

文章编号: 1004 - 7271(2005)04 - 0413 - 06

渔场环境信息等值线绘制及其算法的开发实现

崔雪森¹, 陈雪冬², 樊伟²

- (1. 中国水产科学研究院东海水产研究所农业部海洋与河口渔业重点开放实验室, 上海 200090;
2. 中国水产科学研究院东海水产研究所渔业资源遥感信息技术重点开放实验室, 上海 200090)

摘要: 绘制等值线是对各类环境要素进行可视化表达的重要方式之一。根据海渔况预报过程中海水表层温度等海洋环境要素数据多规则网格分布的特点, 介绍了四边形进行三角网格化并插值生成原始等值线的过程步骤, 并利用 Visual C++ 成功开发了渔场环境要素等值线的绘制模块。同时, 针对所生成的原始等值线尖锐角过多、不够光滑的特点, 给出了一种在保留原始等值点的基础上, 补充等值线顶点个数以消除等值线上尖锐角的新的平滑算法, 对其平滑过程进行了理论证明并给出了等温线绘制实例。最后, 分析讨论了与商业化软件 ArcView 中的等值线绘制效果差异及其优点。

关键词: 渔场环境; 等值线; 海水表层温度; 平滑

中图分类号: S 911 **文献标识码:** A

Development of the algorithm for generating and smoothing isoline of fishing grounds environment

CUI Xue-sen¹, CHEN Xue-dong², FAN Wei²

- (1. Key and open Laboratory of Marine and Estuarine Fisheries, Ministry of Agriculture, East China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Science, Shanghai 200090, China;
2. Key and open laboratory of Remote Sensing Information Technology in Fisheries Resources, East China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Shanghai 200090, China)

Abstract: Isoline drawing is one of the important methods of environmental factor visualization. According to the distribution characteristics of ocean environmental information such as SST and chlorophyll, which can be obtained in the form of two dimensional matrix, regular triangle network can be directly established and the original isoline can be generated in the triangle network. The module of isoline generating was formulated by the development tool Visual C++ . In order to smooth the original isolines, new key points were repeatedly appended to erase sharp angles of the isolines with the original value points maintained. Then, the smoothing process was further analyzed and an SST isoline chart drawn by this means was given. At last, the difference between this method and the one used in ArcView was also presented.

Key words: fishing ground environment; isoline; sea surface temperature; smoothing

人们利用等值线图已有几百年的历史^[1], 因其具有较好的直观性和易读性, 在资源及环境等众多领

收稿日期: 2005-03-08

基金项目: 国家 863 计划项目(2003AA637030), 农业部海洋与河口渔业重点开放实验室课题(开重 03 - 05)

作者简介: 崔雪森(1973 -), 男, 河北唐山人, 主要从事渔场海洋学及渔业资源学方面的研究。电话: 021 - 65682395, E-mail: dhyqzh@

public4.sta.net.cn

域得到了广泛的应用^[1-6]。渔场海洋学研究中,等温线、等盐度线等渔场环境要素等值线图也是进行渔场分析及渔业资源时空分布研究的重要图件。手工绘制等值线虽然可以充分利用专家的经验知识,但具有一定的主观性,且费时、费力、不够精确,因而采用计算机自动绘制生成等值线就具有显著的意义。在“大洋金枪鱼渔场渔情速预报技术”的研究过程中,为了开发无缝集成的金枪鱼渔场渔情预报系统,渔场环境要素的可视化表达是其中的关键技术和重要内容之一。为此,本文以海水表层温度为例,介绍了等值线的绘制过程及方法,并采用了一种新颖有效的平滑算法,保证了所绘制等值线的准确和美观。

1 等值线的绘制

等值线图是由大量等值线构成的,其绘制是对大量离散的、又具有一定规律的几何量值或物理量值,用数学的方法插值变换成图的过程。目前等值线的计算机自动绘制方法已有多种,相对比较成熟,基本都涉及三个步骤:等值点的计算、等值线的跟踪及等值线的连接。在这三个步骤中确定等值线的跟踪走向和记录有关数据是等值线自动生成的关键,且绘制后平滑算法的优劣对等值线的绘制过程及其美观也具有重要的影响。

1.1 基本数据处理

绘制等值线首先需要根据所获取数据点的时空分布选择适当的绘制方法。依据所获取数据点的空间展布形态,通常可将其划分为规则格网与非规则格网。本文所采用的数据为来自美国 NOAA 的海表温度和叶绿素数据,数据点空间分布形态为类似经纬度格网的规则四边形格点数据,适合采用四边形三角网格化的方法绘制等值线。

1.2 数据值加密与三角网的构建

网格点数值化也即网格点插值,指用已知离散点阵上的值来估计网格点上的未知数值。网格点数值加密和构建三角网通过规则四边形网格中心点插值实现,其方法主要有临近点平均值法或二元三点插值等。如图 1 所示,假设 ABCD 分别为原始采样点,其中 E 点为新插入点,设原始网格结点为 Row 行 Col 列,则插值后新增网格结点数量为 $\Delta N = (\text{Row} - 1) \times (\text{Col} - 1)$ 个,构成三角形数量为 $4 \times \Delta N$ 个。



图 1 三角网的构建示意图

Fig. 1 The sketch of creating triangle grid

1.3 等值点的计算

等值点指由原始数据点和加密后的数据点所组成的三角网格边上插值后得到的系列数据点集。新插入的等值点坐标 P_0 在原始数据结点 P_i 和 P_j 的值之间,则 P_0 点所在的位置可由公式(1)计算求取。其中 P_i, P_j, P_0 三点坐标和值分别为 $(X_i, Y_i, Z_i), (X_j, Y_j, Z_j)$ 和 (X_0, Y_0, Z_0) 。

$$X_0 = X_i + (X_j - X_i)(Z_0 - Z_i)/(Z_j - Z_i), Y_0 = Y_i + (Y_j - Y_i)(Z_0 - Z_i)/(Z_j - Z_i) \quad (1)$$

1.4 等值线的追踪

等值线分为两类,即开放等值线和闭合等值线。开放等值线指有两个端点的曲线段,而闭合等值线没有端点。在等值线追踪绘制过程中,通常采取先追踪开放等值线,再追踪闭合等值线的方法。即先将端点在边界上的等值线找出,其余的等值线均为闭合等值线。

2 等值线的平滑

遍历三角网的各边对等值线进行追踪是一个相对简单的过程,但绘出的等值线一般都不够平滑,不美观。采取多项式局部加密算法是一种有效方法^[2]。但过多的加密在实际编程计算当中是以牺牲一定的效率为代价的。因此,在满足需要的情况下,仅需对数据适当加密或不加密,当绘出原始的等值线后,再采取适当方法进行平滑处理。等值线的平滑方法比较多,如采用 Bezier 曲线、B 样条参数曲线等曲线

拟合等^[7-11]。本文由于考虑到要将结果作为矢量文件格式保存并输入 GIS 系统进行管理,并不需要得到完全数学意义上的光滑等值线,所以这里采用增加等值线顶点个数和角的再剪切方法平滑等值线。

2.1 增加顶点个数

在如图 2 所示的矩形单元格里,有一等值线 l_c , 有顶点 A、B、C,等值线的值为 Z_0 ,过 B 点作角 ABC 的平分线 l_1 ,再过 B 点作 l_1 的垂线 l_2 。

设等值线的间隔值为 Step, 直线 l_1 同边界交于点 H,在直线 l_1 上 B 与 H 点之间取点 I,使 I 点的值 Z_j 满足 $|Z_0 - Z_j| < \text{Step}/2$ 。然后在两条边中较长的一条边上取点 F(在例中 AB 为较长边),使 $IF = IC$ 。连接 FI 和 CI,分别与 l_2 交于 B_1 和 B_2 。同理可求出 A_1 和 A_2 、 C_1 和 C_2 的位置。顺序连接 $A_1 - A_2 - B_1 - B_2 - C_1 - C_2$,得到新等值线(简称 l'_c)。

增加顶点个数就是为了将位于各条三角网边上的顶点转移到三角形内部,为下一步角剪切作准备。在图 2 中点 B 经处理后得到的新顶点为 B_1 和 B_2 (B_1 和 B_2 中点位置的值仍在 B 处),不难证明 B_1 和 B_2 的值也都在 $Z_0 - \text{Step}/2$ 和 $Z_0 + \text{Step}/2$ 之间。

2.2 角的剪切

因为有第一步对顶点的转移,这就保证每一次剪切都在同一三角形中进行,而且剪切后新产生的两个端点的值也都在 $Z + \text{Step}/2$ 和 $Z - \text{Step}/2$ 之间(假设此条等值线值为 Z),从而使最终得出的等值线在不交叉的情况下得到了平滑,并且保留了最初生成的原始等值线的所有顶点。

具体过程如图 2 所示,设 A_1 与 A_2 之间的距离为 $S_{A_1A_2}$ 。在 l'_c 的 A_1 与 B_1 点之间分别取 A_3 和 A_4 ,使 $S_{A_3A_1} < S_{A_1A_2}/3$, $S_{A_4A_2} < S_{A_1A_2}/3$ 。以同样方法取 B_3 、 B_4 、 B_5 、 B_6 、 C_3 、 C_4 、 C_5 点,连接这些点,得到较 l'_c 更平滑的新等值线 l''_c (如图 3)。

图 4 是对 6×6 个随机数从原始数据加密、原始等值线的生成、增加顶点个数,到最后进行角剪切的效果过程图,可见经过平滑最后生成的等值线图 d 比等值线图 b 效果有显著改进。

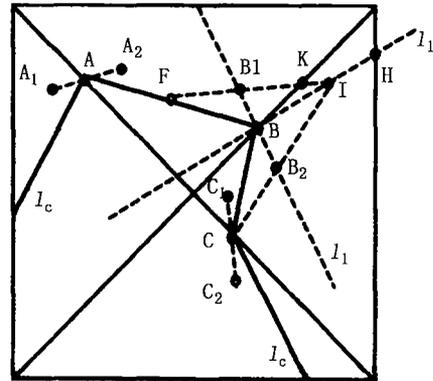


图 2 增加等值线顶点个数

Fig.2 Adding isoline vertices

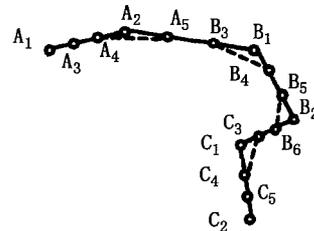


图 3 等值线角的剪切

Fig.3 Cutting of isoline corners

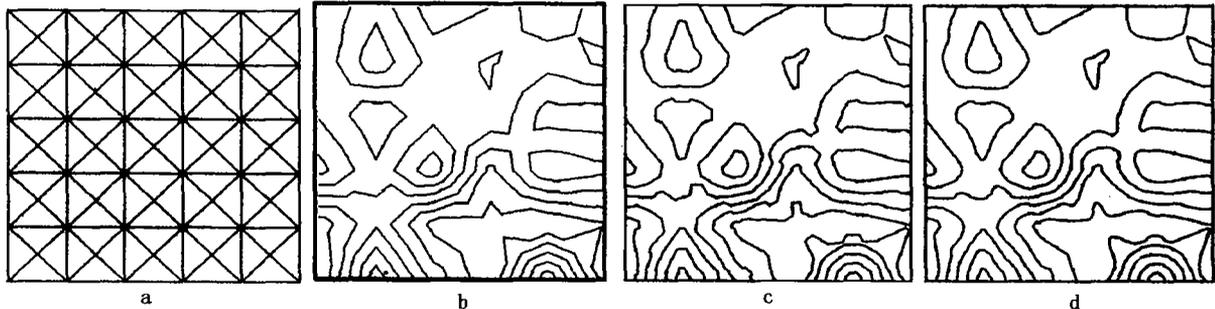


图 4 等值线的平滑过程

Fig.4 The process of smoothing isolines

(a.原始数据; b.原始等值线; c.增加顶点个数; d.一次角剪切后)

2.3 证明

角的平滑(剪切)过程是一个可无限重复的过程,这种平滑算法是否真的能达到理想的效果,下面通过具体的公式推导给出论证。

如图5所示,假设折线 $D_0 - C_0 - E_0$ 为经过顶点转移后的等值线 (l_c') 的一个片段, A_0 为线段 D_0C_0 的中点, B_0 为线段 C_0E_0 的中点, C_0 作为角的顶点。按照前面提到的算法,在 A_0 与 C_0 之间取 C_1 作为新的顶点,使长度比 $S_{C_1C_0}/S_{C_1A_0} = 1/m (m > 0)$ 。同理取得 G 点,进而得出线段 C_1G 的中点 B_1 。在线段 A_0C_0 上重复取顶点 $n (n > 0)$ 次后,所得到的顶点和中点的坐标公式分别为:

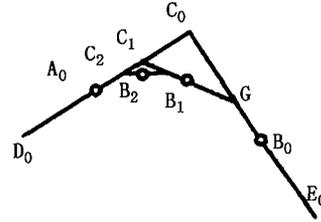


图5 角剪切后新中心点(B_n)位置

Fig.5 The new midpoint(B_n) position after the corner is cut

(1) 顶点(C_n)的坐标

$$\begin{cases} C_{nx} = \left(\frac{mC_{(n-1)x} + A_{0x}}{m+1} \right) = \left(\frac{m}{m+1} \right)^n (C_{0x} - A_{0x}) + A_{0x} \\ C_{ny} = \left(\frac{mC_{(n-1)y} + A_{0y}}{m+1} \right) = \left(\frac{m}{m+1} \right)^n (C_{0y} - A_{0y}) + A_{0y} \end{cases}$$

(2) 中点(B_n)的坐标

a. 当 $m = 1/2$ 时:

$$\begin{cases} B_{nx} = n \left(\frac{1}{3} \right)^n (C_{0x} - A_{0x}) + \left(\frac{1}{3} \right)^n (B_{0x} - A_{0x}) + A_{0x} \\ B_{ny} = n \left(\frac{1}{3} \right)^n (C_{0y} - A_{0y}) + \left(\frac{1}{3} \right)^n (B_{0y} - A_{0y}) + A_{0y} \end{cases}$$

b. 当 $m \neq 1/2$ 时:

$$\begin{cases} B_{nx} = \frac{(1-2m)B_{0x} + 2mC_{0x} - A_{0x}}{2^n(1-2m)(m+1)^n} - \frac{2m}{1-2m} \left(\frac{m}{m+1} \right)^n (C_{0x} - A_{0x}) + A_{0x} \\ B_{ny} = \frac{(1-2m)B_{0y} + 2mC_{0y} - A_{0y}}{2^n(1-2m)(m+1)^n} - \frac{2m}{1-2m} \left(\frac{m}{m+1} \right)^n (C_{0y} - A_{0y}) + A_{0y} \end{cases}$$

显然, $\lim_{n \rightarrow +\infty} (B_{nx} - A_{0x}) = 0$, $\lim_{n \rightarrow +\infty} (B_{ny} - A_{0y}) = 0$, 这说明剪切得到的中心点会随着剪切次数的增加逐渐接近 A_0 。

当 $m \geq 1/2$ 时, $\lim_{n \rightarrow +\infty} \frac{B_{ny} - A_{0y}}{B_{nx} - A_{0x}} = \frac{C_{0y} - A_{0y}}{C_{0x} - A_{0x}}$, 与通过 D_0 和 C_0 两点的直线的斜率重合。同理, 在 A_0 与 D_0 之间取新顶点 C'_n 和新中点 B'_n 时, 也有 $\lim_{n \rightarrow +\infty} \frac{B'_{ny} - A_{0y}}{B'_{nx} - A_{0x}} = \frac{C_{0y} - A_{0y}}{C_{0x} - A_{0x}}$, 说明剪切次数越多, 等值线越平滑。但是当 m 接近无穷大时, $\lim_{n \rightarrow +\infty} C_n = \lim_{n \rightarrow +\infty} B_n = C_0$, 表明 m 取值过大时, 折线 $A_0C_0B_0$ 虽然得到了平滑, 但平滑的后效果不明显。

当 $1/2 > m > 0$ 时, $\lim_{n \rightarrow +\infty} \frac{B_{ny} - A_{0y}}{B_{nx} - A_{0x}} = \frac{(1-2m)B_{0y} + 2mC_{0y} - A_{0y}}{(1-2m)B_{0x} + 2mC_{0x} - A_{0x}}$, 同理有 $\lim_{n \rightarrow +\infty} \frac{B'_{ny} - A_{0y}}{B'_{nx} - A_{0x}} = \frac{(1-2m)B'_{0y} + 2mC'_{0y} - A_{0y}}{(1-2m)B'_{0x} + 2mC'_{0x} - A_{0x}}$ 。显然, 要使上述两式相等必须满足一定的条件。所以在这种情况下, 即对顶点角剪切次数再多, 平滑后等值线在中点(如 A_0 和 B_0)处也不一定能达到平滑的效果。

虽然对角的剪切过程是一个可无限重复过程, 但随着剪切的不断进行, 新增顶点数也会急剧增长。为了避免新增顶点数的过度增加, 可在决定剪切之前确定一个角度的阈值 α , 先判断要剪切的角度的大小是否小于该阈值 α , 再决定是否需要进行剪切。如果在精度要求不太高的情况下, 也可适当减小剪切次数 n 来加快程序的执行速度。

3 等值线平滑实例

以上所述的等值线绘制和平滑算法已被应用到大洋金枪鱼渔场速预报系统的开发,可用来表现各种渔场海洋环境要素信息,如海水表层温度、叶绿素等。通过把这些环境要素场的等值线图与渔获量、中心渔场位置等数据信息的相互叠加分析,可研究分析渔场的形成机制和预测中心渔场的位置。这里我们给出了选取 NOAA 反演的三级温度产品数据(1°X1°矩形点阵格式,经度范围 60°W - 110°W,纬度范围 35°S - 30°N,时间为 1982 年 1 月)为例,利用上述等值线图的绘制生成方法,生成了较为平滑的等值线(图 6)。

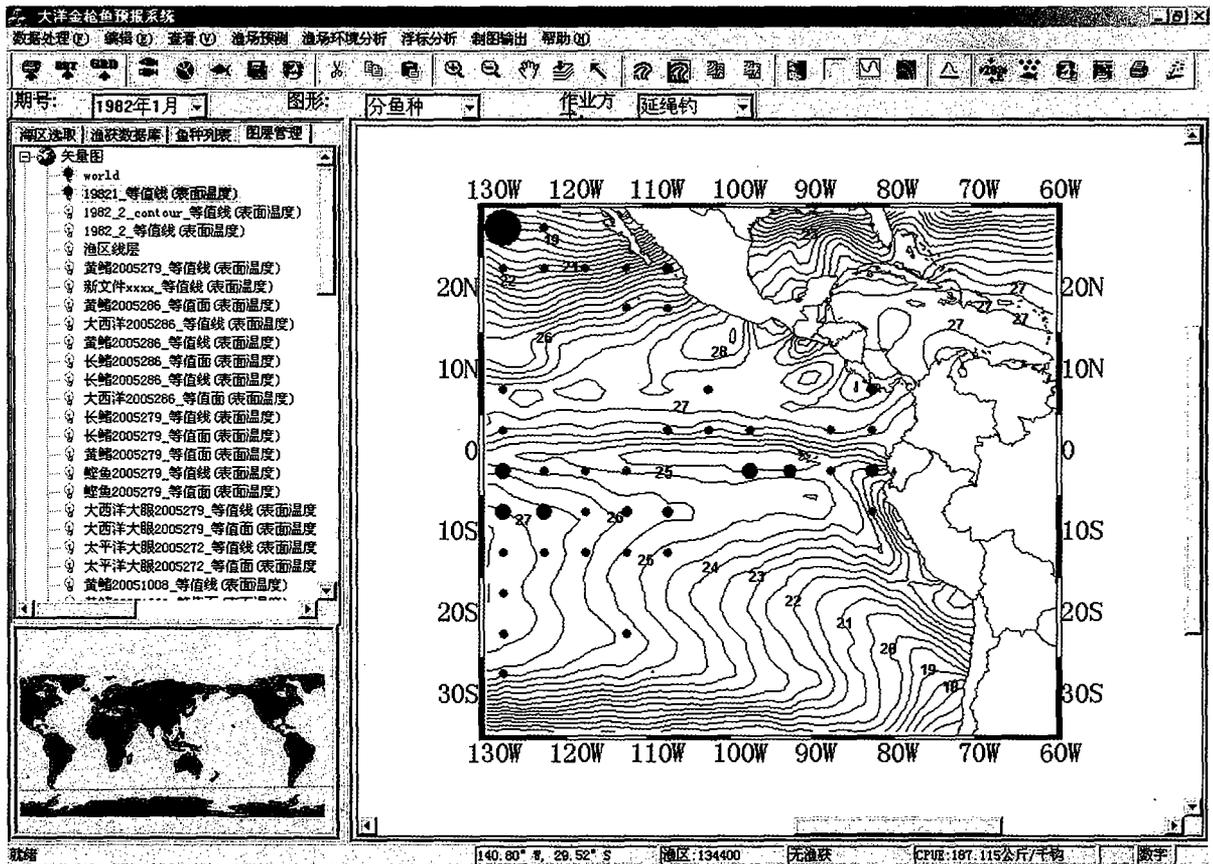


图 6 海水表层温度等值线与渔区捕获量叠加显示示例图

Fig. 6 SST isolines and distribution of tunas catch

4 结语

同现有的商业化软件 Arcview 中所提供的等值线绘制方法(Spline 与 IDW)相比,本文所提出的等值线绘制方法具有以下特点:①由于该方法未经过多的加密插值处理,绘制速度较快;②该方法不会产生大于最大原始采样点值或小于最小原始采样点值的等值线,绘制偏差小。而采用 Arcview 中的方法,可能会出现上述的偏差,尤其是在图幅范围的边缘处,可能产生与实际情况不符的等值线;③与 Arcview 绘制的结果相比,由于事先未经加密处理,该方法产生的等值线更多了一些摆动,但并不影响总体的变化趋势;④另外,由于至少经过一次角的剪切,所以该方法所产生的相接的等值线段间不会产生小于 90 度的角,从而有效消除了尖锐角,因而平滑效果较好;⑤此外,针对数据采样点外界轮廓为非矩形的情

形。采用虚拟插值的方法补充完整矩形区域内格点数据,可保证边界处等值线的自然向外延伸。等值线图表示法已经成为很多行业用来可视化表现相应数据信息的有效手段,其算法也相对比较成熟。本文为开发大洋金枪鱼渔场速预报系统所提出的适合海洋渔场环境信息特点的等值线绘制和平滑算法,可使等值线绘制方法更加多样化。同时该模块可编译成动态链接库(dll)文件,直接嵌入到渔场分析预报系统,便于控件式 GIS 同通用程序设计语言的无缝集成应用。

参考文献:

- [1] 王家华,高海余,周叶. 克里金地质绘图技术—计算机的模型和算法[M]. 北京:石油工业出版社,1999.11-37.
- [2] 李志林,朱庆. 数字高程模型(第二版)[M]. 武汉:武汉大学出版社,2003.203-215.
- [3] 季民,靳奉祥,李云岭,等. 基于 SST 等值线的海区网格点内插算法研究[J]. 解放军测绘信息所学报,2003,23(3): 35-38.
- [4] 杜清胜,于得江. 降雨量等值线图的绘制开发使用[J]. 吉林水利, 2002,12:24-26.
- [5] 王锋堂,宫辉力,赵文吉. 地下水水位等值线数值的计算方法及其机助制图[J]. 首都师范大学学报,2004,25(1): 85-89.
- [6] 熊文兵,周能,谭强敏. 气象要素等值线图的计算机实现[J]. 广西科学,2003,10(3):212-215.
- [7] 增广鸿,张新长,邓良柄,等. 折线式等值线的曲线化模型探讨[J]. 测绘通报,1999, 6:16-18.
- [8] 成建梅,陈崇希,孙红林,等. 三角网格等值线自动生成方法及程序实现[J]. 水利学报,1998,10:23-26.
- [9] 苗润忠. 光滑的等值线生成算法[J]. 长春理工大学学报, 2004, 27(1):17-18.
- [10] 孙家广. 计算机图形学[M]. 北京:清华大学出版社,1995.262.
- [11] 张梅华,梁文康. 一个三角形网格上等值线图的绘制算法[J]. 计算机辅助设计与图形学学报,1997,9(3):213-217.

欢迎订阅 2006 年《水产学报》

《水产学报》是中国水产学会主办、上海水产大学承办的以水产科学技术为主的国家级学术刊物。创刊于 1964 年。主要刊载渔业资源、水产养殖与增殖,水产捕捞,水产品保鲜与综合利用,渔业水域环境保护,渔船、渔业机械与仪器以及水产基础研究的论文,简报和综述,并酌登学术动态和重要书刊的评价等。

本刊为双月刊,大 16 开,国内外公开发行。每期定价 25 元。全年定价 150 元(含邮费)。国内统一刊号:CN 31-1283/S,国际标准刊号:ISSN 1000-0615。国外发行代号:Q-378,国内邮发代号:4-297。读者可在当地邮局订阅,也可直接汇款至编辑部订阅。

编辑部地址:上海市军工路 334 号,上海水产大学 48 信箱 邮政编码:200090

联系电话和传真:021-65710232 E-mail:jfc@shfu.edu.cn 和 scxuebao@online.sh.cn