

---

# 20年！科学家揭秘唯一超级害虫如何炼成

作者：writer 来源：爱科学

本文原地址：<https://www.iikx.com/news/progress/13226.html>

*本文仅供学习交流之用，版权归原作者所有，请勿用于商业用途！*

20年！科学家揭秘唯一超级害虫如何炼成。



烟粉虱 中国农科院蔬菜所供图

‘以子之矛攻子之盾’是战国时期的一个典故，没想到在昆虫界居然真的存在这种现象。中国农业科学院蔬菜花卉研究所（以下简称蔬菜所）研究员张友军告诉《中国科学报》，他们经过20年研究，终于证明烟粉虱在进化过程中窃取了宿主植物的基因用以解毒。

这一项独门绝技使得烟粉虱能够取食600多种植物，为害全球农作物。它被世界粮农组织认定为世界第二大害虫，也是至今为止唯一被冠以超级害虫的农业害虫，被列为最危险的100种入侵物种。

## Resource

## Whitefly hijacks a plant detoxification gene that neutralizes plant toxins

Jixing Xia,<sup>1,7</sup> Zhaojiang Guo,<sup>1,7</sup> Zezhong Yang,<sup>1,7</sup> Haolin Han,<sup>1</sup> Shaoli Wang,<sup>1</sup> Haifeng Xu,<sup>1</sup> Xin Yang,<sup>1</sup> Fengshan Yang,<sup>2</sup> Qingjun Wu,<sup>1</sup> Wen Xie,<sup>1</sup> Xuguo Zhou,<sup>3</sup> Wannes Dermauw,<sup>4,5</sup> Ted C.J. Turlings,<sup>6,\*</sup> and Youjun Zhang<sup>1,8,\*</sup>

<sup>1</sup>Department of Plant Protection, Institute of Vegetables and Flowers, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China

<sup>2</sup>Key Laboratory of Molecular Biology of Heilongjiang Province, College of Life Sciences, Heilongjiang University, Harbin 150080, China

<sup>3</sup>Department of Entomology, University of Kentucky, Lexington, KY 40546-0091, USA

<sup>4</sup>Flanders Research Institute for Agriculture, Fisheries and Food (ILVO), Plant Sciences Unit, 8920 Merelbeke, Belgium

<sup>5</sup>Department of Plants and Crops, Faculty of Bioscience Engineering, Ghent University, Coupure Links 653, 9000 Ghent, Belgium

<sup>6</sup>Laboratory of Fundamental and Applied Research in Chemical Ecology, Institute of Biology, University of Neuchâtel, 2000 Neuchâtel, Switzerland

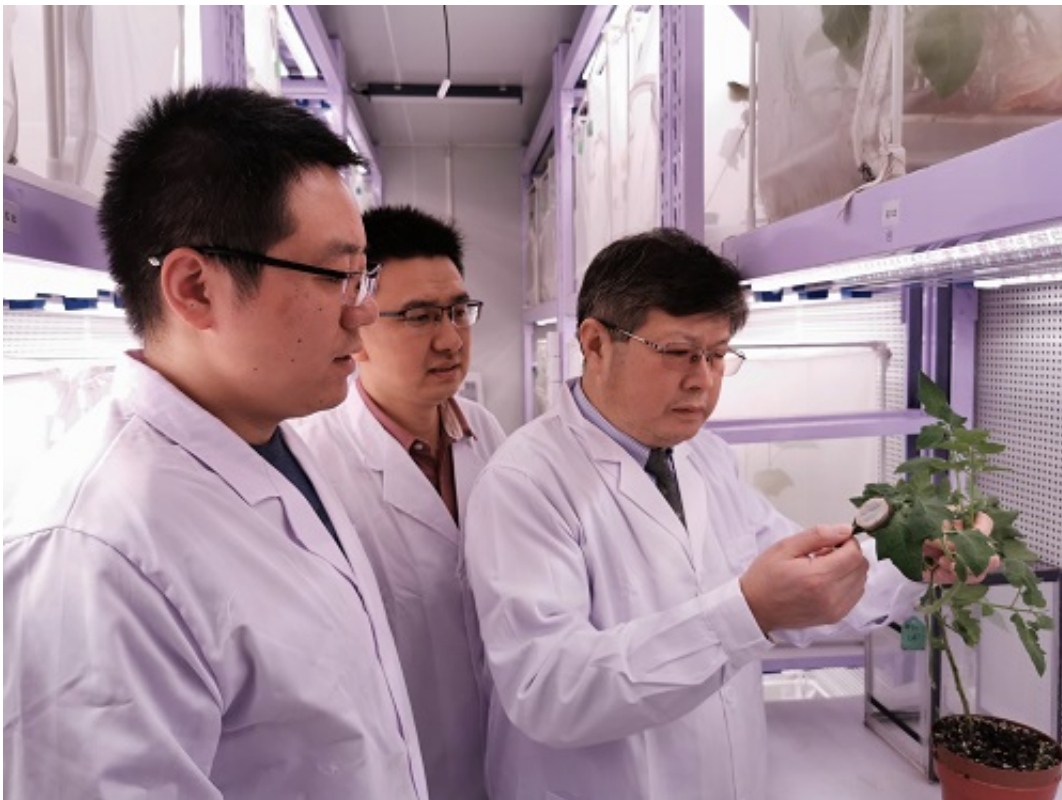
<sup>7</sup>These authors contributed equally

<sup>8</sup>Lead contact

\*Correspondence: [ted.turlings@unine.ch](mailto:ted.turlings@unine.ch) (T.C.J.T.), [zhangyoujun@caas.cn](mailto:zhangyoujun@caas.cn) (Y.Z.)

<https://doi.org/10.1016/j.cell.2021.02.014>

3月25日,《细胞》在线发表了这一中外科学家团队合作的成果。4月1日,《细胞》将以封面文章正式出版这一成果论文。这将为新一代靶标基因导向的烟粉虱田间精准绿色防控技术的研发提供全新思路。



---

张友军（右一）和夏吉星（右二）、郭兆将观察番茄上烟粉虱的实验情况  
中国农科院蔬菜所供图

## 食性之谜

1996年，北京的蔬菜大棚里发现了一种长得很像温室白粉虱的害虫。它能够取食后者吃不了的叶菜，甚至更多种类的农作物。这让科学家之前用来消灭温室白粉虱的策略完全不起作用了。

原来这就是入侵我国的害虫烟粉虱。

从那时候开始，昆虫的食性之谜就成为我心中一个挥之不去的问题。论文主要通讯作者张友军回忆说。

有的昆虫只取食一种植物，如褐飞虱只吃水稻，属于单食性；有的能吃一科内或近缘科的多种植物，如小菜蛾只取食十字花科蔬菜作物，叫做寡食性；还有的能吃多种不同科的植物，如烟粉虱等，叫做多食性昆虫。



褐飞虱 (*Nilaparvata lugens*)



小菜蛾 (*Plutella xylostella*)



烟粉虱 (*Bemisia tabaci*)

食性与害虫的种群暴发危害密切相关 中国农科院蔬菜所供图

为什么昆虫吃的植物不一样？多食性害虫适应能力强，如何防治？食性显然与害虫的种群暴发危害密切相关。1999年，张友军开始带领团队探索昆虫的食性之谜。

论文共同第一作者夏吉星告诉《中国科学报》，昆虫取食寄主植物后，会诱导寄主植物产生防御反应，并生成大量对昆虫而言有毒的次生代谢物，导致大部分昆虫死亡。

次生代谢产物是植物抵御害虫为害的重要武器，就好像盾牌保护着植物。而昆虫为了存活下去必须对抗植物的次生代谢物，这样才能随心所欲地取食。

烟粉虱能吃600多种植物，说明它能抵抗大多数次生代谢物。张友军认为，烟粉虱是一个重要而

---

关键的研究对象。



多食性是烟粉虱暴发成灾的主要原因 中国农科院蔬菜所供图

烟粉虱不仅通过刺吸寄主植物韧皮部汁液对其造成直接伤害，还能分泌蜜露诱发煤污病等植物真菌病害为害植物，更重要的是，烟粉虱能够传播300余种植物病毒，每年造成数十亿美元的经济损失。

2001年起，该团队将研究力量集中在了烟粉虱的寄主适应性及其暴发成灾的机制上。

通过对全国范围内260多个田间种群共6000余个样本的检测和种群间等位基因频率、分化系数和基因流的研究，他们阐明了烟粉虱在我国的入侵分布现状，入侵种群来源、扩散路径和入侵特点。通过生物学、生态学与分子生物学方法，他们明确了入侵烟粉虱种群扩散、爆发与其独特的生物学特性、对高温和变温更强的适应能力和更强的寄主适应性有关。

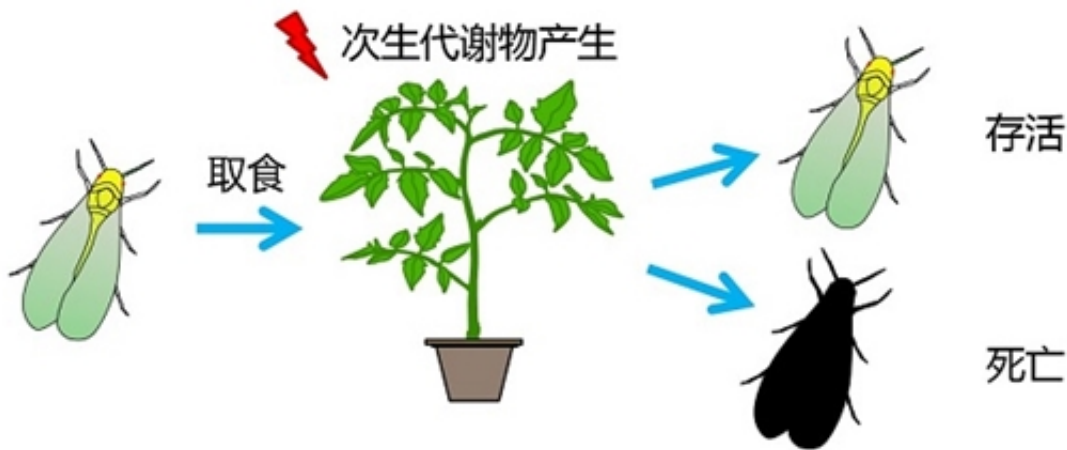
这些工作为我们后来解析烟粉虱对酚糖解毒的分子机理奠定了基础。张友军说。

窃取植物之矛

张友军团队从植物的次生代谢物入手，分析了番茄叶片的代谢谱，检测到9873种化合物。在检测

到的9873种化合物中，鉴定出290种酚糖，占2.93%。酚糖是一类重要的植物抗虫次生代谢产物，主要由酚和糖苷组成，能抑制昆虫生长发育。

奇妙的是，植物自己分泌的酚糖对植物本身也有害处。过多的酚糖对植物生长发育不利。论文共同第一作者、蔬菜所研究员郭兆将说。因此，当害虫离去，植物就要快速降解掉多余的酚糖。



过多的次生代谢产物对植物生长发育不利 中国农科院蔬菜所供图

植物给自己准备的解药就是酚糖丙二酰基转移酶（P<sub>Ma</sub>T）。由它催化的酚糖丙二酰基化反应在植物的生命过程中发挥重要的解毒作用。

那么，喜欢吃番茄叶片的烟粉虱到底是怎么对付酚糖的？

以往的化学分析已经不能解答这个难题。一段时间里，烟粉虱的解毒机制研究进展缓慢。

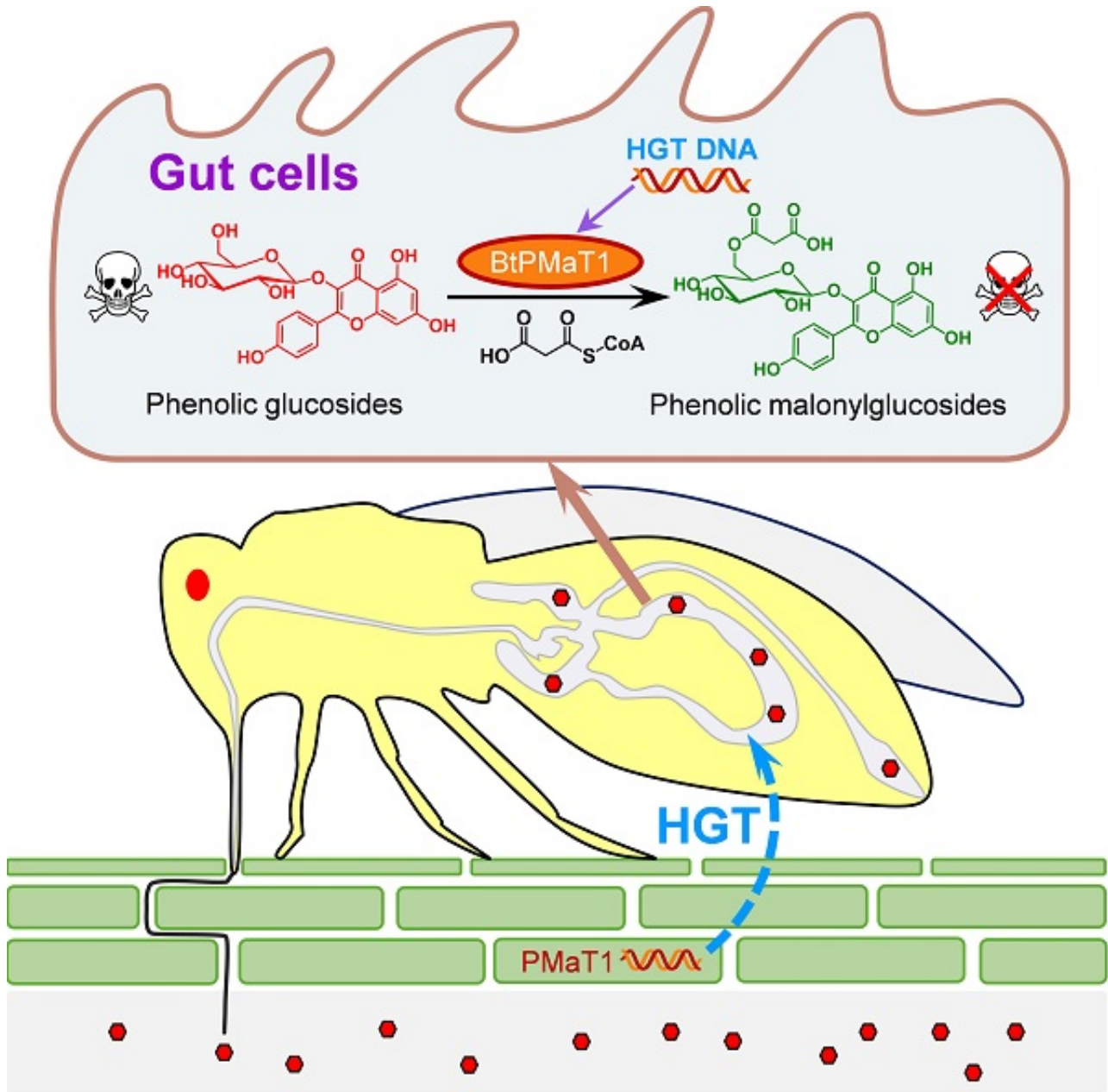
2009年，Q型烟粉虱在国内大面积爆发，并在番茄上传播病毒，造成经济损失100多亿元。对烟粉虱的防控刻不容缓。

就在这时，基因组测序技术的进步带来了突破瓶颈的希望。张友军团队决定给Q型烟粉虱基因组测序。2013年，烟粉虱基因组测序完成，获得了20786个基因。

论文共同第一作者杨泽众告诉《中国科学报》，在分析烟粉虱复杂的高级功能和生物系统相关基因的过程中，我们发现了后来被命名为BtP<sub>Ma</sub>T1的基因。当时感觉很兴奋。

因为他们随后证明，这个烟粉虱的基因与植物的酚糖丙二酰基转移酶是同源基因。

BtP<sub>Ma</sub>T1基因的确存在于烟粉虱基因组中，而非植物基因组污染。张友军说，进化树分析结果表明，烟粉虱BtP<sub>Ma</sub>T1基因的同源基因仅存在于植物和少量的真菌中。这是烟粉虱从植物那里‘偷盗’而来的基因，是一种普遍存在于生物界的水平基因转移现象。张友军说。



烟粉虱通过水平基因转移事件从植物获得PMaT1解毒基因 中国农科院蔬菜所供图

此前研究已经证明，水平基因转移在原核生物之间经常发生，通常认为是原核生物进化的驱动力。越来越多的证据表明，水平基因转移也是真核生物适应性进化的重要因素。

不过，节肢动物水平基因转移事件的基因供体几乎全是微生物，此前一直缺少植物源功能基因水平转移至昆虫的实验证据。

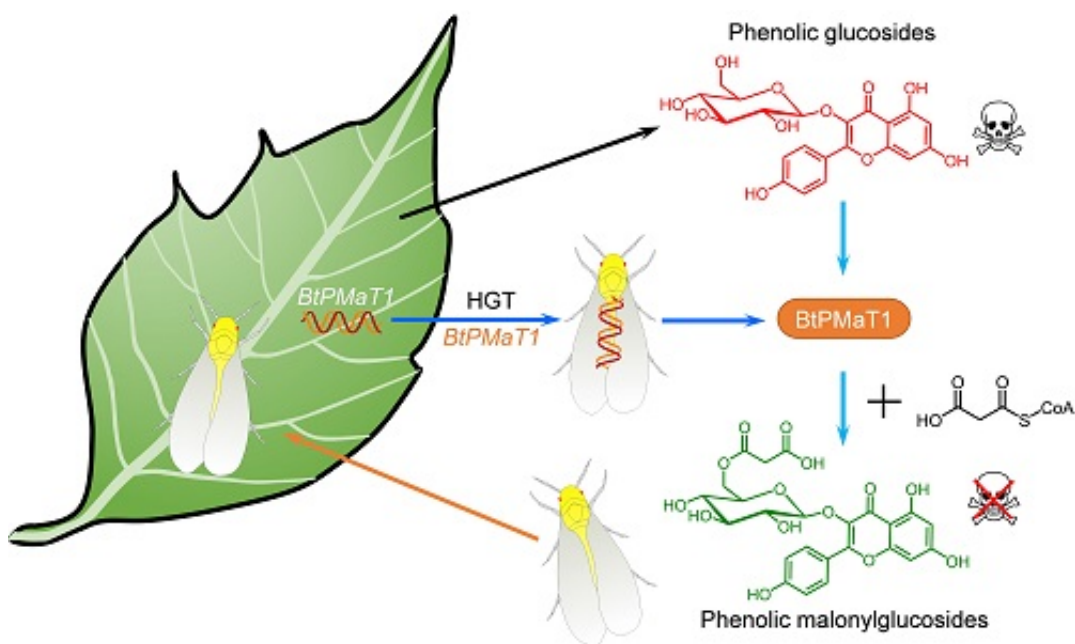
论文共同通讯作者、瑞士纳沙泰尔大学化学生态学家和昆虫学家Ted Turlings说：这项研究在国际上首次提供了植物基因水平转移至昆虫中的功能性证据，这种能够代谢植物防御性毒素的基因——BtPMT1仅存在于烟粉虱中，其他昆虫中均不存在该基因。

在烟粉虱的不同隐种（形态难以区分，但有生殖隔离的不同种）中均检测到水平转移基因BtPMT1，而包括亲缘关系最密切的温室白粉虱在内的其他昆虫基因组中均未发现该基因。

夏吉星说，因此可以推断，发生该基因水平转移的时间应该是在烟粉虱和温室白粉虱分化之后（约86百万年前），烟粉虱各个隐种分化之前（约35.3百万年前），这可能解释了烟粉虱比温室白粉虱在番茄寄主的适应性更强的原因。

通过体外细胞表达酶活分析、烟粉虱中肠组织酶活分析和烟粉虱排泄物酶活代谢分析发现，这个基因依然行使着和植物同源基因一样的功能——对酚糖进行解毒。

植物的‘矛’被烟粉虱偷来，反而变成了攻击植物的‘矛’。张友军说。



烟粉虱利用BtPMT1基因在中肠解毒植物酚糖 中国农科院蔬菜所供图

《细胞》杂志的专业审稿人说：该研究代表了植物—昆虫互作研究领域的重要进展，阐述了新颖的抗性机制，并解释了烟粉虱具有惊人的多种农作物寄主适应性的原因。这篇论文利用巧妙的分子遗传学方法揭示了昆虫如何利用水平转移基因来克服宿主的防御。

---

## 用RNA干扰反制

我们认为植物的某种病毒可能携带了BtPMT1基因，在被烟粉虱取食后，该病毒通过某种未知的机制，将该基因整合到粉虱的基因组中。Turlings说，当然，这是一件看似不可能发生的事情，但试想在这几百万年里，几十亿个昆虫、病毒和植物穿越时间不断进化，这种情况偶尔也会发生，如果获得的基因对昆虫有利，那么它就会进化得更有利，并广泛传播。

揭示了烟粉虱难以置信的适应能力的分子机制之后，张友军团队制定了一种策略，来破解烟粉虱窃取的超级力量，即利用RNA干扰烟粉虱的BtPMT1基因，使其对这种植物有毒化合物敏感。

RNA干扰是指在进化过程中高度保守的、由双链RNA诱发的、同源mRNA高效特异性降解的现象，其作用是使得相关基因沉默。

在这里，我们用BtPMT1基因的片段制作了发夹RNA，直接向烟粉虱饲喂发夹RNA，干扰效率约为50%，沉默该基因后，3种酚糖处理对烟粉虱的死亡率增加约20%。张友军说。

此外，他们还构建了表达该发夹RNA的转基因番茄品系。他们发现，取食转基因番茄的烟粉虱排泄物中，一部分酚糖类物质的含量增加，且部分酚糖的酰基化产物降低。

在没有农药作用下，取食野生番茄7天后，烟粉虱死亡率为15.48%，取食转基因番茄7天后烟粉虱死亡率为93.35%，而对非靶标节肢动物蚜虫和二斑叶螨没有影响。郭兆将说，转基因番茄品系能够有效控制烟粉虱。



中国农科院蔬菜所供图

德国马克斯·普朗克化学生态学研究所研究员Roy Kirsch博士公开了自己的《细胞》专业审稿人身份。他认为这篇文章非常有趣，并将引起生态学家、进化生物学家、植物化学家和害虫防治者的极大兴趣。该研究涵盖从植物代谢谱到昆虫的比较基因组以及两者之间的所有内容，从不同角度深入研究解决问题。

当然，应用这种方法还需要克服一些障碍，最明显的就是人们对转基因作物的忧虑。Turlings说，但在未来，我确实认为这是一种绿色高效安全的烟粉虱防治方法，因为该基因来源于植物，而且，现在我们明确了它的作用机制，我们也有能力应对烟粉虱基因可能发生的变化。

---

这种转基因番茄转入的基因是植物的同源基因，因此更加绿色高效。未来有可能应用到烟粉虱防治过程中。张友军说，他们已经申请了中国国家发明专利。（来源：中国科学报李晨）

相关论文信息：<https://doi.org/10.1016/j.cell.2021.02.014>

版权声明：凡本网注明来源：中国科学报、科学网、科学新闻杂志的所有作品，网站转载，请在正文上方注明来源和作者，且不得对内容作实质性改动；微信公众号、头条号等新媒体平台，转载请联系授权。邮箱：shouquan@stimes.cn。

作者：张友军等 来源：《细胞》

更多 科学进展 请访问 <https://www.iikx.com/news/progress/>

本文版权归原作者所有，请勿用于商业用途，[爱科学iikx.com](https://www.iikx.com)转发