



有望替代化学农药和抗生素

噬菌体疗法：精准打击土传病原菌

◎本报记者 金凤

噬菌体，是专门“吃”细菌的一类病毒，它们广泛存在于海洋和陆地自然生态系统中。噬菌体通过侵染宿主细菌，可以调控细菌种群数量，驱动细菌群落多样性和组成的变化，进而影响生态系统功能。但长久以来，土壤中的噬菌体与作物土传病害的关系还鲜有研究。

靶向消灭病原细菌，对环境更友好

在农业生产中，化学农药和抗生素已被广泛使用，但不合理的使用会造成土壤功能退化、环境污染等问题。

“例如，化学农药的滥用会显著增加病原细菌的耐药性和抗性基因的风险传播。此外，在病原细菌与其宿主植物互作的热点区还存在大量土著微生物，这些微生物通过复杂的协同作用，在抵御病原细菌侵入和感染宿主植物中发挥重要作用。然而，广谱杀菌的抗生素和化学农药等在抑制病原细菌的同时，也会破坏土壤中土著微生物群落的结构和功能稳定。”沈其荣介绍，要护卫土壤、动植物、环境健康，亟须有效靶向消灭土传病原细菌并对环境友好的新措施。

噬菌体，便是其中的“天选之子”。噬

打造噬菌体“鸡尾酒”，守护植物健康

“在抗生素普及前，噬菌体疗法已经有了应用。”韦中所言非虚。自噬菌体被发现以来，噬菌体疗法不断发展，在解决由病原细菌侵染引起的作物健康问题方面已有不少尝试。

1924年，研究人员发现白菜滤液中的噬菌体类物质能够防止由黄单胞菌引起的白菜腐烂。随后，该物质又被广泛应用于

近日，国际学术期刊《微生物组》在线发表了中国工程院院士、南京农业大学资源与环境科学学院教授沈其荣团队的最新研究论文。该团队研究发现，土传青枯病的发生，与作物根际噬菌体群落构成及噬菌体-宿主细菌的互作特征密切相关。该研究首次证明特异性侵染土著细菌的噬菌体，对土传病原细菌青枯菌入侵的潜在影响，为利用噬菌体消减青枯菌导致的作物土传青枯病提供了新的理论基础。

噬菌体是专门侵染细菌的一类病毒，在环境中普遍存在，“目前地球生物圈中噬菌体的数量高达 10^{11} 个。利用噬菌体阻控病原细菌的手段被称为‘噬菌体疗法’，这是一种有望替代抗生素的绿色生态技术。”论文共同通讯作者、南京农业大学教授韦中告诉科技日报记者。

目前，噬菌体疗法已广泛应用于临床医疗、畜牧业、水产养殖和种植业等领域。韦中介绍，噬菌体疗法具有几大优势：噬菌体可以识别特定病原细菌，对环境影响小；噬菌体可以利用宿主进行增殖，并进入细菌体内，高效裂解病原细菌；噬菌体疗法的应用可以减少抗生素的使用，为食品安全提供保障。

防治由青枯菌、欧文氏菌、丁香假单胞菌和野油菜黄单胞菌等引起的茄科作物青枯病、猕猴桃细菌性溃疡病、果树火疫病、柑橘斑点病、水稻叶枯病以及土豆洋葱软腐病和黑胫病等。2005年，美国环境保护局首次批准了防治由野油菜黄单胞菌和丁香假单胞菌引起的番茄和辣椒的细菌斑点病的噬菌体产品。2011年，美国环境保护局

这个基因“遥控器”控制苹果砧木生根

◎本报记者 马爱平
通讯员 杨远远 王淑瑾

有的植物扦插容易生根，比如月季和葡萄；但有的植物，比如苹果砧木（嫁接繁殖时承受接穗的植株）进行扦插后却很难生根。调控不定根的发生是实现生产中广泛使用的压条、扦插和组织培养等无性繁殖（以植物的一部分营养器官进行繁殖）技术的关键环节。在我国苹果苗木无性繁殖实践中，部分具有优良生态适应性的矮化砧木不定根（植物的茎或叶等非根组织受伤后所发生的根）的发生能力较差，已成为制约苹果优质种苗无性繁殖的重要瓶颈。

近日，西北农林科技大学旱区果树发育生物学研究团队在相关研究中解析了MdTCP17基因介导内源细胞分裂素（CTK）抑制不定根原基发生的分子机制，揭开了苹果砧木不定根发生难的奥秘。相关研究成果发表于《植物细胞》。

生根难易与细胞分裂素有关

我国是世界苹果生产第一大国。“在生产中，我国苹果砧木多采用有性繁殖，由于

基因型不一致，导致园貌不整齐，为栽培管理带来极大不便，费时费力，难以实现机械化应用。”国家苹果产业技术体系首席科学家、西北农林科技大学教授张东说，无性繁殖可以保证种苗的一致性，已成为优质高效的种苗繁育方式。然而，苹果砧木实现无性繁殖还存在一大障碍，就是苹果砧木不定根发生难。

“种业是农业发展的芯片，种苗是果树种植的基础，我国苹果产区生态类型多样，尤其是近年来果树产业发展要遵循‘上山上坡、利用四荒’的战略。生产中，具有优良生态适应性的苹果砧木生根难成为制约种苗优质高效繁育的重要问题。”张东谈道。

“基于此背景，2014年秋天，我们先在大田和组织培养两种条件下，对我国主栽苹果砧木不定根发生能力进行了评价。”该团队成员毛江萍说，他们发现其不定根发生能力存在显著差异。

该团队进一步分析了不同生根能力的苹果砧木中内源激素含量，发现苹果砧木的生根能力与内源细胞分裂素含量呈负相关关系。这一研究明确了内源细胞分裂素和不定根发生能力密切相关，也为后面分子机制的探究奠定了坚实基础。

批准一家公司生产的噬菌体生物农药用于防治番茄的溃疡病。

目前，国内已有研究单位针对不同的植物病害收集了大量的噬菌体资源，这些噬菌体为有效防控病害提供了资源保障。沈其荣研究团队将目标对准青枯菌。青枯菌在土壤中可通过侵染作物根部，引起烟草、马铃薯、番茄、生姜等重要经济植物的萎蔫。严重时，可导致作物大面积减产甚至绝收。

“青枯菌的专性噬菌体以青枯菌为食，它们可以进入青枯菌体内，进行大量增殖，并最终裂解杀死青枯菌。而土壤中还有很多土著细菌，这些细菌也有各自的‘专属’噬菌体。当青枯菌被其专性噬菌体抑制

新技术赋能，噬菌体疗法或可增强威力

与广谱抑菌的抗生素相比，噬菌体疗法有很强的专一性，能精准靶向某一类病原细菌。不过，噬菌体疗法也面临着一些技术挑战。

“与使用抗生素类似，噬菌体疗法也会不可避免地诱导靶细菌产生抗性。而且病原细菌在不断变异，抗性也会随之发生变化。这需要针对不同特点的病原细菌作研究，不断筛选噬菌体，进行精准治疗。”韦中说。

除了天然的噬菌体侵染阻碍物外，细菌也进化出一系列的抗噬菌体系统，来阻止噬菌体的侵染。因此，应用单一噬菌体往往无法有效抑制环境中多样的病原细菌，要有针对不同病原细菌的噬菌体配方。

纵然病原细菌有千般面孔，可以“七十二”变，但“魔高一尺，道高一丈”。韦中表示，目前科研人员正尝试多种方式抑制病原细菌作恶。

“首先是建立噬菌体资源库。近年来我们团队建立了全国土传青枯菌专性噬菌体资源库。库里包含了我们从全国收集的

在易生根的苹果砧木中，低含量的细胞分裂素抑制MdTCP17的表达，并引发下游一系列机制，最终促进苹果不定根原基形成；在难生根的苹果砧木中，高含量的细胞分裂素促进MdTCP17的表达，从而抑制了不定根原基的发生。

苹果砧木难生根分子机制被发现

为了揭示细胞分裂素抑制不定根发生的分子机制，毛江萍在团队负责人张东和西北农林科技大学教授韩明玉的鼓励和支持下，开启了近10年的试验研究，最终初步解析了苹果砧木不定根发生难的分子机制。

后，土壤中的其他细菌会纷纷‘占位’，细菌之间会上演一场此消彼长的攻防战。”韦中说，团队在此次研究中发现，土壤中的土著细菌，有的是青枯菌的“帮手”，有的则是青枯菌的“敌人”，这些土著细菌与其专性噬菌体互作也能间接影响植物健康。例如，一些土著细菌可以抑制青枯菌“作孽”，而其专性噬菌体的侵染压制，使它们的力量削弱，导致青枯菌更加猖狂，从而加剧病害。不同的噬菌体在土壤中像“鸡尾酒”那样混搭存在，影响着植物健康。

“这启发我们，可以充分挖掘土壤噬菌体资源，研究不同噬菌体的作用机制，以及噬菌体之间的相互影响，利用不同噬菌体联合抑制土壤病原细菌。”韦中解释。

几千株青枯菌与五六百个青枯菌专性噬菌体。”韦中说，有了资源库，就可以结合培养组学、实验进化学、机器学习等，构建基因组预测噬菌体抗性的模型，选择能够侵染不同病原细菌或同一病原细菌的不同抗性突变体的噬菌体，配置噬菌体“鸡尾酒”配方，将不同的噬菌体组合，有针对性地杀灭病原细菌。

“其次，随着合成生物学的发展和对噬菌体侵染机制的不断深入，可以通过基因编辑定向改造噬菌体，如改变、扩大噬菌体的宿主范围以及增强噬菌体的裂解效率等。”韦中说。

人工智能也为提高噬菌体的有效性提供了更多可能。韦中认为，每个病原细菌的变异有限，人工智能可以在积累大量的实验数据和机器学习后，判断病原细菌基因突变的可能性及致病性的大小，并据此筛选、设计相应的噬菌体。

“尽管噬菌体疗法还面临诸多技术挑战，但发挥其优化微生态的优势是解决土壤病原细菌危害，提升土壤—植物系统健康的重要路径之一。”沈其荣表示。

在前期砧木评价的基础上，他们首先在不同时间点用细胞分裂素处理苹果苗木，明确了细胞分裂素对不定根的抑制主要源于对不定根原基发生的抑制作用。通过基因表达分析发现，细胞分裂素相关基因MdTCP17的表达与不定根发生能力呈负相关，MdTCP17可以直接响应细胞分裂素信号，在苹果苗木中过表达MdTCP17显著抑制了不定根的发生。

他们发现，在易生根的苹果砧木中，低含量的细胞分裂素抑制MdTCP17的表达，并引发下游一系列机制，最终促进苹果不定根原基形成；在难生根的苹果砧木中，高含量的细胞分裂素促进MdTCP17的表达，从而抑制了不定根原基的发生。

“苹果砧木难生根分子机制的发现，为开发苹果砧木高效无性繁殖技术，提高砧木无性繁殖效率，提高我国苹果生产效率和效益奠定了理论基础。”毛江萍说。

基于以上认识，西北农林科技大学旱区果树发育生物学研究团队开发了苹果砧木压条和无糖组培的无性繁殖育苗技术，并通过与龙头企业合作实现了规模化生产，形成了年产2000万株苹果砧木的繁育能力，助力我国苹果苗木繁育制度由传统散户育苗向企业规模化育苗方式变革。

研究进展

P450酶实现不饱和烃直接硝化

科技日报讯（实习记者宋迎迎 通讯员王曦翎 丛志奇）2月6日，科技日报记者从中国科学院青岛生物能源与过程研究所（以下简称青岛能源所）获悉，该所单碳酶催化研究组首次开发出工程化P450硝化酶，成功实现了不饱和烃的直接硝化，进而通过晶体学研究揭示了直接硝化反应机理。相关研究成果近日在线发表于国际期刊《德国应用化学》。

硝基化合物作为一种高附加值的化工中间体，在医药、农药、炸药等领域均有广泛应用。目前工业硝化具有产物选择性差、环境污染严重以及反应条件苛刻等多种缺陷。而自然界已知的硝化酶仅有N-加氧酶、过氧化物酶和细胞色素P450酶，且普遍存在催化效率低、底物谱窄和产物区域选择性差等不足，远远不能满足工业应用的需求。因此开发新型生物硝化酶具有重要意义。

近年来，青岛能源所单碳酶催化研究组在国际上首次提出双功能小分子（DFSM）协同P450酶催化概念，成功构建了人工P450过加氧酶催化体系，实现了气态烷烃分子的选择性氧化、苯乙烯的高度R-一对映选择性环氧化、碳-氢键区域和立体多样性选择性氧化。此外，该研究组利用酶化学机制指导的蛋白质工程策略，成功开发出双功能分子协同P450催化的过氧化物酶新酶。

研究人员在上述工作基础上，运用酶工程技术，通过在氧化反应中起关键作用的氨基酸位点引入空间位阻效应，阻止底物靠近活性中心发生过加氧反应，强化其过氧化物酶功能，首次开发出工程化P450硝化酶，成功实现了不饱和烃的直接硝化。通过叠加底物口袋关键位点突变，使底物谱范围覆盖19个芳香化合物和9个末端芳基烯烃化合物，获得了迄今为止催化效率最高、底物范围最广的人工P450硝化酶。

新研究发现 绿光调控植物发育机制

科技日报讯（记者王春）近日，中国科学院分子植物科学卓越创新中心研究员刘宏涛团队发表了一项研究。该研究揭示了绿光在调控植物发育中的功能，并发现绿光通过调控内源激素油菜素甾醇信号通路从而调控植物发育。相关研究论文近日在线发表于国际学术期刊《植物细胞》。

绿光的能量占可见光能量的一半以上。植物呈现的令人愉悦的绿色是由其对绿光的反射造成的，这可能给人一种印象，即绿光对植物来说无足轻重。研究表明，尽管同红光或蓝光相比，绿叶反射更多的绿光，但绿叶仍吸收约10%—50%的绿光。

刘宏涛团队结合滤光片制作出不含红光或蓝光的纯绿光源，发现绿光促进拟南芥和其他多种植物的下胚轴伸长。进一步的研究发现，植物目前已知的光受体光敏素、隐花素、向光素等都不能作为绿光受体介导绿光促进下胚轴伸长，这暗示了有新的光受体存在并介导绿光信号传导。该研究发现内源激素油菜素甾醇信号通路参与绿光信号传导。BES1是油菜素甾醇信号传导中的关键转录因子，绿光能促进BES1的DNA结合活性，从而调控基因转录以促进下胚轴伸长。这些结果表明，绿光作为重要的环境信号促进下胚轴伸长，使植物能够适应遮荫环境。

生物技术 或改变你的未来食物清单

◎张 伟

2022年世界人口已达80亿，2080年将达到104亿左右，人口增速远远超过食物产量的增加速度。因此，在有限的空间生产出更多的食物便成了科学家们不懈探索的重要课题。通过生物技术，人类可以向植物要热量、向江河湖海要食物、向微生物要蛋白。

海藻类在解决世界饥饿和营养不良问题上具有巨大潜力。全球有超过72500种藻类生活在淡水和海水中，较大的称为大型藻类，它们占所有物种的20%，剩下的80%由微藻组成。微藻富含蛋白质、抗氧化剂、植物性维生素和omega-3脂肪酸等矿物质，与其他作物相比，藻类种植消耗的土壤少，且培养所需的水量也可以减少90%。根据相关研究，微藻的蛋白质产量每年每公顷可达4—15吨，远高于小麦、豆类每年每公顷0.6—1.2吨的蛋白质产量。目前，英国的藻类公司开发的一种创新技术，可降低微藻的叶绿素含量，减少其“草味”，同时保留天然营养。未来，人们有望生产出更有营养、味道更好的纯素微藻类食品。

在未来，除了海藻类等自然生长的动植物类食物，“人造肉”也将为人们提供食物来源。这里说的“人造肉”是利用动物干细胞、糖、氨基酸、油脂和多种营养物质在实验室人工培育出来的动物肉。2019年8月27日，肯德基和人造肉公司Beyond Meat合作，推出了第一款人造鸡肉产品。相信在不久的将来，“人造肉”除了和自然肉一样美味之外，在营养、生产效率、环境友好等方面也将优于自然肉，从而为解决人口增长和肉类短缺带来的生产压力、环境和动物保护等问题提供了新途径。（来源：科普中国）



山东威海某微藻养殖车间内，技术人员在管护微藻繁育。

本版图片由视觉中国提供