

陈桢： 从金鱼杂交实验 走出来的中国遗传学家

陈桢先生



撰文 杨紫格 吴志强

陈桢(1894—1957),中国著名的遗传学家、动物学家、教育家,在金鱼的变异及遗传研究上倾注了数十年的心血,是世界上首位证明鱼类符合孟德尔遗传定律的学者,也是用金鱼证实“不完全显性遗传”的第一人。陈桢的事迹及其在科学上的成就是今天发扬科学精神、重视科学教学的良好素材,这给当下的教育、科研和科普都带来新时代的新启示。



留学时期的陈桢

生平简介

陈桢,字席三,出生于江苏邗江县。

宝剑锋从磨砺出,梅花香自苦寒来。陈桢年幼时,家境贫寒,只断续地读了几年书,后来依靠筹措的学费才得以进入南京汇文学院读书。人穷志不穷,陈桢废寝忘食、勤奋自学,以初、复试第一的成绩进入上海的中国公学院大学部预科学习,而后又考入金陵大学农林科。在这几年时间里,他系统地学习了先进的科学知识,成为农林科首届毕业生。毕业之后,陈桢并没有急着寻找一份安逸的工作,而是留校担任育种学助教。在进一步研学的过程中,他深切体会到,缺乏遗传学的理论指导,育种研究很难有突破性的进展。正是因为他的好学与勤思,陈桢走上了遗传学研究的道路,开启了不平凡的人生。

1919年,陈桢考取了清华学校留美官费生后赴美留学。在有限的三年时间里,陈桢在国际著名的细胞学家威尔逊(E. B. Wilson)和遗传学大师摩尔根(T. H. Morgan)这两位名师的指导下,扎实地掌握了细胞学与遗传学理论,钻研

出杂交实验、统计分析与细胞学相结合的研究方法,这为他日后担当起中国遗传学研究和教育重任奠定了基础。留学在外的陈桢每天都在与时间赛跑,以惊人的毅力和对科学的满腔热情,仅用两年就提前学完了康奈尔大学预科和哥伦比亚大学研究生院动物学系的全部课程。他用挤出来的留学时间,跟随摩尔根潜心钻研,继续进修遗传学理论和实验技术,成为第一位在摩尔根的果蝇实验室里学习和研究的中国留学生。

放眼四海,归心报国。如果用勤奋一词来形容青少年时期的陈桢,那么奉献一词可以用来描写归国后的陈桢。一回到祖国的怀抱,他便义不容辞地担当起传播现代遗传学理论与知识的重任。一方面,他在东南大学、清华大学等高等院校担任生物学教授,传授先进科学知识,并根据海外所学与自己的经验累积改编生物学教材;另一方面,他在《科学》等杂志上发表文章,向国人介绍孟德尔及其遗传学说,呼吁国内科学家重视现代遗传学理论,肯定了现代遗传学在国内育种研究及杂交实验等方面的理论及实际应用价值。与此同时,陈桢还致力于遗传学的研究,并做出了重要贡献。他的最显著成就是进行了金鱼杂交实验,这是世界上首次证明孟德尔遗传定律适用于鱼类的实验,对国际遗传学界产生了巨大影响。此外,陈桢在其他领域也做出了许多贡献。例如,他开创了我国动物行为学这一全新的研究领域。再比如,他结合生物学研究与生物学史研究,运用可靠的历史资料来解决相关的生物学问题,并形成了独特的研究风格,成为当之无愧的优秀学者。

除了他出色的学术成就,国人对陈桢的尊敬还源于他的爱国之情。在高校教学期间,陈桢虽然讲授的是西方先进的科学知识,但是他并没有照搬外国的讲义资料,而是运用中国的材料进行教学。例如,他用中国的环毛蚓作为代表来讲解环节动物,用金鱼的起源与家化来阐述进化论。当国家面临危难、生死存亡之际,他毅然决然地坚持进行遗传学研究,不畏艰

辛。后来,他拒绝了美国哥伦比亚大学的聘请,选择留在国内为国家振兴出力。不幸的是,陈桢患上了甲状腺癌,在病魔缠绕之际,他以顽强的意志忍受着疼痛,亲自组织重建金鱼养殖场,重建遗传学研究。1957年,在中国科学院动物研究所第一次学术会议后,他针对动物遗传学实验研究提出了4个既重理论探索研究又结合生产实际的方向性课题。同年11月,陈桢因癌症复发在北京与世长辞。陈桢的一生都在追求科学与真理,为祖国的科学事业贡献了无尽的心血。

陈桢对金鱼遗传变异的研究

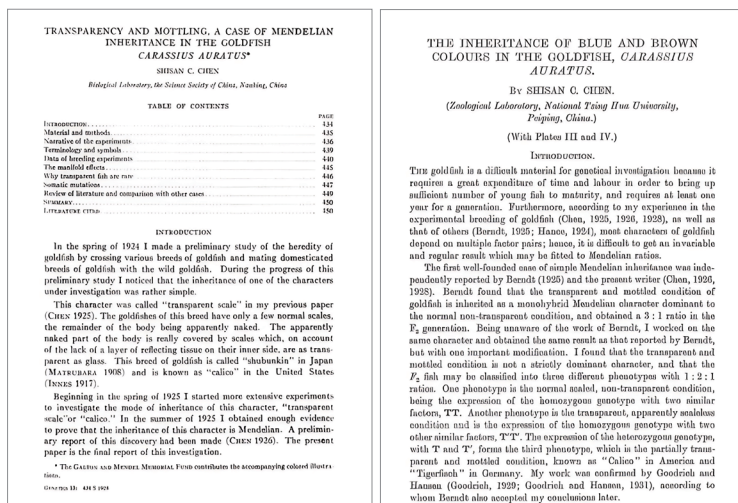
归国后,师从摩尔根的陈桢便投身于遗传学研究。他首先考虑利用国内独特的生物种类进行实验研究。经过对多种生物性状特征的大



正常鱼、杂斑鱼、透明鱼

左：1928年的论文《透明和五花，金鱼中的第一例孟德尔式的遗传》原文首页

右：1934年的论文《金鱼的蓝色和棕色的遗传》原文首页



量筛选和比较之后，他决定用金鱼 (*Carassius auratus*) 作为遗传研究的对象。选择金鱼的原因是：国内金鱼品种繁多，其外部性状变异较为明显，易于观察区分；金鱼的产卵数较多，有利于统计学分析；金鱼属于体外受精，容易进行杂交和人工控制；金鱼的家化历史悠久，人工养殖技术成熟。

自1925年起，陈桢陆续发表了多篇关于金鱼的遗传与变异、起源与演化的重要研究论文。其中影响最大的有4篇：1925年发表的《金鱼外形的变异》论文，通过金鱼多个性状的变异事实，论证了金鱼起源于野生鲫鱼，并阐释了杂交和选择对鲫鱼演变成各个品种的金鱼所起到的重要作用；1954年在《动物学报》上发表的《金鱼家化史与品种形成的因素》论文重新研究了金鱼的变异历史，提出了“金鱼的家化和不同品种的形成是基因突变加上人工选择的结果”的重要观点；此外，在1928年和1934年，他在美国的 *Genetics* 杂志上发表了两篇论文，分别是《透明和五花，金鱼中的第一例孟德尔式的遗传》和《金鱼的蓝色和棕色的遗传》，这两篇论文证实金鱼符合孟德尔遗传定律，对国内外的鱼类遗传学研究产生了重大影响。

1930年，陈桢将《透明和五花，金鱼中的第一例孟德尔式的遗传》这篇论文的内容重新整理，写了一篇名为《金鱼的孟德尔遗传》的中文文献。文中详细介绍了陈桢所研究的金鱼种

类及其鳞片特征，并具体呈现了他在1924年至1927年期间进行的金鱼杂交实验过程和数据结果。此外，陈桢还在文中收录了他的实验思路和想法，并根据所发现的新现象提出了7条总结，极大地方便了国内读者理解他的实验研究过程、方法及结果。在这个4代金鱼的杂交实验中，陈桢发现了人们传统上所知的五花鱼具有杂合与纯合之分。因此，他将纯合的突变基因型 ($T'T'$) 决定透明鳞片性状的金鲫鱼称为透明鱼，而将杂合的基因型 (TT') 决定鳞片性状的金鲫鱼称为杂斑鱼，纯合的隐性基因型 (TT) 决定正常鳞片的鲫鱼则称为正常鱼。这是世界上首个用金鱼证实“不完全显性遗传”的实例，并且数据结果具体清晰，完全消除了一些学者对鱼类遗传是否符合孟德尔遗传定律的疑虑。

几年后，陈桢又进行了关于金鱼蓝色和棕色性状的杂交实验，并发表了另一篇具有非凡影响力的文章《金鱼的蓝色和棕色的遗传》。他通过在显微镜下观察鳞片性状来区分这两种鱼的颜色特征，并采用杂交和回交的实验方法，最终证明金鱼的蓝色是符合孟德尔遗传定律的单基因遗传，由一对纯合的隐性基因决定；金鱼的棕色是多基因遗传，由4对纯合的隐性基因决定，当这4对基因都处于纯合隐性状态时，金鱼就会产生棕色色块，而任何一个独立的显性基因的存在都会导致金鱼产生灰色、黑色或者其他非棕色的颜

金鲫鱼和蓝色金鱼及其鳞片的显微观察图

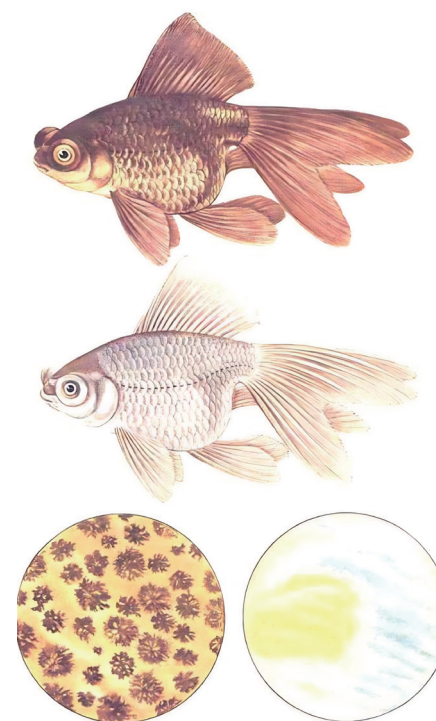


色；此外，蓝色金鱼和棕色金鱼的杂交会产生一种新的育种颜色，即蓝棕色。

陈桢选择金鱼为实验材料的历程

自1900年孟德尔定律再次被发现以来，许多生物学家开始使用果蝇、鸡、鼠等易于饲养、繁殖周期短的生物进行遗传杂交实验。由于鱼类的培养困难且繁殖周期较长，直到20世纪20年代，生物学家们才开始关注这一新的研究对象。陈桢之所以选择金鱼作为实验材料并非偶然，他首先考虑到鱼类是卵生生物，鱼卵透明且产于水中，可以通过放大镜直接观察鱼卵孵化成幼鱼的全过程。其次，在金鱼胚胎发育的各个阶段，可以采用多种手段进行刺激，观察胚胎的反应。此外，金鱼起源于中国，是一种广为人知的鱼类品种，世界各地都有分布。最后，鲫鱼（即野生的金鱼）是纯种，在遗传杂交实验中，必须使用纯种才能获得可靠的数据。1924年，陈桢开始进行金鱼的杂交实验。当时，研究鱼类遗传的科学家寥寥可数，关于鱼类遗传的信息

棕色金鱼和蓝棕色金鱼及其鳞片的显微观察图



也非常有限。陈桢注意到美国生物学家汉斯 (R. T. Hance) 发表的一篇关于金鱼遗传的论文中，有一张杂斑鱼的图片，但文中并未介绍这种鱼的遗传现象，陈桢对这种鱼的遗传现象产生了浓厚的兴趣。因此，在接下来的4年时间里，陈桢使用野生鲫鱼和杂斑鱼进行交配实验，共培育了4代鱼。在这4代鱼中，进行了83次交配实验，共获得17000余条幼鱼。

关键的24族杂斑鱼

陈桢的实验思路深受孟德尔和摩尔根影响。在前两年的实验中，陈桢通过杂斑鱼与野生鲫鱼（陈桢称之为正常鱼）的交配实验，证明了这种性状的遗传一定是由一对孟德尔因子决定的，并且杂斑性状表现为显性，而正常性状则表现为隐性。同时，通过数据分析推测，这三代的杂斑鱼都是杂合子。

第三年，陈桢希望获得纯种的杂斑鱼，因此他将第三代的杂斑鱼进行雌雄交配。大多数族交配产生的后代中，杂斑鱼与正常鱼的比例约为

3:1,但是特别的是,24族鱼产生的后代全是杂斑鱼。这个现象表明了什么?为什么24族中出现了全是杂斑鱼的情况?是因为子代数量不够而导致的实验偶然性吗?此外,纯种的杂斑鱼和杂种的杂斑鱼有何不同?陈桢心怀多个疑问,于是设计了第四年的实验,他从24族中选取了20条雌鱼与20条雄鱼分别和正常鱼进行交配。

实验结果发现,其中的22条杂斑鱼与正常鱼交配所得的后代全是杂斑鱼;而16条杂斑鱼与正常

上:正常鱼(野生金鲫鱼)
中:杂合杂斑鱼
下:透明鱼



鱼交配所得的后代中,杂斑鱼和正常鱼各占一半;另外的2条杂斑鱼和正常鱼交配未能产生后代。通过实验证实,这22条杂斑鱼为纯合种,而16条杂斑鱼为杂合种。陈桢对这38条鱼进行了仔细比较,观察发现,杂合杂斑鱼身上的鳞片大部分消失,只有少数的鳞片呈块状分布。鳞片上的黑色素细胞、黄色素细胞以及鳞片下的带有蓝色棱镜的反光组织在各个区域的鳞片上的比例各不相同,造成了鱼体表面呈现黑色和黄色块状斑点。而纯合杂斑鱼的全身几乎没有黑色素细胞、黄色素细胞和反光质,无须解剖即可直接观察到鱼内部器官。

根据这两种鱼在遗传和体表性状上的差别,陈桢将纯合的杂斑鱼重新命名为透明鱼。而在此之前,人们并未发现这两种鱼的差别,将它们统称为五花鱼。

金鱼的不完全显性和因子的复效

陈桢经过4年实验的数据显示了以下几个结论:透明鱼自交后代中全为透明鱼;正常鱼与透明鱼交配后代全为杂斑鱼;杂斑鱼雌雄正反交实验后代中,杂斑鱼与正常鱼比例为3:1;杂斑鱼与正常鱼交配后代中,杂斑鱼与正常鱼比例为1:1;杂斑鱼与透明鱼交配后代中,杂斑鱼与透明鱼比例为1:1。这些结论证明了这三种鱼的性状遗传遵循孟德尔的分离定律,但也存在与普通孟德尔遗传不同的特点。

首先,透明性状和正常性状没有显隐性之分,但在两种因子合并时,却产生了既非透明也非正常的杂斑性状。此外,这个性状永远是杂合子遗传的,杂斑鱼永远都不会是纯合的。当杂斑鱼雌雄彼此交配时,其后代中会出现四分之一的透明鱼、二分之一的杂斑鱼和四分之一的正常鱼。因此,该性状遗传是不完全显性的一个例子。

其次,该性状由一对因子控制,但影响因素并不限于一个。例如, T' 和 T' 因子合在一起,不仅导致金鱼的反光质消失,还使得黑色素细胞和黄色素细胞减少或消失。因此,陈桢认为这是“因子的复效”的一个很好实例。

陈桢科研精神的当代价值

陈桢,这位从金鱼杂交实验走出来的中国遗传学家,他的学习及科研经历是非常有价值的科学史资料,他的金鱼杂交实验是不完全显性一个很好的实例。虽然新出版的中学和高校教材中鲜有提及陈桢及其经典的金鱼杂交实验,但是这并不能磨灭陈桢科研精神在现代的价值。

教育工作者应该重视国内科学史的挖掘。陈桢教授的事迹并非个例,在中国有许多杰出的科学家,如“糖丸爷爷”顾方舟、中国现代遗传科学奠基人谈家桢、中国首位诺贝尔生理学或医学奖获得者屠呦呦等,他们不仅取得了卓越的科研成果,而且淡泊名利、心系祖国,为科研贡献了终身。学生在了解科学史的过程中,不仅可以学习知识,还能受到这些科学家科研精神和爱国思想的熏陶,有利于进行爱国主义和道德教育,并培养学生的文化自信。

陈桢的科研精神告诉我们,科学史资料可以作为拓展性教育资源,弥补教材的不足。以人教版高中生物学必修2《遗传与进化》第1章第1节“孟德尔的豌豆杂交实验(一)”为例,教材中关于“基因的显性和隐性关系”的解释只给出了完全显性的实例,即孟德尔对豌豆一对相对性状的杂交实验,缺乏对“不完全显性”“共显性”“镶嵌显性”等概念的补充。在生物界,显性现象普遍存在,学生对基因的显隐性关系只有单一认识会影响他们对孟德尔分离定律的理解。此时,教师可以适当拓展,使用科学史资源作为例子,既可以提高学生的学习热情,又有助于学生深入构建生物学概念。

陈桢的科研精神告诉我们,在科学史教育中,我们要摒弃“重结论,轻过程”的思维。教师对科学史资源的认识直接影响到这些学习资源的利用效果。科学史资源不仅是概念建构过程中的一个实例,更是培养学生科学思维和科学探究能力的一种教学策略。教师在开发和筛选科学史资源时,应该注重挖掘具有具体实验过程和实验数据的案例,有助于在后续教学过程中引导学生按照科学家的思路进行探究和解决问题。同时,

在编排过程中,教师还应该强调科学家的原始数据、文献和图片的使用,以提高学生分析数据和进行推理的能力。

在高等教育中,教师不仅应该开发更多的科学史内容,拓展课堂教学内容,深化学生对知识和概念的理解,还应该引导学生自己挖掘科学史资源,提高查找资料、阅读文献和自主学习的能力,增加他们对国内外研究成果的了解。

陈桢教授虽然已经离世,但是他的伟大成就与科研精神将永远留存。遗忘是最终的告别,生物学教育工作者应该重视前辈们的科研心血,与时俱进地加工和编排科学史,让科学史焕发新的活力,展现在新时代的青年面前。

作者简介

杨紫格,安徽师范大学生命科学学院硕士研究生。
吴志强,安徽省芜湖市教育科学研究所生物学教研员,安徽师范大学硕士生导师,安徽省植物学会常务理事,芜湖市生物学会秘书长。

(责编 桑新华)



陈桢先生