

# 叉尾斗鱼一对相对性状单因子杂交试验\*

伍惠生 张德宁\*\* 马振波 甘诗麟 余 仪

(中国科学院水生生物研究所)

早在一百多年前,孟德尔在研究豌豆杂交时,发现了遗传的一些规律。以后,许多学者在其他植物、动物上的研究,也证实了孟德尔的遗传分离定律<sup>[1]</sup>。在鱼类方面,古德里奇和史密斯(Goodrich and Smith, 1937)<sup>[4]</sup>用叉尾斗鱼作了初步遗传试验,也曾得到与我们相类似的结果,但每组仅有二批数据,似嫌不够。本文同样以我国常见的叉尾斗鱼为材料,先培养出纯系的野生型及白化型,然后二纯系进行杂交,以验证分离规律。

## 一、材料和方法

试验用的叉尾斗鱼 [*Macropodus opercularis* (L.)] 购自武汉友好商场(据说来自上海市花鸟商店),经过我们在实验室内几代培育和繁殖,分别得到野生型和白化型的二个纯系亲本。

野生型和白化型的叉尾斗鱼在外形上是很容易区别的:野生型的体色一般是黑灰色,眼睛是黑色;白化型一般是乳白带粉红色,眼睛是血红色。白化型的动物是因遗传突变缺少了酪氨酸酶,因而不能形成黑色素所致,实际上它是一种遗传病<sup>[2,5]</sup>。白化叉尾斗鱼也表现了病态<sup>[5]</sup>,视力差,捕食时动作迟钝,笨拙,对不良的外界环境的抵抗力差。在同一缸饲养的野生型鱼苗往往生长较快,成活率较高,相反,白化型鱼苗生长较慢,成活率很低。因此白化型鱼苗必须单独精心饲养。但野生型和白化型的雌雄亲鱼,在繁殖期放在一个水缸中,可以正常自然杂交、繁殖。当亲鱼产卵结束后,为了避免鱼卵被亲鱼吞食,应立即将卵捞出专缸孵化。鱼苗出膜后,就能根据体色很容易地区别两类不同的个体。

表1 叉尾斗鱼野生型个体互交在后代中的表现

编号	产卵日期	亲本组合	观察数	子代表现型		备注
				野生型	白化型	
1	62年9月5日	62-4♀×61-5♂	604	604	0	子一代(F <sub>1</sub> )
2	9月8日	62-2♀×61-5♂	452	452	0	子一代(F <sub>1</sub> )
3	9月15日	62-3♀×62-3♂	721	721	0	子二代(F <sub>2</sub> )
4	9月22日	62-3♀×62-3♂	1126	1126	0	子二代(F <sub>2</sub> )
5	9月24日	62-4♀×61-5♂	709	709	0	子一代(F <sub>1</sub> )
6	10月3日	62-4♀×61-5♂	693	693	0	子一代(F <sub>1</sub> )
7	63年9月15日	63-1♀×63-1♂	934	934	0	子三代(F <sub>3</sub> )
8	10月25日	63-4♀×63-2♂	826	826	0	子三代(F <sub>3</sub> )
合计			6065	6065	0	

\* 承朱宁生先生热心指导,本文经刘祖洞、刘建康两位教授审阅,提出宝贵意见,华元瑜同志协助计算部分数据,谨此致谢。

\*\* 已调往上海市金山石油化工总厂环保处工作。

## 二、实验结果

### (一) 野生型和白化型的纯系自交繁殖

以野生型雌雄个体交配,在1962年9月至1963年10月先后经过8次试验,观察所得三个世代共计6065尾鱼苗全部是野生型(表1),

因此我们可确认这是野生型的纯系。

另外用白化型斗鱼个体在1962年8月至1963年11月之间,互相交配,先后进行5次试验,共计两个世代,得到3366尾鱼苗进行观察,全部为白化型(表2)。因此我们也认为是白化型纯系。

表2 叉尾斗鱼白化型个体互交在后代中的表现

编号	产卵日期	亲本组合	子代观察数	子代表现型		备注
				野生型	白化型	
1	62年8月23日	62-2♀×62-1♂	794	0	794	子一代(F <sub>1</sub> )
2	9月10日	62-2♀×62-1♂	226	0	226	子一代(F <sub>1</sub> )
3	9月19日	62-2♀×62-1♂	548	0	548	子一代(F <sub>1</sub> )
4	63年9月15日	63-1♀×63-1♂	1124	0	1124	子二代(F <sub>2</sub> )
5	11月10日	63-1♀×63-1♂	674	0	674	子二代(F <sub>2</sub> )
合计			3366	0	3366	

下面就用已知野生型纯系斗鱼和白化型纯系斗鱼作亲本,分别作不同组合的杂交实验以探索白色性状在后代遗传中的表现。

### (二) 纯野生型与纯白化型杂交试验

用野生型黑体色个体与白化型的个体进行了正交和反交,子一代全数表现为野生型的黑体色鱼苗(表3)。结果表明黑体色性状对白化性状是显性。因此,根据遗传学的常例,可以用符号AA代表野生型,用aa代表白化型(图1)。

表3 叉尾斗鱼野生型与白化型交配所得子一代(F<sub>1</sub>)

编号	亲本表现型		子一代总数(尾)	子一代表现型		备注
	♀	♂		野生型数(尾)	白化型数(尾)	
1	a62-1♀ (白化)	61-4♂ (黑色)	509	509	0	正交
2	62-1♀ (黑色)	a62-2♂ (白化)	756	756	0	反交
合计			1265	1265	0	

根据遗传学理论,纯野生型的亲本(AA),只产生A型配子,白化型的亲本(aa)只产生a型配子。野生型的与白化型亲本交配,所得子一代(F<sub>1</sub>)都是杂型合子(Aa)。由于黑色A因子

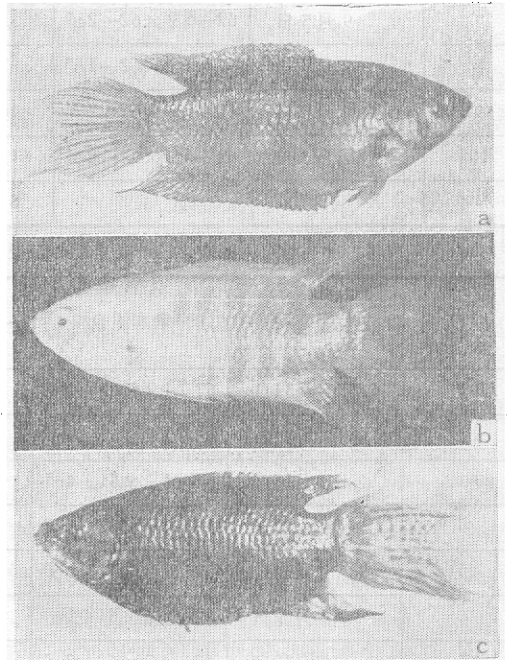


图1 叉尾斗鱼(较原大缩小1/3)的照片

#### a. 野生型斗鱼

外形(表现型): 黑体色,黑眼。遗传型: AA(纯型合子)。后代: 都是野生型,无分离。

#### b. 白化型斗鱼

外形(表现型): 白体色,红眼。遗传型: aa(纯型合子)。后代: 都是白化型,无分离。

#### c. 野生型与白化型杂交所生的杂种斗鱼

外形(表现型): 野生型,黑体色,黑眼。遗传型: Aa(杂型合子)。后代: 有白化型分离出来。

对白化 a 因子为显性, 所以子一代全数表现为黑体色的。实验结果和理论预期结果是完全符合的。

为了进一步验证子一代( $F_1$ )的遗传型, 我们将子一代的个体培育成熟后再进行了互交和回交试验。

### (三) 杂合型之间的互交试验

在 1962 年 5 月至 10 月之间将表现为黑体色的杂合型(Aa)个体进行互相交配, 先后十次, 每次所得子二代( $F_2$ )鱼苗, 共计 8451 尾。从 433 尾—1571 尾每次都分离出黑色野生型的和白化型的两类个体, 其比例按照理论应该为 3:1, 但每次总有微小的偏差(表 4)。经 t 分布检验, 由于  $t < t_2$  即  $0.38718 < 3.250$ , 在可信度

表 4 叉尾斗鱼野生型(AA)与白化型(aa)杂交子一代(Aa)互交: 观察子二代体色比率

编号	产卵日期	亲本组合	鱼苗观察数	野生型	白化型	比率	比值( $x_i$ )	$(x_i - \bar{x})^2$
1	62年5月29日	60-1♀×61-1♂	1093	820	273	3:1	0.3329	0.00000016
2	6月12日	60-2♀×61-2♂	582	413	169	2.84:1.16	0.4092	0.0057618
3	7月1日	60-2♀×61-2♂	433	339	94	3.14:0.86	0.2773	0.003136
4	7月14日	61-1♀×61-2♂	550	399	151	2.90:1.10	0.3784	0.002034
5	7月26日	60-1♀×61-1♂	687	516	171	3:1	0.3314	0.00000361
6	8月25日	62-1♀×62-2♂	1199	884	315	2.94:1.06	0.3563	0.000529
7	9月5日	62-5♀×62-2♂	555	419	136	3.01:0.99	0.3246	0.00007569
8	9月5日	61-1♀×62-1♂	726	560	166	3.09:0.91	0.2964	0.0013616
9	9月16日	62-5♀×62-2♂	1055	797	258	3.02:0.98	0.3237	0.00009216
10	10月5日	62-6♀×62-8♂	1571	1164	407	2.96:1.04	0.3497	0.00026896
合 计			8451	6311	2140	2.93:1.01		

表 5 叉尾斗鱼杂合型(Aa)与野生型(AA)亲本回交试验

编号	产卵日期	亲本组合	亲本遗传型		子代观察数(尾)	子代表现型	
			♀	♂		野生型	白化型
1	62年5月31日	61-1♀×61-4♂	Aa	AA	525	525	0
2	7月31日	60-1♀×61-4♂	Aa	AA	397	397	0
3	8月18日	62-1♀×61-4♂	Aa	AA	119	119	0
4	9月1日	62-2♀×62-2♂	AA	Aa	690	690	0
5	9月3日	61-1♀×61-5♂	Aa	AA	908	908	0
6	9月5日	62-3♀×61-1♂	AA	Aa	462	462	0
7	9月10日	62-4♀×62-2♂	AA	Aa	175	175	0
8	9月17日	62-5♀×62-6♂	Aa	AA	468	468	0
9	9月20日	61-1♀×62-5♂	Aa	AA	684	684	0
10	9月24日	61-1♀×62-3♂	Aa	AA	604	604	0
11	9月26日	62-4♀×62-2♂	AA	Aa	206	206	0
12	9月30日	61-1♀×62-5♂	Aa	AA	889	889	0
合 计					6127	6127	0

$\alpha = 0.01$  时, 3:1 假使为真, 结果表明这两类体色分离比例与一对遗传因子假定数 3:1 是相符合的。

#### (四) 杂合型与纯系亲本回交试验

分别用杂合型 (Aa) 的个体与黑色野生型 (AA) 亲本个体以及白化型 (aa) 亲本回交, 结果前者先后 12 次试验, 共得到 6127 尾子代, 全

数为野生型黑体色的鱼苗(表5)。而后者就是与白化型亲本回交的, 所产生的子代鱼苗按照理论应该是一半为白化型的, 一半为野生型的, 进行了四次试验, 不论正交反交, 同样有微小的偏差(表 6)。经 t 分布检验, 由于  $t < t_2$  即  $1.12449 < 5.841$ , 在可信度  $\alpha = 0.01$  时, 1:1 假使为真, 试验结果几乎等于 1:1。

表 6 叉尾斗鱼杂合型(Aa)与白化型(aa)亲本回交试验

编号	产卵日期	亲本组合	观察鱼苗数	野生型	白化型	比率	比值( $x_i$ )	$(X_i - \bar{x})^2$	备注
1	62年10月4日	62-2♀ × a62-1♂	410	212	198	1.077:1	0.93396	0.00436128	正交
2	63年5月27日	62-1♀ × a62-1♂	230	125	105	1.190:1	0.84000	0.0256000	正交
3	63年6月5日	a62-1♀ × 62-1♂	970	486	484	1.004:1	0.99588	0.00001697	反交
4	64年6月4日	a62-3♀ × 62-1♂	764	381	383	1:1.008	1.00525	0.00002756	反交
合 计			2374	1204	1170	1:1.028			

根据孟德尔遗传学说的分离定律, 纯野生型 (AA) 与白化型 (aa) 交配, 所得后代遗传型为杂型合子 Aa。当这种个体成熟后, 产生 A 和 a 两类配子, 我们用它与纯野生型 (AA) 亲本回交, 因亲本只产生 A 配子, 因而得到的子代遗传型有两种: 即 Aa 和 AA。由于遗传因子 A 为显性, 故这两种遗传型的个体全都表现为黑体色个体。

而与白化型亲本回交的, 由于白化亲本只产生 a 配子, 因而得到两类遗传型的后代: Aa 和 aa。aa 为纯合子型表现白化体色, 而杂合型 Aa 的个体表现为黑体色, 白化与黑体色个体的比例从理论预测应为 1:1, 我们的试验结果与预期结果完全是一致的。

### 三、讨论和小结

孟德尔很早就提出了著名的遗传理论: 遗传因子的分离定律和自由组合定律。古德里奇和史密斯<sup>[4]</sup>用叉尾斗鱼进行试验, 得到 3:1 和 1:1 各二个试验结果, 我们认为数据不够充足, 也没有说明是否纯系亲本。我们仍用叉尾斗鱼为材料, 先在实验室内进行多代繁殖和培育, 分别得到野生型和白化型的二个纯系亲本再进行杂交试验, 得到大量数据, 应用生物统计学方法

来处理, 所得结果完全符合孟德尔理论。我们的试验目的, 不仅是验证前人的假说和理论, 而是结合鱼类的遗传育种工作进行, 现仅就试验的结果与在鲤鱼育种工作中的一些体会进行讨论和小结:

(一) 试验证明叉尾斗鱼的体色是由一对遗传因子所控制的, 黑体色因子 (A) 对白化因子 (a) 是显性。

在我们作的鲤鱼品种间杂交工作中, 也发现了一些性状由一些相对的因子所控制, 它们也有显性隐性的对立关系。例如兴国红鲤鱼的红体色因子对普通鲤鱼的青灰色遗传因子是隐性, 而在育种实践上, 由于红鲤有含脂量高和起水率高的特点, 红体色就能作为一种选种的指示性状, 通过不断的选育提纯, 得到具有高含脂量、高起水率的优良鲤鱼品种。

(二) 试验表明叉尾斗鱼隐性遗传因子 (a) 在杂种第一代不能表现, 但白化的遗传基础并不消失, 而是存在于杂合体中, 通过它们的互交, 在子二代中由于分离重组, 出现具纯合的白化遗传合子 (aa) 的个体, 就表现出白化性状。

因此, 在鱼类的育种实践上, 需要建立起遗传型和表现型的两种概念。我们不仅应该注意外观上的优良性状, 而且也必须注意寻找可能

存在的隱性优良遗传因子，制造纯系以获得新的品种。

(三) 试验表明叉尾斗鱼的黑体色(A)与白化(a)的杂合型个体(Aa)互交，其子代是按3:1的比率有规律分化出黑体色个体和白化个体鱼苗的。

在鲤鱼杂交育种工作中，也发现分离，使杂种子一代的遗传性状不能真实地遗传下去。但是当我们了解了遗传学理论，掌握了遗传规律，就可以利用杂种第一代出现的杂种优势应用到生产上。水生所等<sup>[3]</sup>已利用红鲤和镜鲤杂交得到生长快的杂种，红鲤和野鲤杂交得到高脂量的杂种。而又利用红鲤和镜鲤的杂种子一代再进行交配，在后代中就分离出多种遗传型的个体，在其中就有一种红体色的镜鲤是重组形成的，不仅体色、鳞式特殊，生长也快，可作为淡水养殖的一个新品种。

综上所述，孟德尔的遗传理论是有其普遍客观性的，对生产实践有一定的指导意义。只要我们很好地掌握它，运用它，是能为我国的社会主义建设服务，为我国动物遗传育种工作作出贡献的。

## 参 考 文 献

- [1] 陈 楨 1959 金鱼的家化与变异 科学出版社。
- [2] 谈家楨等 1963 基因和遗传科学普及出版社。
- [3] 湖北省水生生物所 鱼类遗传育种研究室育种组 鲤鱼研究小组 1975 散鳞镜鲤与兴国红鲤、龙州镜鲤的杂种优势以及鳞被、体色的遗传 水生生物学集刊 5(4): 439—448。
- [4] Goodrich, H. B. & M. A. Smith 1937 Genetics and histology of the colour pattern in the normal and albino paradise fish, *Macropodus opercularis* L. Biol. Bull. 73(4): 527。
- [5] Haskins, C. P. & E. P. Haskins 1948 Albinism, a semilethal autosomal mutation in *Lebistes reticulatus*. Heredity 2: 251。