

# 斑马鱼逃逸之对称破缺

田开兰, 张臣汉

## 引言

很多研究者在社会性动物的群居行为上发了大量的精力, 因为一个个体与另一个个体之间的关系是很难量化的, 研究者们特别关注了当群居性动物面临危险时的从众行为。Helbing et al.在2000年通过电脑模型良好地模拟了人群在面临危险时逃脱一个封闭房间时的情景, 之后带动了不少研究者进行真实的动物逃逸实验, 其中包括Saloma等人2003年的老鼠实验, Helbing等人2003年的真人实验以及Ernesto Altshuler等人2005年的蚂蚁实验, 这些人实验的一个共同的重要发现就是: 社会性动物(包括人)在面临危险时都容易从众, 当有两口逃逸出口时, 却都倾向于从某一个出口“挤”出去。

然而, 通过我们的斑马鱼实验, 我们观察到, 即使在没有危险时, 鱼群的逃逸也存在着对称破缺现象。另外, 我们观察到当空间逐渐变小时, 鱼群更倾向于逃离, 而且在面临危险时表现得更加无序。这些行为与人类追求足够的生存空间、在混乱面前惊慌失措等行为有着相似之处。

在大自然中, 鱼群会侦查合适的水域, 并对不同的水质做出不同的反应, 尽量避免有害的生存环境(1), 在有害的水域中, 鱼群更倾向于逃逸而非适应新的水质(2)(3)。因此, 鱼群行为可以成为人类监测水质的一个重要途径。

## 材料与amp;方法

斑马鱼属于非社会性脊椎动物, 在自然水域中, 往往五六成群, 是常用的实验鱼类, 在神经科学研究方面经常被用来观察实验。斑马鱼易喂养, 生性活跃, 鱼市上容易获得, 价格低廉, 方便了我们实验的进行。

我们实验选取的斑马鱼长度都在3~4cm之

间, 实验鱼买回来之后放养在如图1A所示的圆形容器中, 喂食热带鱼食。水源是自来水, 我们买了一个水泵来改善水中的空气含量, 尽量避免鱼儿非正常死亡。

我们的实验容器是一个长方形玻璃水槽, 长31cm, 宽17cm, 深20cm, 如图1B所示。为了将水槽隔为三部分, 我们还用了两块长方形的泡沫板, 高22cm, 厚度为0.5cm, 宽度和水槽宽一样。为了构造两个逃逸出口, 我们在离泡沫板底部5cm处抠了一个直径为3cm的圆洞。

我们做了四类实验, 在每类实验中, 水槽中水的深度都为10cm。为了避免外界环境对鱼的干扰, 我们在水槽的四周都糊上白纸。在第一类实验中, 两块泡沫板之间的距离为5cm, 左右两隔间的长度则都为12.5cm。我们先用两小块塑料薄板堵上泡沫板的两个圆形孔, 然后将200条斑马鱼倒入中间区域, 之后同时将两块塑料板抽出以便鱼儿自由游动。四分钟后, 我们再用塑料板将两个圆孔堵上, 然后我们逐一数游到左右隔间的鱼儿数并记录。



图1: A, 盛鱼的圆形容器. B, 实验用的玻璃水槽和泡沫板

在第二类 and 第三类实验中, 步骤与实验一一样, 唯一不同的就是中间区域的长度改为10cm和15cm, 左右隔间的长度则相应地改为10cm和7.5cm。

在第四类实验中, 与第二类实验一样, 泡沫板将水槽均分为三个大小一样的隔间, 唯一重要的不同就是我们会在倒入鱼群之前

在中间区域放入一小团卫生纸，这团卫生纸事先放在含有5%DEET的花露水中浸泡了几分钟，DEET是目前人们所知的鱼儿最为敏感的药物之一。我们之前还尝试了一种鱼儿药物和香茅油，但前者似乎对鱼没有什么效果，后者则对鱼有很强烈的杀伤力，让鱼群快速死亡。

每类实验重复20次，在实验过程中，有的鱼会死亡，我们会用新的鱼补充，保持实验鱼为200条。

## 结果与讨论

附录中表A1, A2, A3 和 A4显示了实验结果，每个表的最后一列是鱼群从左右两个孔逃逸的偏好百分比，计算式如下：

$$\frac{|\text{total of fishes escaping right} - \text{total of fishes escaping left}|}{\text{total of escaping fishes}} \times 100.$$

根据实验结果，我们绘制的散点图如图2所示。如果在逃逸过程中，两个门被均等使用，我们就说不存在对称破缺，如果一个孔被偏爱，则存在对称破缺。由图可以看出，从右孔逃逸的鱼儿数量要明显多于从左孔逃出的，存在着对称破缺。我们也可以借助t检验来检验是否存在对称破缺，如果不存在，两个孔的偏好百分比应该接近于0。在实验1,2,3,4中，测算的t值分别为11.04, 12.02, 7.37 和8.42，都大于临界值2.86 ( $t_{0.005}(19)$ )，因此，我们拒绝原假设，认为在这四类实验中都存在逃逸的对称破缺。

经简单计算就可得到实验1,2,3中逃逸鱼的平均值分别为155, 105, 63 (图3)，由此可知空间越小，逃逸的鱼越多。

实验4中逃逸鱼的总数量为125，比实验2多20。但是，实验4的偏好百分比却比实验2的要小（如图4所示），由此可知，DEET这种敏感试剂确实把更多的鱼驱赶走了，但是同时让这种对称破缺性减弱了。

表B1, B2, B3 和B4的第一列显示的是停留在中间区域的鱼数与总数量之比，

$$MP = \frac{\text{number of fishes staying in the middle}}{\text{total number of fishes}(200)}.$$

第二列显示的是中间区域鱼的密度

$$MD = \frac{\text{number of fishes staying in the middle}}{\text{the volume of the water in the middle}},$$

第三列显示的则是左右两个区域鱼的密度

$$LRD = \frac{\text{total number of escaping fishes}}{\text{the total volume in the left and the right compartment}}.$$

四类实验中，中间区域水的体积分别为0.85dm<sup>3</sup>, 1.70 dm<sup>3</sup>, 2.55 dm<sup>3</sup> 和 1.70 dm<sup>3</sup>，而左右区域水的体积则为4.25dm<sup>3</sup>, 3.40 dm<sup>3</sup>, 2.55 dm<sup>3</sup> 和 3.40 dm<sup>3</sup>。最后一列显示的是MD 与 LRD的差值。

四类实验中，MP的平均值分别是0.23, 0.48, 0.69 和 0.37，MD 与 LRD的差值平均值则分别为16.12, 25.25, 29.45 和 6.91。我们可以观察到中间区域鱼群密度是越来越大的，而随着中间区域体积的增大，MD 与 LRD的差值逐渐增大，当引入敏感试剂之后，该差值迅速减小。由此，我们或许可以得出群聚性的鱼群习惯于待在它们被置入的地方，当面临危险或者空间拥挤时，它们便会游往更好的生存水域。至于为什么鱼儿倾向于其中的一个孔进行逃逸，我们目前并没有很好的解释。

## 扩展

在我们完成上述四类实验之后，我们对斑马鱼倾向于从右孔逃离中间区域这种对称破缺很好奇。为了探索是不是光线引起了这种偏好，我们在晚上重复了实验二12次，并且把实验水槽放在一个盒子里以尽量保证无光，与实验二不同的是我们将等候时间由4分钟延长到10分钟，之所以想延长时间，是因为我们想看看当时间足够长时，鱼群是否就会像气体或液体扩散那样达到均匀分布。另外一个不同之处是，我们的鱼总量为90条，因为在长达一个月的实验期间，我们的很多鱼都死亡了。在这样的情况下，我们得到了一些有意思的数据，如表A5所示。由数据可知，即使在无光状态下，鱼群依然可以找到逃离中间水域的孔。而且实验5的偏好百分比平均值为28.12%，与实验2的27.70%很接近，因此，光线似乎对斑马鱼逃逸行为的对称破缺没有影响。



16	22	151	27	10
17	35	147	18	32
18	25	155	20	11
19	23	156	21	5
20	18	150	32	28

5	26	32	32	10
6	36	30	24	20
7	34	38	18	31
8	18	47	25	16
9	19	47	24	12
10	17	52	21	11
11	28	52	10	47
12	30	47	13	40

表 A4: 实验4的20次重复实验结果

Repetition	Left	Middle	Right	Percentage difference in door use(%)
1	42	67	91	37
2	37	98	65	27
3	63	70	67	3
4	58	82	60	2
5	48	82	70	19
6	47	89	64	15
7	58	77	65	6
8	45	82	73	24
9	57	79	64	6
10	41	88	71	27
11	59	60	81	16
12	43	74	83	32
13	50	70	80	23
14	62	63	75	9
15	56	59	85	21
16	52	67	81	22
17	52	68	80	21
18	55	75	70	12
19	56	72	72	12
20	54	68	78	18

表 A5: 实验5的20次重复实验结果

Repetition	Left	Middle	Right	Percentage difference in door use(%)
1	13	23	54	61
2	18	30	42	40
3	21	36	33	22
4	21	32	37	28

附录 B

表 B1:

Repetition	MP	MD	LRD	MD-LRD
1	0.19	43.53	38.35	5.18
2	0.15	35.29	40.00	-4.71
3	0.09	21.18	42.82	-21.65
4	0.22	51.76	36.71	15.06
5	0.14	32.94	40.47	-7.53
6	0.17	40.00	39.06	0.94
7	0.28	64.71	34.12	30.59
8	0.18	41.18	38.82	2.35
9	0.28	65.88	33.88	32.00
10	0.25	57.65	35.53	22.12
11	0.28	64.71	34.12	30.59
12	0.3	69.41	33.18	36.24
13	0.17	38.82	39.29	-0.47
14	0.29	67.06	33.65	33.41
15	0.26	61.18	34.82	26.35
16	0.24	56.47	35.76	20.71
17	0.26	61.18	34.82	26.35
18	0.24	55.29	36.00	19.29
19	0.22	51.76	36.71	15.06
20	0.31	72.94	32.47	40.47

表 B2:

Repetition	MP	MD	LRD	MD-LRD
1	0.46	54.12	31.76	22.35
2	0.45	52.35	32.65	19.71
3	0.43	50.00	33.82	16.18
4	0.46	54.12	31.76	22.35
5	0.53	62.35	27.65	34.71

6	0.47	54.71	31.47	23.24	4	0.41	48.24	34.71	13.53
7	0.45	52.35	35.59	16.76	5	0.41	48.24	34.71	13.53
8	0.57	66.47	25.59	40.88	6	0.45	52.35	32.65	19.71
9	0.55	64.12	26.76	37.35	7	0.39	45.29	36.18	9.12
10	0.46	54.12	31.76	22.35	8	0.41	48.24	34.71	13.53
11	0.43	50.59	33.53	17.06	9	0.4	46.47	35.59	10.88
12	0.48	55.88	30.88	25.00	10	0.44	51.76	32.94	18.82
13	0.46	53.53	32.06	21.47	11	0.3	35.29	41.18	-5.88
14	0.52	60.59	28.53	32.06	12	0.37	43.53	37.06	6.47
15	0.47	54.71	31.47	23.24	13	0.35	41.18	38.24	2.94
16	0.51	59.41	29.12	30.29	14	0.32	37.06	40.29	-3.24
17	0.46	54.12	31.76	22.35	15	0.3	34.71	41.47	-6.76
18	0.46	53.53	32.06	21.47	16	0.34	39.41	39.12	0.29
19	0.46	53.53	32.06	21.47	17	0.34	40.00	38.82	1.18
20	0.53	62.35	27.65	34.71	18	0.38	44.12	36.76	7.35
					19	0.36	42.35	37.65	4.71
					20	0.34	40.00	38.82	1.18

**表 B3:**

Repetition	MP	MD	LRD	MD-LRD
1	0.62	48.63	29.80	18.82
2	0.52	40.39	38.04	2.35
3	0.64	50.20	28.24	21.96
4	0.67	52.55	25.88	26.67
5	0.65	50.98	27.45	23.53
6	0.75	58.82	19.61	39.22
7	0.74	57.65	20.78	36.86
8	0.74	57.65	20.78	36.86
9	0.8	62.75	15.69	47.06
10	0.65	50.98	27.45	23.53
11	0.61	47.45	30.98	16.47
12	0.58	45.10	33.33	11.76
13	0.65	50.59	27.84	22.75
14	0.61	47.45	30.98	16.47
15	0.77	60.00	18.43	41.57
16	0.76	59.22	19.22	40.00
17	0.74	57.65	20.78	36.86
18	0.78	60.78	17.65	43.14
19	0.78	61.18	17.25	43.92
20	0.75	58.82	19.61	39.22

**表 B4:**

Repetition	MP	MD	LRD	MD-LRD
1	0.34	39.41	39.12	0.29
2	0.49	57.65	30.00	27.65
3	0.35	41.18	38.24	2.94

**表 B5:**

Repetition	MP	MD	LRD	MD-LRD
1	0.26	13.53	19.71	-6.18
2	0.33	17.65	17.65	0.00
3	0.40	21.18	15.88	5.29
4	0.36	18.82	17.06	1.76
5	0.36	18.82	17.06	1.76
6	0.33	17.65	17.65	0.00
7	0.42	22.35	15.29	7.06
8	0.52	27.65	12.65	15.00
9	0.52	27.65	12.65	15.00
10	0.58	30.59	11.18	19.41
11	0.58	30.59	11.18	19.41
12	0.52	27.65	12.65	15.00

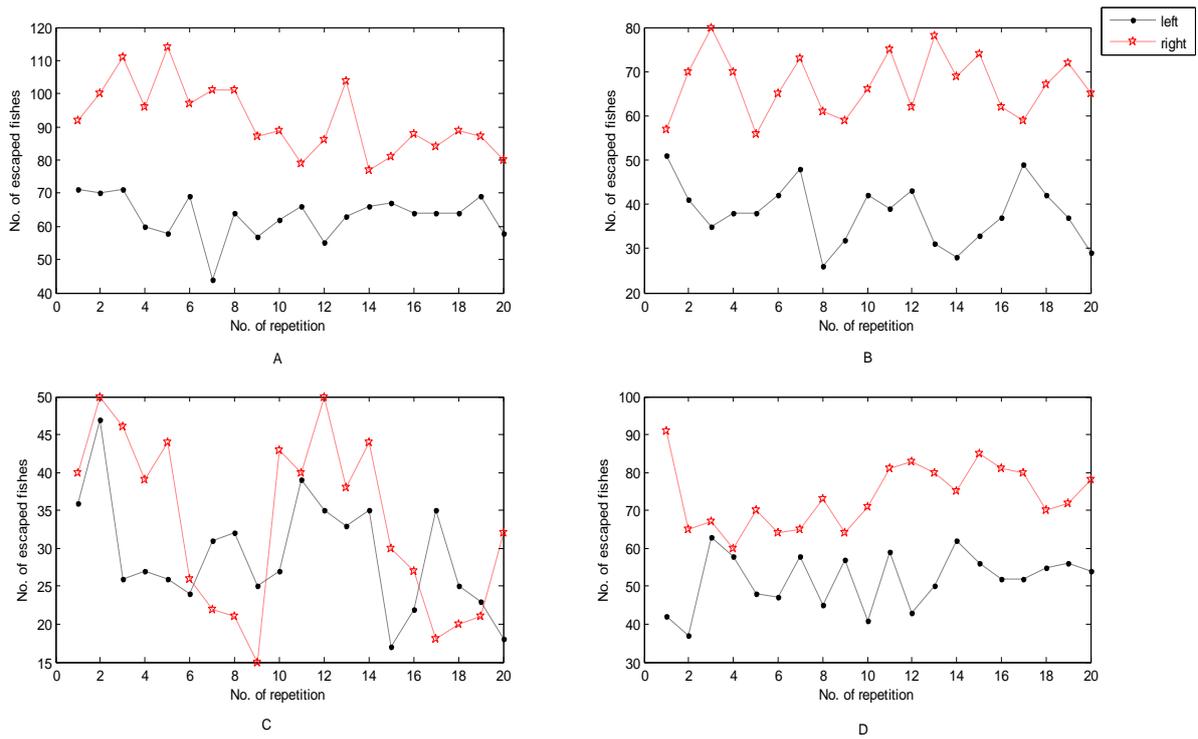


Figure 2: Graph A, B, C, D present the number of escaping fishes in experiments 1,2,3 and 4, respectively, with number of repetition as abscissa and number of escaping fishes as ordinate. The five-pointed star represent the number of fishes escaping right while the solid point represent the left.

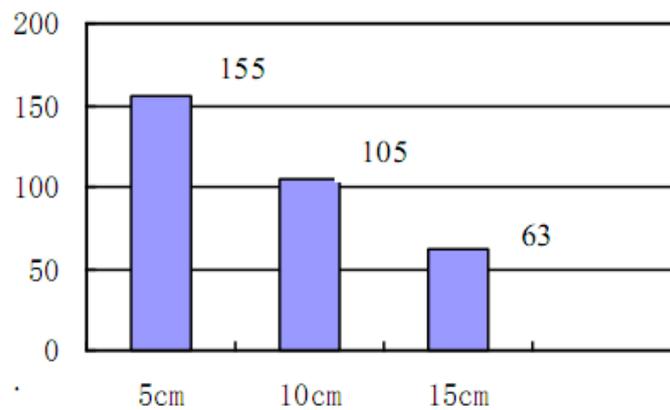


Figure3: The mean value of total number of escaping fishes in experiment 1, 2 and 3

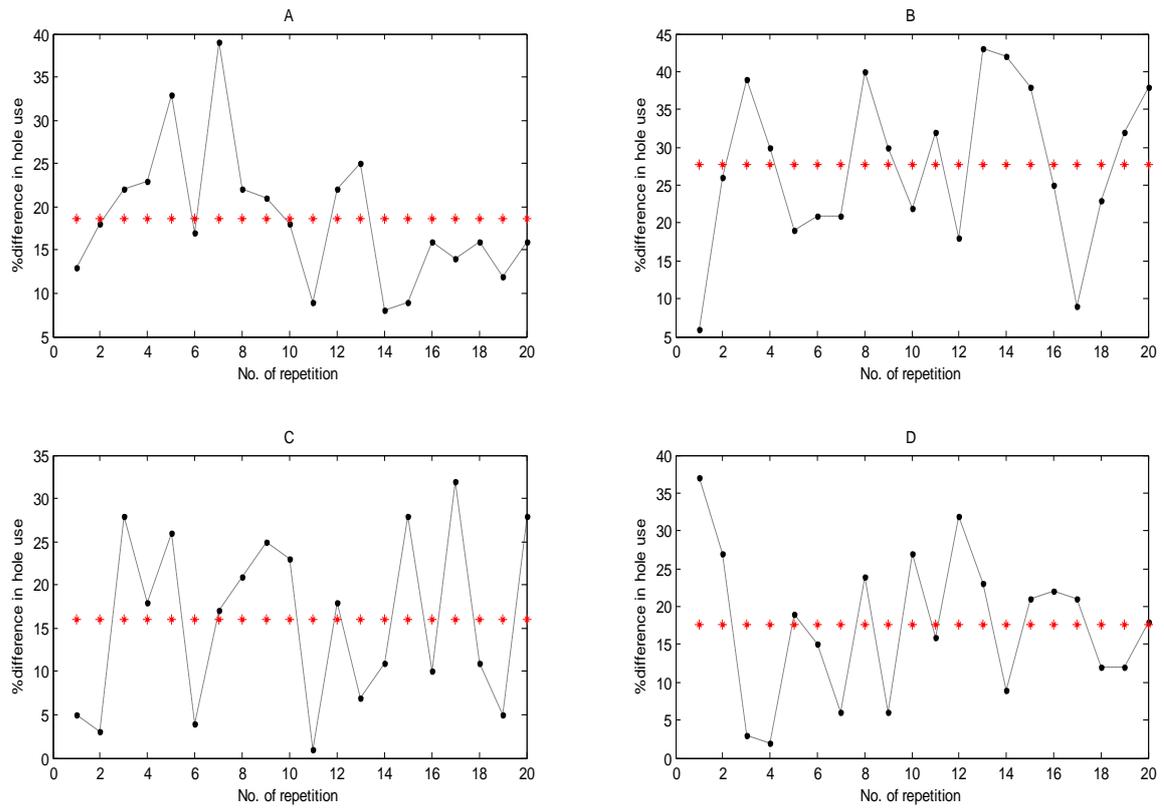


Figure 4: Graph A, B, C, D present the percentage difference in use between the two holes in experiments 1,2,3 and 4, respectively, with number of repetition as abscissa and % difference in holes use as ordinate. The marked line that parallels with the X-axis represent the mean value of the percentage difference in holes use and the numerical value is: 18.65, 27.70, 16.05, 17.60. The standard deviation of the percentage difference in the two holes use is: 7.55, 10.30, 9.74, 9.35. So the Coefficient of variation in the four types of experiment is: 40%, 37%, 60%, 53%.

## 参考文献

1. Robert C. Summerfelt and William M. Lewis, "Repulsion of Green Sunfish by Certain Chemicals." *Journal WPCF*, vol.39, No.12, December 1967.
2. Wells, M.M., "The Resistance of Fishes to Different Concentrations and Combinations of Oxygen and Carbon Dioxide." *Biol. Bull.*, 25, 323(1913).
3. Wells, M.M., "Reactions and Resistance of Fishes in Their Natural Environment to Acidity, Alkalinity, and Neutrality." *Biol. Bull.*, 29, 221(1915).
4. Helbing, D., I. Farkas, and T. Vicsek. 2000. Simulating dynamical features of escape panic. *Nature* 407:487–490.
5. Helbing, D., M. Isobe, T. Nagatani, and K. Takimoto. 2003. Lattice gas simulation of experimentally studied evacuation dynamics. *Physical Review E* 67:067101/1–067101/4.
6. Saloma, C., G. J. Perez, G. Tapang, M. Lim, and C. P. Saloma. 2003. Self-organized queuing and scale-free behavior in real escape panic. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA* 100:11947–11952.
7. E. Altshuler, O. Ramos, Y. Nuñez, J. Fernández, A. J. Batista-Leyva, and C. Noda, "Symmetry Breaking in Escaping Ants." *The American Naturalist*, vol.166, No.6, December 2005