

## 第六章 北部湾白海豚的数量

北部湾到底有多少白海豚？这是每一个关心白海豚的人都想知道的答案。

了解一个物种或种群的个体数量，就能知道这个物种（或种群）现在的发展趋势，是增加还是减少？还是保持平稳？是否濒临灭绝？特别在受到大规模的自然灾害或者人类扰动的时候，数量的变化与分布范围的变化是我们制定保护策略的重要依据。

那么，白海豚在偌大的北部湾里畅游，我们是如何识别它们并进行数量统计的呢？

### 一、白海豚的个体特征

在长期的观察和拍摄、分析后，我们发现白海豚个体大都有自己的外貌特征，我们正是利用这些特征来区别白海豚个体的。

#### （一）体色

在第四章中我们描述了白海豚一生不断变化的体色。刚出生的幼儿身体是灰黑色；2~3岁时成长为浅灰色的少年；随着年龄和身体不断长大，青年时它们灰色的皮肤上会出现白色的斑点；然后随着这些斑点的逐步扩大，它们就会变成白色带有深色斑点的成年白海豚；而接近老年的时候，深色斑点不断减少，几乎变成纯白色。

从体色大致可以分辨出白海豚的年龄段，但想通过这个特征来区别白海豚的个体实属不易，特别是新生儿和少年白海豚，它们身体上几乎没有斑点或花纹，从外观上看，它们色泽均匀、肤质柔滑。幸好白海豚宝宝们总是跟着妈妈，因此我们只要识别出它们的妈妈就能够大概识别出它们（图 6-1）；而几乎没有斑点的纯白色的老年个体饱经风霜，虽然斑点的信息比较少，但是身体上或多或少存在其他的可识别特征。



a. 编号 W007 的白海豚妈妈和它的白海豚宝宝



b. 色泽均匀且没有伤痕的少年白海豚

图 6-1 以体色分辨白海豚

## (二) 疤痕和缺刻

识别白海豚经常用到的体征是疤痕和缺刻。它们可能是因为严重的外伤或特殊的疾病而留下了永久性的痕迹。例如图 6-2 的白海豚个体，它的背鳍后缘有个向前倾斜的、几乎深及背鳍一半的缺刻，推测这可能是被船只的螺旋桨击伤后形成的。我们第一次见到它是在 2004 年的 11 月，当时它是个灰色中混杂白色斑点的青年白海豚。至 2017 年，它已经成长为白色带有较多深色斑点的成年海豚。历经 14 年，它背鳍上的缺刻几乎没有变化，这就成了识别它的独特标记。



a. 2005 年 11 月 8 日



b. 2011 年 3 月 21 日



c. 2017 年 4 月 24 日

图 6-2 不同时间记录的编号 WP005 的白海豚个体

疤痕在白海豚身上比较常见，特别是少年和青年白海豚个体，这是它们相互嬉戏时留下的临时性的擦伤、牙齿的划痕、小的伤口，仅在几周至几个月的短时间段内存在，并不能成为个体识别长久的标准，但是对于在同一天中识别出不同的个体却是有用的（图 6-3）。



图 6-3 青年白海豚身上的牙齿划痕

### （三）斑点和花纹

据研究，白海豚的寿命能达到 40~50 岁，尽管它们身体的斑点和花纹并不是终生拥有的，但是变化过程非常缓慢，我们可以把它们看作是较长时期内的标记。图 6-4 是我们追踪研究了 14 年的白海豚个体，它的体色虽然有所改变，但是凭借其右侧背鳍基部的 3 个基本不变的斑块，很容易将它识别出来。



a. 2005 年 11 月 9 日



b. 2011 年 2 月 27 日



c. 2018年3月4日

图 6-4 不同时间记录的编号 WP014 的白海豚个体

由此可见，利用外貌特征来识别白海豚是完全可行的，它们之间不同的体色、疤痕和缺刻、斑点和花纹使我们有机会清楚地认识和识别出它们中的每一个成员。

## 二、收集白海豚的体征

### （一）调查方法的选择

在白海豚种群数量的研究中，截线法(line transect method)是一种经常被提及和使用的调查方法。这是一种从整体中抽样，通过样本来估计整体的研究方法。使用截线法进行野生动物数量调查可以追溯到 20 世纪 30 年代。1949 年，Hayne 第一次描述了这一方法的数学模型。此后，此方法的理论和应用逐步成熟。

截线法一般是这样实施的。首先，研究者会预先在地图上画出很多相互平行的直线以覆盖整个或者一部分有代表性的研究区域，这些相互平行的直线就是调查路线；然后，研究者乘坐大船或直升机沿绘制好的调查线路以同定的速度行进，在行进的过程中用肉眼或望远镜观察两侧的海面。观察者视力所能控制的范围（左侧和右侧的总和）与调查路线的总长度的乘积，就是调查的总面积。在行进过程中如果遇到白海豚，研究者就记录白海豚的数量和白海豚到调查路线的垂直距离。这个方法的应用实际上有一个假设前提，即如果动物在调查样线上出现，则被发现的概率为 1，动物出现的地点距离样线越远，则被发现的概率越低。而发现概率可以用发现函数来表示，获得合适的发现函数是此法的关键。获得数据后，研究者多用 DISTANCE 软件进行模拟和计算得到种群密度，进而通过调查的总面积与整个分布区域的面积比推算出整个种群的数量。

早期的鲸豚类数量研究中多数采用的是截线法，但也有一些研究同时使用了截线法和照片识别法，2010 年之后，照片识别法在白海豚的数量研究中被广泛使用。很多学者对比了上述两种研究方法的适用范围和准确性，我们将其做了如下的归纳。

截线法一般是利用比较短的时间（例如几天）就可以走遍设计路线，完成一次完整的调查。最适用于快速了解调查区域内个体数量的大致情况。由于截线法是一种抽样调查的方法，而且预先设计的路线又是平行线，所以非常适合于那些面积比较大、

地貌类型简单、形状规则、障碍物少的动物分布区。但是对于那种相对面积较小、呈线性分布、地形复杂、形状不规则的沿岸区域，截线法可能就无法充分发挥它的优势。此外在调查的过程中，路线两侧有一定的观察距离也是保证这一方法得以顺利实施的关键。因此，调查者一般都是乘坐大船来保证有足够高的视角和比较远的控制距离。但是对于北部湾的近岸、浅海海域，特别是白海豚经常分布的区域水深一般不会超过8米，甚至只有2~3米的情况，有一定高度的大船航行起来就比较吃力，并且在退潮的时候经常有搁浅的危险。截线法还有一个应用的前提，就是需要种群中的个体大致均匀地分布于栖息地内。因为只有这样，所计算出来的密度数据才可以外推至整个分布区。但是根据我们的野外经验，发现白海豚在分布区里并不是均匀分布的，在某些区域的遇见率比其他区域更高。因此在利用截线法进行白海豚的数量估计的时候，要特别注意这一点。

由于截线法在北部湾白海豚的研究中可能存在上述的劣势，我们最终选择了照片识别法来对北部湾白海豚的数量进行调查。此方法利用小型快艇出海，在一定的区域内以同定的路线或不固定的路线行进，在遇到白海豚的时候就减慢船速靠近它们进行拍照。在我们调查的1550平方千米面积中，经常被调查的重点面积为550平方千米，而白海豚分布在约405平方千米的区域内，其中的200平方千米是其密集分布区（图5-4、图5-5）。对于鲸豚类来说，这一分布面积是非常小的。并且，在这种沿岸分布的浅水区域，较多礁石、暗沙，大型船只无法抵达，所以小型快艇不论是在灵活性上还是在安全性上都是研究工具的首选。此外，小型快艇的容易驾驶、省油、低维护成本等优点在一个长期进行的科研项目中也是必须被考虑的。上面已经说到，北部湾的白海豚有集群偏爱使用某些海域的趋势，也就是说，它们的分布可能并不是均匀的。利用照片进行的数量统计方法并不要求个体必须是均匀分布的，因此不论白海豚是怎样分布的，松散的或者集群的、均匀的或是不均匀的，都可以利用。但是，照片识别的方法需要比较长的研究时间，因为它需要建立一个可识别个体的数据库，并在一个较长的时段内不断补充每个个体的重捕历史。这对于我们来说并不是一件困难的事情，更重要的是，我们所拍摄到的照片，不仅可以用于数量的统计，同时也包含了白海豚个体生命历史、种群结构和种群动态的数据，这些信息有助于我们更加深入地了解白海豚这个物种，这是利用截线法所不能做到的。

## （二）海上跟踪拍摄

拍摄白海豚的工作和分布区的调查是同步进行的，所涉及的调查时间、调查范围和所乘坐的船只情况已在前面的章节详细阐述过。从上一章中的出海工作量统计以及出海时间的分布来看，我们的工作足以提供长时间、大数量的第一手资料。

海上拍摄，需要船长、观察员和摄影师通力配合才能有最高的效率。当我们在海

上巡视遇到白海豚后，船长就开始慢慢驾船向它们靠近，在距离 50 米左右，我们就可以大致分辨出它们游泳的方向。在这个时候，船长会小心地从它们运动方向的斜后方慢慢靠近，不会挡在它们的前面或冲入一群个体的中间，而对于已经准备好了所有装备的摄影师来说，只要角度合适随时可以进行拍摄。与此同时，观察员会负责收集并记录所有白海豚的相关信息，并在摄影师拍摄时提供及时的、准确的海豚方位和数量信息。在拍摄过程中，船长会根据观察员的信息，随时调整船只的行驶方向和与白海豚之间的距离，在保证白海豚安全的前提下为摄影师提供最佳的拍摄角度，确保每一只海豚的左右两侧都尽可能被拍摄清楚。

白海豚每隔一段时间需要到水面上来呼吸一次。当它们露出水面呼吸的时候，通常都可以看见它们身体的一部分，而看见机会最多的、也是最醒目的，就是它们的背鳍。因此，在拍摄的时候，我们的首要目标是它们的背鳍，包括左右两侧（图 6-5）。



a. 右侧



b. 左侧

图 6-5 编号 W012 白海豚个体的背鳍及体侧照

除了背鳍，白海豚身体其他部位的照片同样可以为我们的识别白海豚个体提供重要的信息，如嘴喙、额隆、眼睛、胸鳍、尾干、尾鳍和身体的腹面等通常也会有个体特征（图6-6），只是这些部位并不是每次出水都能够被观察到，但我们只要有机会都会拍摄收集资料。



图 6-6 白海豚其他部位的特征也是个体识别的证据

想要获得完美的白海豚标准照对于一个摄影新手来说并不容易，即使手里握着最先进的摄影器材。首先，白海豚出水换气的的时间很短，一般只有1~2秒，在这么短的时间内要完成取景、对焦和拍摄的工作是有一定的难度的；其次，白海豚的出水位置并不同定，而且也无法在水面上直接看到白海豚的动向，无法准确知道它们每一次出水换气的确切位置，只能依靠常年工作的经验和感觉做出大致的预测。这就要求观察员和摄影师对白海豚的行为足够熟悉，并且具备敏锐的观察力和迅捷的行动力。此外，在快艇上从事拍摄活动还应熟悉快艇随海浪的波动情况，并在拍摄的过程中尽量消除它的影响。在遇到白海豚后，我们会降低船速来跟踪观察，当船速比较低的时候，海浪的作用就开始显现出来，特别是在海况等级<sup>[1]</sup>超过三级的情况下。如果摄影师对快艇的颠簸情况不熟悉，或者没有足够的肢体把持力，就会使镜头晃动过大，无法准确对焦在白海豚身上，得到的照片多数都会是天空和海水。

最初由于摄影器材的缺乏，照片质量低，之后为保证对焦和连拍的速度以及照片

的分辨率，我们在条件改善并允许的情况下，选用佳能 EOS-1D 系列相机。从 EOS-1D Mark II、EOS-1D Mark III 到 EOS-1DX，每秒钟 8~14 张的连拍速率使我们不至于错过白海豚出水的每一个瞬间；而全画幅的传感器和 850~1810 万有效像素保证了照片的清晰度，使白海豚身上每一个白色的或黑色的小斑点都可以被客观记录。同时，我们为这些机身选配的是佳能 EF 28~300 毫米 f/3.5-5.6L IS USM 中长焦镜头以及佳能 EF 100~400 毫米 f/4.5-5.6L IS USM 超长焦镜头等，以确保较远和较近处的白海豚都能够被拍摄清楚。

### (三) 照片拍摄数量和有效照片数量

2004~2017 年，我们一共有 346 天 387 次出海拍摄到了白海豚，每次出海的时间从 2~7 小时不等（因为会遇到不同群数和只数的白海豚，拍摄的时间也有长有短），共计获得可供分析的照片超过 21 万张，当然实际拍摄的照片数还会比这个数量多出大约 1/3。

在研究的早期，我们会保证每月出海拍摄至少一天，2012 年后，我们试图增加拍摄的次数，基本保证平均每两周有一次标准照的拍摄，具体见表 6-1。我们的照片覆盖了 1~12 月的所有月份和春、夏、秋、冬（或分为旱季、雨季）的所有季节；同时，在光线条件允许的情况下，也最大程度上覆盖了一天的所有时段。

表 6-1 2004~2017 年拍摄工作量和可用照片数量统计

年份	有照片天数 (天)	有照片次数 (次)	可用照片总数 (张)
2004	19	23	4798
2005	19	21	6242
2006	24	26	24965
2007	40	44	13284
2008	20	22	18082
2009	11	12	2558
2010	18	26	8516
2011	30	42	13346
2012	44	46	34049
2013	28	30	34931
2014	14	14	11136
2015	21	21	10575
2016	30	30	19879
2017	28	30	11424
平均	25	28	15270
总计	346	387	213785

从每一次的拍摄结果来看，所获得的照片数量从几十张到上千张不等（与当时的天气、海浪、光线等状况有关），平均每次拍摄 800 张左右，当然这在研究的不同时段也会有所差异。随着我们对白海豚的了解不断深入，摄影师拍摄技术的日臻成熟，以



及摄影设备的更新换代，在为白海豚拍标准照这件事上我们做得越来越高效和专业。

#### (四) 照片分析——白海豚个体识别

每次海上跟踪拍摄工作结束后，研究人员就会转入实验室，将拍摄结果存储到计算机中，然后进行整理和分析，识别出这一次每群白海豚的个体和数量，最后还要汇总到数据库中。这一过程是统计白海豚数量的关键步骤，工作量并不比野外拍摄少。

照片分析的过程如下。

第一步，进行照片预览和初筛。在电脑上打开拍摄到的白海豚照片从头至尾浏览一遍，删除没有拍摄到白海豚的照片（图 6-7）和拍摄到白海豚但对焦不清晰的照片（图 6-8），再进一步区分和挑选出属于下列情况的照片：目标物过远（图 6-9），逆光或光线过暗（图 6-10），拍摄到的体位不理想（图 6-11）。经过如上的初筛，就会得到质量较高的照片用于后续个体识别（图 6-12）。有了经验的摄影师，通常在出海调查 3 小时，遇见白海豚群数超过 2 群，个体超过 10 条的情况下可以拍摄照片 1000 张以上，经过初筛，质量较高的、可用于个体识别的照片大约在 700~800 张以上。



图 6-7 没有拍摄到白海豚的照片



图 6-8 拍摄到白海豚但对焦不清晰的照片



图 6-9 目标太远无法分辨细节的照片



图 6-10 逆光或光线过暗的照片



图 6-11 体位不理想的照片



图 6-12 可用作个体识别的照片

第二步，对较高质量的照片进行剪裁和归档。只要是照片中的白海豚个体足够清楚，不管是不是具有可识别标记，都会被一一裁剪出来并编号。然后将它们的标准照（从左侧和右侧分别拍摄的背鳍）与数据库中的个体档案逐一比对，如果这一个体已经存在于数据库中，就把当日的照片记录归入档案。如果这是一个第一次被拍摄到的个体，就需要在数据库中为它新建一个档案（图 6-13）。

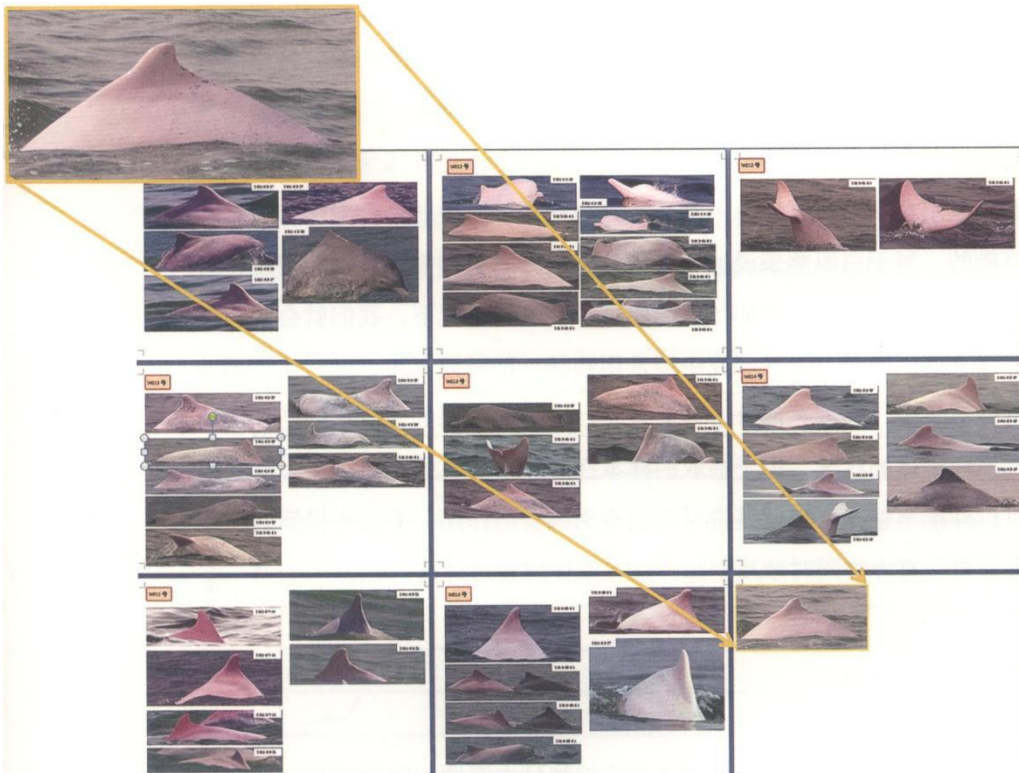


图 6-13 在数据库中新建一个白海豚个体档案，档案最重要的信息是它们的标准照

2004 年，当我们刚开始收集照片数据的时候，差不多每个个体对我们来讲都是新发现的，这就意味着我们需要做大量的建档工作。随着时间的推移，数据库中的个体

慢慢增多，新发现的变少了，比对的工作量加大了。照片比对工作需要足够的耐心和毅力，在这个过程中你会发现，同一只白海豚的体色会由于拍摄的光线（顺光、逆光及阴天、晴天）发生变化，而它们身体上的同一个斑点和缺刻也会由于拍摄的角度不同而看起来显得不一样，这些都需要细心识别、反复斟酌，并在实际工作中积累经验。

### 三、白海豚的数量统计

上面说到，截线法是一种抽样调查法。与抽样调查法相对应的，就是全部计数法，即一个一个计数来统计一定范围内个体数量的最精确的方法。

下面叙述的发现曲线法和标记-重捕法，是以准确的个体识别为前提的。我们常年不间断地跟踪和拍摄白海豚，就是为了积累统计白海豚种群数量的基础数据。在封闭的区域内，想要统计的对象容易识别、数量相对较少且分布范围相对固定的情况下，全部计数法是一个很好的选择。然而在多数实际情况下，计数野生动物种群中的每个个体几乎是不可能的。对于白海豚来说，个体数量多，分布范围大，且不断移动，这些都是不能进行精确全部计数的原因。在这种情况下，我们就会利用抽样调查法。这是生态学研究经常用到的一种研究方法，就是从全部的研究对象中，抽选一部分进行调查和计数，并根据部分调查的结果估计和推断整体的状况。由于抽取的样本在整体中具有代表性，所以其结果可以外推至整体，也就是说可起到全面调查的作用。下面所提到的白海豚数量计算方法同时涉及全部计数和取样调查两种情况。

#### （一）发现曲线

在研究的早期，我们发现要想直接统计白海豚的数量很难，特别是年幼和少年个体，但种群中白色的成年个体在海上容易看到并拍摄。同时，发现白色成年个体的身体通常会带有独特的斑点和花纹或拥有永久的疤痕和缺刻，能够从照片上对它们进行识别。因此，我们用发现曲线的方法来估计2004~2006年北部湾白海豚的种群数量（图6-14）。图中横坐标代表时间，纵坐标代表从拍摄照片中累积发现可识别的白色成年白海豚个体数目。从图中可见，在研究的最初阶段，累积发现的成年白海豚可识别个体数目几乎呈指数增长，随着时间的推移，每次出海观察新发现的个体数越来越少，至2006年6月，发现曲线基本达到了一个平稳的状态。也就是说，那时我们几乎拍摄到了调查范围内的所有成年白海豚可识别个体，当时这个数目是44只。

那些带有永久性独特标识，即有独特的斑点和花纹或拥有永久的疤痕和缺刻的个体，能够被我们在较长的时段内（如几年）反复识别出来。一般来说，可识别个体包括少数青年、全部的成年和老年个体；而深灰色的新生儿则通过白海豚妈妈对它们加以区别，浅灰色的少年以及带有极少斑点的青年个体，由于它们几乎没有可供识别的斑点和花纹或永久性的疤痕和缺刻就难于识别。但在某一天的照片分析中，它们身上

所拥有的一些临时性划痕和咬痕能够与其他个体相互区别，可以帮助统计可识别个体的数量以及这一天所看到的全部白海豚的总数量。

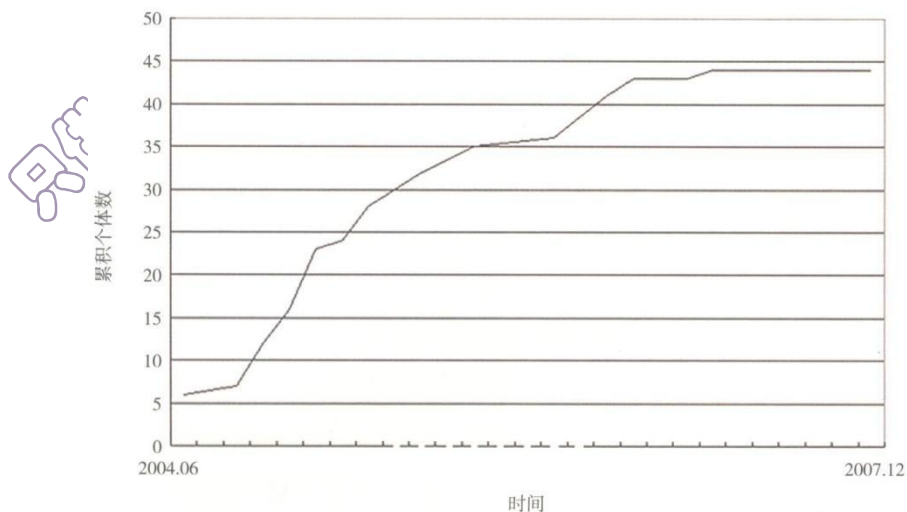


图 6-14 北部湾白海豚发现曲线(2004.06~2007.12)

用发现曲线来对白海豚的数量进行估计需要两个数据：一是可识别的白色成年个体的数目，这里我们采用的是全部计数法，这就要求尽可能多拍照，完整地收集那些带有永久性独特标识的个体；二是需要统计可识别个体数目占全体数目的比例。这可以由多次出海照片分析的结果累加得出，并由每次出海时的现场观测记录加以辅证。具体的计算方法是：用可识别个体的总只次数除以全部观察到的总只次数。根据以上方法，我们得知 2004~2007 年，北部湾白海豚的可识别白色成年个体数目为 44 只，占全体数目的比例约为 46%，据此推测出截至 2007 年 12 月北部湾白海豚的数量约为 96 只。

## (二) 标记-重捕法

标记-重捕法是一种统计动物种群数量最常用的抽样调查、计算方法，其最基本的形式称为 Lincoln-Petersen 法。早在 1896 年，Petersen 曾用此法估计过鱼群的数量；1930 年，Lincoln 用它估计了水鸟的数量，因此这一方法以他们两位的姓氏来命名。

我们可以举个例子来简单说明标记-重捕法的基本操作过程和计算方法。假设有一个池塘，池塘中有 50 条鱼，这是实验者并不知道但又希望知道的种群数量，我们以  $N$  代表。实验者们是这样实施标记-重捕法的：

他们首先从池塘中捕获了 10 条鱼，在保证鱼儿们存活的基础上为它们逐一做了明显标记，这些标记不会影响鱼儿的生存，在整个实验期间也不会消失，更不会使这些鱼儿后面被捕获的概率变大。我们以  $M$  代表做了标记的鱼儿数量。

随后，他们把这 10 条鱼放回池塘。一段时间后，当确保被标记的鱼和没标记的鱼充分混匀时，他们开始了第二次捕鱼活动。这次他们一共捕获了 15 条鱼，即第二次捕

获的总数量，我们以  $C$  代表，这其中有 4 条是被标记过的，也就意味着它们被第二次捕获了（即重捕），我们以  $R$  代表重捕的数量（图 6-15）。

经过上述的实验，我们通过下列的式子可以推算出池塘中鱼的总数量  $N$  为 37.5，这与真实值 50 有些差异，但是如果实验者有可能做更多的标记和重捕，其估算的准确率会有所提高。在过去的几十年间，在计算机和其他技术的帮助下，研究者在不断完善取样和计算方法来优化标记-重捕法。

但是，我们在北部湾统计白海豚的数量时，不可能采用上述这种传统的标记-重捕法。

第一，我们不可能真的去捕捉和标记白海豚，这是在国家相关法律法规中明确规定被禁止的行为，因为在捕捉和标记的过程中白海豚总会有受伤和死亡的危险，这是濒危物种所不能承受的。

第二，因为白海豚的体型大、速度快、智力高及其所在的生活环境，要捕获它们并进行身体上的标记几乎不可能。

但是，我们发现大部分的成年白海豚身上具有独特的、可辨认的天然标记——个体特征，研究者利用这些天然标记结合标记-重捕法的原则发展出非损伤性的种群数量估计方法——基于照片识别的标记-重捕法（简称照片重捕法）。在照片重捕法中，动物身体上的天然标记替代了人工标记，拍摄照片替代了真正的捕捉和重捕捉。近年来，很多鲸豚类研究都利用了这一方法，并取得了很好的效果。

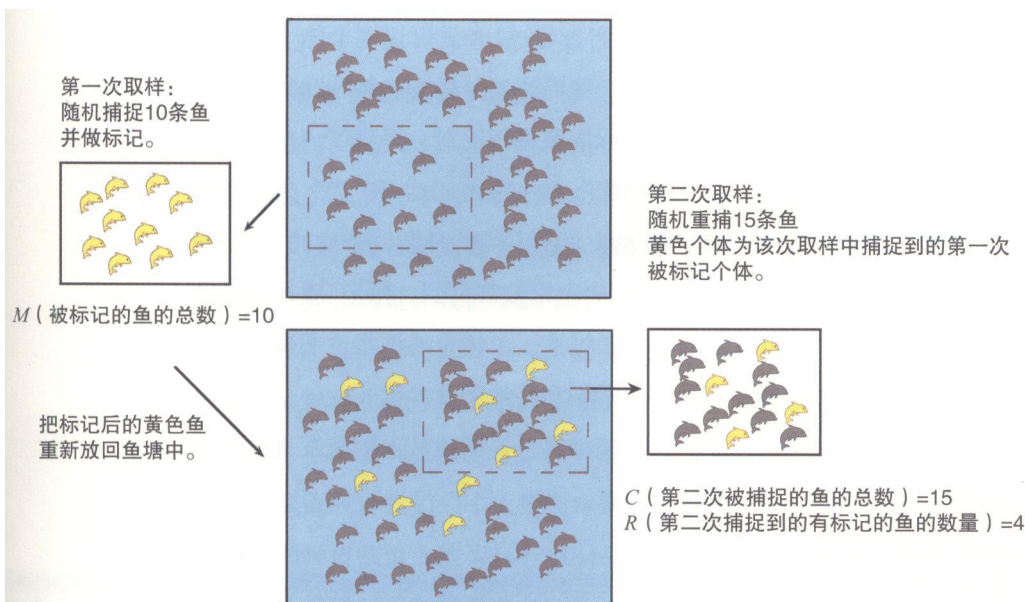


图 6-15 图解标记-重捕

$$\frac{\text{池塘中鱼的总数 } N}{\text{被标记的鱼的总数 } M} = \frac{\text{第二次被捕捉的鱼的总数 } C}{\text{第二次捕捉到的有标记的鱼的数量 } R}$$

$$\frac{N}{M} = \frac{C}{R} \rightarrow N = \frac{M \times C}{R} \quad N = \frac{10 \times 15}{4} = 37.5 \xrightarrow[\text{计算机优化}]{\text{多次实验}} 50$$

### (三) 运用 MARK 软件估计北部湾白海豚种群数量

MARK 是基于标记-重捕法的原理开发的用于计算种群数量的应用软件，也是这一类软件中被利用得最多的一个，由美国科罗拉多州立大学的研究者们开发，此软件功能强大，灵活而复杂，运用 MARK 软件的过程如下：

- (1) 基于对种群特质的了解来选取最适宜的模型类别；
- (2) 将个体重捕档案输入选好的模型进行运算；
- (3) 查看运算结果。

此软件中标记-重捕的可识别个体可包含所有年龄段的白海豚可识别个体。因此，到研究的中期，我们为超过 100 只可识别个体（包括青年、成年和老年个体）建立数据库。我们通过分析 2010 年和 2011 年的 50 次出海照片资料，并与数据库中的标准照进行比对，得到了“个体重捕档案”（图 6-16）。“个体重捕档案”是一个由“1”和“0”组成的文件，纵表头表示不同的个体，横表头表示不同的日期，中间的“1”表示此日期此个体被观察到，而“0”表示未被观察到。标记-重捕法现在已经发展出了更强大的算法，可以根据这一个体重捕档案，通过计算机程序计算出更精准的种群数量、存活率和其他种群参数。此外，计算机软件模型还可以根据已知个体的重捕档案，推断出从未被观察过的个体的状况，从而估计存活率和数量动态。

日期	2/1/2010	2/3/2010	2/27/2010	2/28/2010	3/1/2010	3/2/2010	4/11/2010	5/5/2010	5/15/2010	5/16/2010	6/16/2010	7/21/2010	8/3/2010	8/4/2010	8/5/2010
W001	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
W004	1	1	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
W005	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0	0	0	0	1	0
W007	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
W008	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
W010	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1
W012	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
W014	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
W016	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0

图 6-16 白海豚个体重捕档案示例

根据白海豚在我们拍摄的照片中出现的次数特征，我们选用了 MARK 中 Jolly-Scher 开放种群模型中的 POPAN 模型来分年份计算北部湾海域的白海豚数量。

2010 年，我们共观察到 68 只可识别个体。我们把这 68 只个体的重捕档案输入 MARK 软件，使用 POPAN 模型计算出种群数量为  $96 \pm 10$  只，95% 的置信区间为 77~115 只。也就是说，2010 年在我们的调查区域中总共有 96 只可识别个体。2010 年的照片显示，有 52% 的个体是可被识别的，这可以作为可识别个体的比例来计算种群的总数量。据此估计，2010 年有 184 只（95% 的置信区间为 148~221 只）海豚个体留居或曾访问过北部湾。

2011年，我们共观察到87只可识别个体。使用上述同样的分析流程，MARK软件计算得出种群数量为 $110 \pm 13$ 只，95%的置信区间为85~135只。这一年的可识别个体比例为65%，计算得出2011年在这片海域留居或访问的个体总数为169只（95%的置信区间为130~207只）。

那么，从2010年的184只到2011年的169只，北部湾白海豚是在一年中减少了15只吗？答案是否定的。从野外观察来看，我们并没有发现15只死亡个体。而且，我们不能单纯地把这两个数字拿来作比较，因为在这两年中，野外调查的范围和力度并不是完全相同的。并且从前面池塘鱼群数量估计的例子大家就可以看出，标记-重捕法是一种对种群数量的估算，估算值和真实值之间，可能会存在一定的差异。所以上面的两个数字只能告诉我们一个大概的范围，也就是说2010~2011年，北部湾白海豚的种群数量大致为169~184只。如果我们想了解更长时间的种群数量变化趋势，那还需要更多年份的数据才能实现。

此外，在2010年和2011年共100只可识别个体中，有72只是每年多次被“捕获”的个体，28只是每年只看见1次或两年只看见1次的个体。这些数据显示，那些一年之中多次被“捕获”的个体可能是三娘湾一大风江口海域的常驻海豚，而那些每年只看见1次或多年才看见1次的个体可能并不是全年都生活在这一海域，它们可能是季节性的居民或者一次性的过客。

我们将多次重捕档案输入MARK软件，并使用封闭模型进行运算得到常驻海豚的数量。结果显示，2010年的多次可识别个体数为 $34 \pm 1$ 只（95%的置信区间为33~41只）；而2011年为 $62 \pm 1$ 只（95%的置信区间为61~68只）。我们按照2010年和2011年的多次可识别个体比例（37%和58%）可知这两年三娘湾一大风江口海域的常驻白海豚数量约为92只和106只，约占总数的50%~63%。对于这一数量的解读应该采取与上面相同的方法，也就是说通过软件的计算和估计，我们知道北部湾海域的白海豚可能存在不同的栖息地利用方式，有些白海豚可能是全年大多数时间都利用同样的海域，而另一些白海豚可能会游得比较远，在不同的季节或偶尔的情况下做一次长途旅行。

经过研究早期和中期的不断摸索和对不同计算方法的尝试，我们大致了解了北部湾白海豚的数量大致在什么样的一个范围内。而所用的计算方法的不同，发现曲线法和标记-重捕法所得到的数据并不存在可比性。它们只是反映了利用哪种方法、在当时时段所得到的北部湾白海豚的一个大致数量。

那么，在过去这十多年中，北部湾白海豚的数量是增加了还是减少了？这一直是我们迫切想要知道的事情，直到2013年至2016年，我们有了更多的出海调查和更为详尽的出海记录可以用来估计白海豚种群的年增长率。种群的年增长率可以体现一个种群的数量发展趋势，对于我们了解白海豚所受到的生态压力，以及制订相应的保护策略



都非常重要。

在每次出海观察的时候我们都会记录所观察到的白海豚的数量和它们的体色，经过几年的积累，我们就会大致了解各种体色的白海豚占总数量的比例。这里我们最关心的是灰黑色新生儿个体的比例。因为这一体色（也同时包括体型）保持的时间很短（图 6-1a），头一年出生的小海豚经过一年的成长体色就会变浅，体型也会有显著的增长。所以灰黑色可以作为一个非常好的指标，确切告诉我们每一年大概有多少比例的新生儿出生。

2013~2016 年，我们总共出海观察 339 次，共计航程 11413.7 千米。总结这些出海观察的结果，我们共计观察到白海豚 4027 只次，其中 2598 只次记录到未成年的青年、少年和新生儿，即北部湾白海豚种群中 65% 都是年幼的和年轻的个体。灰黑色的新生儿被观察到 193 只次，即新生儿的比例大概是 4.8%，各年份间从 3.2%~5.8% 不等。“只次”是学术上用于描述一段时间内观察到的所有动物数量的一种单位，例如第一天我们看见了 3 只白海豚就记录为 3 只次，第二天我们看到了 5 只白海豚就记录为 5 只次，不论这 5 只与第一天的 3 只是否有相同。这样累积下来，我们统计的是观察到的新生儿的总只次数与全部白海豚的总只次数的比例，简称为出生率。

新生儿的出生率不是整个种群的增长率，因为同时还存在着死亡的现象。经过长期的野外观察，我们发现死亡率最高的年龄阶段也是新生儿，这与在其他动物的研究中得到的结果基本一致。根据我们在野外收集的白海豚新生儿死亡的数据显示，其死亡率在不同的年份有所差别，大概在 30%~50%。而其他年龄阶段的死亡率相对较低，多年平均约为 0.5%。我们可以用北部湾白海豚的出生率和死亡率来估计这个种群的年增长率，结果为 1.9%~2.9%，平均为 2.4%。

北部湾白海豚种群年增长率说明了它们还是一个年轻的、健康的、充满活力的种群，但它们能否拥有光明的未来，决定权却掌握在人类的手中。

---

[1] 国际标准海况等级可以分为九级，顺序为：无浪、微浪、小浪、中浪、大浪、巨浪、狂浪、狂涛、怒涛。