

# 大西洋扇贝壳生长年轮的氧同位素研究\*

蔡 德 陵

(国家海洋局第一海洋研究所, 青岛)

F. C. Tan

D. L. Roddick

(加拿大贝德福海洋研究所) (加拿大哈里法克斯渔业研究实验室)

**提要** 两只活的大洋扇贝 *Placopecten magellanicus* 分别于 1983 和 1985 年采自加拿大诺瓦·斯科舍省布朗斯浅滩, 其氧同位素记录展示出一种年度性的循环, 并与由环境海水的实测温度和同位素组成所预计的贝壳同位素组成十分接近。外生长线的位置与这些循环中  $\delta^{18}\text{O}$  的最大值吻合, 这说明外生长线于底层海水温度最低时(春季)形成。据测定的  $\delta^{18}\text{O}$  的结果证明, 外生长线是年度性形成的, 这与生物学证据一致。

扇贝年龄的测定一般以贝壳外表面或铰合部韧带上可见到的生长线为依据<sup>[8]</sup>。人们假设外生长线是每年在早春季节沉淀下来的, 而 Krantz 等<sup>[6]</sup>却认为, 不同的季节都可能发生这种沉淀。由于在生长线的准确认定上还存在一些不确定因素, 因而寻找一种独立的确定生长年轮的方法将是很有价值的。近年来稳定性氧同位素方法已成功用于确定双壳类贝壳的生长模式<sup>[5,7]</sup>。Krantz 等测定大洋扇贝的结果表明, 由同位素记录测得的生长速率大致上是用外生长线法估计值的两倍, 但他没有解释这种不一致的原因<sup>[6]</sup>。本研究对用外生长线法确定的和氧同位素法测定的大洋扇贝<sup>[3]</sup>的年龄和外生长线的形成时间, 进行比较。

## 一、材料与方 法

所用的两个活的大洋扇贝 *Placopecten magellanicus* 标本采自加拿大东海岸布朗斯浅滩。1号标本是在 1983 年 5 月 20 日采集的, 水深 100m; 2 号标本采于 1985 年 8 月 27 日, 水深 85m (见图 1)。两个贝壳的外表面均无被钻孔或明显侵蚀的迹象, 不过, 2 号标本的外缘已无法辨认, 故不能测出它的年龄, 但还可用于跟 1 号标本的同位素记录进行比较 (见图版 I)。

采用文献[8]的贝壳外表面生长线法估计了贝壳标本的年生长率。Dale Roddick(D) 和 Mark Lundy(M) 分别鉴定了代表生长年份的生长线位置, 并且均是在不参考氧同位素结果的情况下在不同的地方分别定年两次。D 对 1 号标本的定年, 一次是在 1983 年; 另一次是在 1986 年作该贝壳的同位素分析取样之前。对 2 号标本的定年则分别在 1986 和 1987 年取样前后做的。M 给这两个贝壳定年是为了在鉴定者之间作比较。第一次, 只

\* 加拿大贝德福海洋研究所 R. Lively 先生提供了布朗斯浅滩的月平均温盐资料, 哈里法克斯渔业海洋局 G. Robert 博士提供了 1 号贝壳标本, 均此一并致谢。

收稿日期: 1988 年 3 月 1 日。

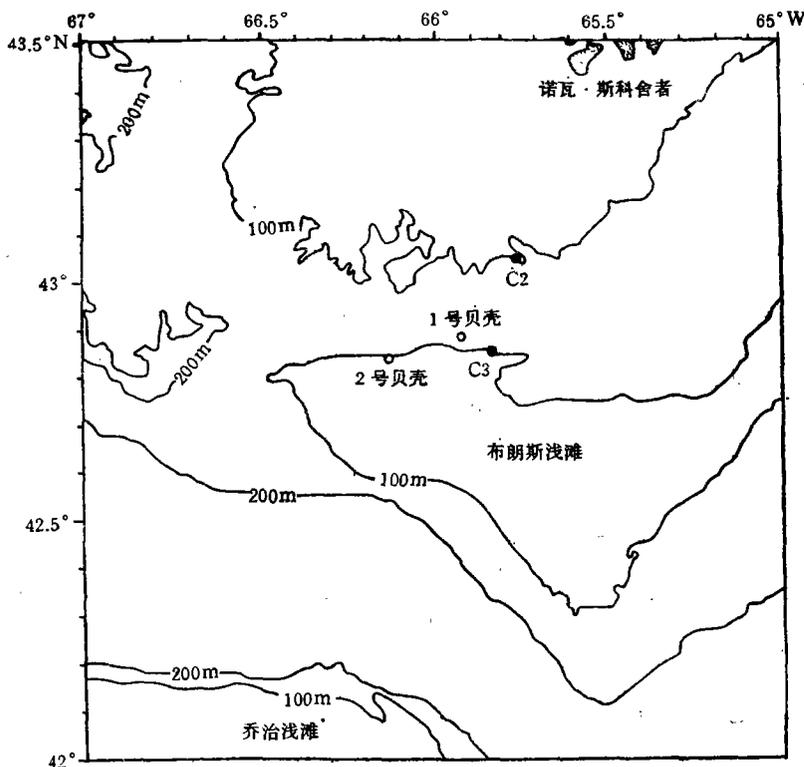


图1 站位及取样位置

Fig. 1 Station and sampling locations

(图内“诺瓦·斯科舍者”应为“诺瓦·斯科舍省”)

是简单地在他认为是年轮的地方标上记号；第二次，对两个标本作仔细的研究并准确地确定年轮的位置。

样品处理。首先，轻轻打磨贝壳外表面，以除去角质层和其它碎屑；然后用  $0.5\text{mm}$  锥子从贝壳外层取下样品粉末。从离壳顶约  $10\text{mm}$  处至腹缘沿最大生长轴，大约每一毫米宽度取一个碳酸钙粉末样品（图版 1）。之所以取自贝壳外层，是因为在扇贝生长期间外层是沿着贝壳的外缘依次沉积下来的。

采用经改进的 Tan 等<sup>[10]</sup>的技术测定贝壳样品的稳定同位素组成。同位素值以常规的  $\delta$  标志法表示，以 PDB 碳酸盐国际标准为参考标准<sup>[4]</sup>。计算贝壳同位素实测精度的方法，是采用每组十二个样品带一个内部的无机碳酸盐标准样，由此计算出的标准偏差为  $\pm 0.11 \times 10^{-3}$ （实测内标样品共 39 个）。用文献[11]的方法分析水样的氧同位素组成，其测量精度为  $\pm 0.1 \times 10^{-3}$ 。

## 二、水文条件和贝壳方解石同位素组成的预计

在 C3 号站位于 1979 年 4 月—1980 年 8 月，测量了该站离海底  $8\text{m}$  处的月平均水温和盐度（见表 1 和图 2）。盐度在秋季最高（ $34.13 \times 10^{-3}$ ）、春季最低（ $32.74 \times 10^{-3}$ ）。月平均水温也显示出类似的变化趋势。在 C3 站周围缺少其它年份详尽的温、盐资料，不

过, C2 站可提供一些资料作比较(见图 2)。C2 站的温盐资料是从 1978 年 11 月—1983 年 5 月的。可以看出, C2 站的资料跟 C3 站在 1979—1980 年间的变化模式是很相似的。另外, 加拿大渔业海洋部渥太华海洋环境资料中心 (MEDS) 具有取样点周围海域 1920—1980 年间近底层水的温、盐资料, 其中 1979—1980 年的数值范围同图 2 的变化趋势也是类似的。

表 1 C3 站月平均海水温度、盐度及贝壳方解石  $\delta^{18}\text{O}$  的预计值

Tab. 1 Monthly mean water temperature, salinity at C3, and predicted  $\delta^{18}\text{O}$  for shell calcite

| 年 份  | 月 份 | 温度(°C) | 盐度<br>( $\times 10^{-3}$ ) | $\delta^{18}\text{O}_{\text{水}}^{\text{①}}$<br>( $\times 10^{-3}$ ) | $\delta^{18}\text{O}_{\text{贝壳}}$ 的<br>预计值( $\times 10^{-3}$ ) |
|------|-----|--------|----------------------------|---|--|
| 1979 | 4   | 4.64   | 32.74                      | -1.24   | 2.00   |
|      | 5   | 5.43   | 32.87                      | -1.18   | 1.83   |
|      | 6   | 6.31   | 32.89                      | -1.17   | 1.59   |
|      | 7   | 7.69   | 33.35                      | -0.93   | 1.44   |
|      | 8   | 9.43   | 33.64                      | -0.77   | 1.12   |
|      | 9   | 10.94  | 33.99                      | -0.59   | 0.90   |
|      | 10  | 11.33  | 34.13                      | -0.52   | 0.87   |
|      | 11  | 11.63  | 34.07                      | -0.55   | 0.76   |
|      | 12  | 10.22  | 33.80                      | -0.69   | 0.99   |
| 1980 | 1   | 6.88   | 33.15                      | -1.03   | 1.57   |
|      | 2   | 5.25   | 32.77                      | -1.23   | 1.84   |
|      | 3   | 4.60   | 32.79                      | -1.22   | 2.04   |
|      | 4   | 4.76   | 33.11                      | -1.05   | 2.16   |
|      | 5   | 5.34   | 33.07                      | -1.07   | 1.96   |
|      | 6   | 6.50   | 33.17                      | -1.02   | 1.68   |
|      | 7   | 7.31   | 33.22                      | -0.99   | 1.48   |
|      | 8   | 8.57   | 33.43                      | -0.89   | 1.24   |

①  $\delta^{18}\text{O}_{\text{水}} = 0.523 \times S - 18.357$ 。

采样站位附近底层水氧同位素成份的历史资料由下述方法算出: 一是在 1985 年 5 月和 8 月直接测量了底层水的  $\delta^{18}\text{O}$ ; 二是在 1986 年 10 月采集了该海域中的底层水样品并测量了水样的  $\delta^{18}\text{O}$  与盐度, 从中导出了一个回归方程式:

$$\delta^{18}\text{O} = 0.523 \times S - 18.357 \quad (n = 19) \quad (1)$$

式中,  $\delta^{18}\text{O}$  为底层水的氧同位素组成(相对于 PDB 标准);  $S$  为底层水的盐度。由此可以从该区盐度的历史资料推算出氧同位素的历史资料。

预计的贝壳方解石的同位素组成可用下述方法计算得到: (1)文献[4]的古温度方程式及文献[2]的修正式; (2)在 1979 年 4 月—1980 年 8 月期间测得的月平均底层水盐度和温度; (3)采样处底层水的氧同位素组成。最后以下式来计算贝壳方解石氧同位素组成的预计值:

$$\delta^{18}\text{O}_{\text{方解石}} = \delta^{18}\text{O}_{\text{水}} + \frac{[4.2 - \sqrt{17.64 - 0.52(16.9 - T)}]}{0.26} \quad (2)$$

式中,  $T$  为环境温度(°C)。

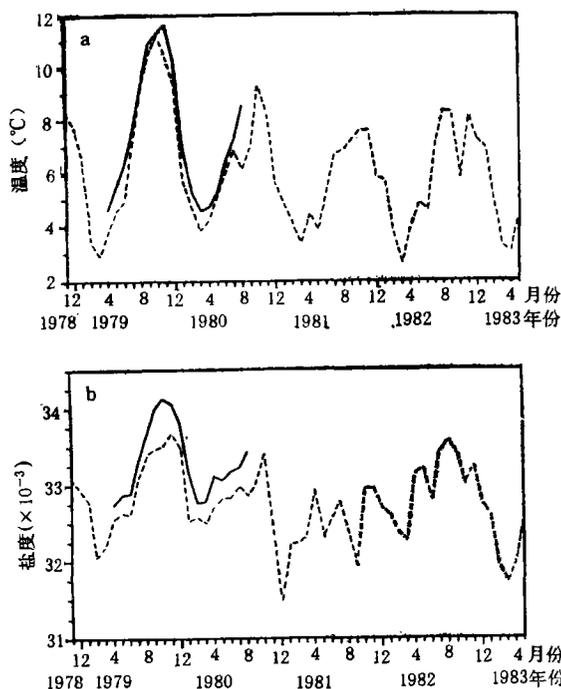


图2 C2 和 C3 站的月平均温度 (a) 和盐度 (b)

Fig. 2 Monthly mean temperatures (a) and salinities (b) at stations C2 and C3  
----- C2 站; ——C3 站。

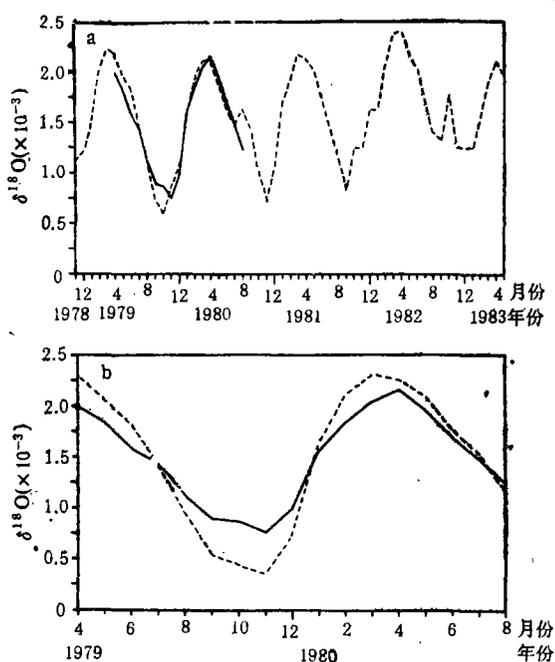


图3 C2, C3 站贝壳方解石预计的同位素值 (a), 环境参数对 C3 站贝壳同位素值的影响 (b)

Fig. 3 Predicted isotopic values of shell calcite at stations C2 and C3 (a), and station C3 with and without a constant  $\delta^{18}\text{O}$  seawater value (b)

(a)——C3 站位, -----C2 站位; (b)——由表 2 数据计算的结果, -----设海水同位素值为一常数时的结果。

将水的氧同位素组成和温度代入式(2),便可得到该年度每个月份中沉积下来的贝壳方解石氧同位素的平均组成。表 1 列出了 C3 站的结果,图 3a 比较了 C2 和 C3 两个站位的结果。由表 1 可见,所预计的扇贝壳方解石一年的同位素记录有着明显的季节性变化,  $\delta^{18}\text{O}$  值的变化范围约为  $1.4 \times 10^{-3}$ ; 1980 年 4 月达到最高值 ( $+2.16 \times 10^{-3}$ ); 最低值则是在 1979 年 11 月 ( $+0.76 \times 10^{-3}$ )。图 3a 中 C3 站同位素预计值曲线是依据 1979 年 4 月—1980 年 8 月的水文数据,所以,其它年份的底层水温度和氧同位素组成可能与这条预计的曲线稍有偏离,但可以说,这条曲线已构画出了贝壳同位素记录的总趋势。在图 3a 中 C2 站的数据表示出了年与年之间的变化情况。

贝壳方解石同位素组成是由环境水温度和氧同位素组成两个因素决定的,因此,有必要研究这两个环境参数中哪个是控制因素。为此,假设  $\delta^{18}\text{O}_w$  为一常数  $-0.95 \times 10^{-3}$  (此值为 1979—1980 年间水的  $\delta^{18}\text{O}$  平均值),并由此计算了 C3 站贝壳方解石的同位素组成(图 3b)。

### 三、结果与讨论

#### 1. 外生长线法的测定结果

两个贝壳的外生长线法测定年龄的结果见表 2。M 第一次测定结果与其它三次有所不同,这说明此法定年有不少主观因素;在第二次鉴定时作得比较仔细,结果就比较一致。

表 2 外生长线法测定贝壳年龄的结果<sup>①</sup>

Tab. 2 Results from ageing of shells by reading external lines by two readers at different times

#### 1 号 贝 壳

| 年轮 | D    |       | M     |      |
|----|------|-------|-------|------|
|    | 1983 | 1986  | 1986  | 1987 |
| 1  | —    | 10.0  | —     | —    |
| 2  | —    | 21.2  | —     | —    |
| 3  | 47   | 40.7  | 32.6  | 52   |
| 4  | 66   | 63.2  | 54.2  | 68   |
| 5  | 81   | 81.6  | 69.3  | 82   |
| 6  | 95   | 95.0  | 82.7  | 93   |
| 7  | 106  | 106.2 | 95.4  | 103  |
| 8  | 113  | 113.6 | 105.9 | 108  |
| 9  | 118  | 118.5 | 113.9 | 113  |
| 10 | —    | —     | 118.9 | ②    |

#### 2 号 贝 壳

| 年轮 | 1986  | 1987  | 1986  | 1987 |
|----|-------|-------|-------|------|
| 1  | 9.0   | 10.0  | —     | —    |
| 2  | 23.7  | 24.4  | —     | —    |
| 3  | 40.2  | 40.7  | 27.0  | 48   |
| 4  | 57.9  | 59.6  | 43.5  | 63   |
| 5  | 76.4  | 76.2  | 56.3  | 80   |
| 6  | 95.3  | 95.8  | 65.0  | 92   |
| 7  | 111.0 | 111.8 | 74.0  | 104  |
| 8  | 116.4 | 116.5 | 81.5  | 116  |
| 9  | —     | —     | 88.9  | —    |
| 10 | —     | —     | 94.9  | —    |
| 11 | —     | —     | 103.9 | —    |
| 12 | —     | —     | 110.6 | —    |
| 13 | —     | —     | 115.4 | —    |

① 年轮位置为离壳顶的距离 (mm); ② 测年前贝壳的边缘在取样时裂开了。

D 的两次鉴定结果,除了 1 号贝壳的第 3 轮之外,其余的轮在两次鉴定间的差别都在预期的慢生长带之内,即是说符合得很好。除 1 号贝壳的某些局部外,D 的结果与 M 的第二次结果也符合得很好。两者的差别是,D 认为在 106mm 处只有一个年轮,而 M 认为有两个年轮: 103mm 和 108mm。两位鉴定者对 1 号贝壳的第三个年轮和 2 号贝壳的第三、七两个年轮位置的判断也有区别。运用外生长线法鉴定年轮位置时存在某些差别也

是预料之中的, 因为慢生长带通常有几毫米宽, 要标出最慢生长点的精确位置是较困难的, 同时, 贝壳上的冲击标记对定年轮的干扰也很大。

## 2. 影响贝壳同位素组成的主要因素

在把水的同位素组成看作常数情况下得到的结果(图 3b)表明, 贝壳同位素预计值曲线与采用变化的  $\delta^{18}\text{O}_w$  所得的曲线非常接近, 只是同位素值的幅度增大约  $0.6 \times 10^{-3}$ 。这证明, 温度是决定贝壳方解石同位素组成的控制因素, 而环境水  $\delta^{18}\text{O}$  变化的影响则相对较小。

## 3. 同位素法的测定结果

图 4 系 1 号贝壳的  $\delta^{18}\text{O}$  的实测值和预计值, 这两组值对应得很好, 4 月份的值与 D 在 1986 年确定的年轮位置是对应的, 其余的点也是线性对应的。外生长线位置和贝壳碳酸盐取样位置以距壳顶的距离表示。这只 120mm 高的贝壳, 由 D 和 M 定年的结果分别为 9 年和 10 年。

1 号贝壳的氧同位素记录展示了几个循环周期,  $\delta^{18}\text{O}$  的最大值为  $1.9 \times 10^{-3}$ , 最低值为  $0.1 \times 10^{-3}$ 。同位素周期性变化的幅度约为  $1.0-1.4 \times 10^{-3}$ , 外生长线位置与贝壳上每个循环中  $\delta^{18}\text{O}$  的最大值是一致的。2 号贝壳的  $\delta^{18}\text{O}$  剖面也显示出几个循环周期(图 5),

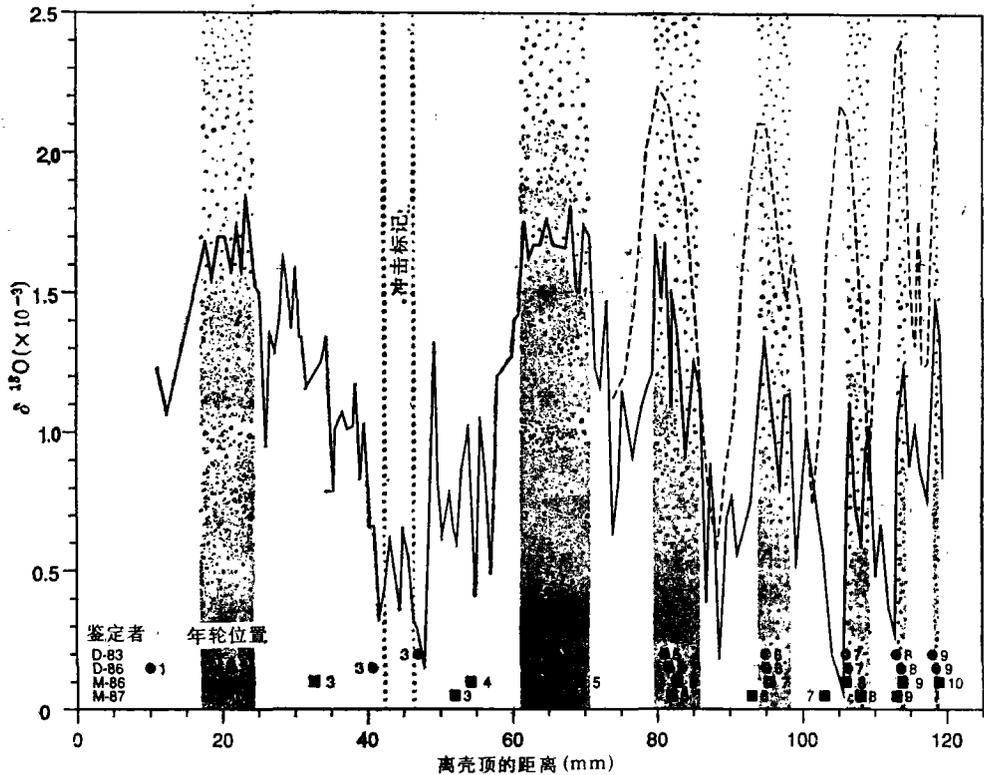


图 4 1 号贝壳的同位素实测值与预计值

Fig. 4 Observed and predicted isotopic values for shell 1 along with the ring positions assigned by the readers as in Table 1. Predicted values (-----) and Observed values (—)

●和○分别表示鉴定者D和M在不同时间确定的年轮位置;数字为年轮号;阴影区对应于同位素峰,即海水低温期。——实测值;----- 预计值。

其幅度为  $0.9-1.3 \times 10^{-3}$ , 与 1 号贝壳非常类似。外生长线也与贝壳  $\delta^{18}\text{O}$  最大值相符合。

依据前述的模式, 扇贝壳上氧同位素测定的结果可归因于由环境水的温度和同位素值的季节性变化所控制的年度性的循环。

有几个因素可能引起预计值与实测值之间的差别。其一是生长速率。一般在二三年后扇贝的生长速率随年龄的增长而逐渐减慢, 因此, 单位时间内沉积下来的贝壳碳酸盐数

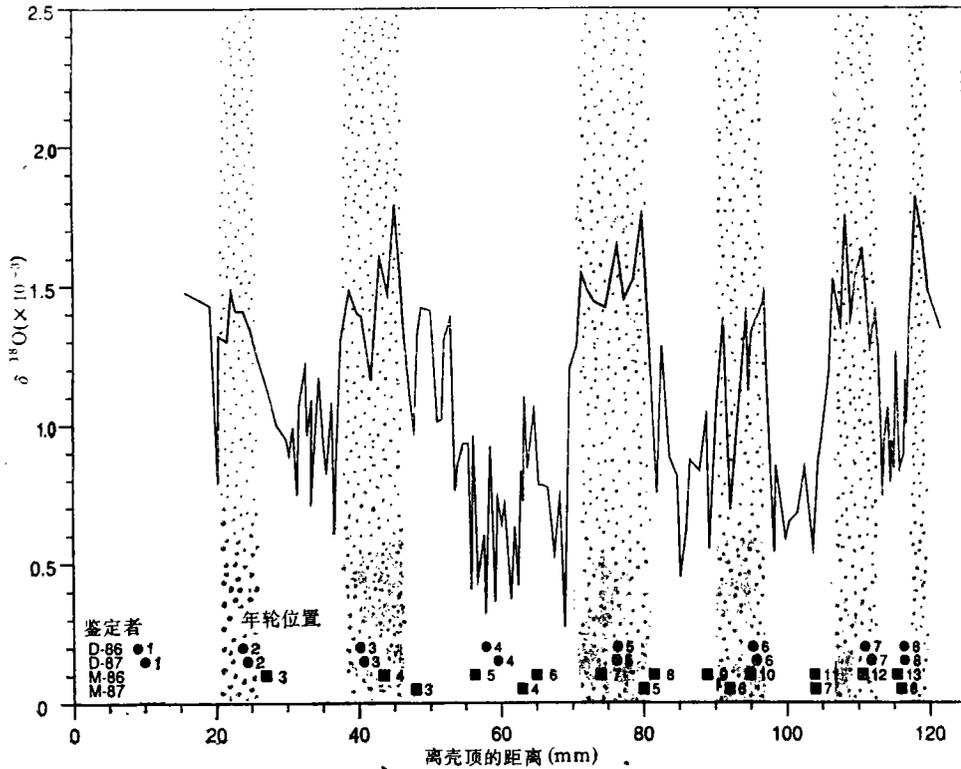


图 5 2 号贝壳的同位素实测值及生长线位置

Fig. 5 Observed isotopic values for shell 2 along with the ring positions assigned by the readers as in Table 1

量也是逐渐减少的。这就意味着, 如果在贝壳上取同样宽度和深度的样品, 在生长较慢部位的样品比之生长较快部位的样品所代表的时间间隔要更长一些, 这就造成了一个平均效应, 使贝壳外缘部位的同位素循环变小, 在 80—120mm 区域内尤为明显。其二, 幅度差别还可能由采用温度和盐度的月平均值进行计算造成。Broom 等<sup>[4]</sup>已经证明, 皇后扇贝 *Chlamys opercularis* 尽管有可能在一天里沉积出一薄片贝壳来, 但不见得每天都有沉积。贝壳中止生长可能是由于低温和饵料供应不足。假如在一个月中只是在较暖的若干天里生长贝壳, 会使  $\delta^{18}\text{O}$  值较之用月平均温度预测到的值要偏低些。其三, C2 和 C3 站位与扇贝实际捕获点之间海水的温度和同位素值亦有可能有差别。

1 号贝壳的  $\delta^{18}\text{O}$  测定结果表明, 外生长线法获得的 9 个生长年份与  $\delta^{18}\text{O}$  记录符合得很好。此外, 外生长线是被假定在每年春季形成的, 除了第三条以外, 其它都与同位素周期中  $\delta^{18}\text{O}$  最大值相符合, 这说明外生长线确是按年生长的, 它们是在一年中底层海水

温度最低的季节(春季)形成的。

虽然 2 号贝壳的外缘已不可辨认,但它的同位素记录仍可用于与 1 号贝壳进行比较。这个贝壳的  $\delta^{18}\text{O}$  数值范围( $+0.4$ — $+1.8 \times 10^{-3}$ )以及循环的幅度,均与 1 号贝壳十分相似,而且,  $\delta^{18}\text{O}$  的范围也跟贝壳碳酸盐  $\delta^{18}\text{O}$  的预计值很接近,年轮的位置也与循环的  $\delta^{18}\text{O}$  的最大值相符合。

我们的结果与 Krantz 等<sup>[6]</sup>的结果是不一致的。他们认为,外生长线不是年度性的,而且可能在一年的不同季节中形成。虽然他们样品中的年轮位置与文献[9]的结果是一致的,但与同位素剖面却不一致。与 Krantz 的研究结果有差别的原因,可能是由这两个研究区的温度特征所造成的。在 Krantz 研究的较南方海域,在夏季最高水温时可能有一个生长抑制,使贝壳早期生长较快的年份中冬季能得到较快的生长;而在北部海域,即布朗斯浅滩海区,只是在最低水温时有单一的生长抑制过程。

## 四、结 论

由加拿大东海岸布朗斯浅滩采集的两只活扇贝壳的氧同位素记录,显示出年度性的循环,这种循环跟作为环境水的实测温度和同位素组成函数的预计的同位素组成十分接近。外生长线似乎与同位素循环中  $\delta^{18}\text{O}$  最大值是一致的,这说明外生长线是在水温最低的季节(春季)形成的。氧同位素数据证明,外生长线是年度性的,这与生物学的证据也是吻合的。这项研究证明氧同位素方法可用作为测定大西洋扇贝年龄和外生长线形成时间的一种独立的方法。

本研究结果与 Krantz 等人<sup>[6]</sup>的结果不一致,说明对不同的海区,像氧同位素分析这样的独立的方法应该被用于验证这些“年轮”是否是年度性的。

## 参 考 文 献

- [1] Broom, M. J. and J. Mason, 1978. Growth and spawning in the pectinid *Chlamys opercularis* in relation to temperature and phytoplankton concentration *Mar. Biol.* 47: 277—285.
- [2] Craig, H., 1965. The Measurement of Oxygen Isotope Paleotemperatures. In Second Conference on Stable Isotopes in Oceanographic Studies and Paleotemperatures, ed. by E. Tongiorgi. Consiglio Nazionale Delle Ricerche, Spoleto, Italy, pp. 161—182.
- [3] Culliney, J. L., 1974. Larval development of the giant scallop *Placopecten magellanicus* (Gmelin). *Biol. Bull.* 147: 321—332.
- [4] Epstein, S., R. Buchbaum, H. A. Lowenstam and H. C. Urey, 1953. Revised carbonate—water isotopic temperature scale. *Geol. Soc. Am. Bull.* 64: 1 315—1 326.
- [5] Jones, D. S., D. F. Williams and M. A. Arthur, 1983. Growth history and ecology of the Atlantic surf clam (*Spisula solidissima*) as revealed by stable isotopes and annual shell increments. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 73: 225—242.
- [6] Krantz, D. E., D. S. Jones and D. F. Williams, 1984. Growth rates of the sea scallop, *Placopecten magellanicus*, determined from the  $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$  record in shell calcite. *Biol. Bull.* 167: 186—199.
- [7] Margosian, A., F. C. Tan, D. L. Cai and K. H. Mann, 1987. Seawater temperature records from stable isotopic profiles in the shell of *Modiolus modiolus*. *Estuar. Coast. Shelf Sci.* 25: 81—89.
- [8] Merrill, A. S., J. A. Posgay and F. E. Nichy, 1965. Annual marks on shell and ligament of sea scallop (*Placopecten magellanicus*). *Fish. Bull.* 65(2): 299—311.
- [9] Posgay, J. A. and A. S. Merrill, 1979. Age and growth data for the Atlantic coast sea scallop, *Placopecten magellanicus*. NMFS, Northeast Fish. Centre, Woods Hole Lab., Lab. Ref. 58—79: 97.

- [10] Tan, F. C. and J. D. Hudson, 1974. Isotope studies on the paleoecology and diagenesis of the Great Estuarine Series (Jurassic) of Scotland. *Scott. J. Geol.* 2: 91—128.
- [11] Tan, F. C. and P. M. Strain, 1980. The distribution of sea ice meltwater in the eastern Canadian Arctic. *J. Geophys. Res.* 85(C4): 1 925—1 932.

## OXYGEN ISOTOPE STUDIES ON THE GROWTH RATE OF SEA SCALLOP, *PLACOPECTEN MAGELLANICUS* FROM BROWNS BANK, CANADA

Cai Deling

(First Institute of Oceanography, SOA, Qingdao)

F. C. Tan

(Bedford Institute of Oceanography, Canada)

D. L. Roddick

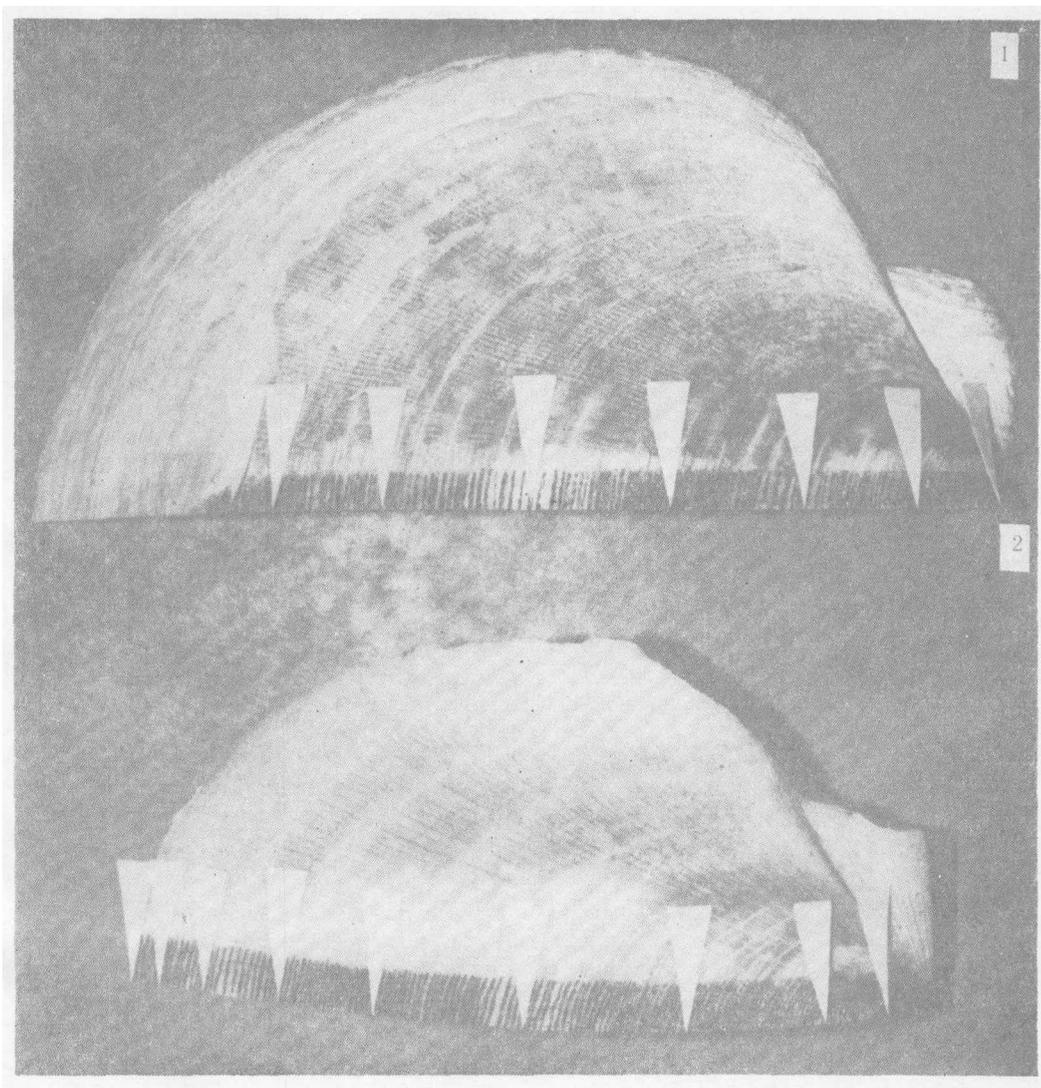
(Halifax Fisheries Research Laboratory, Canada)

### ABSTRACT

The stable oxygen isotope method had been used on the study of growth rate of sea scallops from the coast of Virginia by Krantz et al.<sup>[6]</sup>. Growth rates determined from the isotopic records by them are roughly twice those estimated from the external line method. No explanations were offered for this discrepancy.

Now, this method has successfully been used to study the ages and growth rates of the sea scallop *Placopecten magellanicus*. Two specimens were collected alive from Browns Bank, Nova Scotia, Canada on May 20, 1983, and August 27, 1985. The calcium carbonate powders were collected approximately every 1 mm along the axis of maximum growth from about 10 mm from the umbo to the ventral margin. The stable isotopic composition of each shell powder sample was determined. Oxygen isotope records from two specimens show annual cycles that closely approximate to the isotopic composition predicted as a function of observed temperatures and the isotopic composition of the ambient seawater. The studies also show that sea water temperature is the dominant factor in determining the isotopic composition of shell calcite and the variation of  $\delta^{18}\text{O}$  of ambient waters has only relatively minor effect. The external growth lines coincide with the most positive  $\delta^{18}\text{O}$  values of the cycles, suggesting their formation during the period of coldest water temperatures (spring). The  $\delta^{18}\text{O}$  results indicate that the growth lines are annual events, consistent with the biological evidence. Thus the stable oxygen isotope method can be used as an independent method to determine the age and the timing of the formation of external rings for *Placopecten magellanicus*.

Our results are not consistent with those of Krantz et al. who reported that the external lines are not annual events and that they were formed at different seasons of the year. The reason for this difference may be due to the temperature regimes of the study sites.



用作同位素分析的两个贝壳标本。  
为明显起见,取样位置用黑线表示,箭头表示生长线位置。