

# 生物技术加持 发酵健康美味

## 聚焦食品生物技术②

◎本报记者 马爱平

日前,2024中国生物发酵产业技术大会在山东济南举行。围绕生物发酵行业领域的机遇与现状,与会嘉宾分别就加快生物制造过程迭代升级、健康功能微生物产业创新发展、功能性油脂的未来发展趋势和健康食品的设计制造等展开探讨。

从过去的啤酒、黄酒,到现在的酸奶、功能性食品,发酵工程在食品制造领域展现的魅力无处不在。如今,在生物技术的助力下,发酵工程正突破重重难关,实现对食品品质与产量的双重提升。

## 现代发酵工程助力食品工业发展

“一般认为,发酵工程的发展包括以下几个阶段:天然发酵阶段、纯培养发酵阶段、深层发酵技术阶段、现代发酵工程技术阶段,以及新一代发酵工程技术阶段。”江南大学生物工程学院教授周景文介绍。

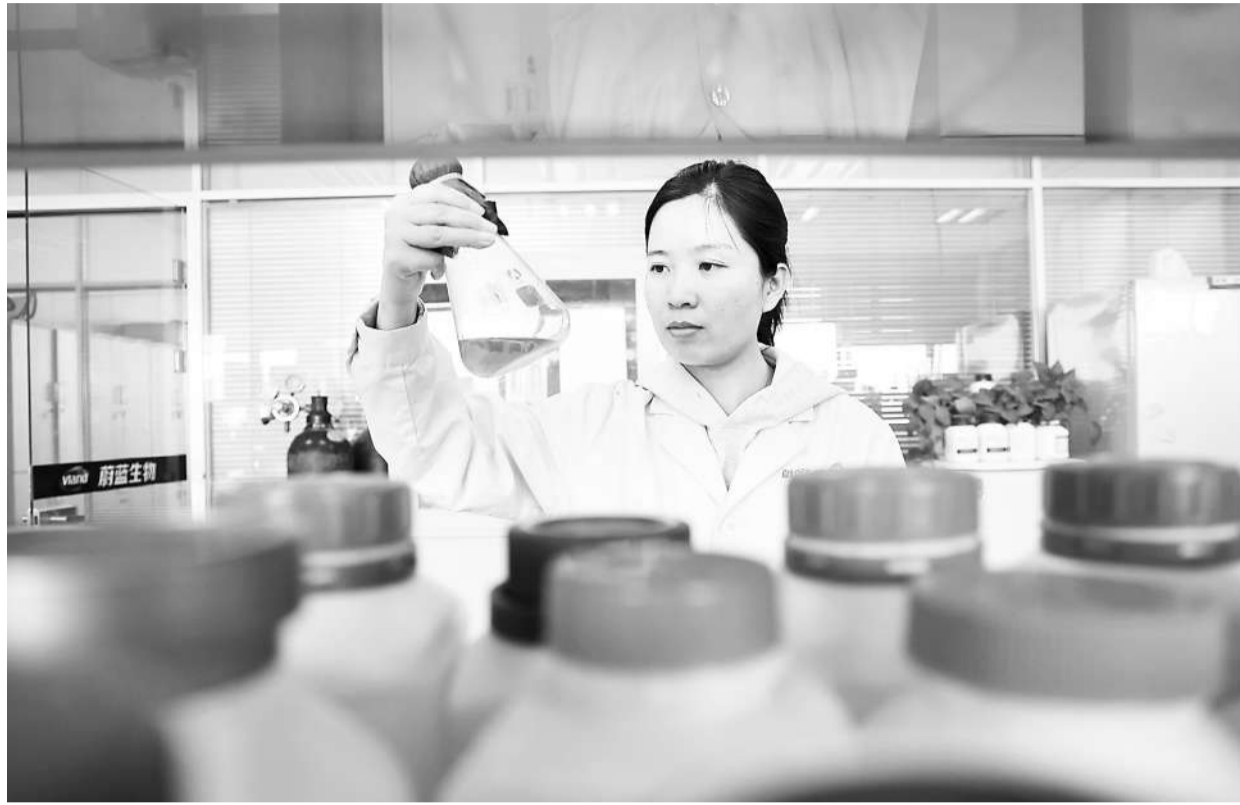
自古以来,发酵技术就是食品制造的关键环节。大约在9000年前,人类就已经开始利用谷物酿造啤酒,这也成为发酵技术诞生的标志。而在4000年前的龙山文化时期,黄酒酿造技术的出现,进一步提升了人类的食物发酵技术水平。此后,豆酱、醋、豆腐乳、酱油、泡菜等传统食品的生产,也都离不开发酵技术的应用。然而,传统发酵技术大多依赖自然菌群的生长和人们的生活经验,对发酵条件的控制较为粗糙,因此发酵得到的产品品质和产量难以保证。

随着科技的发展,现代发酵工程应运而生。现代发酵工程采用微生物单一培养的方式,通过优化培养条件来提高产量和品质,为食品生产带来了革命性变革。此外,现代发酵工程还实现了对温度、pH值、营养物质等发酵条件的精确控制,进一步提升了发酵效果。

同时,自动化、连续化发酵设备的应用,大幅降低了人力成本和发酵周期,提高了生产效率。“现代发酵工程技术已经和众多行业深度交叉整合,产生了巨大的社会效益。”周景文说。

相比于传统发酵技术,现代发酵工程技术在食品研发中展现出更广泛的应用前景。例如,利用现代发酵工程技术生产的益生菌酸奶、高纤维面包等功能性食品,丰富了食品种类,满足了人们对健康饮食的需求。现代发酵工程还在食品添加剂、酶制剂等领域发挥着重要作用,为食品工业的发展注入了新活力。

但与此同时,我国传统发酵食品产业仍面临自动化程度低、过程控制受限等问题。天津科技大学校长路福平认为,目前传统发酵食品产业的生产缺乏数字化客观标准和评价技术,以数字化为核心的智能装备,以及接地气的数字化评价表征新体系。传统发酵食品产业未来应以食品风味和人们的健康为导向,以数字化为驱动,搭建高效智造生产4.0平台。



山东滨州一家生物发酵企业的研发人员在进行益生菌培养实验。

## 智能、节约和高效是发展关键

发酵工程涵盖了微生物学、生物化学、分子生物学等多个领域。在食品生产中,发酵工程主要应用的生物技术包括基因工程、细胞工程、酶工程等。这些技术的应用,使食品制造过程更加高效环保,产品品质也得到了显著提升。“采用先进的生物技术,可以实现好氧发酵转厌氧发酵、发酵食品微生物群落的人工合成、构建自养型微生物发酵工厂等。”周景文说。

然而,生物技术食品发酵工程中的应用也面临一些攻关难点。首先,微生物菌种的筛选和优化是一个复杂而耗时的过程,需要借助先进的生物技术和设备来实现。其次,发酵过程中的代谢调控和产物分离纯化也是技术难点,需要对微生物的代谢途径和产物性质有深入了解。最后,食品安全也是生物技术应用在食品发酵工程中不容忽视的重要方面。

新一代发酵工程的关键是智能、节约和高效。在周景文看来,中国的发酵工程技术在世界上大多还处于跟跑和伴跑阶段,开发新一代发酵技术是我国实现领跑的契机。通过与其他学科的交叉融合,发酵工程技术的主要研究应该从产品制造和技术改进,拓展到新理论的发现、新方法的发明、新产业的发展等。

近年来,科研人员针对食品发酵工程技术难点进行了大量研究创新。例如通过基因工程技术改良微生物菌种,

提高其发酵性能和产物品质;利用代谢工程技术优化微生物的代谢途径,提高产物合成效率;开发新型发酵设备和工艺,实现发酵过程自动化和智能化控制等。

## 技术应用前景广阔

发酵工程技术的发展为发酵行业和相关产业带来了新机遇。首先,利用现代发酵工程技术生产的高品质、高附加值产品,满足了消费者对健康、环保食品的需求,提升了市场竞争力。其次,发酵工程技术在生物制药、生物能源、环保等领域的应用也展现出广阔前景,为相关产业的发展提供了新动力。此外,随着科技的进步,未来发酵工程技术还将不断完善和优化,为食品制造和其他领域带来更多可能性。

生物发酵将发酵技术和现代生物技术相结合,经过不断发展形成了成熟的产业化发展模式。中国轻工业联合会会长张崇和说,生物发酵是轻工特色产业,是生物制造的基础产业。近年来,生物发酵行业自主创新能力显著增强,装备水平快速提高,节能减排成效显著。生物发酵行业为轻工业高质量发展和国民经济稳增长贡献了积极力量。

他认为,生物发酵产业的产品更加多元化、生产更加现代化、市场更加国际化,正在为满足消费者日益增长的风味、营养、健康和文​​化需求,发挥着积极且重要的作用。

## 研究进展

## 纤维素乙醇和小球藻联产 让二氧化碳变废为宝

科技日报讯(记者马爱平)3月25日,记者从农业农村部成都沼气科学研究所获悉,该所微生物合成生物学与生物转化团队利用小球藻有效固定了乙醇发酵产生的二氧化碳,实现了纤维素乙醇和小球藻联合生产。相关成果日前发表在《生物资源技术杂志》上。

据不完全统计,全球每年生产超过9亿吨乙醇,在这一过程中却要产生超过7亿吨二氧化碳。然而,这些看似无用的二氧化碳,却是小球藻的“美味大餐”。据论文通讯作者、农业农村部成都沼气科学研究所副研究员吴波介绍,科研人员利用自主研发的气体分配和循环供给装置,将这些二氧化碳引入小球藻的培养系统中,小球藻便会如饥似渴地吸收这些二氧化碳,将其转化为自身的生物质。

研究提出了一种纤维素乙醇和微藻生物质联产的新工艺。“我们发现,在乙醇生产的过程中,微量的可发酵碳能被转化为高纯度的二氧化碳,但小球藻生长和代谢所需的适宜二氧化碳浓度仅为4%—10%。因此,我们建立了多次短期间歇式二氧化碳供应系统,促进小球藻有效固定和利用二氧化碳。利用该系统,我们以纤维素乙醇产生的二氧化碳为碳源,在沼液中实现了微藻生物质的生产,显著提升了藻类生物量和叶绿素的含量。”吴波说。

这一联产技术的应用,不仅节省了纤维素乙醇的生产成本,还实现了二氧化碳的有效转化和利用。吴波介绍,小球藻在生长过程中不仅固定了大量二氧化碳,还积累了油脂和自身生物质,二者都具有经济价值。同时,小球藻的生长还促进了沼液废水中营养物质的循环利用,有效降低了废水的总氮和氨氮含量,减轻了环境污染。



实验室藻房内一排柱状光生物反应器里,小球藻正在快速生长。

## 植物避盐性关键基因找到

科技日报讯(记者洪敬谱)记者3月25日从安徽农业大学获悉,该校生命科学院教授韩毅课题组与国内外专家合作,发现了植物避盐性的关键基因。该研究对于提高植物耐盐性,帮助盐碱地环境下的农作物稳产具有重要理论指导意义。相关研究成果近日发表于《自然·通讯》。

土壤盐渍化严重阻碍了植物生长发育以及农作物产量,这与施肥过度和地表水分蒸发产生钠离子有关。过量的钠离子对植物伤害很大,根系是植物最先受到土壤中盐渍影响的器官。2013年,荷兰科学家发现,植物可以通过改变主根的生长方向,减少盐环境对其生长的影响,这一行为被称为植物的避盐性。但是,调控植物避盐性的关键基因是什么尚不清楚。

研究人员选取了植物拟南芥开展盐浓度梯度实验,从该植物遗传基因发生改变的群体中,找到了根系避盐性缺陷的遗传材料,并验证了该遗传材料是由于转录因子基因SMB发生突变,导致植物几乎完全失去避盐性。研究人员进一步研究发现,SMB可以直接影响生长素在根尖中流动,从而促进避盐性反应。

韩毅说,接下来,他们将通过对该基因进行遗传改造,提升作物避盐能力,进一步评估其在盐碱地等恶劣土壤环境下对农作物稳产的影响。

## 我科研团队 破译复粒稻高产遗传密码

科技日报讯(记者马爱平)3月25日记者获悉,中国农业科学院作物科学研究所研究员童红宁团队破译了水稻种质资源复粒稻形成的遗传密码,揭示了植物激素油菜素甾醇调控水稻粒数的奥秘,为培育高产水稻新品种提供了理论基础和新路径。相关成果日前发表于《科学》。

复粒稻是一种具有多粒簇生(聚集成团或成堆生长)特点的水稻种质资源。自20世纪30年代以来,复粒稻的遗传机制始终是国际未解之谜。

童红宁介绍,研究团队历时7年,创制了1万份(约16万个单株)复粒稻诱变株系,最终筛选出2份不簇生突变体株系,从而定位到发生突变的基因。通过进一步解析,研究首次发现,油菜素甾醇可以通过调控水稻穗二级分枝调控粒数。田间试验显示,与不簇生的复粒稻对比,该研究采用的一份复粒稻二级分枝多了35.2%,让每穗粒数增加了28.2%。

“这项研究发现,油菜素甾醇含量控制着复粒稻粒数的某些特定性状。这也说明从种质资源中挖掘基因资源,是突破当前作物产量瓶颈的有效途径。”中国科学院院士林鸿宣说。

簇生在其他植物中也广泛存在。童红宁介绍,通过对簇生辣椒和非簇生辣椒,以及具有簇生花的蔷薇和非簇生花的玫瑰进行油菜素甾醇测量比较后发现,这些植物的簇生与非簇生之间也具有与水稻类似的油菜素甾醇含量变化。这表明油菜素甾醇含量控制簇生的机制,可能在大自然中具有普遍性。

本版图片由视觉中国提供

# 非洲猪瘟病毒感染致病机制揭示

科技日报讯(郅金 记者顾满斌)记者3月25日从兰州大学获悉,该校动物医学与生物安全学院教授郑海学团队解析了非洲猪瘟病毒(ASFV)在猪体内感染的靶细胞,以及在靶细胞内延长感染的机制。这项研究系统阐明了ASFV感染的细胞嗜性、病毒复制和感染动态,以及激发免疫反应的特征,为鉴定ASFV感染路径和阐明感染致病机制提供了重要数据。相关研究成果发表于《美国科学院院报》。

郑海学介绍,非洲猪瘟是世界养猪业的“头号杀手”。然而,ASFV在猪体内真实生理环境下感染的靶细胞及其在靶细胞内延长感染的机制仍不明确。针对此问题,该研究利用单细胞测序,结合流式细胞术、多色组织芯片和体外感染鉴定等多种技术,对ASFV感染过程中脾脏细胞类型组成的动态变化、感染细胞嗜性、调控免疫应答、抗病毒反应规律,及其延长感染机制等进行了研究。

研究首先建立了ASFV对猪感染致

死的模型,测定了各组织感染指标的消长规律。研究发现,脾脏是ASFV病毒载量最高的器官。因此,研究人员选择感染病毒的脾脏进行单细胞测序,通过进一步深入分析及实验验证,确定了巨噬细胞和单核细胞是脾脏中感染ASFV的主要细胞类型。

“ASFV感染造成了巨噬细胞大量死亡,一种罕见的单核细胞亚群成为病毒感染的主要细胞群。”郑海学介绍,对单核细胞亚群的谱系分析表明,它们是由骨髓紧

急运输而来的未成熟单核细胞,该群细胞均未表达或低表达单核细胞的标记分子CD14。“这使得它们能够躲避免疫系统的‘监视’和‘杀伤’。未成熟单核细胞作为ASFV感染的重要靶细胞还从未被发现,也没有被报道过。”郑海学说。

同时,通过对感染ASFV的靶细胞开展研究,团队发现,细胞凋亡、干扰素反应和抗原呈递能力,在这些单核细胞中被显著抑制。这有利于ASFV在猪体内感染和复制。

# 打破柑橘黄龙病可防不可治“魔咒”

◎本报记者 陆成宽

柑橘黄龙病是一种让果农闻之色变的病害。柑橘黄龙病发生后如果得不到有效控制,全果园的柑橘树都可能被感染。然而遗憾的是,目前世界上还没有公认的治疗柑橘黄龙病的有效方法。

近日,《欧洲植物病理学报》在线发表的一篇文章介绍了关于柑橘黄龙病防治的重要进展。来自中国科学院长春应用生物研究所的科研人员打破了柑橘黄龙病可防不可治的“魔咒”,证明了基于土壤修复改良与生物防治,柑橘黄龙病不仅可防可控,而且可治。同时,这种方法还具有成本低、效果好、绿色环保的优点。

## 传统防御“三板斧”治标不治本

柑橘是世界第一大类水果。中国柑橘种植面积约3900万亩,是世界柑橘种植第一大国。柑橘黄龙病是公认的世界性植保难题,号称“柑橘癌症”。实际上,柑橘黄龙病是一种柑橘苗木被韧皮部杆杆菌寄生后感染的细菌性病害。“柑橘黄龙病的病原菌是

革兰氏阴性菌,属韧皮杆菌,厌氧,长在树皮与树干之间,外用药物对其基本无效。”论文通讯作者、中国科学院大学未来技术学院教授何裕建介绍。

柑橘黄龙病主要有3个种:亚洲种、非洲种和美洲种。其主要危害柑橘(属)类水果,包括橘、柑、橙、柚、金柑和柠檬等,外在症状是柑橘树叶发黄、果实发软,以及可能结出青黄相间的红鼻子果。多年来,国内外研究人员一直致力于研究柑橘黄龙病,但收效甚微,并没有跳出传统的防御“三板斧”怪圈。

所谓的防御“三板斧”,第一板斧是挑选健康的柑橘苗木;第二板斧是以农药外用杀灭或用虫网等物理手段阻断黄龙病的传播媒介木虱;第三板斧是一旦柑橘树被黄龙病感染,便以砍树的方式来防止病害进一步扩散。

“‘三板斧’的主要缺点是治标不治本,无法消灭病原菌、根治黄龙病。而第三板斧砍树,事实上也阻断不了黄龙病蔓延,而且会造成果农因重种柑橘新苗至少5年内无收益。”何裕建坦言。

出身于柑橘之乡湖南永州的何裕建,有感于乡亲父老们深受柑橘黄龙病之苦,

自2013年开始,便致力于研究柑橘黄龙病。何裕建发现,目前研究黄龙病的人都主要关注地面上柑橘的各种植保方案,很少关注土壤问题和柑橘根部的处理。

何裕建说,一些柑橘果园滥用农药化肥和除草剂,严重破坏了土壤。团队收集了全国主要柑橘产区的土壤,经检测分析发现,一些地区的土壤出现农残含量高、pH酸化或碱化、盐渍化、有机质低、中/微量元素不正常、有益微生物严重受损或不均衡等问题。

## 土壤改良与生物防治结合

基于充分的调研,何裕建团队提出了土壤修复改良与生物防治相结合的黄龙病综合防治思路。“我们通过筛选微生物来降解土壤中的农药残留,采用对应的生态手段,恢复土壤正常pH值、降低盐渍化、提升有机质、均衡微量元素含量。同时,筛选、使用土壤益生菌,特别是能对黄龙病病原菌、根腐病原菌等产生拮抗作用的组合菌,对柑橘常见地下与地上病害采取全方位处理措施。”论文第一作者、中国科学院大学未来技术