

# 以大自然为师 仿生科技发展与农业上的应用

文 | 谢雨蔚

说起仿生，最容易令人联想到好莱坞电影的仿生机器人，小至关键报告中的机械蜘蛛、大至魔鬼终结者系列的T-X机器人，都让观众印象深刻且津津乐道。仿生学并非只是科幻片的奇想或新颖议题，研究范围亦不仅限于机械

领域。日本最早于1960年代开始相关研究，并于1972年推出全球第一个仿生机器人WABOT-1，具有听觉、触觉、视觉系统且能透过语言系统及运动系统对外互动，此后世界各国陆续投入资源进行研究，部分成果如工业用机械手臂

更是已获得业界广泛使用。然而除了一般人认知的应用领域如精密工业、医疗，其实相对传统的产业如农业也不乏仿生学的研发及导入。农业对于仿生学的需求为何？有哪些国家参与技术研发？有哪些已经正式导入产业的案例？未来还



有哪些可以发展的方向？都是值得探讨的议题，也可望因此开拓产业创新的商机。

## 何谓仿生？

人类文明演化的过程当中，有许多重要的发明其实都是由模仿大自然万物而来，例如由鸟类飞翔、滑翔的流体力学开发而成的飞机、受鸭掌启发设计的蛙鞋、由带倒钩的植物种子发想设计的魔鬼毡等都是大家熟悉的例子。仿生（bionic）的概念则首先由美国医师 Jack E. Steele 在 1958 年正式提出，是结合生物学（biology）与电子学（electronics）所形成的复合词，系指将自然界生物的系统与做法导入工程系统与科技进行研发，其概念已被材料、工程、电机等领域广泛接受及采用；1997 年美国作家 Janine M. Benyus 进一步以 biomimicry 取代 bionics，强调在仿生的同时兼顾环境永续之必要性。如同生物是由元素、化合物逐步构成细胞、组织、器官乃至于个体，仿生学的应用也有类似的脉络可循，以下将简单介绍各国有趣的仿生学研发成果，并概述目前仿生科技导入农业之情形。

## 仿生学之材料应用

仿生学的材料应用大致上可以分为结构性与化学性两种，结构性主要是利用自然界当中的物理结构或特性（如亲水性、疏水性、导电性等）作为材料开发之参考，化学性则是参考生物界的分子结构、化学键结改变材料的性质。硅藻是单细胞藻类，全世界约有四分之一以上的氧气源自其光合作用产物，硅藻更具有二氧化硅构成的多样化几何结构

保护性外壳，加拿大的 McGill 大学深入了解硅藻的光合作用机制以及其聚合多孔玻璃状外壳，用于光学设备、感光元件及太阳能电池之开发及改进。其他植物也有许多生物特性引起科学家及产业界的注意，例如三色堇的花瓣大幅减少光反射而最大化光散射效果，是太阳能板开发的良好模型；勋章菊花瓣的亲水性结构，为透过毛细现象进行微量水分运输的微流体装置设计提供了参考；莲叶的疏水性与自我清洁效果可以减少病原附着及形成生物膜入侵植物的机会，因而已被应用在建筑涂料，未来可望进一步应用于农药展着剂的改良，降低对植物可能造成的伤害。除了植物以外，动物也可以作为材料科学的学习对象，日本文科省支持的仿生化学（Biomimetic Chemistry）计划团队进行了各种仿生材料的开发，包括以抹香鲸的肌红蛋白与血红蛋白之亲氧结构设计出的人造血液、以细胞色素的导电性为基础研发生物超导体、利用猪肝的 farnesyl pyrophosphate synthetase 作为掌性合成的催化剂等。

## 仿生学之机械开发应用

提到仿生机械，往往会令人联想到机器人，仿生机器人与类神经网络固然是其中一个主流，但除此以外，其实还有许多的机械元件是以仿生学为基础进行开发的，人造肌肉就是一个例子。如同动物透过感觉神经接收外界讯号再透过运动神经刺激肌肉收缩，人造肌肉也必须能够感知环境（如压力、温度、光度、电磁场等）的变化并做出相对的反应。记忆合金与聚合物被用于表现人造肌肉收缩的形状、纵向与横向的镍钛弹

簧被用于模拟纵向与横向的肌腱、气动或液压装置为人工肌肉收缩提供动力，这些都已经能配置在仿生机器人上，使其表现更接近真实生物，也能更符合人机协同作业与微型医疗作业的需求。除了表现运动的人造肌肉，各种感知用的仿生传感器也蓬勃发展，包括以奈米线路排列成仿人类半球形视网膜，并能调节焦距与光圈以追踪运动物体的视觉传感器；参考蟋蟀在复杂声音环境中精准定位开发而成的听觉传感器；模仿人类指尖辨别形状、硬度、质地、温度、湿度等而能镶嵌至电子皮肤，甚至可仿照昆虫感测气流或鱼类感测水流的触觉传感器；以电位感测酸甜苦咸等味道的味觉传感器；以聚碳酸酯等化合物模仿鼻腔保湿，确保气味分子扩散至其下方感应阵列的嗅觉传感器等。仿生机器人的发展就更为多元了，由四足动物设计的仿生机器人稳定度高，可以在更复杂的地形行动甚至攀爬跳跃；模仿鱼类侧线感应与流线设计、摆鳍前进的机械鱼除了水下摄影以外，已能协助侦测水下环境甚至提供救援服务；灵感源自鸟类与昆虫的扑翼机器人也已经可以在狭小的环境飞行并执行任务。

## 仿生机械与农业

农业在过去往往需要仰赖大量人力进行整地、耕种、管理、采收，除了大型农机具，近年来仿生机械也渐渐被导入产业应用，提升作物管理效率。荷兰 PATS 公司于 2020 年推出蝙蝠状无人机，由架设于农业设施当中的基地台进行扫描，发现有害虫于设施中飞行时，即出动无人机精准定位灭除，而不会误杀其他益虫。我国交通大学机械系与新加坡国立大学、南洋理工大学



共同研发的扑翼飞行器，于 2020 年正式发表于《Science Robotics》研究期刊，相较于传统的无人机，此飞行器没有一般四轴无人机的旋翼，更具备滑行、低速悬停及迅速避障的功能，不会在飞行过程中不慎破坏作物，更适合农场作业项目。同样以仿生机械执行精准农业管理的，还有美国 John Deere 公司，其以 Blue River Technology 整合计算机视觉及机器学习的系统精准辨识与防治杂草，节省了 90% 的农药使用，同时大幅降低作物农药残留。此外，世界各国共同面对的从农人口老化与劳动力短缺，无疑对农业生产造成莫大冲击，许多省时省力的仿生机械也因此被开发出来。新加坡 POLYBEE 公司以智能系统侦测环境参数，于最适时机派出无人机扰动气流震动花朵进行授

粉、以色列 Arugga 公司也利用人工智能 (artificial intelligence, AI) 影像辨识需要授粉的花朵，并搭配气流喷嘴震动花朵完成授粉，减少人工授粉的人力需求、昆虫授粉的高成本与不确定性，并有效提高授粉率；日本 AGRIST 公司的采收机器人 L 具备人工智能，可以鉴别成熟的甜椒果实予以采收，同时进行枝条修剪，未来更规划加入判释病害与产量等功能；为了协助农民疏果整枝与施用农药，中山大学在农业部的补助下，以骨骼孔隙结构与长臂猿手臂构造发想，于 2021 年推出农用穿戴式省力机具并顺利技转，减少农友手臂反覆抬放造成的疲劳与职业伤害；财团法人农业科技研究院与清华大学、台湾大学共同研发与技转的电子鼻，可侦测制茶过程中香气物质的变化，取代制茶师傅

嗅闻判别是否需要进入下个步骤，减少人工负担并维持质量稳定，都是仿生科技实际应用于农业的案例。

### 结语

为了解决农业人力不足、高龄化，以及全球性气候变迁造成的生产问题，我国农业部于 2017 年开始推动智慧农业 4.0 计划，以“智慧生产、数位服务”为主轴，借重现代科技优化农业生产基础与信息流通，已锁定蝴蝶兰、种苗、菇类、稻作、农业设施等项目打造完整的智慧生产链并取得初步成果，当中涉及的科技层面五花八门，未来若能以更开放宏观的角度，师法自然万物进行研发，相信各个环节都有发展仿生科技的无穷潜力及无尽商机。MFC