

北京师范大学管理学院系统科学系

第三届BNU实验科学锦标赛

实验报告

参赛题目：小鱼之间的相互吸引程度

队 长：赵茜

联系方式：15210996198

电子邮箱：emmazhao888@163.com

成 员：陈冰洁、王然、袁杰

时 间：2011.11.30

一、实验背景

1. 实验研究目的

在物理中，有很多模型和公式，如果将这些公式中的变量进行合适的类比，我们就可以发现很有趣的现象。

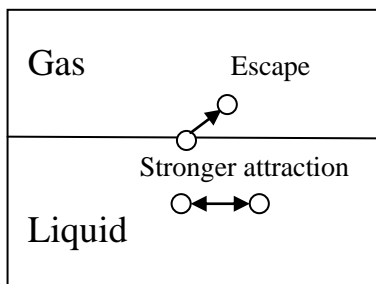
我们知道水分子之间存在着相互吸引力。然而，由于分子的活跃程度，位于表面处的分子会逃离到空气中。他们就会在水的表面上形成一团水分子构成的云。随着液体温度的升高，逃离分子的数量也会随着升高。换句话说，逃离分子的百分比可以衡量它们相互吸引力与活跃度之间的平衡程度。

本实验就是基于这样一个物理模型，希望通过设定特定环境，观察鱼群行为，探索鱼群间吸引力与分子间吸引力的类似情况。

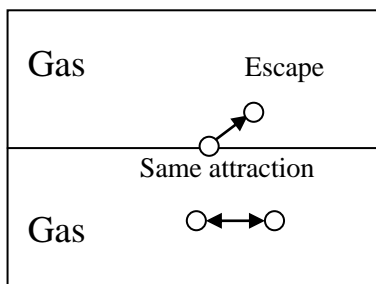
2. 实验研究意义

本实验以液体，气体扩散的物理模型为基础，通过对鱼群行为的实验研究，旨在发现鱼群的社会行为与该物理模型的相似之处或者共同点，探究利用物理模型说明生物种群行为的可行性。并且通过对于实验变量的控制，在可重复实验的基础上探究鱼群中个体逃逸的行为特点以及环境对于鱼群个体逃逸的影响。

3. 物理模型



在液体分子扩散模型中，当系统达到均衡时，液体部分的分子更多，因为液体分子间的吸引力更强，活跃性较低，逃出为气体的分子较少。



而在气体扩散模型中，当系统达到均衡时，两边的分子数相同，因为两边的分子活跃程度和吸引力都是相同的。

在这种情况下，如果测量分子逃出的速率，也就是分子运动的速率，我们就可以得到下面这个方程：

$$\frac{1}{2}mv^2 = \frac{3}{2}k_B T$$

因此我们可以推出：

$$v = \sqrt{\frac{3k_B T}{m}}$$

分子运动的速度和温度正相关。

然而，对于鱼群的行为会不会有类似的现象和规律呢？小鱼的逃出速率是不是也和温度正相关呢？

我们会重复几次做几种不同类型的实验来观察哪种模型更能够准确的描述鱼群的行为，并探究其与温度的相关关系。

二、实验准备

1. 实验仪器及实验条件

(1) 实验仪器

本实验仪器主要有：

具有群体性行为的小草鱼，长 39cm 宽 16.1cm 高 25cm 的鱼缸一个，透明硬质塑料板一个（中间开有小口），相同不透明硬质塑料板一个，鱼网两个，尺子一只，摄像机，三脚架，温度计，冰袋。

(2) 实验条件

光线控制：无光或挡板两侧光线对称

时间控制：下午 5:00 至晚上 9:00

环境控制：安静的房间，无人打扰



2. 实验操作及流程控制

(1) 将 100 条小草鱼放入鱼缸中，并测量水温；

(2) 将塑料板插入鱼缸的一侧，并堵住小口，挪动塑料板至鱼缸中间，使所有

鱼分布在塑料板的一边；

(3) 放置并调整摄像机，打开小口，开始计时；

(过程中需要保持挡板两边光对称，小鱼没有惊吓或者倦怠的情况)

(4) 经过一定时间，停止，测量水温，观看摄像，记录数据。



三、实验主要内容和现象

1. 初始阶段

通过与物理模型类比，我们需要得到达到均衡时逃出小鱼的比例。于是我们在无光、室温（约为 $14-17^{\circ}\text{C}$ ）的条件下，将实验记录的时间设定的足够长，使小鱼足够达到平衡。

在经过多次在无光条件下测量均衡值之后，我们发现小鱼最终在挡板两边的比例约为7:3。而第6次试验结束时，我们得到的结果与前5次有显著差异，我们怀疑是在实验结束时小鱼收到了惊吓，于是在Bertrand 的建议下，决定使用摄像机记录实验过程，同时记录小鱼由初始状态向均衡状态转变的过程。

2. 中期调整

在使用摄像机之后，实验的条件就必须从无光改为有光（实验中，我们将挡板两边光控制为对称），这样就有可能得到不同的结果。果然，当我们在有光的条件下重复实验时，发现不同温度下，达到均衡时，挡板两边小鱼的比例接近1:1。由于技术限制，我们无法在无光的条件下，使用摄像机记录小鱼的行为，我们决定改变原始对照模型，以后均在有光的条件下，改变温度，记录短时间小鱼逃出速率，与气体溢出速率对应。

这个过程中，我们发现，随着温度的升高，鱼群逃出的速率有增加的趋势。

3. 后期工作

在进行上述调整的同时，我们思考了挡板对于结果的影响。在物理模型中，分子是非生物的，单个分子的逃逸行为不会受到其他分子的影响。但是我们考虑到鱼群中单个鱼的逃逸行为会受到其他鱼的影响，在透明挡板的时候，鱼群可以看到挡板另一边的情况，这可能会对它们的逃逸行为产生影响。这可能会对实验结果造成影响。

于是，我们也采用不透明的挡板进行了进一步研究。

四、实验中的问题

实验中的变量控制至关重要，众多因素的不同状态组合会导致截然相反的实验结果。这就要求在试验中要严格控制变量状态，在不改变其他状态变量的基础上改变研究变量，从而得到正确的实验结果产生的原因。

通过多次实验与探索性分析，我们得到了以下关键的研究变量的影响。

(1) 光

实验初始，我们采取了较为传统的分时段计数方法观测鱼群活动，实验进行中我们发现室温下鱼群非常活跃，逃逸的数量很多。记录一段时间后我们决定将鱼缸旋转 180° ，即改变了鱼群的初始位置和逃逸方向，结果发现鱼群活跃度似乎降低，逃逸的数量明显减少。于是我们得出结论，灯光的不对称会使实验的可重复性减低，也就是说，鱼群具有趋光性，实验结果对光敏感，以后的实验中应严格控制光的对称性，从而消除光对于实验结果的影响。

(2) 鱼群基数

实验最初，为方便观察，小组成员决定使用 50 条鱼进行实验，然而在较短的时间，逃离的鱼数就会达到 25 条左右，并保持均衡。对于这样的结果我们很是疑惑，在与 Bertrand 讨论过后，他认为我们的鱼数目应该更多，使鱼能够感受到彼此的存在，从而构成小型种群，增强鱼群之间的吸引力。于是，我们就根据鱼缸的大小，将鱼的数目定为 100 条。

此外，鱼的大小也是实验的影响因素之一。第一次采购的鱼均为 2~3 厘米长的小鱼，在一个星期之后，由于小鱼的死亡数量较大，鱼群总数已经不足 100 条，我们进行了第二次采购。而第二次买到的鱼长度大部分都在 3 厘米以上，体积较大，100 条鱼放在鱼缸中显得很拥挤，鱼群会由于空间的问题而活跃的逃逸，同时整体鱼群的活跃度也大大提高，对于外界的声音震动反应更加灵敏，对于观察造成很大的阻碍，实验结果也有不同。

(3) 挡板透明度

实验前期我们采用的是透明的挡板，在有光的条件下，如果鱼群是依靠视觉来感受身边的鱼的话，那么挡板就不能成为阻隔鱼群的因素。在我们使用不透明的挡板后，发现鱼群的行为发生了改变。在实验开始几分钟后，才有少数几条鱼游过挡板，并且表现极为惶恐不安。而在原来使用透明挡板的时候，几分钟足以使十几条小鱼游过挡板。可见，挡板对于鱼群的影响不可小视。

(4) 其他因素

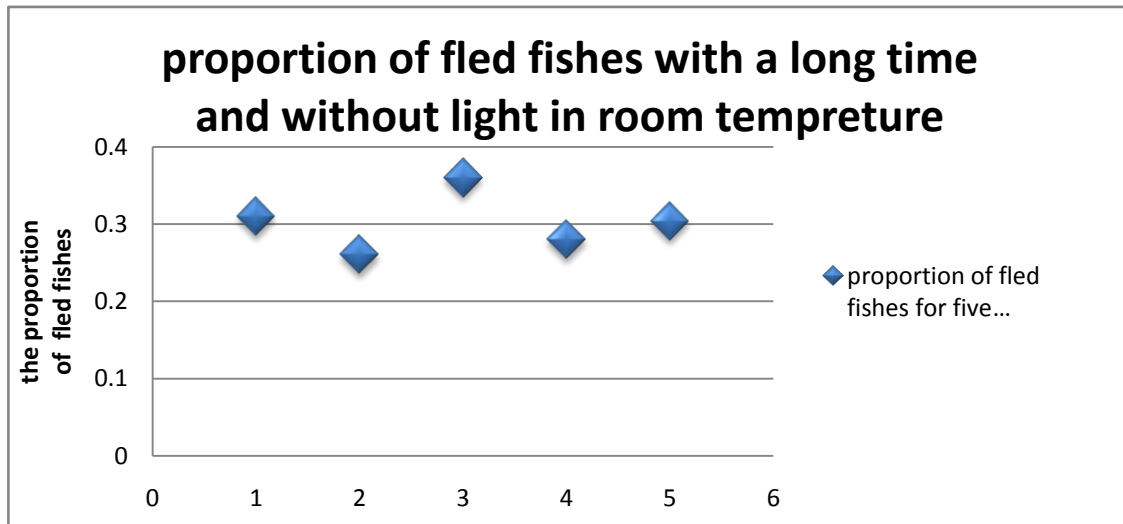
在一次实验的进行过程中，隔壁房间的同学正在进行温度实验，频繁的将大冰块敲碎对鱼群在成了连续的刺激，在观察录像时，发现小鱼行为异常，

出现间歇性的突然快速移动并且明显出现种群恐慌状态，例如突然出现游动混乱，游动速率明显加快等等。可见，强烈的噪声和震动对小鱼的影响也很大。

五、原始数据记录

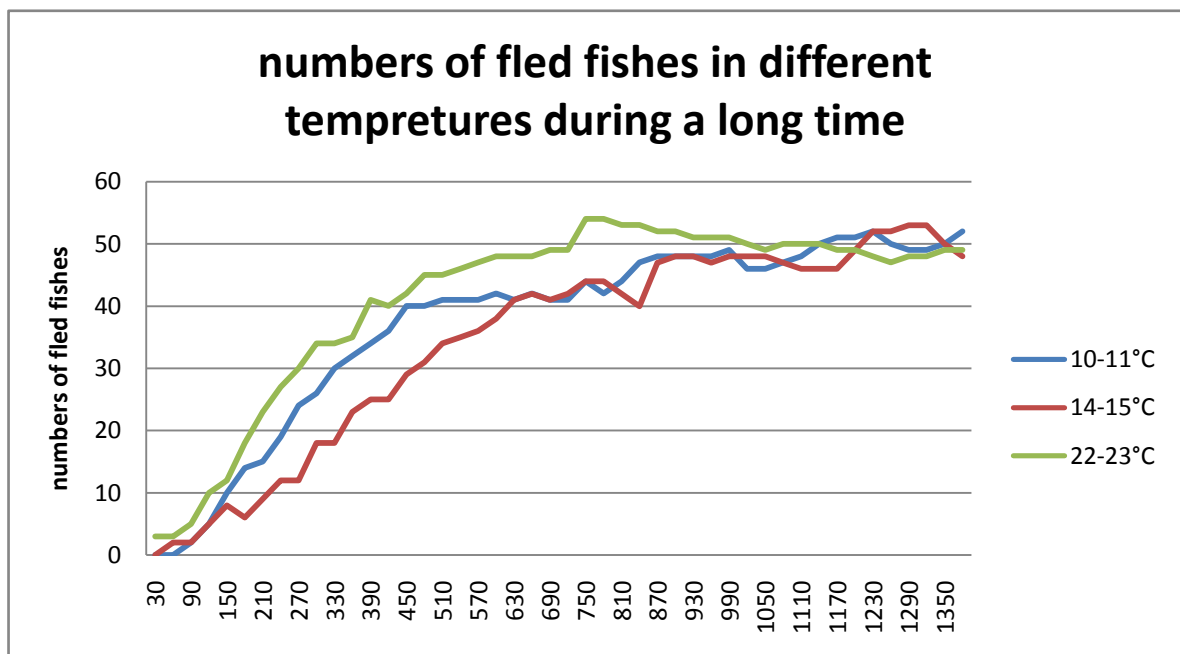
详见excel表格

六、实验结果展示及分析



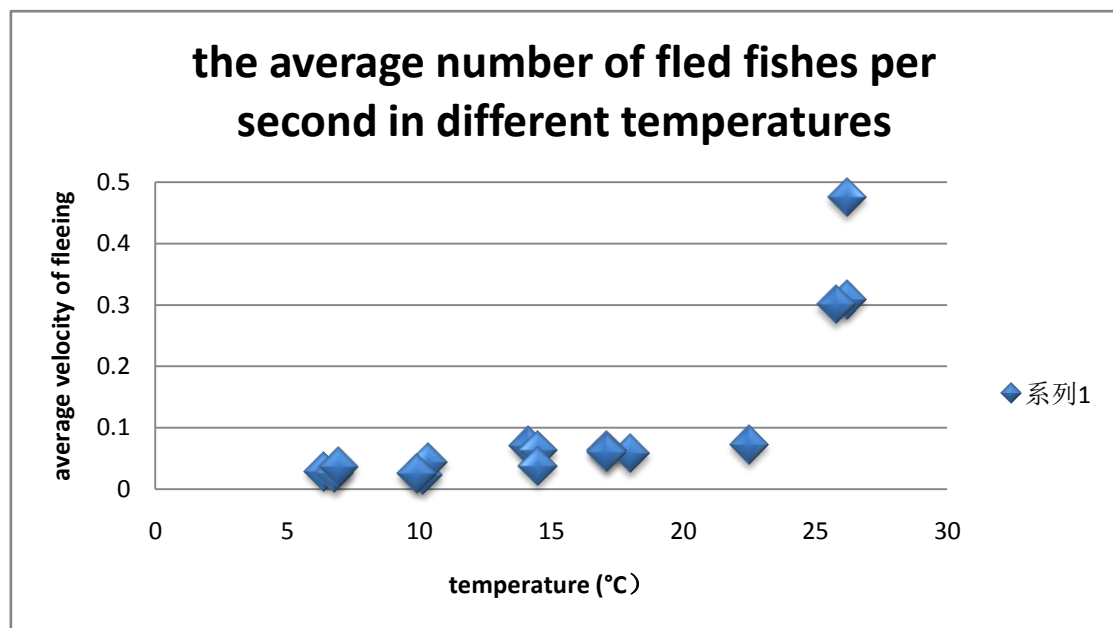
从这张图中，我们可以看到，在经过长时间之后，挡板两边的小鱼数量达到均衡，逃出小鱼的比例大约在 30%左右。这个实验结果表明，此种鱼的确具有较强的社会性。在鱼数量多的地方，鱼与鱼之间的吸引力较强。

We could see in this diagram that after a long period of time, the proportion of the amount of the fishes who escape to another side to that of the whole fishes reaches to its equilibrium at about 30%. This result illustrates that this species of fish has a relatively strong sociality which means that the mutual attraction among the fish group tends to be stronger in a larger fish group.



在这张图表中，我们可以大致看出，随着温度的升高，达到平衡的速率稍有不同，但是最终都会达到挡板两边数量基本相等的平衡。由此可见，在这个条件下，鱼群的表现更像气体的扩散模型。在这个基础上，我们可以测量不同温度下，鱼群的逃逸速率，从而分析其逃逸速率与温度的关系。

We could roughly see in this diagram that the rate of reaching equilibrium varies in different temperature but the equilibrium is almost the same. We can get the conclusion that the behavior of the fishes is more like the model of the gas' diffusion under such condition. Based upon this conclusion, we can start to measure the fleeing velocity of the fishes under different temperatures so that we can further analyze the relationship between the fleeing velocity and the temperature.

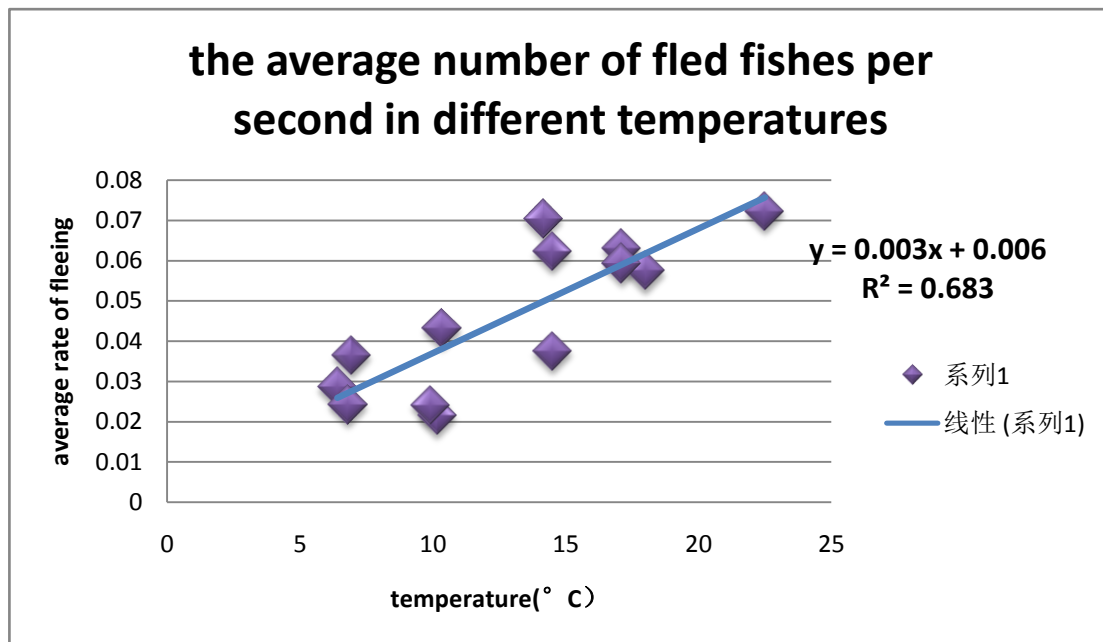


我们分别做了 6°、10°、14°、17°、22°、26° 下的短时间透明板的实验，并计算了逃出鱼数少于 10 条时，每 30 秒测量的速率的平均值。图中，每个点就是一次实验测得的平均速率。

We have carried on experiments under different temperatures of 6°、10°、14°、17°、22°、26° of the fishes fleeing in a short time and calculated the average fleeing velocity of per 30 seconds when the number of the fleeing fishes is under 10. Every point in the diagram represent an average velocity in a certain experiment.

然而，我们发现，在 26° 实验时，鱼群表现异常，处在一个非正常的状态，其测得速率也与前面发生了突变。而在温度低于 6° 时，许多小鱼当即出现了抽搐和僵硬的状态。因此，我们决定只分析 6° 到 25° 范围内鱼群的表现，所示如图。However, we've found that the fish group behave abnormally in 26° , that is to say, in an abnormal state. The velocity has a mutation compared to the results of other experiments. When the temperature is below 6° ,many fishes begin to twitch and tend to be frozen. So, we decide to analyze cases only when the temperature is from 6° to

25° and the results is showed in the following diagram.

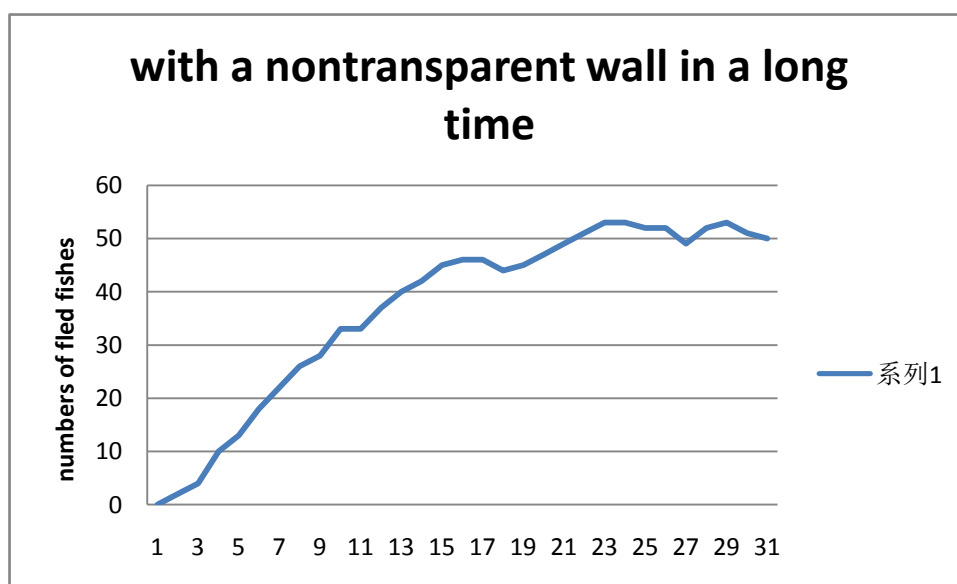


由图，我们可以初步观察到鱼群的逃逸速率与温度有正相关关系，在进行线性拟合后，发现 $R^2=0.683$ ，温度与逃逸速率的关系较为显著。

From the diagram we could draw a probable conclusion that the fleeing velocity in positive related to the temperature. The statistics show that $R^2=0.683$ when we use the linear equation which indicate that the relationship is comparatively significant.

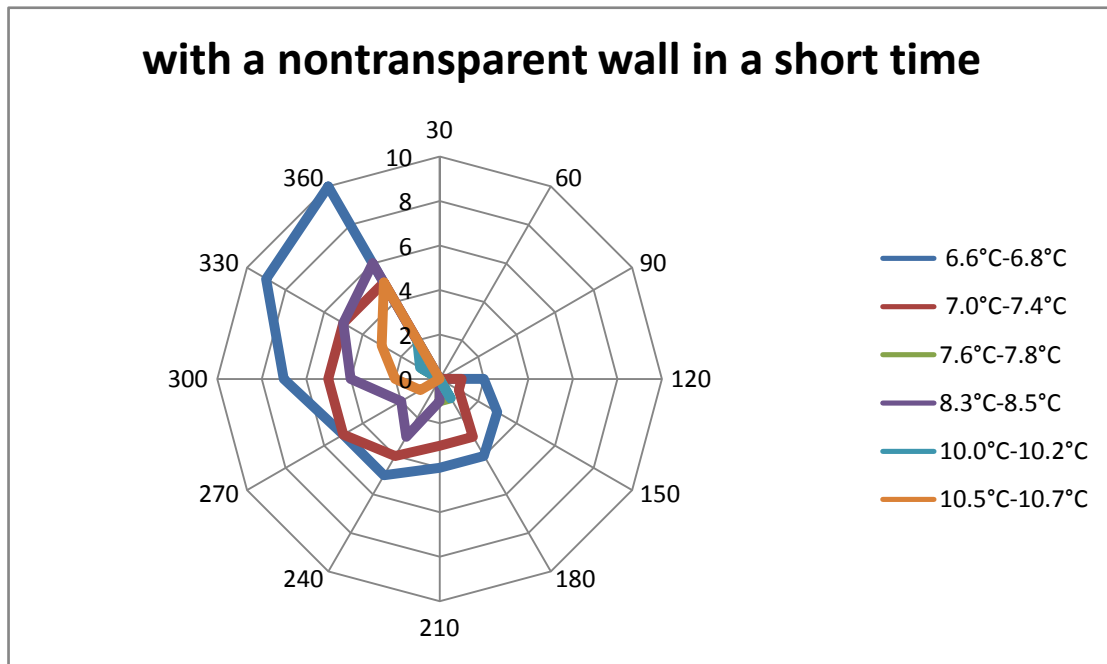
当我们改变板的属性，即使用不透明板重新做实验时，发现了这样的结果：

This is the result which happens when we use the nontransparent wall to do the experiment.



由于时间原因，我们共做了两组不透明板的长时间实验。但是其中一组数据是小鱼在受到持续惊吓的情况下得到的，不具备说服力，因此未采用。由图可以观察到，最终使用不透明板也会达到和使用透明板相同的均衡结果。

Due to the limitation of time, we have done two experiments of long time using nontransparent wall. However, one of the two experiments is done in the situation where the fishes are continuously scared so that it is not persuasive enough to be adopted. We can see from the diagram that the results will be the same no matter the wall is transparent or not.



由图可知，在不透明板的条件下，鱼群的逃逸行为对于温度的反应还是较为敏感，基本呈现随温度升高逃逸速率减小的现象（温度范围 6 到 11 摄氏度）。但是鱼群的逃逸行为出现较为缓慢，经过相对较长的时间鱼群的逃逸行为才会较为明显。根据其他物种比较普遍的试探性行为我们可以做出假设，鱼群在不透明板的状态下不清楚板另一面的状况，而开始的试探性行为会比较缓慢没有效率，大多数小鱼更愿意安于现状，导致初始状态逃逸数量较少。

However, the diagram also shows that when we use the nontransparent wall, the fleeing behavior of the fish is more sensitive to the temperature compared to that when a transparent wall is used. The fleeing velocity decreases as the temperature increases (in a range of 6° to 11°) while the fleeing behavior appears later than we have expected before (it always appears after a relatively long time) and the fleeing behavior won't be apparent until some time later. We can assume according to the universal fleeing behavior of other species that owing to not knowing the situation of the other side when the wall is nontransparent, the fleeing behavior in the beginning minutes is relatively slow and deficient and that most fishes tend to remain the original state which leading to the decrease of the fleeing number in the beginning minutes.

七、实验展望

在实验进行的过程中，基于有限的场地和设备，还有很多干扰因素不能够排除，有些实验结果还需要进一步的探讨和研究。同时，由于时间关系以及实验所需鱼群供给出现问题，不能够及时到位，小组成员策划进行的一些实验也未能按时完成。例如利用孔雀鱼或其他鱼种进行长时间实验，探索其与小草鱼实验曲线之间的差别；对实验温度进一步细化，得到更多的散点，描绘出更加接近真实的趋势等等。

希望以后有机会还能够进一步完善实验结果，得到更多有意义的结论。

八、附件

进度安排

第一天：2011/11/10 house temperature about 16° C
18:00 透明板长时间 3 组

第二天：2011/11/11 house temperature about 16° C
20:00 透明板长时间 1 组

第三天：2011/11/12
16:30 透明长时间 2 组
20:30 不透明短时间 6 组

第四天：2011/11/13
20:00 不透明长时间 2 组

第五天：2011/11/13
20:00 不透明长时间 2 组

第六天：2011/11/20
20:30 透明短时间 3 组

第七天：2011/11/21 house temperature 11.0° C——13.9° C 10minutes every
time(透明短时间) 透明短时间 5 组
20:18 14.0 °C——14.3 °C 3 5 7 7 8 9 13
20:37 14.5 °C——14.5 °C 2 4 6 7 8 14
20:54 14.5 °C——14.5 °C 1 2 3 6 13
22:05 17.1 °C——17.1 °C 1 4 8 12
22:15 17.1 °C——17.0 °C 1 2 10

第八天 2011/11/23 house temperature 14.2 °C

透明短时间 2组

19:54 18.0℃--18.1℃ 0581224

20:27 10.1℃--10.2℃ 0117(相机没电, 废掉)

第九天 2011/11/24 house temperature13.310.1℃

透明短时间 6组

20:58 10.1℃--10.6℃ 024712

21:09 9.8℃--10.0℃ 01325811

21:30 10℃--10.6℃(nearly not move) 10000122223234433455
5

22:04 10.1℃--10.6℃ 1223222357810

22:12 10.6℃--11.1℃ 000011223333

第十天 2011/11/26

透明短时间 4组

21:26 26.3℃--26.2℃ 1527

21:28 26.2℃--26.2℃ 919

21:31 25.8℃--25.8℃ 82026

21:33 25.8℃(long time,because of stream, not very clear) 11233237444651
53535453504847515248464953

财务报表

物品	费用
鱼缸	20元/个×2
三脚架	31元/个×1
挡板	2.5元/个×2
透明软挡板	5元/个×1
小草鱼鱼	1元/袋×13
网兜	1元/个×3
小盆	10元/个×2
总计	97元