



2015年度浙江大学学术进展

## 昆虫长、短翅可塑性发育的分子“开关”

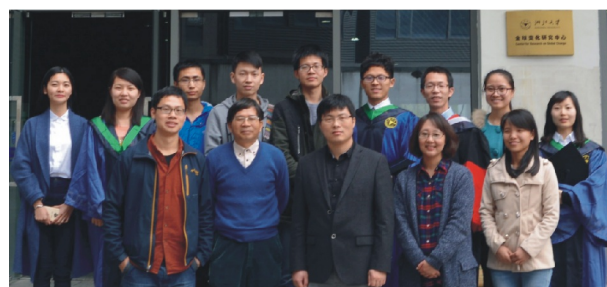
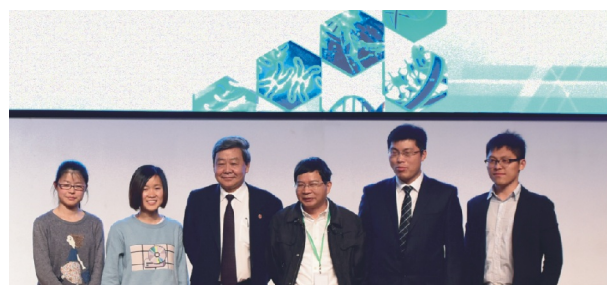
★★★★★ (入选年度十大学术进展)

长、短翅可变发育是昆虫进化成功的重要特性，张传溪团队揭开了重要害虫稻飞虱控制长、短翅可变发育的分子“开关”，成果发表于《Nature》，入选“2015中国生命科学领域十大进展”。

项目负责人：张传溪

很多昆虫，如蚜虫、蟋蟀、飞虱、长蝽、步甲等，其幼期个体在不同环境条件下就会选择性地发育成为长翅型或短（无）翅型成虫。长翅型的个体具有发育完全的前翅和后翅以及发达的飞行肌，具有很强的飞行能力，在昆虫赖以生存的寄主植物营养条件或气候环境条件变劣时，可以迅速向新的适宜生境扩散；而短翅型个体的前翅、后翅和飞行肌退化，丧失飞行能力，但会把更多的能量和物质用于繁殖，因而往往具有很高的生殖力，从而有利于种群在适宜的环境条件下快速增殖，迅速扩大种群。因此，这种翅型可变发育的生物学特性使这些昆虫在生态系统中成为优势种，如果这些昆虫是重要作物害虫，就会极大增加其对作物为害能力和我们对其防治的难度。

鉴于昆虫翅型可塑性发育在进化发育生物学和农业科学中的重要性，它一直是基础生物学和害虫防治的一个研究热点。半个世纪以来，虽然国际上众多学者以蚜虫、飞虱、蟋蟀为模式，从不同角度对昆虫翅型可塑性发育进行了广泛的研究，也积累了大量的资料，但尚未能揭示翅型分化的分子机制。针对这一悬而未决的科学问题，浙江大学昆虫科学研究所张传溪教授领导的昆虫分子生物学实验室选择了以亚洲水稻重要害虫稻飞虱为模型，在基因组解析和系列功能基因研究的基础上，通过自主



设计，经过近五年的潜心努力研究，终于发现了控制昆虫长、短翅型可塑性发育的分子“开关”，提出了2个胰岛素受体调控翅型分化的信号通路模型。研究结果于2015年3月18日在线发表于《自然》杂志（Xu et al., 2015. Nature, 519:464-467）。论文通讯作者为张传溪教授和其助手徐海君教授，徐海君和博士生薛建为论文共同第一作者。



该项研究发现，水稻褐飞虱的基因组中编码有两个“胰岛素受体”基因，其在长、短翅分化中起着“开关”的作用。其中第1个胰岛素受体（称为“受体I”）与人的胰岛素受体很相似，扮演着典型的动物胰岛素受体功能；而第2个胰岛素受体（称为“受体II”）虽然基因序列与第1个受体很相似，但专门在翅芽细胞中表达，在控制昆虫翅的可塑性发育方面与“受体I”基因的功能完全相反。昆虫个体在感受到外部环境条件发生变化（如水稻不同生长阶段营养成分变化）时，其脑部就会产生和分泌一种被称为“ILP3”的类似胰岛素蛋白，当“受体II”活性低时，ILP3就与“受体I”结合，经过一系列信号传递步骤，最后把信号传递给位于翅芽细胞中的一种叫FOXO的转录因子，进而控制翅芽细胞发育，产生长翅型的成虫。相反，当“受体II”活性高时，大量的“受体II”就会与翅芽细胞中的“受体I”结合，从而使“受体I”失活，个体就会发育为短翅型成虫。为了证明这种调控机制是否具有普遍性，该项研究还同时用另外2种水稻重要害虫（白背飞虱和灰飞虱）作了进一步验证，结果表明至少飞虱科不同昆虫的翅型可塑性发育都是由这2种胰岛素受体“开关”调控的。

基因型完全相同的生物在生长发育过程中，由于受到不同外部环境条件下的诱导和影响，不同幼体可以生长发育为具有显著外形差异的成年个体，这种现象就是生物表型发育的可塑性。表型发育可塑性是生物在长期进化过程为适应不断变化的生态环境而形成的一种极其重要的生存策略，其中昆虫翅型的可变发育就是这种生物表型可塑性发育的典型例子。因此该项结果首先在进化发育生物学和昆虫翅型可塑性发育研究上具有重要意义，Nature外审专家指出“该研究代表了多型现象分子机



理研究的一个里程碑”。

其次，胰岛素信号转导通路是动物细胞最基本通路，该通路异常与人和动物的许多疾病相关。本研究发现了2个胰岛素受体具有完全相反的正负向调节功能，这挑战了人们对胰岛素受体传统功能的认知，扩展了人们对生物胰岛素信号途径调控的认识。

第三，该项研究从分子机制上解析了昆虫翅型分化的本质，在害虫防治上也具有重要的价值。褐飞虱是水稻的最重要害虫，除直接取食危害外，还可传播多种病毒病，给水稻生产造成巨大损失，年均损失为10-20亿Kg，对我国粮食安全造成很大威胁。褐飞虱在我国的绝大多数水稻产区并不能越冬，每年我国水稻主产区的褐飞虱虫源都是从东南亚国家经过长距离迁飞而来。褐飞虱是典型的长、短翅可塑发育的昆虫，在水稻黄熟前和气候不适时，褐飞虱种群就大量发育为长翅型成虫，进行长距离迁飞，每年自南而北迁移到水稻植株正处于生长旺盛阶段的我国和日本、韩国等稻区；而一旦迁飞到合适的稻田后，其后代就产生大量的短翅型成虫，短翅型成虫繁殖能力特别强，种群规模就会迅速扩大，从而对水稻造成严重的危害。翅型分化是褐飞虱能成为“国际性、迁飞性、爆发性、毁灭性”大害虫的最主要因素之一。因此翅型分化和翅型比例是褐飞虱迁飞和成灾的重要生物学指标，本研究结果为褐飞虱的测报预警提供了重要的理论依据。同时目前在实验室中已经可以通过调控基因，人为地使褐飞虱幼体全部发育为短翅型或长翅型，今后有望在此基础上开发出通过水稻介导基因表达的方式调控褐飞虱翅型或直接开发能抑制不同翅型发育的绿色新型药剂，从而达到控。