

# 面包虫总数和群聚性的关系实验

赖舒颖 冯梦莹

## 引言

我们进行本次实验的目的主要是想要从观察中得出社会性昆虫和非社会性昆虫的集体性行为 and 这些行为所体现的昆虫的内部交互性。我们实验的假设是社会性昆虫和非社会性昆虫会在集体行为上有明显的区别，从而体现的它们的内部交互性存在强弱程度的很大差别。这些差别与昆虫的数量也存在一定的相关性。

由昆虫的行为，我们可以联系到人类社会生活的一些现象。我们猜测人类生活中的一些现象包含着一些昆虫所体现出来的简单原理。我们选取了面包虫和果蝇两种典型的生物作为实验研究对象。

面包虫的图片如下：



## 实验过程和结果

### 实验一

#### 实验目的：

面包虫是社会性昆虫而果蝇则不是。我们认为这两种动物会有非常不同的集体行为。此实验就是为了探究社会性昆虫和非社会性昆虫集体行为的差异。

#### 实验步骤：

我们将一个试管的两头塞上海绵，然后把事先装到试管里的果蝇（或面包虫）全部倒到其中一端，再快速把试管水平放置，观察现象。

实验重复 5 次。

#### 实验结果：

5 次实验的现象比较稳定，以下是果蝇和面包虫其中一组实验的结果。



图 1 果蝇实验（开始）



图 2 果蝇实验（开始后几秒钟）



图 3 果蝇实验（结束）



图 4 面包虫实验（开始）



图 5 面包虫实验（结束）

#### 实验结果分析：

在果蝇实验（图 1、2、3）中，图 1 是刚把试管平放时拍摄的，图 2 是隔了几秒后拍摄的，从图中可以看到，被聚集到左端的果蝇很快向右方移动，图 3 是稳定后的情况，此时果蝇基本平均分布在试管的两端，没有群聚现象出现。

而在面包虫实验（图 4、5）中，图 4 是刚把试管平放时拍摄的，图 5 是稳定后的情况，此时可以看出有明显的群聚现象出现。

#### 实验结论：

以上实验表明，社会性昆虫和非社会性昆虫有着非常不同的集体行为。非社会性昆虫没有群聚性，而社会昆虫有群聚性。

#### 实验反思和建议：

面包虫和果蝇的体形差距太大，活跃程度也不大相同，这会影响实验效果。最好能用体形差别不大，活跃程度也差不多的昆虫做对比实验，例如果蝇和蚂蚁、蜜蜂和苍蝇等。

## 实验二

#### 实验目的：

我们已经知道了社会性昆虫具有与非社会昆虫不同的集体行为，会出现群聚现象。下面我们就来探究在开放空间中，经过一段时间（此次实验定为 10 分钟）后，面包虫总数对扩散现象的影响。

#### 实验步骤：



先将面包虫全部放置在容器中，然后让其自由活动，容器外的区域足够大。

记面包虫总数为  $N$ ，留在容器中的面包虫数为  $R$ 。每分钟记录一次，观察 10 分钟，记录  $R/N$  的值。

此次实验分为三组，每组的面包虫总数分别为 20、50、100，每组实验重复 5 次。

### 实验结果：

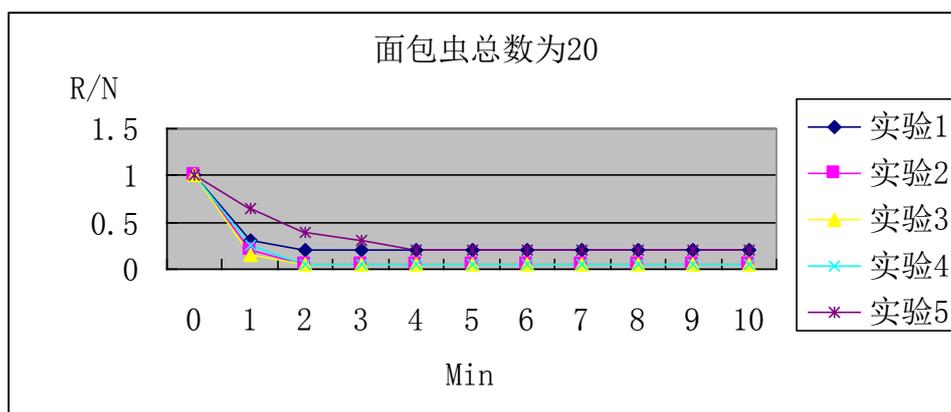


图 6 面包虫总数为 20 的 5 次重复实验结果

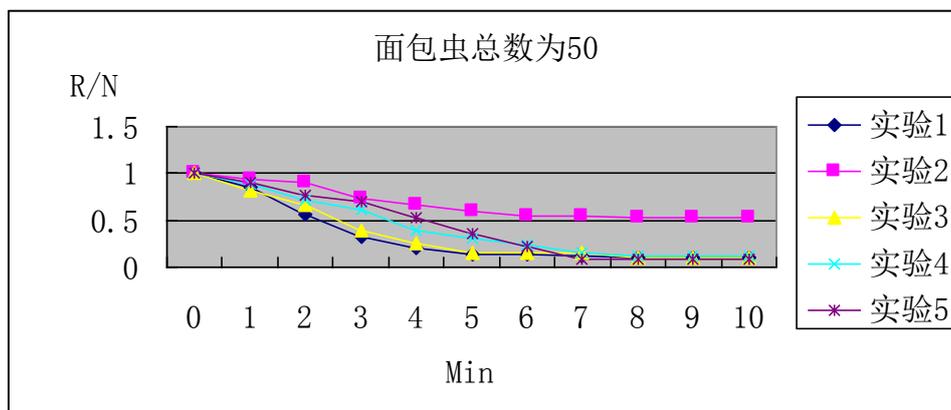


图 7 面包虫总数为 50 的 5 次重复实验结果

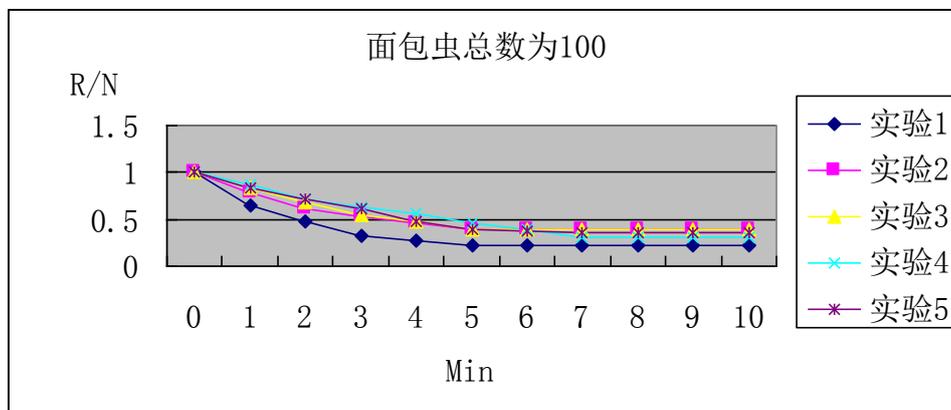


图 8 面包虫总数为 100 的 5 次重复实验结果

**实验结果分析：**

对 10 分钟时 R/N 的值的分析有如下结果：

描述			统计量	标准误
R/N	均值		.1100	.03674
(N=20)	均值的 95% 置信区间	下限	.0080	
		上限	.2120	
	5% 修整均值		.1083	
	中值		.0500	
	方差		.007	
	标准差		.08216	
	极小值		.05	
	极大值		.20	
	范围		.15	
	四分位距		.15	
	偏度		.609	.913
	峰度		-3.333	2.000
R/N	均值		.1720	.08800
(N=50)	均值的 95% 置信区间	下限	-.0723	
		上限	.4163	
	5% 修整均值		.1600	
	中值		.1000	
	方差		.039	
	标准差		.19677	
	极小值		.04	
	极大值		.52	
	范围		.48	
	四分位距		.26	
	偏度		2.108	.913
	峰度		4.569	2.000
R/N	均值		.3380	.03121
(N=100)	均值的 95% 置信区间	下限	.2513	
		上限	.4247	
	5% 修整均值		.3406	
	中值		.3600	
	方差		.005	
	标准差		.06979	
	极小值		.23	

极大值	.40	
范围	.17	
四分位距	.13	
偏度	-1.094	.913
峰度	.379	2.000

表 1 对 R/N 的分析

对面包虫总数分别为 20、50、100 时 R/N 的置信区间上下限、均值的高低图分析如下：

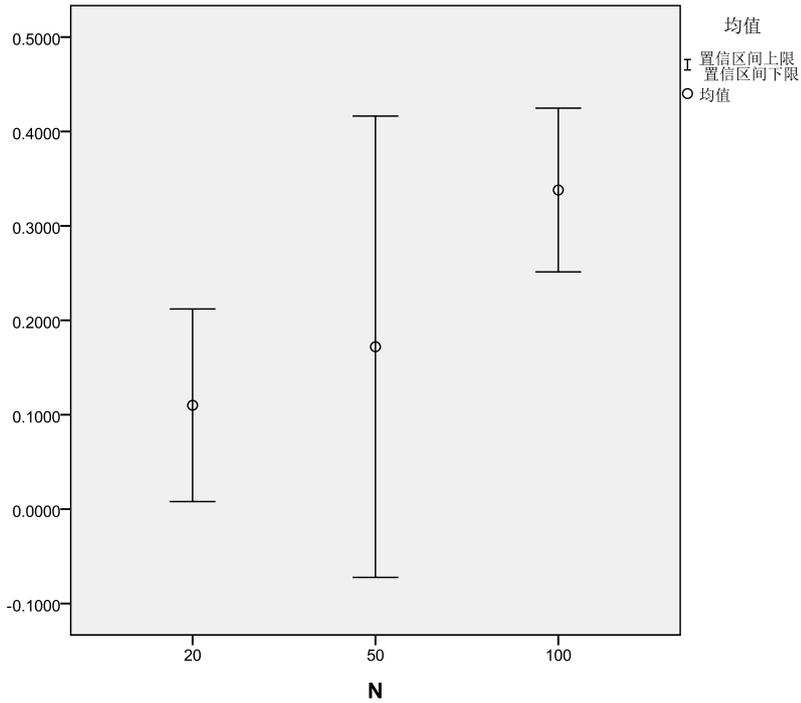


图 9 N—R/N 高低图

从上图可以看出，随着面包虫总数由 20 增加到 100，R/N 是呈增长趋势的，三组的均值像是在一条直线附近。对面包虫总数分别为 20、50、100 时的 R/N 的均值作线性回归如下：

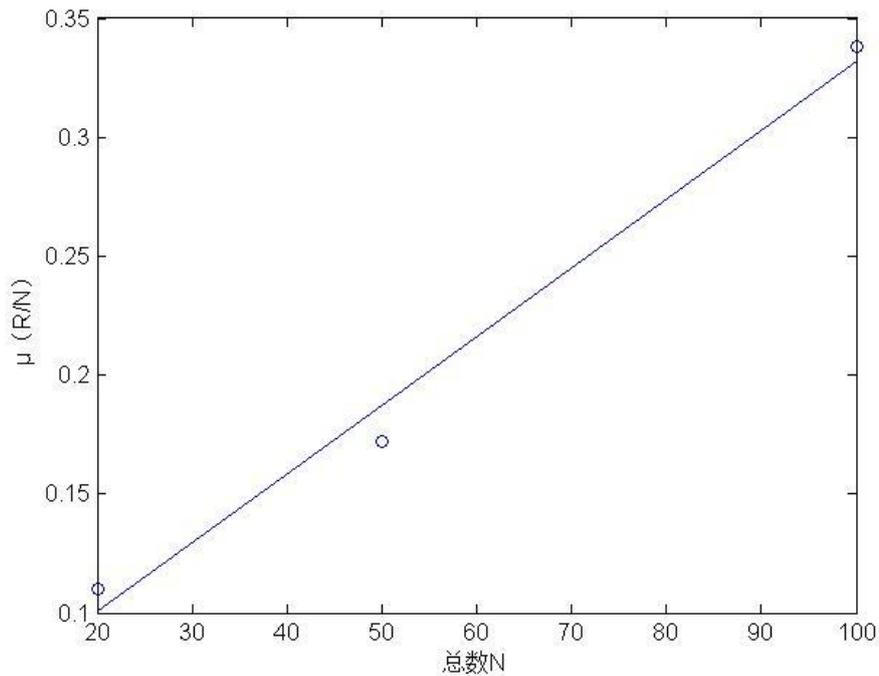


图 10 N—R/N 均值的线性回归

回归方程为  $\mu (R/N) = 0.0029 * N + 0.0424$ , 拟合优度  $R^2 = 0.9870$ 。

从图 10 可以看出, 面包虫的总数和 R/N 的值有正线性相关, 即随着面包虫总数的增加, R/N 趋向于增加。

#### 实验结论:

当面包虫处于开放环境下对外进行扩散的时候, 初始面包虫总数越多 (20-100 只), 最后稳定时留在区域内的比例越大, 即群聚性增强, 更不容易扩散。

#### 实验反思和建议:

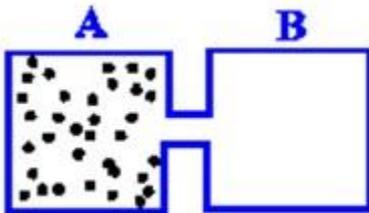
面包虫总数为 50 只的实验结果标准差过大, 可以通过增加实验重复次数减少误差。

### 实验三

#### 实验目的:

探究在经过一段时间 (此次实验定为 30 分钟) 后, 面包虫总数对群聚现象效果的影响。

#### 实验步骤:



先将所有的面包虫或蚂蚁放置在区域 A 中, 然后让其自由活动。记昆虫总数为 N, 区域 A 中的昆虫数为 N1, 区域 B 中的昆虫数为 N2。在开始的前 15 分钟内, 每分钟记录一次, 之后 5 分钟记录一次, 直到 30 分钟时停止 (此时可能还

有一些昆虫处于离散状态,没有和群聚的昆虫在一起,这些昆虫的数量记为  $N_3$ )。观察  $N_2/N$ 、 $N_3/N$  的值。

此次实验分为五组,每组的昆虫总数分别为 20、30、50、70、100,每组实验重复 10 次。

**实验结果:**

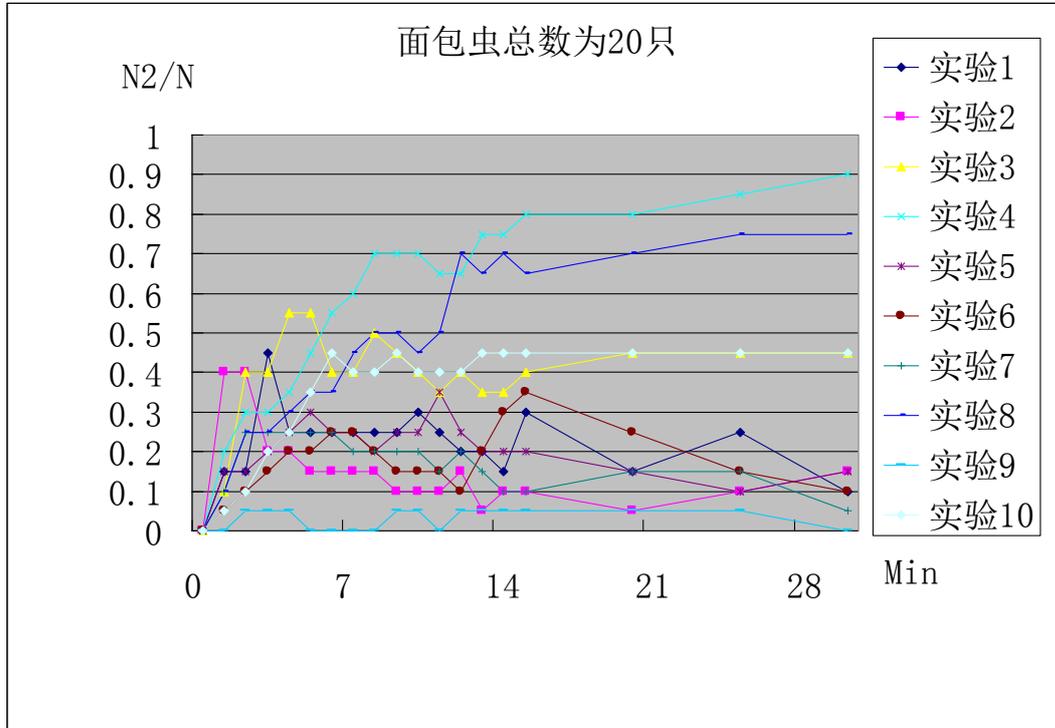


图 11 面包虫总数为 20 时  $N_2/N$  随时间变化的 10 次重复实验结果

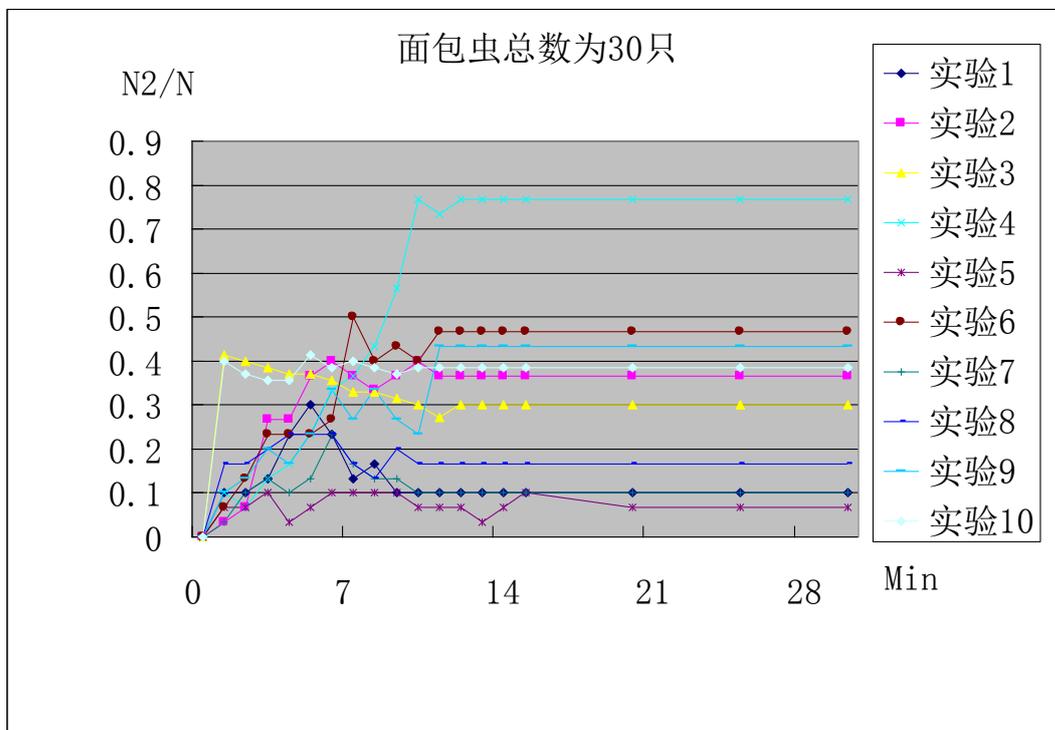


图 12 面包虫总数为 30 时  $N_2/N$  随时间变化的 30 次重复实验结果

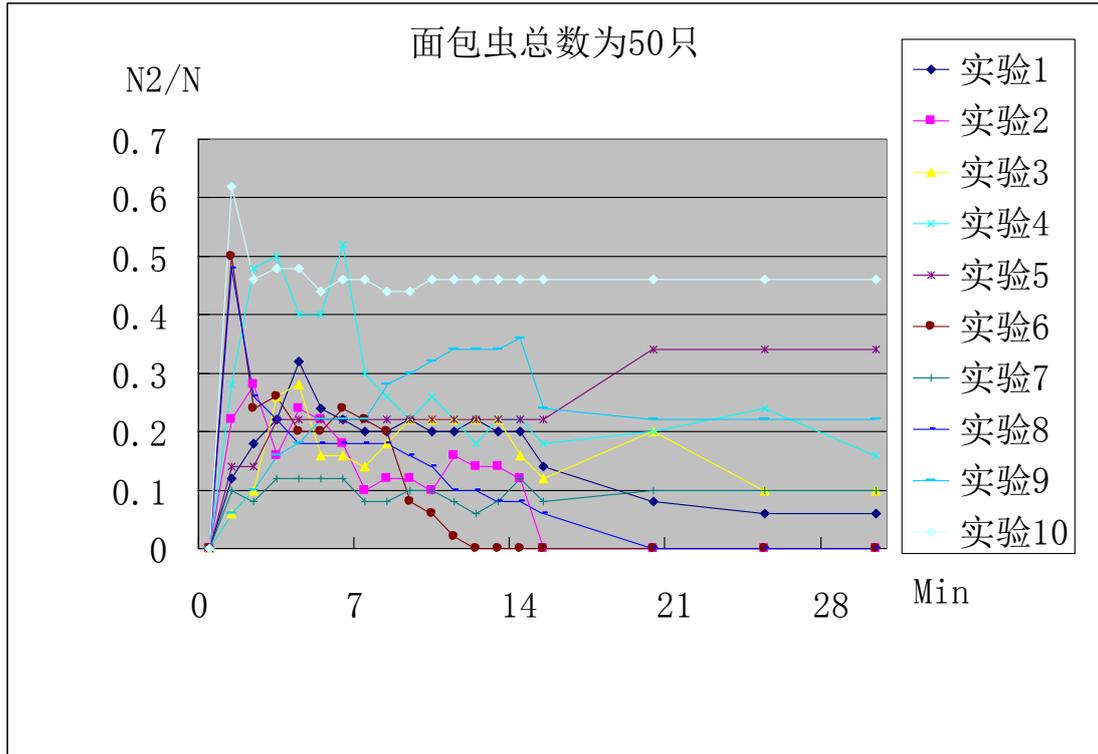


图 13 面包虫总数为 50 时  $N_2/N$  随时间变化的 10 次重复实验结果

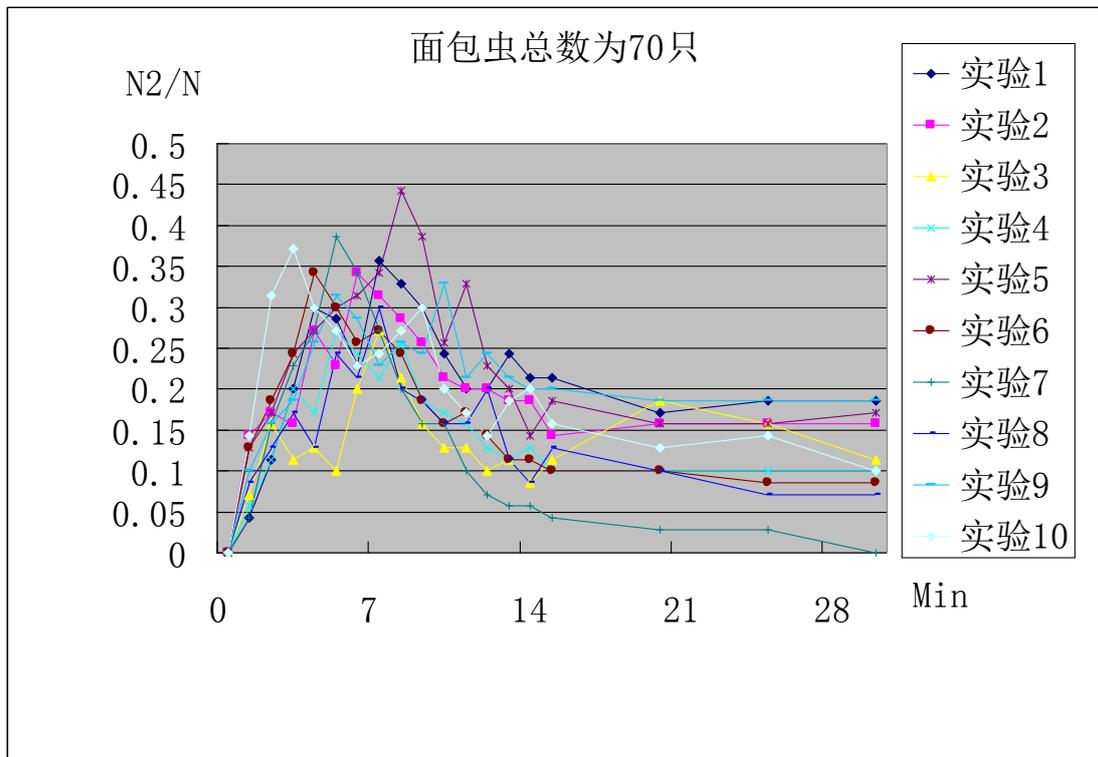


图 14 面包虫总数为 70 时  $N_2/N$  随时间变化的 10 次重复实验结果

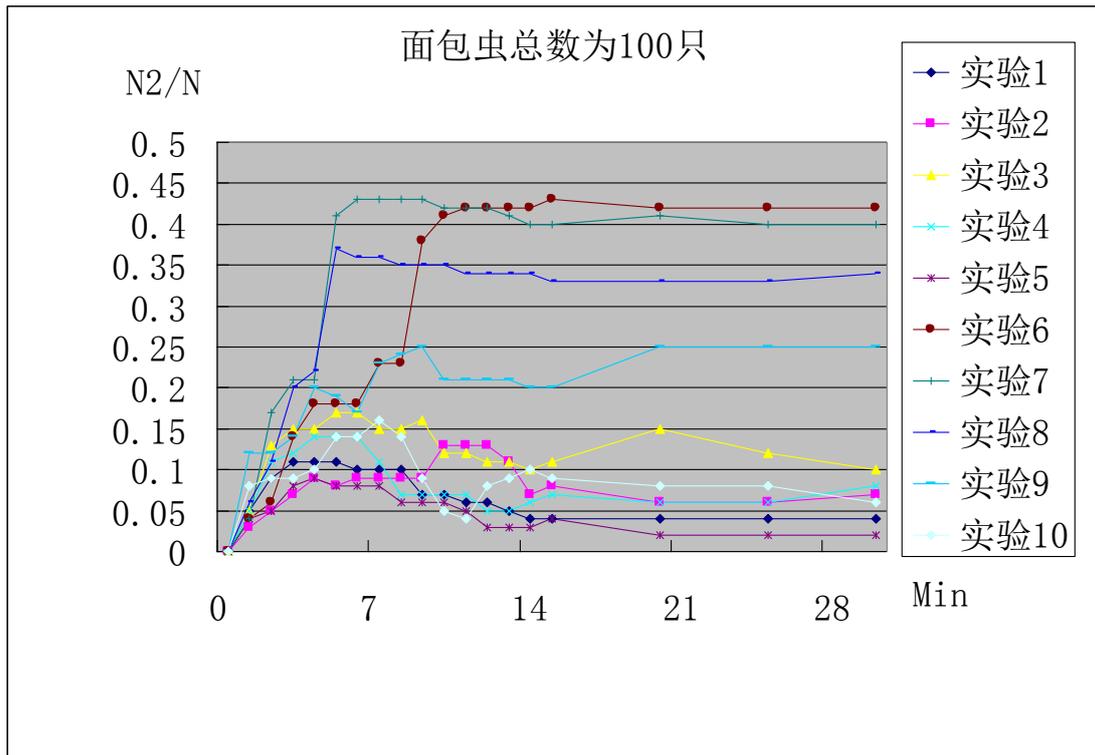


图 15 面包虫总数为 100 时 N2/N 随时间变化的 10 次重复实验结果

上图分别是面包虫总数为 20、30、50、70、100 时，N2/N 的值对应时间刻度的图。

总数 N	N3/N									
	0.35	0.30	0.00	0.30	0.30	0.15	0.10	0.15	0.10	0.15
20	0.10	0.23	0.10	0.13	0.13	0.23	0.27	0.40	0.17	0.17
30	0.24	0.10	0.06	0.12	0.12	0.08	0.06	0.08	0.16	0.06
50	0.03	0.07	0.03	0.14	0.16	0.10	0.11	0.04	0.17	0.04
70	0.07	0.04	0.07	0.14	0.15	0.12	0.08	0.16	0.13	0.06
100										

表 2

表 2 是面包虫总数分别为 20、30、50、70、100 时，10 次实验的最终平衡时刻（30 分钟时）N3/N 的值。

**实验结果分析：**

从图 11-15 中可以直观的看出，在一定范围内，随着面包虫总数的增多，面包虫选择从区域 A 到区域 B 的比率是减少的。

对面包虫总数分别为 20、30、50、70、100 时最终平衡时刻（30 分钟时）N2/N 的值的分析如下表。

描述		统计量	标准误
N2/N	均值	.3100	.09911
(N=20)	均值的 95% 置信区间	下限	.0858
		上限	.5342
	5% 修整均值	.2944	

	中值		.1500	
	方差		.098	
	标准差		.31340	
	极小值		.00	
	极大值		.90	
	范围		.90	
	四分位距		.44	
	偏度		1.001	.687
	峰度		-.303	1.334
N2/N	均值		.3152	.06867
(N=30)	均值的 95% 置信区间	下限	.1598	
		上限	.4705	
	5% 修整均值		.3039	
	中值		.3333	
	方差		.047	
	标准差		.21716	
	极小值		.07	
	极大值		.77	
	范围		.70	
	四分位距		.34	
	偏度		.796	.687
	峰度		.632	1.334
N2/N	均值		.1440	.04915
(N=50)	均值的 95% 置信区间	下限	.0328	
		上限	.2552	
	5% 修整均值		.1344	
	中值		.1000	
	方差		.024	
	标准差		.15543	
	极小值		.00	
	极大值		.46	
	范围		.46	
	四分位距		.25	
	偏度		1.102	.687
	峰度		.457	1.334
N2/N	均值		.1171	.01866
(N=70)	均值的 95% 置信区间	下限	.0749	
		上限	.1593	
	5% 修整均值		.1198	
	中值		.1071	

方差			.003	
标准差			.05901	
极小值			.00	
极大值			.19	
范围			.19	
四分位距			.09	
偏度			-.591	.687
峰度			.145	1.334
N2/N	均值		.1780	.04995
(N=100)	均值的 95% 置信区间	下限	.0650	
		上限	.2910	
	5% 修整均值		.1733	
	中值		.0900	
	方差		.025	
	标准差		.15796	
	极小值		.02	
	极大值		.42	
	范围		.40	
	四分位距		.30	
	偏度		.664	.687
	峰度		-1.528	1.334

表3 N2/N对应N的不同值的描述性分析

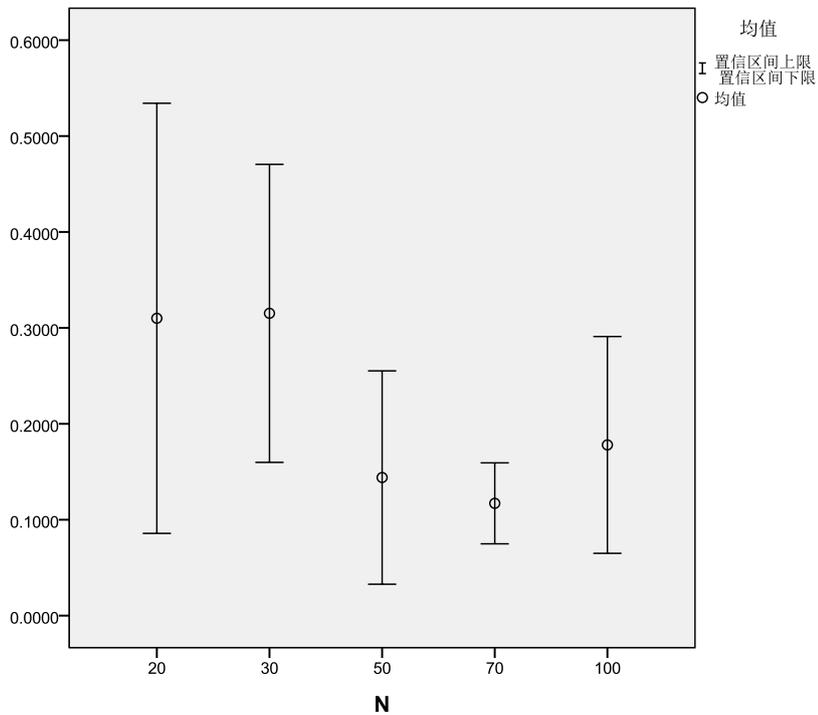


图 16 N-N2/N 的高低图

图 16 是面包虫总数分别为 20、30、50、70、100 时最终平衡时刻（30 分钟时） $N_2/N$  的置信区间上下限和均值。可以看出，随着面包虫总数由 20 增加到 70， $N_2/N$ （面包虫选择从区域 A 到区域 B 的比率）的均值减小，也就是说，他们群聚在区域 A 的比率增大。同时， $N_2/N$  的极差和标准差也减小，说明他们中的大部分选择留在区域 A 的这一群体行为更加稳定。我们也能看到，当面包虫总数由 70 增加到 100 时， $N_2/N$  的均值增加，标准差增加。这可能是因为当面包虫总数增加到一定程度时，区域 B 会更容易出现另一些群体，增加了面包虫选择区域 B 的可能，也增加了面包虫选择的不稳定性。

下图（图 17）是当面包虫总数为 100 只时，其中一次实验的最终结果，可以看出，区域 B 中出现了另一个较小的群体，这导致了  $N_2/N$  值的增加，但并不表明群体的聚集性减弱（从图中可以看出面包虫明显的聚集成两堆）。

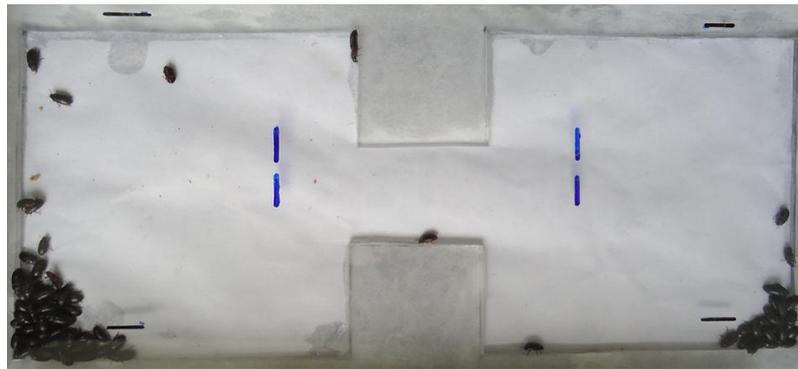


图 17 面包虫总数为 100 只，某次实验的最终结果

把面包虫总数分别为 20、30、50、70、100 时最终平衡时刻（30 分钟时） $N_2/N$  的均值作线性回归如下：

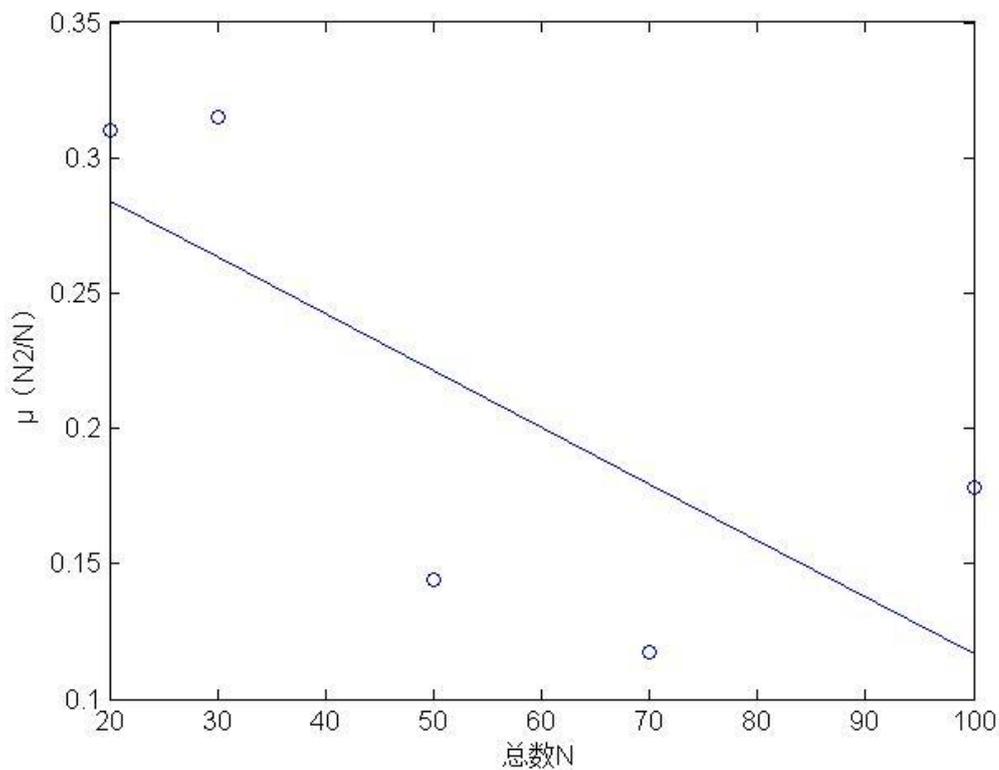


图 18  $N-N_2/N$  的线性回归

回归方程为  $\mu(N2/N) = -0.0021 * N + 0.3258$ , 拟合优度  $R^2 = 0.5147$ 。

从上图的线性回归可以看出, 面包虫的总数和  $N2/N$  的值有负线性相关, 即随着面包虫总数的增加,  $N2/N$  趋向于减少。

另外, 面包虫的群聚性还可以用  $N3/N$  的值来更准确地刻画, 即统计实验结束时还处于离散状态的面包虫在总体中所占的比例。下表是  $N3/N$  的值的描述性统计表。

描述			统计量	标准误
N3/N (N=20)	均值		.1900	.03636
	均值的 95% 置信区间	下限	.1077	
		上限	.2723	
	5% 修整均值		.1917	
	中值		.1500	
	方差		.013	
	标准差		.11499	
	极小值		.00	
	极大值		.35	
	范围		.35	
	四分位距		.20	
	偏度		-.038	.687
	峰度		-1.172	1.334
	N3/N (N=30)	均值		.1930
均值的 95% 置信区间		下限	.1265	
		上限	.2595	
5% 修整均值			.1867	
中值			.1700	
方差			.009	
标准差			.09298	
极小值			.10	
极大值			.40	
范围			.30	
四分位距			.12	
偏度			1.260	.687
峰度			1.666	1.334
N3/N (N=50)		均值		.1080
	均值的 95% 置信区间	下限	.0674	
		上限	.1486	
	5% 修整均值		.1033	
中值		.0900		

	方差		.003	
	标准差		.05673	
	极小值		.06	
	极大值		.24	
	范围		.18	
	四分位距		.07	
	偏度		1.573	.687
	峰度		2.577	1.334
N3/N	均值		.0890	.01729
(N=70)	均值的 95% 置信区间	下限	.0499	
		上限	.1281	
	5% 修整均值		.0878	
	中值		.0850	
	方差		.003	
	标准差		.05466	
	极小值		.03	
	极大值		.17	
	范围		.14	
	四分位距		.11	
	偏度		.323	.687
	峰度		-1.617	1.334
N3/N	均值		.1020	.01348
(N=100)	均值的 95% 置信区间	下限	.0715	
		上限	.1325	
	5% 修整均值		.1022	
	中值		.1000	
	方差		.002	
	标准差		.04264	
	极小值		.04	
	极大值		.16	
	范围		.12	
	四分位距		.08	
	偏度		.000	.687
	峰度		-1.720	1.334

表4 N2/N对应N的不同值的描述性分析

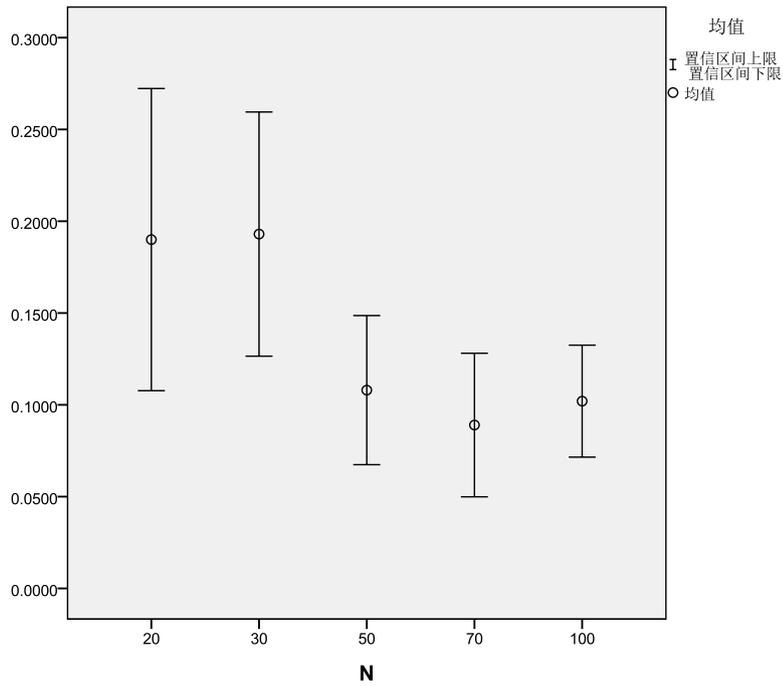


图19 N-N3/N 的高低图

上图（图 19）是面包虫总数分别为 20、30、50、70、100 时最终平衡时刻（30 分钟时） $N3/N$  的置信上下限和均值。随着面包虫总数由 20 增加到 100， $N3/N$ （面包虫处于离散状态的比率）的均值减小（除了 20-30、70-100 间略有增加），也就是说，他们群聚的比率增大。同时， $N3/N$  的极差和标准差也减小，说明他们中的大部分选择群聚的这一集体行为更加稳定。

把面包虫总数分别为 20、30、50、70、100 时最终平衡时刻（30 分钟时） $N3/N$  的均值作线性回归如下：

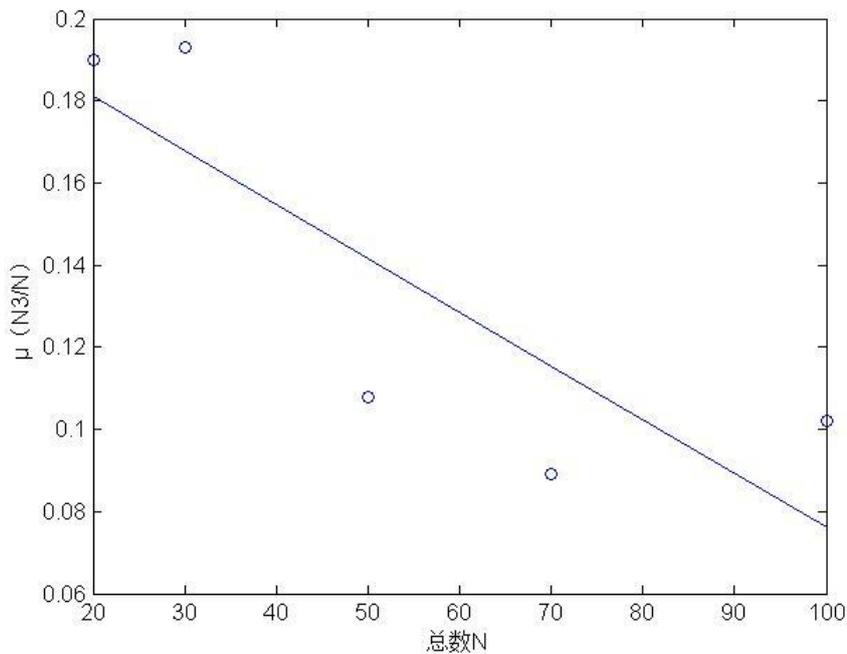


图 20 N-N3/N 的线性回归

回归方程为 $\mu(N_3/N) = -0.0013 * N + 0.2073$ , 拟合优度  $R^2 = 0.6883$ 。

从上图的线性回归可以看出，面包虫的总数  $N$  和  $N_3/N$  的值有负线性相关，即随着面包虫总数的增加， $N_3/N$  趋向于减少。

### 实验结论：

在一定范围内，随着面包虫总数的增加，他们的群聚行为增强，更容易聚集在一起。

### 实验反思和建议：

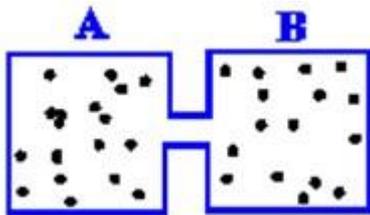
最好能够增加实验组数（按面包虫总数分组），来细致分析面包虫总数对群聚效果的影响。还可以增加每组实验的重复次数，减小误差。

## 实验四

### 实验目的：

当面包虫在区域 A、B 之间移动的时候，可能会成群结队。这个实验就是为了从另外一个方面探究面包虫的群体行为，即面包虫在移动时的群聚现象，以及面包虫总数对这种现象的影响。

### 实验步骤：



先将面包虫分别平均放置在区域 A 和区域 B 中，然后让其自由活动一段时间。记一起在区域间移动的面包虫只数为  $M$ （一起从区域 A 移动到区域 B 的面包虫只数为  $M_1$ ，一起从区域 B 移动到区域 A 的面包虫只数为  $M_2$ ）。观察  $M$  ( $M_1$ 、 $M_2$ ) 的值。

此次实验分为三组，每组的面包虫总数分别为 20、50、100，每组实验重复 5 次。

### 实验结果：

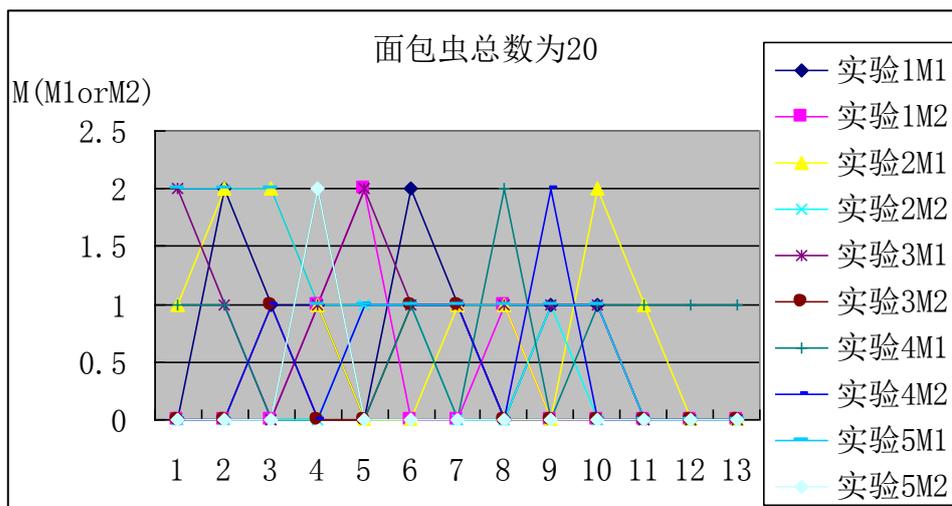


图 21 面包虫总数为 20 的 5 次重复实验结果

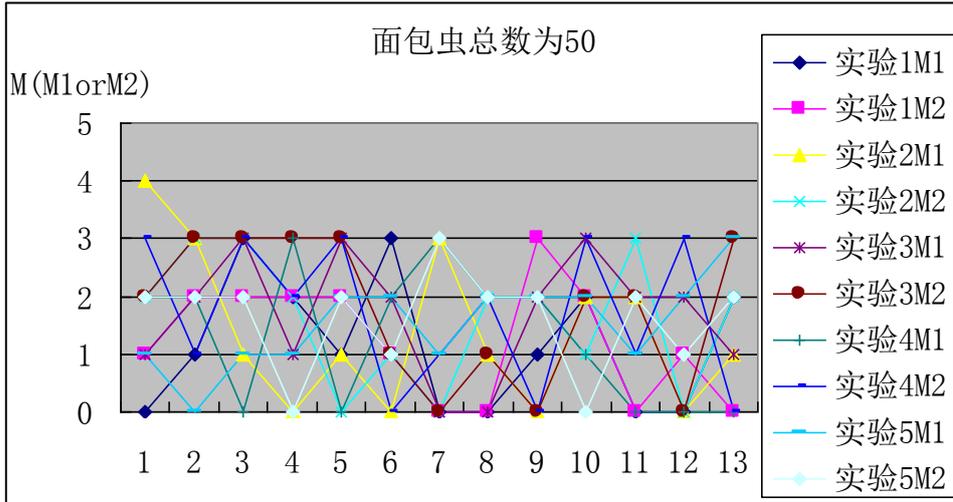


图22 面包虫总数为50的5次重复实验结果

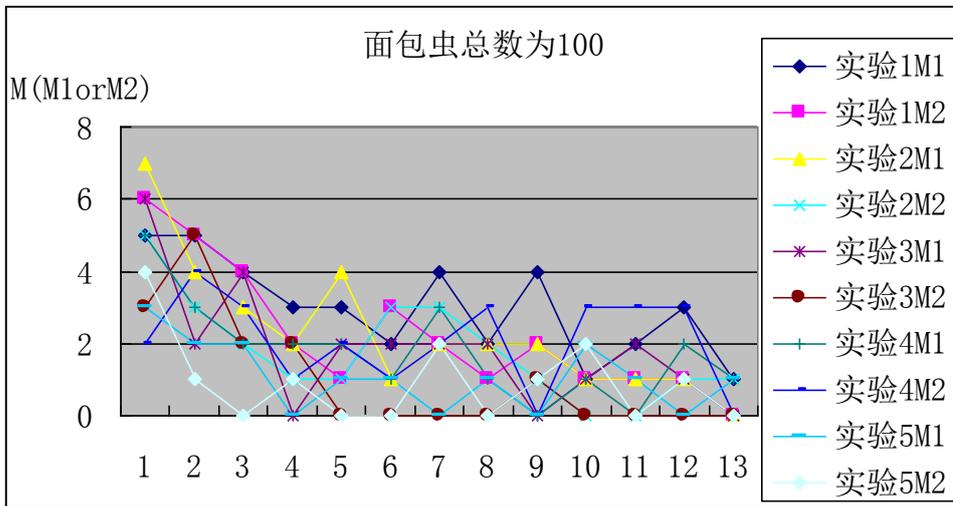


图 23 面包虫总数为 100 的 5 次重复实验结果

图 21-23 分别表示面包虫总数为 20、50、100 时的 5 次实验中 M(M1、M2) 的值。

**实验结果分析:**

下面 3 个表 (表 5-7) 分别是对图 21-23 中 M(M1、M2) 值的描述性统计。

描述统计量

	样本容量	极小值	极大值	均值	标准差
实验1M1	13	.00	2.00	.6923	.75107
实验1M2	13	.00	2.00	.3077	.63043
实验2M1	13	.00	2.00	.8462	.80064
实验2M2	13	.00	1.00	.2308	.43853
实验3M1	13	.00	2.00	.8462	.68874
实验3M2	13	.00	1.00	.2308	.43853
实验4M1	13	.00	2.00	.8462	.68874
实验4M2	13	.00	2.00	.4615	.66023
实验5M1	13	.00	2.00	1.0000	.70711

实验5M2	13	.00	2.00	.1538	.55470
有效的样本数量 (列表状态)	13				

表5 面包虫总数为20时，M1、M2值的描述性统计表

描述统计量					
	样本容量	极小值	极大值	均值	标准差
实验1M1	13	.00	3.00	1.1538	1.14354
实验1M2	13	.00	3.00	1.2308	1.01274
实验2M1	13	.00	4.00	1.3846	1.32530
实验2M2	13	.00	3.00	1.6154	1.12090
实验3M1	13	.00	3.00	1.6923	1.03155
实验3M2	13	.00	3.00	1.7692	1.23517
实验4M1	13	.00	3.00	1.3077	1.18213
实验4M2	13	.00	3.00	1.6923	1.25064
实验5M1	13	.00	3.00	1.5385	.77625
实验5M2	13	.00	3.00	1.6154	.86972
有效的样本数量 (列表状态)	13				

表6 面包虫总数为50时，M1、M2值的描述性统计表

描述统计量					
	样本容量	极小值	极大值	均值	标准差
实验1M1	13	1.00	5.00	3.0000	1.35401
实验1M2	13	.00	6.00	2.2308	1.78670
实验2M1	13	.00	7.00	2.3077	1.84321
实验2M2	13	.00	5.00	1.7692	1.42325
实验3M1	13	.00	6.00	1.8462	1.67562
实验3M2	13	.00	5.00	1.0000	1.58114
实验4M1	13	.00	5.00	1.7692	1.36344
实验4M2	13	.00	4.00	2.0769	1.25576
实验5M1	13	.00	3.00	1.0769	.95407
实验5M2	13	.00	4.00	.9231	1.18754
有效的样本数量 (列表状态)	13				

表7 面包虫总数为100时，M1、M2值的描述性统计表

通过对表5-7的极大值的比较可以得出，随着面包虫总数由20增加到100，移动时可能会聚集在一起的最大数量也增加。

下表（表8）是对表5-7中均值的描述性分析。

描述		统计量	标准误
均值 (N=20)	均值	.56155000	.100659594
	均值的 95% 置信区间		
	下限	.33384218	
	上限	.78925782	
	5% 修整均值	.55984444	
	中值	.57690000	

	方差		.101	
	标准差		.318313585	
	极小值		.153800	
	极大值		1.000000	
	范围		.846200	
	四分位距		.615400	
	偏度		-.008	.687
	峰度		-1.942	1.334
均值 (N=50)	均值		1.50000000	.068081921
	均值的 95% 置信区间	下限	1.34598799	
		上限	1.65401201	
	5% 修整均值		1.50427778	
	中值		1.57695000	
	方差		.046	
	标准差		.215293939	
	极小值		1.153800	
	极大值		1.769200	
	范围		.615400	
	四分位距		.403825	
	偏度		-.456	.687
	峰度		-1.342	1.334
均值 (N=100)	均值		1.80000000	.208056629
	均值的 95% 置信区间	下限	1.32934321	
		上限	2.27065679	
	5% 修整均值		1.78205000	
	中值		1.80770000	
	方差		.433	
	标准差		.657932830	
	极小值		.923100	
	极大值		3.000000	
	范围		2.076900	
	四分位距		1.192350	
	偏度		.193	.687
	峰度		-.315	1.334

表8 均值的描述性分析

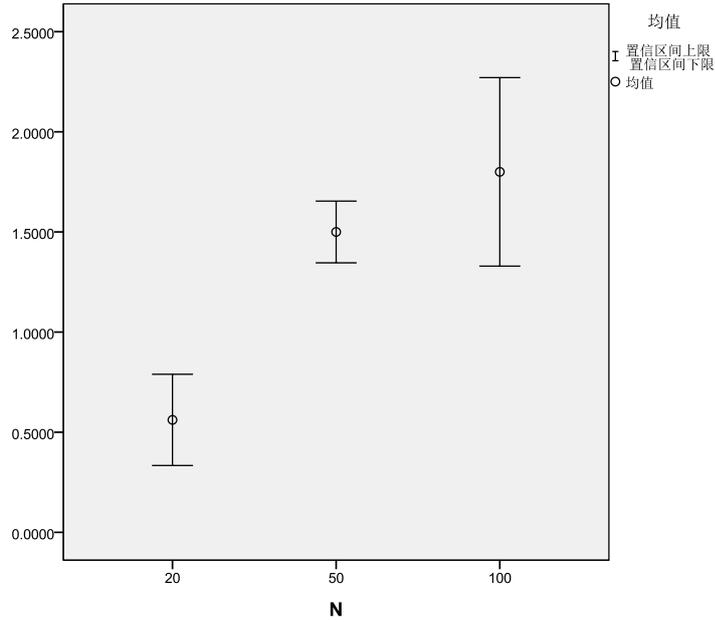


图24 N-M(M1、M2)的高低图

图 24 是面包虫总数 N 分别为 20、50、100 时 M(M1、M2) 值的置信上下限和均值的高低图。可以看出，随着面包虫总数从 20 增加到 100，他们同时在区域 A 和区域 B 间移动的平均数量增加。

把图 24 中的均值作线性回归如下：

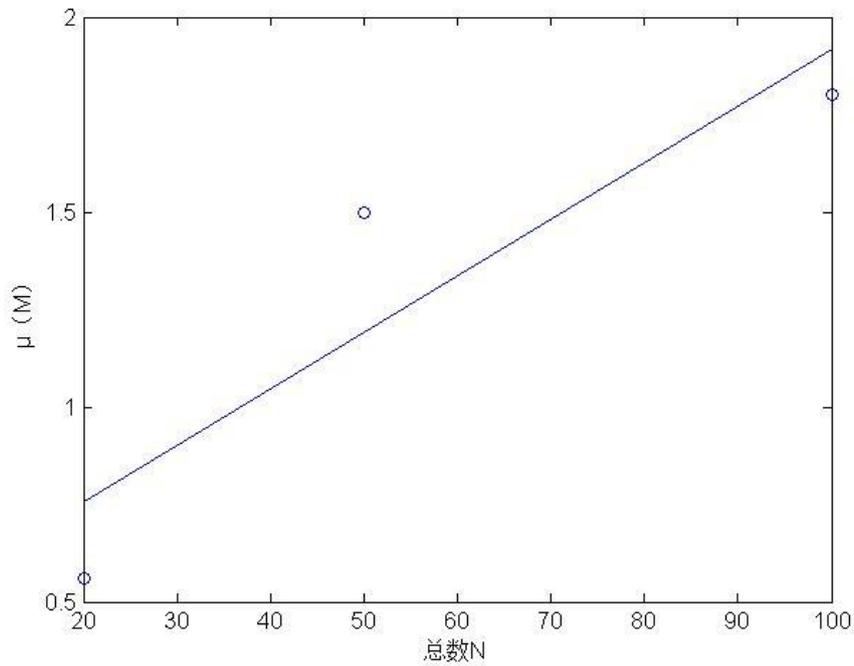


图 25 N-M(M1、M2)的线性回归

回归方程为  $\mu(M) = 0.0145 * N + 0.4648$ , 拟合优度  $R^2 = 0.8242$ 。

从上图的线性回归可以看出，面包虫的总数和同时移动的数量均值和方差的值有都正线性相关，即随着面包虫总数的增加，M(M1、M2) 趋向于增加。

**实验结论：**

在一定范围内，随着面包虫总数的增加，他们的群聚行为增强，一起移动的数量增多。

### **实验反思和建议：**

最好能够增加实验组数（按面包虫总数分组），来细致分析面包虫总数对群聚效果的影响。还可以增加每组实验的重复次数，减小误差。

另外，实验记录时，用录影的方式比拍照更省力也更少误差。

### **总结**

在一定范围内，面包虫的总数  $N$  和群聚性成正相关， $N$  越大，群聚性越强，使得面包虫易聚集不易扩散，移动时也更容易成群结队。

### **结束语**

我们所进行的实验得到的实验数据分析结果基本能够印证我们最初提出的实验假设。

社会性昆虫和非社会性昆虫在集体行为上表现出了很大的差异。我们重点研究了面包虫这种社会性昆虫的一些具体行为表现，从而推算出其内部交互性的强弱程度。不同数量的样本的实验结果也表现出较大的差异。

推广到人类经济社会，我们在社会交往的过程中，人群间也存在着类似的作用，影响到人类的决策、交往、群聚等种种行为。