

# 雌罗非鱼为何变成伪雄鱼？他们给出答案

## 山农这支团队攻关十四年破解『温度诱导鱼类性逆转之谜』

作为世界第二大养殖鱼类，全球100多个国家和地区都养殖罗非鱼，中国的养殖产量更是一度达到世界养殖总量的70%，成为最大的出口国。由于雌性罗非鱼在很小的时候就开始繁殖小鱼，且繁殖期间雌鱼不长个头，因此养殖户更愿意养殖全雄罗非鱼。有意思的是，高温能诱导遗传型雌鱼变雄鱼，而且这个现象已发现了40多年，但长久以来没人能解释清温度怎么导致遗传型雌鱼变成了伪雄鱼，这也成为世界性难题。直到11月22日自然指数期刊《当代生物学》在线发表了山东农业大学季相山教授团队的文章，“温度诱导鱼类性逆转之谜”才被破解。11月24日下午，记者对季相山进行了专访，听他讲述重大研究突破实现背后的心路历程。

记者 巩悦悦

### 用10年找到钥匙 再用4年完成证明

在找到温度调控尼罗罗非鱼性别分化的“开关”之后，季相山团队的这一成果被广泛关注。当人们问及科研攻关所用时长的时候，季相山总是微微一笑说，“经过了6年攻关。”但熟悉季相山的人都清楚，为破解温度诱导鱼类性逆转的谜底，他已经花费了十几个年头。

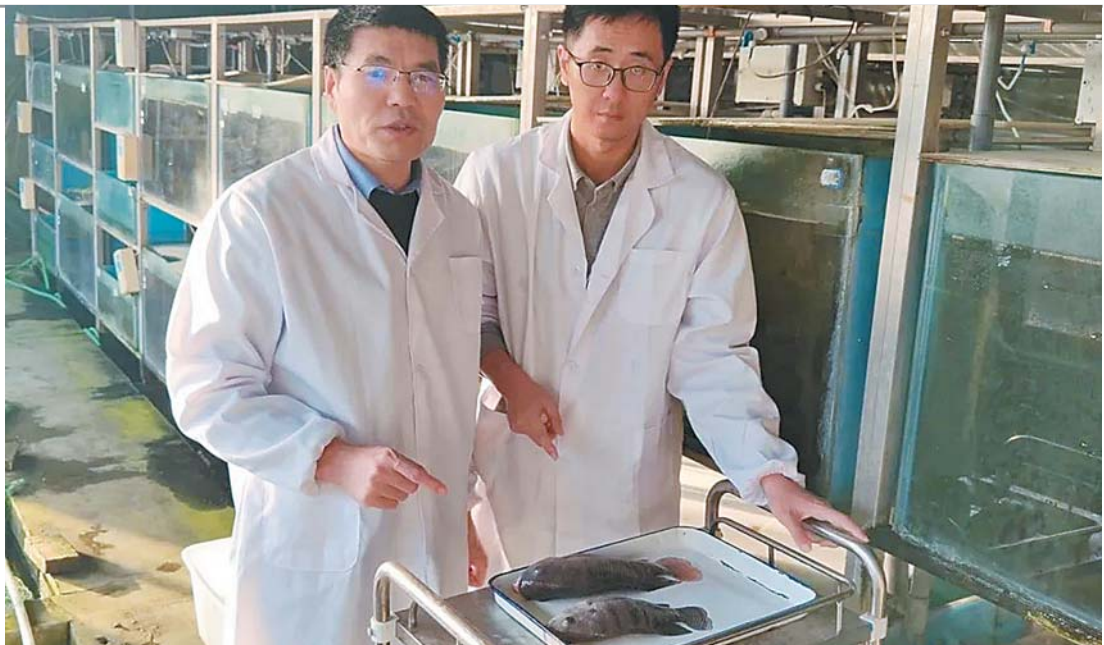
早在2009年做讲师时，季相山拿到省里的自然科学基金之后就开始了这个项目，当时检测发现很多基因表达都发生了变化，但一直找不到是哪个基因直接感受到了温度变化，这一度让他非常迷茫。在这种情况下，通过看大量相关资料，他大胆推测温度可能影响了某个表现遗传因子。而找到这个因子并发现了奇特现象则是在10年之后，“2019年上半年找到了这个因子，当时就知道已经找到了钥匙，剩下的就是怎么来证明它的问题了”。

山东农业大学师资博士后姚智磊是论文的第一作者，据他回忆，当时找出因子的时候很兴奋、很激动，因为这和新闻一样讲究时效性，我们是最早发现这个因子的，“我那时候还在读博，每年都是腊月二十八回家过春节，暑假一天都没有休息过。每天做实验很辛苦，但很有干劲儿，忙到后半夜是常事儿”。

团队里的博士生、硕士生很辛苦，作为导师的季相山更是忙到不可开交。

姚智磊透露，每天季老师都是第一个到办公室的。受季老师影响，他也要求自己每天七点半到实验室，“作为教授，季老师对待学生不是命令我们，而是以身相教，所以我们学生都很受鼓舞，很有干劲”。

对于罗非鱼，季相山一研究就是14个年头。最初他觉得温度能让雌鱼变雄鱼很神奇，而且作为世界上最大的养殖鱼，中国又是罗非鱼最大的出口国，因此季相山咬紧牙关一直在做相关研究。



季相山(左)和姚智磊在山农大实验室观察雌雄罗非鱼的大小和外形差异。受访者供图

### 比头发丝细的性腺 每次实验要取足足300个

“要想研究这个现象，必须得拿到材料。”季相山说的“材料”，其实是小鱼的性腺，“我们取的材料有温度处理的，也有温度不处理的，我们就是要看看温度处理与温度不处理的性腺之间的基因表达有何差异，因此取小鱼性腺是整个实验过程中的关键一环。”小鱼的性腺有多难取？

季相山介绍，要想让遗传型雌鱼变成伪雄鱼，只能在小鱼受精之后的9天到21天把性腺取出，这时未分化的性腺是最佳材料。但在这个过程中，小鱼只有三厘米长，而性腺仅有头发丝的1/10那么粗，在解剖镜下才能勉强看到。

“前期为了完成取样，我们还专门买了蠕动泵，想把小鱼的性腺给抽出来，但操作之后还是不行，我们又尝试了十几种镊子。”季相山透露，但凡镊子中间有一丁点儿缝隙，就无法夹起性腺，“后来还是选用最笨的方法，用搜寻到的一

把不锈钢镊子将性腺夹了出来”。

为了做一次实验，团队至少要获取300个性腺。“显微镜下的性腺就和头发丝一样，凸起的地方也就0.2毫米左右，在用镊子夹住性腺的时候，刚开始手也发抖，经常有取不出来的时候，现在能有90%的成功率了。”姚智磊透露，每次取样至少要持续两三天，取样完之后，整个人感觉腰酸背痛，眼部由于一直受解剖镜的强光刺激也花得厉害，取样结束后连手机都不想看了，“这确实是很艰辛的过程。”

样品采集，一直贯穿了整个研究过程。而在解决完取样难题后，季相山团队又得面对显微注射难题了。

“要想过表达或者把基因敲除掉，就必须要进行显微注射。敲除掉这个基因之后，如果经高温处理没有效果了，或者通过过表达证明其和高温处理的效果一样，才能说明它是在高温诱导下起关键性作用的基因。”季相山说，不可回避的是，罗非鱼的卵很硬，不足1毫米，因此首先要在显

微镜下找出受精卵的受精孔，再从受精孔将载体注射进去。

除去样品采集和显微注射，体外养鱼的难度也蛮大的。因为罗非鱼的卵孵化特性很奇特，雌鱼产卵之后，一般都会把卵含在嘴里，直到小鱼会游泳了才离开妈妈。如果要做显微注射操作，季相山团队就必须要把刚受精的卵从雌鱼嘴里取出或用人工受精的方法获取刚受精的卵，“雌鱼的口腔环境能分泌一些杀菌的物质，但拿出来之后就大大减小了成活率，我们后来是通过消毒剂解决的这个问题。”

在季相山看来，取样和显微注射是执行最难的，而从科学角度来说，如何发现基因则是更为关键的。

“温度如何导致遗传型雌鱼变成了伪雄鱼，40多年来一直没能找到答案。所以我们就想从机理上了解哪个基因感受到了温度，从而开启了雄性通路，让遗传型雌鱼变成了表型雄鱼。”季相山指出，这篇文章就是回答了为什么高温能导致遗传型雌鱼变成伪雄鱼。

据季相山透露，十几年来，一茬茬研究生接续参与，为成果的取得做出了很大贡献。其中，姚智磊本硕博都就读于山东农业大学，他在博士毕业的时候发表过几篇好文章，完全可以到别的单位工作，但为揭示这个现象，最终还是选择留在山东农业大学继续做博士后。

“作为科研人员，失败是我们的常态，我们大部分时间都在经历失败。”季相山说，“团队是30多岁为主的中青年团队，大家在实验室里都很努力，我和这些年轻人在一起很快快乐。”



季相山(左三)和团队成员讨论实验结果。受访者供图

编辑:马纯潇 美编:继红 组版:刘淼

## 糖心紫薯

自然培育 香甜软糯  
流油流蜜 无筋无丝

4.5斤  
¥29.9  
原价¥33

### 公告

#### 济南住房公积金中心 行政强制执行催告书

济中执催告字[2023]R154号

山东房车宝信息科技有限公司：  
你单位尚未履行本机关作出的《限期缴交决定书》(〔2023〕济中缴字R23号)。根据《中华人民共和国行政强制法》第五十四条的规定，本机关提请你单位自收到本催告书之日起十个工作日内，自觉履行下列义务：  
补缴欠缴马凯(身份证号:37088219\*\*\*\*3719)的住房公积金5736元(其中单位应缴2868元，单位为职工代缴2868元)。

如你单位对此有异议，根据《中华人民共和国行政强制法》第三十五条、第三十六条之规定，你单位可在收到本催告书之日起三日内提出陈述和申辩，逾期视为放弃陈述和申辩的权利。  
催告书送达十个工作日后，仍未履行义务的，本机关将依法申请人民法院强制执行。  
执法人员:任晓飞  
证件编号:15010016015  
执法人员:赵莹  
证件编号:15010016022  
联系电话:81959395

济南住房公积金中心  
2023年11月28日

### 关于国道206莱州段 K276+000-K276+400处 进行道路施工的通告

根据道路施工计划安排，我公司近期对国道G206莱州段K276+000-K276+400处进行路面设施施工，施工期间将采取“全封闭交通”的方式进行作业，封闭施工时间:2023年12月1日7:00至2023年12月1日19:00。

封闭交通施工期间，请过往车辆及行人按照现场导航标识进行绕行，敬请广大群众及过往司乘人员谅解与支持。  
特此通告。

莱州市公安局  
烟台市莱州公路建设养护中心  
山东高速广公路有限公司莱州分公司  
2023年11月28日