

薛晓芳, 方 勇, 耿国桐. 美国国防部高级研究计划局生物交叉技术进展[J]. 中华医学图书情报杂志, 2022, 31(6): 41-45.

DOI: 10.3969/j.issn.1671-3982.2022.06.005

· 情报研究与方法 ·

美国国防部高级研究计划局生物交叉技术进展

薛晓芳, 方 勇, 耿国桐

[摘要]通过总结美国国防部高级研究计划局生物交叉技术发展重点, 梳理和分析 2021 年美国国防部高级研究计划局在研的生物交叉技术项目, 了解其生物交叉技术聚焦方向、发展特点和近年进展情况。美国国防部高级研究计划局生物交叉技术投入持续增长, 项目主要聚焦武器系统性能增强、作战人员效能优化和防护能力提升等方面, 突出了聚力后勤自主补给与维护、深耕人体效能恢复与增强、聚焦武器系统材料生物合成等特点。这些对我军生物交叉技术发展决策, 对我军生物交叉技术研究具有较好的借鉴作用。

[关键词]美国国防部高级研究计划局; 生物交叉技术; 项目进展

[中图分类号]E11:Q819 **[文献标志码]**A **[文章编号]**1671-3982(2022)06-0041-05

Analysis of the progress of biological crossover technology of the U.S. Defense Advanced Research Projects Agency in 2021

XUE Xiao-fang, FANG Yong, GENG Guo-tong

(Information Research Center of Military Sciences, Academy of Military Sciences, Beijing 100142, China)

Corresponding author: GENG Guo-tong

[Abstract]By sorting out and analyzing the biological crossover technology projects under research by the U.S. Defense Advanced Research Projects Agency (DARPA) in 2021 and summarizing its development priorities, the focus direction, characteristics and recent progress of biological crossover technology were obtained. DARPA continues to increase input in the biological crossover technology, whose project mainly focuses on weapon system performance enhancements, combat personnel efficiency optimization and protection capability, etc., highlighting the characteristics of independent supply and maintenance of logistics, human efficiency recovery and enhancement and the biosynthesis of weapon system materials, so as to support the development decision of the Chinese military's biological crossover technology and provide a good reference for the research of the Chinese military's biological crossover technology.

[Key words]DARPA; Biological crossover technology; Program progress

[基金项目]军委科技委战略先导计划“国防科技前沿技术综合研究”(21-ZLXD-01-02-08-001-02),“DARPA 生物交叉技术布局与对策研究”(19-ZLXD-33-02-14-007-01)

[作者单位]军事科学院军事科学信息研究中心, 北京 100011

[作者简介]薛晓芳(1981-),女,博士,副研究员,研究方向为国防科技情报。

[通讯作者]耿国桐(1975-),男,博士,研究员,研究方向为国防科技战略研究。E-mail: ggtong@163.com

美国国防部高级研究计划局(defense advanced research projects agency, DARPA)作为美国国防部军事能力的提供者,以“避免技术突袭并谋求对敌方的技术突袭”为目标,不断从顶层制定科技规划,持续支持能“改变游戏规则”的高风险、高回报技术研发,取得了重大创新成就,被誉为保持美国军事技术领先地位的“国防技术引擎”。DARPA 的

生物交叉技术研究一定程度上代表了美军生物交叉技术应用最前沿技术。随着生物交叉技术在军事应用中发挥的作用越来越大,近几年 DARPA 在生物交叉领域投资持续增长,国内已有针对 DARPA 每年项目投入的简单梳理和分析研究^[1-3],但只是对 DARPA 的某个财年科研预算的布局分析,鲜有针对 DARPA 生物交叉技术领域在研项目的进展分析。研究 2021 年 DARPA 生物交叉领域在研项目的发展情况,将对我军生物交叉技术发展决策有一定借鉴作用,可为我军生物交叉技术相关研究提供一定参考。

1 生物交叉项目总体分析

本文以 2021 年 DARPA 生物交叉技术领域在研的 34 个项目为研究对象,该领域投资金额共计 4.31 亿美元^[4],约占总预算的 12.2%,同比增长 15.2%。又针对每个项目进行作战应用和预期进展分析,总结 34 个项目的作战应用效果,得出 2021 年 DARPA 生物交叉技术聚焦方向和发展特点。

2021 年 DARPA 生物交叉技术主要聚焦武器系统性能增强、作战人员效能优化和防护能力提升等方面,共计 34 个项目。其中,武器系统性能增强相关项目 15 个,共计 1.47 亿美元;作战人员效能优化相关项目 10 个,共计 1.58 亿美元;生物威胁检测与防护相关项目 9 个,共计 1.26 亿美元。这些项目在材料制造、后勤保障技术与装备、人效增强药物与器械、疾病防护等方面取得进展。

2 生物交叉技术方向分析

2.1 武器系统性能增强

DARPA 长期关注利用合成生物学方法制备含能材料、聚合物、溶剂/涂料、纤维、织物、光学材料、粘合剂、无机材料等,提高武器系统的火力、防腐、耐高温、表面粘合等性能;利用生物合成技术提升美军后勤物资生产、建筑材料固化与再生、海岸防护加强、装备腐蚀控制等能力;利用生物系统进行辐射、声学和电磁学等复杂特征的监测,增强作战人员的战场态势感知能力。

2.1.1 高性能材料合成

2021 年, DARPA 在高性能材料合成方面项目布局较多,在研项目共 5 项,主要进行武器装备超

常材料、精密元器件稀土元素、蛋白质和核酸制造,以及太空生物制造等研究。这些项目的技术进展较大。其中,“生命铸造厂”项目主要利用合成生物学实现超常材料的设计与制造,提高按需生产能力。截至 2021 年底,该项目已开发了多功能生物合成平台,使生物合成设计时间缩短,生物制品的设计与生产提速,可生产低成本的耐高温涂料,以及喷气式飞机和导弹燃料等材料,涉及 1 630 种分子,已向各军种转化高能燃料、热稳定聚合物、高性能复合材料等超常材料生物合成技术^[5]。“环境微生物工程资源”项目旨在研发稀土元素的生物采矿平台,实现美本地稀土元素提取,最终达到每周生产 700 克以上单个稀土元素。“重塑蛋白质制造”项目旨在研发“即时分布式”蛋白质制造技术,提升美军在恶劣环境中的蛋白质医疗对策生产能力,最终实现 24 小时内生产 5 类具有生物活性的复杂蛋白质。“全球核酸按需制备”项目旨在研发可 24 小时内快速生产、配制与包装数百种核酸制剂的移动平台,用于美军传染病防控,2021 年 2 月, DARPA 资助了美国莫德纳公司和通用电气公司,研制可快速生产、配制和包装核酸药物的平台。“太空生物制造”项目旨在研究轨道环境下微生物替代原料的利用、可变重力下微生物生长优化、太空辐射对微生物生长与生产的影响与缓解措施,最终形成太空中的生物制造能力,确保太空资产的供应链弹性。

2.1.2 生物合成后勤补给物资

2021 年, DARPA 加强后勤补给物资的生物合成技术研发,聚焦战场食品、水、润滑油、血液、建筑材料等生物合成研究及装备微生物防护研究。在研项目共 7 项,这些项目技术进展较大,研发路线新奇,对我军后勤物资装备技术发展具有一定借鉴意义。其中,“原料按需生产”项目旨在研发后勤资源(食物、水和润滑剂等)的按需生产系统,使作战人员可利用能源密集型废物独立生产物资,延长作战时间,提高作战灵活性,2021 年 1 月, DARPA 资助了美国劳伦斯伯克利国家实验室等团队,开发友好独立集成的“变废为宝”系统。“聚宝盆”项目旨在研发可在野外按需生产蛋白质、碳

水化合物、脂肪和膳食纤维 4 类食品的系统, 满足包括 14 名士兵的小分队在 45 天恶劣环境下的口粮供应。“大气水提取”项目将研发大气饮用水的提取设备, 为单兵提供一定规模、重量、功率的水输出, 提高作战人员饮用水自供给能力, 受资助的美国通用电气公司研发部门等正在开发轻便的“空气变水”设备。“野外全血替代品”项目开发一种可部署、耐保存、通用的全血替代品, 用于战伤输血, 抢救严酷作战环境下的战伤人员生命, 最终达到一周内可生产 50 个单位的全血产品, 能在极端温度环境中存储 6 个月, 成本、重量与同量全血接近。

“工程活体材料”项目开发的先进生物水泥已被用于远征军事设施建设等任务, 2021 年试验了 CV-22 倾转旋翼机和 C-17 战略运输机的机场建设^[6-7], 有望帮助美国空军在作战区域快速、隐蔽地建成简易机场群, 起降搭载高超音速导弹、火箭炮的战略/战术运输机, 对对手发起“快打快撤”式突袭, 实现未来空中分布式作战。“海岸防护”项目旨在利用合成生物学开发工程化的珊瑚或牡蛎礁海岸防护系统, 减轻海浪和风暴潮对海岸的损害, 最终可消减 90% 的波浪能。“装备防腐蚀”项目旨在利用微生物菌群控制技术在军用物资装备表面生成保护性生物膜, 缓解或去除装备的微生物腐蚀, 降低装备维护成本。

2.1.3 生物传感器感知战场态势

在生物传感器方向, DARPA 主要研发人体表观遗传特征、转基因植物、水生生物传感器等, 探测美军事人员、陆地环境和海上所面临的威胁。其中, “表观遗传特征监测”项目旨在开发化生放核爆检测设备, 可在 30 分钟内识别出某人携带的化生放核爆武器, 提高对美军大规模杀伤性武器威胁的诊断能力; “植物传感器”项目旨在开发可远程监控环境变化的转基因植物传感器。“水生生物传感器”项目旨在开发可监测水下运载工具的生物传感器硬件, 提高美军对海上威胁的侦察能力。

2.2 作战人员效能优化

DARPA 开发可监测并预测作战人员效能的传感器, 确定作战人员效能增强的标志物和代谢模型等; 开发个性化的认知能力的评估、维持与增强方法,

提高作战人员的认知能力; 研究人类微生物组及其遗传信息的表征与建模, 提高人体防御力和恢复力。

2.2.1 研究人体效能标志物, 实现人效增强

在人体效能标志物方向, DARPA 主要研发人员战备状态监测、人体器官代谢延迟、人效增强工程化细胞、恢复力提升药物、人体表观基因组调节平台等, 增强人体耐受力 and 效能。其中, “生物能力测量”项目旨在开发可实时监测作战人员选拔与训练状态的传感器, 提高人员选拔训练效率, 改善任务团队组建和人员恢复能力。“生物停滞”项目开发能干预人体分子、细胞、器官代谢进程的长效药物, 延长战伤黄金救治时间。“生理超配”项目开发可减轻熬夜或污染造成人体效能退化的工程细胞, 降低作战人员受到的病毒、细菌或毒素等威胁。“万能药”项目开发新型多靶点药物, 提升极端环境下作战人员的恢复力。“表观基因组调节”项目开发可暂时调节人体表观基因组的模块化普适平台, 抵御病原体、药物和辐射等对人体的威胁, 重点关注流感病毒、阿片药物、有机磷和 γ 射线辐射。2021 年 2-3 月, DARPA 研发了新冠病毒 CRISPR 靶向治疗剂, 可延缓或阻止新冠病毒的复制。

2.2.2 研发器械药物, 实现认知恢复与增强

在认知力恢复与增强方向, DARPA 注重便携、高分辨率和智能的脑机接口系统。在研项目共 2 项。其中, “下一代非手术神经接口”项目主要开发安全、便携、高分辨率的双向脑机接口系统, 实现人与系统的高速交互, 提高作战人员的战场认知和快速决策能力。“智能脊柱接口”项目将开发新型自适应智能接口, 恢复脊髓损伤人员的呼吸、肠道与膀胱控制、运动、接触和本体感觉等功能, 如 2021 年 1 月加拿大加里大学的一项研究, 通过对患者脊髓进行电刺激控制患者血压。“聚焦医药”项目是延续性项目, 旨在开发快速治疗退伍军人神经疾病的药物, 革新美军的精神保健服务。

2.2.3 研发微生物组和生物工程技术, 实现恢复力增强

在人员恢复力增强方向, DARPA 通过微生物组和生物工程技术提升人体免疫力、耐受力和伤口愈合能力等。在研项目共 2 项, 其中, “扩展人体

弹性”项目主要研究人类胃肠道、呼吸系统、皮肤或口腔内的微生物群落与人体的免疫、代谢、耐受、情绪、决策等的关系,开发菌群控制药物,提高作战人员的免疫力、代谢力、耐受力及凝聚力等作战效能。“战伤快速恢复”项目主要开发加速伤口愈合的闭环自适应系统,由传感器和执行器组成,传感器评估伤口状态并跟踪身体反应,执行器传递生化信号并加快愈合,最终实现复杂伤口的智能愈合,为作战人员提供更快、更精准的恢复力。

2.3 传染病防护能力提升

由于新冠疫情肆虐全球,DARPA 持续投资病原体的检测、治疗药物研发和传染病媒介控制等领域。

2.3.1 病原体检测与监测

在病原体检测与监测方向,DARPA 主要开发基因编辑病原体检测器、细菌监测设备、大规模杀伤性武器监测系统、个性化生物防御系统,提升美军生物防御能力。在研项目 4 项。其中,“CRISPR 病原体检测仪”项目旨在将基因编辑器整合于分布式生物检测器中,开发 15 分钟内可筛查 10 种以上病原体或宿主样本的设备,以及可同时筛查 1 000 个临床样本的大规模多个病原体检测平台,提高美军的传染病防控能力。2021 年 8 月,DARPA 开发了串联核酸酶检测方法,可在 20 分钟内对每微升 RNA 约 30 个分子进行稳定检测。“细菌监视”项目主要开发工程化或未知细菌性病原体的检测设备,为美军提供新型生物防护能力。“大规模恐怖威胁防御”项目前期已开发了可经济、可靠、广域监测大规模杀伤性武器的传感器网络 SIGMA,抵御人口密集中心的化生放核爆威胁。2021 年 1 月,DARPA 将 SIGMA 系统压缩为轻巧(移动电话大小)、便宜的(400 美元)的网络化设备,该设备已成为美国国家安全基础设施。“个性化生物防护系统”项目将开发先进的单兵化生防护装备,研发新的生物材料,以及能捕获、中和或消除化生制剂的化合物和轻质耐用系统,提高作战人员的生存能力。2021 年 4 月,DARPA 资助美国菲力尔公司等 3 家公司开发轻质材料和强适应性化生防护方法。

2.3.2 抗病原体药物研发

在传染病治疗药物方向,DARPA 主要开发病毒源头干预制剂、病毒干扰颗粒、多重耐药细菌药物,以及强化病毒和细菌性传染病的治疗方法。在研项目 3 项,其中,“预防新兴致病威胁”项目旨在开发病毒性传染病的源头干预方法,包括移除病毒突变和减少病毒载量的抗病毒剂、疫苗和干扰颗粒等。“干预、共同预防及治疗”项目主要利用病毒的治疗性干扰颗粒干扰病毒复制,开发针对病毒变异的广谱性抗病毒制剂。2021 年 4 月,该项目资助的巴斯德研究所利用有缺陷的寨卡病毒基因组序列,研制出可治疗寨卡病毒感染的干扰颗粒,可降低蚊子和小鼠体内的病毒活性。“多重耐药细菌的治疗剂”项目将开发新的多重耐药性细菌治疗方法,包括筛选宿主的结合配体,开发细菌的细胞降解或失活方法,生成宿主配体治疗剂。

2.3.3 传染病媒介控制

在传染病媒介控制方向,DARPA 主要利用基因驱动技术阻断蚊虫等传染病媒介的繁殖。其中,“安全基因”项目主要开发可以随时随地修改或恢复经基因编辑后的序列,安全控制基因编辑技术的方法,如限制、消除基因编辑的药物,防止基因编辑滥用风险。2021 年,DARPA 研发团队开发了可降低按蚊繁殖能力的基因驱动抑制技术,研发了分子遗传控制系统,控制多个病媒野生种群,使伊蚊不育,降低疾病传播^[8]。

3 生物交叉技术布局特点

通过分析 DARPA 在 2021 年生物交叉技术的总体资金投入与研究重点,可看出 DARPA 不断提升后勤保障和作战人员效能及生物防护能力等方面的研究,呈现出以下特点。

3.1 聚力后勤自主补给与维护能力,全面提升一体化后勤保障能力

近 2 年,DARPA 聚焦水、食品、超常材料、润滑剂、血液、建筑材料等物资的生物合成技术,开发作战单元或单兵可使用的自主快速物资生产设备,保障边缘部队的自主后勤补给能力,降低后勤运输成本。同时,利用合成生物学建造自修复海岸防护系统,利用微生物菌群控制进行装备维护,

利用由生物细菌和土壤制备的生物水泥快速隐蔽建设前沿机场和基地,实现基础设施的快速建设和自主维护能力。2021 年 3 月,美国陆军的《多域转型:在竞争和冲突中获胜》报告强调,将为联合部队提供持续的后勤保障、维护兵力投送能力。DARPA 将生物交叉技术布局在一体化后勤保障能力的全面提升上,未来这些技术装备将在各军种全面运用,将大大提升美军的后勤自主补给与维护能力,支撑分布式作战。

3.2 深耕人体效能恢复与增强技术,打造超级士兵

近几年,DARPA 广泛布局“生物能力测量”“生物停滞”“生理超配”“万能药”“表观基因组调节”“聚焦医药”“扩展人体弹性”“智能脊柱接口”“非手术神经接口”“战伤快速恢复”,聚焦人体效能恢复与增强技术,研究与人体效能相关的生物标志物,开发相关药物、工程细胞、神经接口和植入式电子设备等,提高在极端作战环境下人体的恢复力与效能,打造恢复快、环境耐受力强、人体效能超强的“超级士兵”。

3.3 聚焦武器系统材料的生物合成技术,提升供应链安全

DARPA 自 2011 年发布“生命铸造厂”项目以来,长期致力于超常材料的生物合成技术,已实现了 1 630 种分子的低成本快速制备,可生产隐身雷达吸波材料、耐高温涂料、喷气式飞机和导弹燃料等,目前正与空军研究实验室、海军空战中心等部门进行更多新材料的研发合作。近 2 年,DARPA 又推出了稀土元素、蛋白质和核酸等物质的高效生物合成项目,以及太空生物制造项目,未来有望打通战区前沿供应链,实现物资装备的低成本快速生产,提升单兵或小型分队的人员和武器装备的补给与维护能力。

4 结语

总体来看,2021 年 DARPA 生物交叉技术主要布局在高性能材料制造、后勤补给和战场态势感知提升等武器系统性能增强领域,在人体的体力、恢复力、认知力效能增强领域长期研究,在传染病检测与监测、药物研发和疫苗研制等方面持续研究。

未来,DARPA 还将利用人工智能、合成生物学、脑机接口等技术的交叉融合,持续增强美军生物交叉技术应用,大幅提升美军的装备和人员效能,维持美军全球领先的军事科技代差优势。我们应密切关注其进展情况,时刻警惕其颠覆性技术带来的军事变革。

本文梳理了 2021 年 DARPA 生物交叉技术领域在研项目,分析了 2021 年生物交叉技术在研项目布局 and 主要进展,总结了其生物交叉技术发展重点和特点及未来发展趋势,对我军生物交叉技术发展具有一定借鉴意义。但针对 DARPA 生物交叉技术领域发展情况还需更加关注其在研项目涉及的技术领域,以及项目后续主要进展和成果转化情况,还需深入分析项目公告书,进一步分析相关技术和军事应用成果,获得更有效的决策支撑价值。

【参考文献】

- [1] 袁荣亮,郭杰,王彤. 美国 2021 财年国防高级研究计划局科研预算分析[J]. 飞航导弹, 2021(5): 1-8, 12.
- [2] 张音,王磊. 美国防高级研究计划局 2020 年度生物科技项目进展分析[J]. 军事医学, 2021, 45(6): 414-417.
- [3] 程鲤,李长芹,荆象新,等. DARPA 2021 财年生物科技项目布局情况分析[J]. 国防科技, 2020, 41(6): 16-21.
- [4] 美国防部 2022 财年预算—DARPA 国防部预算书—研发与试验鉴定[EB/OL]. [2022-02-10]. https://comptroller.defense.gov/Portals/45/Documents/defbudget/fy2022/budget_justification/pdfs/03_RDT_and_E/RDTE_Vol1_DARPA_MasterJustificationBook_PB_2022.pdf.
- [5] DARPA 成功过渡合成生物制造技术以支持国家安全目标[EB/OL]. [2022-02-10]. <https://www.darpa.mil/news-events/2021-12-08>.
- [6] 海军第 11 机动建设营构建直升机着陆原型[EB/OL]. (2021-07-27) [2022-02-10]. <https://www.dvidshub.net/image/6781330/nmcb-11-constructs-prototype-helicopter-landing-zone>.
- [7] 投射作战力量,巩固纽带[EB/OL]. (2021-09-24)[2022-02-10]. <https://www.jbcharleston.jb.mil/News/Article/2788380/projecting-the-force-cementing-a-bond/>.
- [8] Li M, Yang T, Bui M, *et al.* Suppressing mosquito populations with precision guided sterile males[J]. Nature Communications, 2021, 12: 5374.

[收稿日期: 2022-03-02]

[本文编辑: 刘娜]