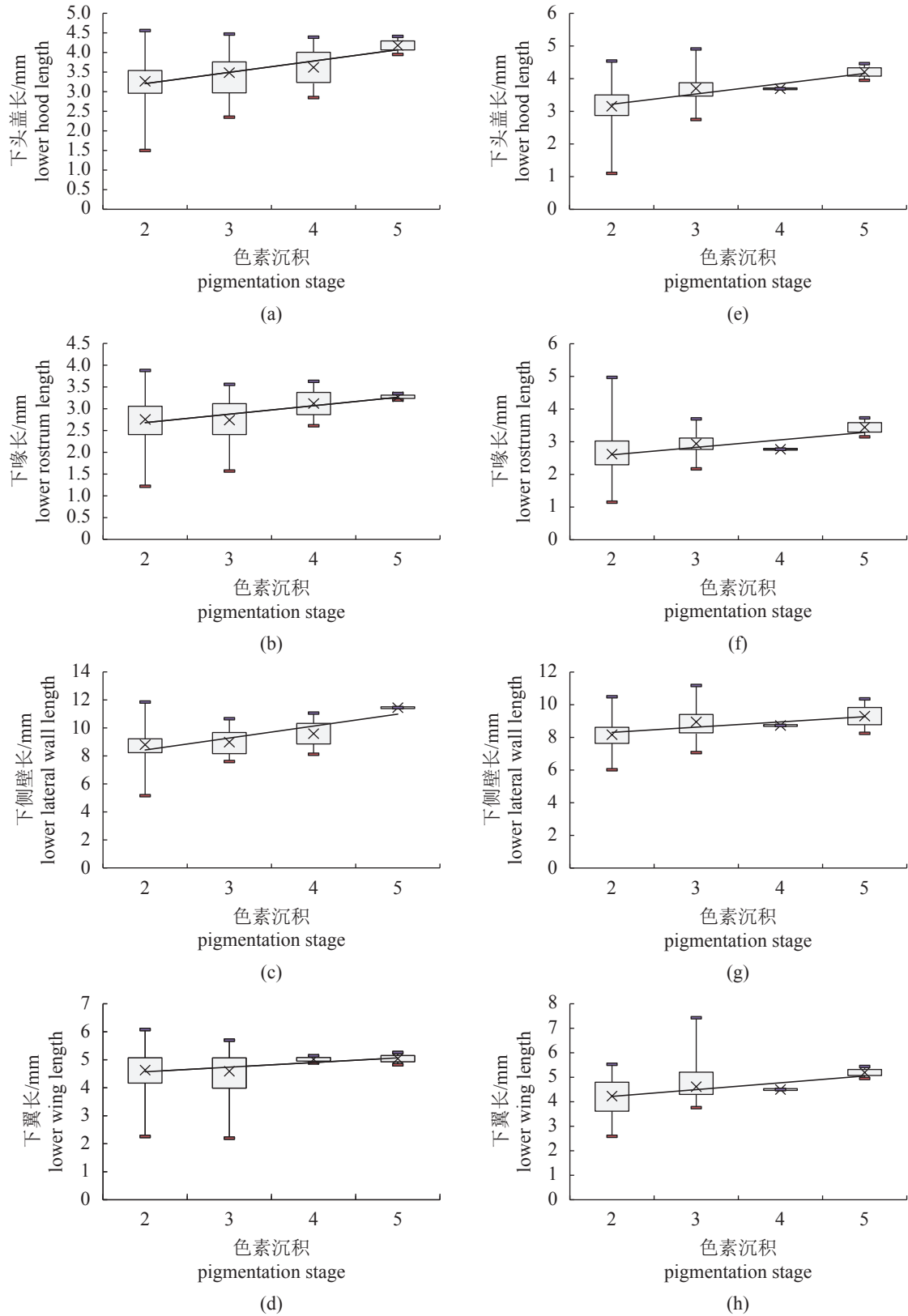


图 5 舍氏贝乌贼角质颚色素沉积等级与下角质颚各外部形态的关系

a、b、c 和 d 为雌性；e、f、g 和 h 为雄性

Fig. 5 Relationship between pigmentation stage of lower beak and morphological indices for *B. magister shevtsovi*

a, b, c and d are female; e, f, g and h are male

表 3 舍氏贝乌贼角质色素沉积等级与胃级的关系

Tab. 3 Relationship between percentage of pigmentation stage and stomach stage of *B. magister shevtsovi*

色素沉积等级 pigmentation stage	不同胃级个体所占比例/% percentage of different stomach stage				
	0	1	2	3	4
2	00.00	27.54	36.96	20.29	15.22
3	2.50	30.00	30.00	22.50	15.00
4	00.00	00.00	100.00	00.00	00.00
5	00.00	25.00	00.00	75.00	00.00

所占比例为 22.90%，其次为性腺成熟度和体质量。角质颚的生长与头足类的摄食习性密切相关，随着舍氏贝乌贼性腺成熟，以及胴长和体质量的增加，舍氏贝乌贼对营养水平要求更高，其摄食生态也随之发生变化：生长初期，角质颚质地软、色素沉积等级低，只能捕食小个体生物<sup>[13]</sup>，但随着个体生长，角质颚硬度增大，捕食能力增强，能够捕食更大、更硬的食物<sup>[13,15,27]</sup>。胡贯宇等<sup>[15]</sup>对秘鲁外海茎柔鱼 (*Dosidicus gigas*) 的研究发现，上喙长、下翼长、日龄、体质量和性腺成熟度的贡献率较大，与本研究结果不完全相同，这可能是由于不同物种间其生长特性不同。

### 3.2 舍氏贝乌贼胴长、体质量与色素沉积的关系

结果表明，在不同性别间色素沉积等级与胴长和体质量的关系不存在显著性差异，并与它们的中位值均呈正相关关系，且相关系数  $R^2$  均大于 0.9，拟合程度较好，即随着角质颚色素逐渐沉积，舍氏贝乌贼胴长和体质量也随之增加。在头足类研究中，短柔鱼<sup>[13]</sup>、阿根廷滑柔鱼 (*Illex argentinus*)<sup>[14]</sup>、秘鲁外海茎柔鱼<sup>[15]</sup>、中国南海鸢乌贼 (*Sthenoteuthis oualaniensis*)<sup>[16]</sup> 和褶柔鱼 (*Todarodes sagittatus*)<sup>[28]</sup> 的角质颚色素沉积与胴长均呈正相关关系，此外，阿根廷滑柔鱼<sup>[14]</sup>、秘鲁外海茎柔鱼<sup>[15]</sup> 和中国南海鸢乌贼<sup>[16]</sup> 的角质颚色素沉积与体质量也呈正相关关系，这与本实验结果相似。

### 3.3 舍氏贝乌贼性腺成熟度与色素沉积的关系

结果表明，在不同性别间色素沉积等级与性腺成熟度的关系不存在显著差异，这与阿根廷滑柔鱼<sup>[14]</sup>、中国南海鸢乌贼<sup>[16]</sup> 和褶柔鱼<sup>[28]</sup> 的研究结果存在差异。总体上看，日本海舍氏贝乌贼角质色素沉积与性腺成熟度呈正相关关系，即随着个体性腺成熟，角质颚色素沉积等级也逐渐增加。性腺成熟度为 I 期和 II 期的个体，其角质颚色素

沉积都以 2 级为主，但所占比例随着性腺成熟的成熟而逐步减少，由 83.65% 减少为 61.82%；而色素沉积等级为 3 级的样本所占比例随着性腺成熟而增加，由 14.52% 增加为 34.55%。Clark<sup>[29]</sup> 研究认为，角质颚色素沉积与性成熟相一致，秘鲁外海茎柔鱼<sup>[15]</sup> 和中国南海鸢乌贼<sup>[16]</sup> 的研究也得出相似结论。

### 3.4 舍氏贝乌贼角质颚外部形态与色素沉积的关系

结果表明，在不同性别间色素沉积等级与角质颚外部形态的关系也存在显著性差异。总体上看，雌、雄性舍氏贝乌贼的色素沉积等级均与角质颚形态呈正相关关系，这与陆化杰<sup>[16]</sup> 的研究结果相似。此外，Hernández-García<sup>[13]</sup>、方舟等<sup>[14]</sup> 和胡贯宇等<sup>[15]</sup> 的研究也分别发现阿根廷滑柔鱼、秘鲁外海茎柔鱼和短柔鱼的色素沉积与角质颚形态生长呈正相关关系。在本实验中，雄性样本的生长方程相关系数  $R^2$  均小于雌性，这一差异可能与雌雄性舍氏贝乌贼生长差异有关。Katugin 等<sup>[30]</sup> 发现，与雌性相比，成熟的雄性个体小、日龄短，且在成熟初期，雌性个体生长快于雄性，即与雌性相比，雌性个体角质颚的色素沉积程度更深。

### 3.5 舍氏贝乌贼胃级与色素沉积的关系

结果表明，角质颚色素沉积等级与胃级的关系不存在性别间显著性差异。色素沉积等级为 2 级、3 级、4 级和 5 级时，对应的胃级分别以 2 级、1 级和 2 级、2 级和 3 级为主；色素沉积为 2 级时，虽然胃级以 1 级和 2 级占比最高，但与色素沉积为 1 级的样本相比，色素沉积为 2 级的样本中，胃级为 3 级的样本所占比例有所增加。角质颚色素沉积是头足类生长过程中的重要变化之一，受个体摄食行为变化的影响<sup>[13,28]</sup>，但在本实验研究中，舍氏贝乌贼色素沉积与胃级的线性关系不明显，这可能与舍氏贝乌贼的摄食习性有关。尽管国内外学者对舍氏贝乌贼进行了研究，但关于这一物种的生物学资料仍较少，以期在日后进一步研究舍氏贝乌贼色素沉积与胃级的关系。

(作者声明本文无实际或潜在的利益冲突)

### 参考文献 (References):

- [1] Nesis K N. Population dynamics of the commander squid, *Beryteuthis magister* (Berry) in the Western Ber-

- ing Sea during the autumn spawning season[J]. *Ruthenica*, 1995, 5(1): 55-69.
- [2] Jereb P, Roper C F E. *Cephalopods of the World*[M]. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2010: 209-211.
- [3] Katugin O N. A new subspecies of the schoolmaster gonate squid, *Berryteuthis magister* (Cephalopoda: Gonatidae), from the Japan Sea[J]. *The Veliger*, 2000, 43(1): 82-97.
- [4] Katugin O N, Shevtsov G A, Zuev M A, *et al.* *Berryteuthis magister*, schoolmaster gonate squid[M]//Rosa R, O'Dor R K, Pierce G J. *Advances in Squid Biology, Ecology and Fisheries*. Hauppauge: Nova Science Publishers, Inc., 2013: 2-3.
- [5] Jefferts K. *Cephalopod fisheries of the North Pacific and their management*[J]. *Canadian Species Publication Fisheries and Aquatic Sciences*, 1986, 92: 34-56.
- [6] Kubodera T, Jefferts K. Distribution and abundance of the early life stages of squid, primarily gonatidae (Cephalopoda, Oegopsida), in the Northern North Pacific (Part 1)[J]. *Bulletin of the National Museum of Nature and Science: Series A, Zoology*, 1984, 10(3): 91-106.
- [7] Chen X J, Lu H J, Liu B L, *et al.* Species identification of *Ommastrephes bartramii*, *Dosidicus gigas*, *Sthenoteuthis oualaniensis* and *Illex argentinus* (Ommastrephidae) using beak morphological variables[J]. *Scientia Marina*, 2012, 76(3): 473-481.
- [8] 方舟, 陈新军, 金岳. 基于角质颚的东、黄海头足类科类判别[J]. *上海海洋大学学报*, 2019, 28(3): 365-372.  
Fang Z, Chen X J, Jin Y. Preliminary study of species identification of cephalopod in East China Sea and Yellow Sea based on beak morphology[J]. *Journal of Shanghai Ocean University*, 2019, 28(3): 365-372 (in Chinese).
- [9] 马迪, 金岳, 陈芑, 等. 利用角质颚形态判别东海两种常见枪乌贼[J]. *水产学报*, 2019, 43(2): 419-430.  
Ma D, Jin Y, Chen P, *et al.* Species identification of Loliginidae inhabiting the East China Sea based on beak[J]. *Journal of Fisheries of China*, 2019, 43(2): 419-430 (in Chinese).
- [10] Castanhari G, Tomás A R G. Beak increment counts as a tool for growth studies of the common octopus *Octopus vulgaris* in southern Brazil[J]. *Boletim do Instituto de Pesca*, 2012, 38(4): 323-331.
- [11] Perales-Raya C, Bartolomé A, García-Santamaría M T, *et al.* Age estimation obtained from analysis of octopus (*Octopus vulgaris* Cuvier, 1797) beaks: Improvements and comparisons[J]. *Fisheries Research*, 2010, 106(2): 171-176.
- [12] Castro J J, Hernández-García V. Ontogenetic changes in mouth structures, foraging behaviour and habitat use of *Scomber japonicus* and *Illex coindetii*[J]. *Scientia Marina*, 1995, 59(3-4): 347-355.
- [13] Hernández-García V. Growth and pigmentation process of the beaks of *Todaropsis eblanae* (Cephalopoda: Ommastrephidae)[J]. *Berliner Paläobiologische Abhandlungen*, 2003, 3: 131-140.
- [14] 方舟, 陈新军, 李建华. 西南大西洋公海阿根廷滑柔鱼角质颚色素变化分析[J]. *水产学报*, 2013, 37(2): 222-229.  
Fang Z, Chen X J, Li J H. Analysis of pigmentation change on beak for *Illex argentinus* in the high seas of southwestern Atlantic Ocean[J]. *Journal of Fisheries of China*, 2013, 37(2): 222-229 (in Chinese).
- [15] 胡贯宇, 陈新军, 方舟. 秘鲁外海茎柔鱼角质颚色素沉积及影响因素的初步研究[J]. *海洋湖沼通报*, 2017(2): 72-80.  
Hu G Y, Chen X J, Fang Z. A preliminary study on beak pigmentation and its associating affecters of *Dosidicus gigas* inhabiting peruvian exclusive economic zone[J]. *Transactions of Oceanology and Limnology*, 2017(2): 72-80 (in Chinese).
- [16] 陆化杰, 陈子越, 宁欣, 等. 中国南海西沙群岛海域鸢乌贼角质颚色素沉积变化[J]. *生态学杂志*, 2020, 39(5): 1600-1608.  
Lu H J, Chen Z Y, Ning X, *et al.* Pigmentation change on beak for *Sthenoteuthis oualaniensis* in the Xisha Islands waters of the South China Sea[J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2020, 39(5): 1600-1608 (in Chinese).
- [17] 吴凤霞, 李纯厚, 戴明. 人工神经网络在海洋科学中的应用[J]. *南方水产*, 2009, 5(1): 75-80.  
Wu F X, Li C H, Dai M. Application of artificial neural networks ocean sciences[J]. *South China Fisheries Science*, 2009, 5(1): 75-80 (in Chinese).
- [18] 金龙. *神经网络气象预报建模理论与应用* [M]. 北京: 气象出版社, 2004.  
Jin L. *Theoretical Method and Application of Neural Network Weather Forecast Modeling*[M]. Beijing: China Meteorological Press, 2004.

- Meteorological Press, 2004 (in Chinese).
- [19] 汤成友, 官学文, 张世明. 现代中长期水文预报方法及其应用 [M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2008.
- Tang C Y, Guan X W, Zhang S M. The Advanced Methods for Mid-Long Term Hydrological Forecasting and its Application[M]. Beijing: China Water & Power Press, 2008 (in Chinese).
- [20] 苑希民, 李鸿雁, 刘树坤. 神经网络和遗传算法在水科学领域的应用 [M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2002.
- Yuan X M, Li H Y, Liu S K. Application of neural network and genetic algorithm in water science[M]. Beijing: China Water & Power Press, 2002 (in Chinese).
- [21] Lipiński M R, Underhill L G. Sexual maturation in squid: Quantum or continuum?[J]. *South African Journal of Marine Science*, 1995, 15(1): 207-223.
- [22] 陈子越, 陆化杰, 童玉和, 等. 个体差异对西沙群岛海域鳶乌贼角质颚外部形态变化的影响[J]. *水产学报*, 2019, 43(12): 2501-2510.
- Chen Z Y, Lu H J, Tong Y H, *et al.* Effects of difference of individual size on beak morphology of *Sthenoteuthis oualaniensis* in the Xisha Islands of South China Sea[J]. *Journal of Fisheries of China*, 2019, 43(12): 2501-2510 (in Chinese).
- [23] Kumar M, Raghuwanshi N S, Singh R, *et al.* Estimating evapotranspiration using artificial neural network[J]. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 2002, 128(4): 224-233.
- [24] Benediktsson J A, Swain P H, Ersoy O K. Neural network approaches versus statistical methods in classification of multisource remote sensing data[J]. *Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 1990, 28(4): 540-552.
- [25] 汪金涛, 高峰, 雷林, 等. 基于神经网络的东南太平洋茎柔鱼渔场预报模型的建立及解释[J]. *海洋渔业*, 2014, 36(2): 131-137.
- Wang J T, Gao F, Lei L, *et al.* Modeling of fishing grounds for *Dosidicus gigas* based on BP neural network in southeast Pacific[J]. *Marine Fisheries*, 2014, 36(2): 131-137 (in Chinese).
- [26] 陈炫妤, 陆化杰, 王洪浩, 等. 西北印度洋鳶乌贼角质颚色素沉积特性分析[J]. *动物学杂志*, 2020, 55(4): 468-476.
- Chen X Y, Lu H J, Wang H H, *et al.* Analysis of pigmentation character on beak for *Sthenoteuthis oualaniensis* in Northwest Indian Ocean[J]. *Chinese Journal of Zoology*, 2020, 55(4): 468-476 (in Chinese).
- [27] Miserez A, Schneberk T, Sun C J, *et al.* The transition from stiff to compliant materials in squid beaks[J]. *Science*, 2008, 319(5871): 1816-1819.
- [28] Hernández-García V, Piatkowski U, Clarke M R. Development of the darkening of *Todarodes sagittatus* beaks and its relation to growth and reproduction[J]. *South African Journal of Marine Science*, 1998, 20(1): 363-373.
- [29] Clarke M R. The identification of cephalopod “beaks” and the relationship between beak size and total body weight[J]. *Bulletin of the British Museum (Natural History). Zoology*, 1962, 8: 419-480.
- [30] Katugin O N, Shevtsov G A, Zuev M A, *et al.* *Berryteuthis magister*, schoolmaster gonate squid[M]//Rosa R, O’Dor R K, Pierce G J. *Advances in Squid Biology, Ecology and Fisheries*. Hauppauge: Nova Science Publishers, Inc., 2013: 5-7.



## Analysis of pigmentation characteristics on beak of *Berryteuthis magister shevtsovi* in the Japan Sea based on artificial neural networks

ZHU Wenbin<sup>1</sup>, CHEN Xuanyu<sup>2</sup>, LU Huajie<sup>2,3,4,5,6\*</sup>, CHEN Ziyue<sup>2</sup>, NING Xin<sup>2</sup>,  
CUI Guochen<sup>1</sup>, GUO Ai<sup>1</sup>, CHEN Xinjun<sup>2,3,4,5,6</sup>

(1. Zhejiang Marine Fisheries Research Institute, Zhejiang 316021, China;

2. College of Marine Sciences, Shanghai Ocean University Shanghai 201306, China;

3. National Distant-water Fisheries Engineering Research Center, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China;

4. Key Laboratory of Sustainable Exploitation of Oceanic Fisheries Resources, Ministry of Education, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China;

5. Scientific Observing and Experimental Station of Oceanic Fishery Resources, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China;

6. Key Laboratory of Oceanic Fisheries Exploration, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China)

**Abstract:** The beak is the main feeding organ of cephalopods which contains abundant biological information and is widely used in cephalopod biology research. In this paper, the characteristics of pigmentation stage in the beak were studied, which provided the basis for the study of fishery ecology of *Berryteuthis magister shevtsovi*. Based on the 303 schoolmaster gonate squid samples collected in the Japan Sea, we measured the basic biological data which included the mantle length (ML), body weight (BW), sexual maturity stage (SMS), the external morphological parameters (lower hood length, LHL; lower rostrum length, LRL; lower lateral wall length, LLWL; lower wing length, LWL) of the beak and stomach stage (SS), divided and determined the beak pigmentation. The relationships between the beak pigmentation and the ML, BW, SMS, the external morphological parameters of the beak and SS were analyzed by artificial neural networks, and the median values of the samples were fitted linearly. The results indicated that the ML contributed the most to beak pigmentation stage, which was 22.90%, followed by the LHL, SMS, BW, LRL, LWL, which contributed 16.50%, 14.4%, 11.90%, 11.70% and 11.60% respectively, while the LLWL and SS contributed less to beak pigmentation stage, which were 6.30% and 4.70% respectively. The analysis of covariance (ANCOVA) results showed that there was no gender difference in the relationship between the beak pigmentation and ML, BW, sexual maturity stage and stomach stage ( $P=0.611$ ,  $P=0.786$ ,  $P=0.132$ ,  $P=0.515$ ). The relationships between beak pigmentation and ML ( $R^2=0.9870$ ), BW ( $R^2=0.9148$ ) and the external morphological parameters of the beak ( $R^2=0.9082$ ,  $R^2=0.8768$ ,  $R^2=0.8329$ ,  $R^2=0.7807$ ,  $R^2=0.8938$ ,  $R^2=0.6877$ ,  $R^2=0.7474$ ,  $R^2=0.7787$ ) were significantly relevant. The beak pigmentation stage also increased with the increasing of sexual maturity stage, but there was no significant relevance between the beak pigmentation and stomach stage. This research studied the relationships between various growth factors and beak pigmentation stage, in order to provide scientific basis for further study on fishery ecology and rational development of *Berryteuthis magister shevtsovi*. The relationships between ML, BW, the external morphological parameters and beak pigmentation stage were significantly relevant, so that we can evaluate the beak pigmentation stage by these growth factors.

**Key words:** *Berryteuthis magister shevtsovi*; beak; pigmentation; artificial neural network; Japan Sea

**Corresponding author:** LU Huajie. E-mail: hjlu@shou.edu.cn

**Funding projects:** National Key R&D Program of China (2019YFD090402); National Natural Science Foundation of China (41506184)