

基因编辑技术与合成生物技术的伦理问题比较

张慧¹, 闫瑞峰^{2*}

1. 大连理工大学人文与社会科学学部, 大连 116024
2. 北京工业大学马克思主义学院, 北京 100124

摘要 概述了基因编辑技术和合成生物技术的发展所带来的复杂伦理问题;分析了二者在自然生命观、传统文化观、技术安全观、社会公正观等方面引发的共性伦理争议,以及在伦理后果、伦理态度和伦理治理等层面存在的伦理差异。通过构建合理的伦理反思进路,展望了现代生物技术面临的复杂性伦理挑战以及所应秉持的科学伦理立场。

关键词 基因编辑技术;合成生物技术;伦理争论;公平性

以基因编辑技术和合成生物技术为代表的前沿生命科技,在给人类生活、健康等方面带来福祉的同时,也引发了诸多复杂性的伦理问题与风险。2018年末的“基因编辑婴儿”事件中,贺建奎利用CRISPR/Cas9基因编辑技术敲除了胚胎细胞中与艾滋病免疫相关的CCR5基因,这种人为改变人类自身基因性状的行为引发了系列伦理争议和伦理讨论。一方面,由于这一行为本身严重违反了学术道德和行为准则,一些重要的国际科学权威机构均对此进行了严厉的谴责^[1];另一方面,国内外学者分别从伦理、法律和社会影响方面进行了批判性研究。在合成生物技术实践中,考虑到在合成病毒中

引入人工突变可能会导致传染性的改变^[2],引发了人们对合成生物技术滥用和误用的恐慌。

目前,国内外学者多从基因编辑技术或合成生物技术的单一视角对其所涉及的伦理问题及治理路径进行探讨。基因编辑技术由于兴起较早,应用范围较广,因此学界对相关伦理问题的研究成果较为丰富,学者们从道德困境、风险问题、消解路径等多个视角对相关伦理问题进行了探讨^[3-5]。关于合成生物技术的伦理争议,现有研究相对较少且主要聚焦于生命价值和安全风险方面^[6-7]。虽然各界对2种技术的伦理问题争论不休,但就基因编辑技术与合成生物技术所涉及的伦理异同进行比较研究

收稿日期:2021-12-15;修回日期:2022-04-15

基金项目:国家社会科学基金重大项目(21ZDA017);国家社会科学基金青年项目(21CZX022)

作者简介:张慧,副教授,研究方向为科技伦理、科技创造方法论,电子信箱:352522616@qq.com;闫瑞峰(通信作者),讲师,研究方向为科技伦理、比较伦理,电子信箱:yanrfecps@163.com

引用格式:张慧,闫瑞峰. 基因编辑技术与合成生物技术的伦理问题比较[J]. 科技导报, 2022, 40(18): 56-62; doi: 10.3981/j.issn.1000-7857.2022.18.007

的文章并不多见,尤其缺少从伦理理念、伦理态度和伦理治理层面的深入比较,而这一问题又是系统理解当前乃至未来生命科学伦理问题的重要方面。

1 基因编辑技术与合成生物技术伦理比较的缘起

基因编辑技术通过借助某种生物技术对目标基因进行靶向识别,插入、敲除或定点修改基因片段,以实现修复缺陷基因、治愈疾病的预期目的^[8],其经历了 ZFN(锌指核酸酶)、TALEN(转录激活因子样效应物核酸酶)和 CRISPR-Cas9(成簇规律间隔短回文重复序列及其相关蛋白9)这3个技术发展阶段。合成生物技术的出现略晚于基因编辑技术,其主要通过设计和构建新的生物部件、生物装置和生物系统以及重新设计现有的生物部件等方式获取更卓越的应用^[9],从而使生命科学领域进入“人工制造生命现象”的新阶段。

合成生物技术和基因编辑技术是生命科学领域中两门不同的技术。虽然有人认为合成生物学作为一个比较宽泛的学科门类,包含了基因编辑技术,如果基因编辑技术进一步发展,可能也会制造出一个新的生命体;但将基因编辑技术描述为合成生物技术,很难与合成生物技术的许多描述词相一致,尤其在考虑基因编辑技术的各种潜在后果时^[10]。二者在技术路线、技术手段和技术后果等方面存在明显的异质性特征。首先,在概念上,合成生物技术是对生命体的整体性设计和系统性重构;而基因编辑技术是对生命体遗传物质的局部改造。其次,在技术手段上,基因编辑技术依赖于核酸酶,对基因组中特定位置产生位点特异性双链断裂,进而对原有的目标基因进行修饰;而合成生物技术依赖于同其他技术的交叉应用,建立一个非自然的基因组甚至是生命体。再次,在技术后果上,基因编辑技术主要针对原有生命有机体进行操作,实现功能性的提升;合成生物技术则进一步实现了从操纵现有有机体到创造新的生物实体的范式转变,从根本上改变了人类设计生命的能力,给人类和环境带来颠覆性的影响。

技术的向善发展离不开伦理的反思与规约,伦

理规制则建立在对技术伦理问题的深入认识基础之上。由于基因编辑技术和合成生物技术在应用于人体时,会深刻改变人的身体特性和结构,打破自然生命体构建或存在的自然基础,使生命科学的发展和伦理观念之间产生冲突,进而引发一些共性伦理问题,例如有学者认为两者的发展均涉及生物安全与风险问题^[11]。与此同时,基因编辑技术和合成生物技术在技术原理^[12]、使用目的、治理机制方面的特点^[13],也会形成差异化的伦理争论。比较的最终目的是寻求普遍规律,在对二者进行综合比较研究的基础上,提出现代生物技术伦理问题所存在的共性和挑战,探讨解决相关伦理问题的新思路、新办法,有效规避并减少生物技术所带来的诸多不确定的伦理风险,从而引导生物科技向善发展。因此,需要通过对相关伦理问题进行多维度、多层次的深度分析,发掘出关键的共性特征与差异之处,以此为建立满足新兴生命科学技术发展需求的伦理治理体系奠定基础。

2 基因编辑技术与合成生物技术的伦理共性

基因编辑技术和合成生物技术均涉及改变生物体的遗传密码,因此会面临一些共生性伦理问题。首先在哲学理念层面体现出一些交叉的通性,主要表现为对传统生命自然观和宗教文化观的挑战;同时,在现实中,基于这种哲学理念层面的伦理讨论并不能够有效阻止这两项技术的发展,由此引发了两者在技术应用中如何更安全和更公平的伦理争论。两者的伦理共性主要表现在以下4个方面。

2.1 动摇人类自然生命观

基因编辑技术带来的核心伦理问题之一,便是对人类自然生命观的挑战。自然生命观是指生物的生存和发展依照自然界的规律演化和发展,未经或基本不受外在的人为干预,属于一种自然生命主义的传统观念,并受到大多数人的支持。基因编辑技术用外在的技术手段干预和改变人类自身身体结构,挑战了传统生命哲学所倡导的尊生、贵生、重生的生命哲学观^[14]。基因编辑技术作为生命科学领域的一种高级技术形态,它的不断发展可能会引

发道德哲学革命,其主要原因在于这项技术对人类的自然本性进行了实质性改变,导致人性的道德基础发生深刻变化,颠覆了传统文明时代“自然人—自然家庭”的道德哲学基础。按照基因编辑技术的这一发展路径来讲,未来道德哲学的形态将是“自然人—技术人”共生互动的“不自然的伦理”和“不自然的道德哲学”^[15]。基因编辑技术在一些场景中的应用,特别是用于生殖系基因干预和基因增强时,短时间内会导致人体性状的变化,从而彻底改变人类进化方式。

与基因编辑技术类似,合成生物技术的应用尽管仍处于改变微生物的初级阶段,但因其可以创造新的非自然的人工生命,因而引发了人们对于人工生命的哲学思考。合成生物技术打破了“生命”与“非生命”的天然界限,对传统的“生命”含义、本质、价值和意义等观念产生冲击^[16]。在这项技术的加持下,生命成为一种可以人为设计的“物品”,是对标准化生物元件的组装,而不再需要大自然的孕育,由此引发社会文化层面的革命性探讨。人类是否具有挑战“以生物进化的自然法则为基础的生命伦理,将人的意志和文化嵌入到生命进化之中,设计和重构生命”的权力^[7]?这实质上是制造生命有机体的正当性问题。我们应该赋予新的合成生命体怎样的道德地位?新的生命有机体是否只能被当作工具来看待?随着合成生物技术发展到更高等级的生命形式,新的合成生命体的道德地位是否应当被重新考量?这些势必会对传统生命价值观产生更大的挑战。

2.2 打破传统宗教文化观

基因编辑技术会严重冲击乃至颠覆人类的传统宗教文化观念。宗教文化观是指将宗教作为一种精神层面的文化,在人与人之间达成关于宗教地位和作用的共识,其中也包含了对人类与宗教关系的思考。宗教中的主要流派对人的道德属性有明确规定——神造人论,或者认为人是神的子民并由神支配。使用基因编辑技术作用于人类无异于是在“扮演上帝”,完全颠覆了宗教的神创论。

在关于合成生物技术的伦理争论中,“扮演上帝”的论点被广泛用于攻击生物技术这个新分支。合成生物技术与生命有机体的自然形成或上帝塑

造的观念相冲突,在传统的宗教文化理念背景之下,如何负责任地应对合成生物技术的社会挑战的伦理路径被提出^[17]。合成生物技术改变了自然界原本的进化规律,生物进化不是沿着自然选择的自我进化过程,而是按照人类意志有目的、有控制地进化^[18]。合成生物技术对自然界的进化形成了新的诠释,如果不加约束地放任此项技术的发展,人工合成生命可能会成为生物进化的重要力量。合成生物技术显然会打破宗教关于“上帝造物”的传统思想,从而挑战宗教的地位、弱化宗教的功能。

2.3 挑战技术安全观

基因编辑技术的安全性始终是绕不开的基础性问题。基因编辑技术不仅在其自身安全性和社会层面产生诸多伦理问题,在非传统领域也可能存在巨大风险。一方面,由于基因编辑的技术实践是基于改变原有生物体的基因性状以达成特定目的,因此,原本通过自然选择和进化所形成的基因组将产生部分改变,导致人类群体基因的不完整性,这将威胁人类的种族安全。另一方面,使用基因编辑技术可以将一些致病细菌、微生物、病毒等进行基因重组和功能修改,若将这种技术用于在军事领域,针对特定种族制造出相应的基因武器,后果将不堪设想。截至目前,人类对基因的认识只有半个多世纪,而基因编辑技术直到近些年才得到有效突破,无论从基因的科学发现层面,还是相关技术的实验和应用层面,都存在诸多的不确定性。

同基因编辑技术一样,合成生物技术也涉及安全性问题。早在2010年,时任美国总统奥巴马就表达出了对合成生物技术可能引发的伦理和社会风险的担忧。2017年,美国国防部进一步认识到该技术可以生成潜在的大规模杀伤性生物武器,并进一步加大了对它的管控和防御。总体而言,合成生物技术的安全性风险问题主要包括生物安全和生物安保2个方面。生物安全指预防危险生物制剂同其他生物或环境之间意外接触产生的对公众健康和环境造成的危害^[19]。合成生物技术发展所导致的不良后果主要是基于技术本身发展的不确定性所引发的安全事故,主要包括生物错误、合成生物的意外暴露以及合成生物的意外环境释放3种情况^[20]。生物安保指确保危险病原体的研究和

产品开发在安全可靠的环境中进行,防止将合成生物技术用于作恶行为。合成生物技术被滥用的潜在可能性使人们担心“生物黑客”或生物恐怖分子可能会重现已知病原体,甚至让它们更致命^[21]。

2.4 冲击社会公正观

基因编辑技术发展所产生的社会公正问题备受关注,不仅包括与利益和风险承担者相关的正义问题,还包括在全球范围内对这项技术的公平分配问题。学者们担心对生殖系的基因编辑会带来阶级的划分和代际的不公,由此打破原有的社会平衡。不恰当的基因修饰会给个人或群体带来先天优势和劣势的差别,进而会引发社会利益关系的重新调整,冲击公平正义的社会秩序^[22]。尤其是发生在受精卵或胚胎中的生殖系基因编辑,会将基因变化传递给下一代,因此将侵害子孙后代的公平权益。同其他新兴生物技术一样,基因编辑技术的产品或服务在应用初期成本较高,但伴随着技术的不断发展和市场的快速推广,可能在某种程度上会逐渐提高技术应用的普及率。但从国际角度看,由于缺乏资金和先进的生物技术,在科技欠发达的发展中国家,公民能否充分享受到基因编辑技术的公平分配,将会是一个巨大的考验,因而国际正义问题也必将成为一个重大挑战。

合成生物技术产品在分配方面同样存在不公正现象。人类本应广泛和平等地获取合成生物技术进步所带来的益处,但由于合成生物技术尚处于发展初期,在公众中的宣传和普及程度并不高,普通民众缺乏了解和选择相关产品权利,知识鸿沟和信息闭塞致使生产商获取更多的利益,而消费者则承担更多的风险,尤其是生活在落后地区的普通人可能无力消费此类产品。青蒿素是迄今合成生物技术最成功的产品之一,以青蒿素为基础的药物被认为是防治疟疾的最佳对策。但是,青蒿素的有限自然供应严重阻碍了全球供应,从而影响了全球贫困和弱势群体对这一药物的获取。再如,用于消除体内癌症的工程化免疫细胞因具有专利权,也可能导致这项技术成为富裕人群的特权,使福利分配不公,迫使贫困人群因为知识水平低、经济实力差,处于更加不利的地位^[23]。

3 基因编辑技术与合成生物技术的伦理差异

现实中,基因编辑技术和合成生物技术作为2种不同的生物技术,虽然具有一些共通的适用性伦理挑战和规制方案,但同时也存在着明显的伦理差异。整体而言,这些伦理差异集中体现在伦理后果、伦理态度、伦理治理3个层面,它们之间遵循着一定的逻辑进路。正是由于二者的应用可能引发不同的伦理后果,使人们对这2种技术有着不同的接受态度,进而衍生出了差异化的伦理治理方式。

3.1 伦理后果层面:技术应用导致的伦理分野

基因编辑技术与合成生物技术的潜在应用领域不同,由此产生差异化的伦理后果。基因编辑技术的应用更多地涉及代际公平和隐私等问题,特别是生殖系基因疗法通过修改人体胚胎、精子或卵细胞细胞核中的DNA,并将这些改变的细胞传递给下一代,故而涉及到下一代生命体的自主性、个体权利等代际公平问题,因此其所带来的伦理问题将更加复杂。值得关注的是,增强性基因编辑技术一旦被广泛应用于非医疗目的,将严重影响人的道德地位、自由权利和社会公平。与此同时,基因编辑技术涉及的基因隐私问题也较为突出。当部分基因涉及个体基因缺陷并能够通过医学判断其未来的病征时,一旦隐私得不到有效保护,涉事人的相关利益将难以得到保障,可能引发个体的心理健康受损、遭受社会歧视等问题。此外,人类基因组信息作为数据虽然可以以匿名化的基因信息库形式进行存储,但人类基因组信息如果被商业化利用,会增加其可识别性的风险^[22]。

与基因编辑技术不同,合成生物技术更多涉及生物安保以及产品的未来应用所引发的经济问题。合成生物技术加重了生物安保的隐患,增加了生物恐怖主义的相对风险。生物恐怖分子可能会应用合成生物的工具和科学家产生的知识来设计、建造和使用产生毒素的病原体或合成生物体。这些病原体可能是曾经已经消失过的,也可能是一种新的类型,或许比已知的毒力更高,并可能对已知的药物具有耐药性。生物恐怖分子可能会运用合成生

物技术针对平民、特定人口,甚至是个人进行恐怖袭击^[24]。未来,合成生物技术安全性的监管和治理具有高度的挑战性。另外,合成生物技术产品流入市场,会涉及相应的商业制度、专利和知识产权,因而也需要从经济维度进行伦理分析。与基因编辑技术通常应用于人类疾病治疗和农业生产且更多地体现为技术性而非产品化不同,合成生物技术产品的未来应用范围更广阔,可以渗入到人类日常生活社会的诸多方面,可能引发更为深刻和广泛的社会伦理问题,甚至导致社会利益关系的重新调整。

3.2 伦理态度层面:伦理可接受度的分歧

相对而言,基因编辑技术的伦理可接受度较高。由于基因编辑技术主要基于原有生命有机体进行操作,以实现生物功能的改变,追求的是生物学意义上的新功能,因而大多数国家对基因编辑技术相对开放,此项技术的伦理可接受度较高。在基因编辑中,科学家通常使用工具对生物体自身的DNA进行较小的改变,这些工具可以用来删除或添加基因组中的DNA片段^[25]。近年来基因编辑技术发展迅猛,特别是CRISPR/Cas9基因组编辑工具在插入和调控大基因簇片段方面,显著提高了精确改变细胞基因组的能力,广泛应用于有机系统编程、零部件和装置组合的优化以及代谢途径的重建^[26]。目前,基因编辑技术多应用于体细胞治疗、生殖细胞治疗、农作物遗传育种等领域。

与基因编辑技术追求生物学意义上的新功能不同,合成生物技术允许生物系统被重新设计,新的“生命”被设计和构建,改变了生命的组成方式,对生物体产生了比基因编辑技术更大的改变。随着合成生物技术的发展,科学家可以将长段DNA拼接在一起,组装成新的微生物基因组,然后将其插入微生物或细胞中,这些合成的DNA片段可能是在其他生物体中被发现的基因或全新的基因,为基因改造开辟了新的可能性。人类可以通过合成生物技术制造生命,将新的生物引入生态系统,改变了自然界原本的状态和进化方式。由于该技术的风险更大,对伦理根基的冲击更具革命性,因此其伦理可接受度相对较低。

3.3 伦理治理层面:伦理治理对策的差异

基因编辑技术和合成生物技术伦理治理方式

的差异性,主要体现在软法(soft-law)和硬法(hard-law)2个方面,软法是指不需要依靠国家强制力保障实施的法规范,而硬法则与其相反。未经国家强制力保障实施的柔性化的伦理规范标准在一定程度上规约了人们的行动伦理,但却无法形成理想的硬性治理效能;强制实施的法律准则是引领新兴生物技术发展的必备条件,但却无法弥补软措施所带来的柔性治理效果。在实践中,软法和硬法是相辅相成关系,两者的组合构成了科技治理体系的核心部分。但是,对于基因编辑技术和合成生物技术的伦理治理而言,不同的国家和地区在其独特的现实情境中采取了不同的治理模式。

总的来说,基因编辑技术因起步早,相关技术研发和应用实践相对丰富,其伦理治理以硬法为主,相关法律和伦理规范建设相对完善。从世界各国的实践看,基因编辑技术在医学上的应用正逐步推进,人类基因编辑在法律上已被有限度地许可,不少国家也已针对基因编辑进行立法^[27]。尽管不同国家对基因编辑技术持有不同的治理态度和实践方案,但基本遵循以国家为主导的治理模式,有以美国为代表的部分允许模式、以英国为代表的审查批准模式、以加拿大为代表的禁止模式3种治理模式^[28]。美国对基因编辑的发展持较为开放的态度,政府在一定程度上允许这一技术在有限条件下使用,形成了以生物安全促进法为导向,联邦法律和各州法律共同规约伦理治理格局,如加利福尼亚州于2019年出台了针对CRISPR技术的法案,这也是美国第一部直接监管CRISPR的法律,该法案禁止在加利福尼亚州销售基因治疗工具包^[29]。欧洲及加拿大对基因编辑技术的态度相对审慎,其中,欧洲的法律规制以生物技术潜在危险性为基础,注重外源基因转入的风险评价和风险控制^[30],并通过法律保护基因隐私;加拿大颁布法律阻止人类生殖材料的商品化,禁止基因编辑技术用于克隆技术和调节辅助生殖技术^[28]。2018年“基因编辑婴儿”事件后,中国进一步加强生物医学、基因技术和生物安全等领域的立法工作,2019年颁布了《生物安全法》^[31],2020年5月在《中华人民共和国民法典》中进一步明确将基因编辑纳入国家法律的层面予以治理。

相对而言,合成生物技术刚刚兴起,治理对象尚不明晰,其伦理治理以软法为主,法制建设进程整体落后于基因编辑技术。目前,国际上虽然有一些涉及合成生物技术的宣言和共识,但这并不具备法律效力,未曾制定针对合成生物技术的专门立法,也未发现合成生物技术国际通行的条例和准则。欧洲是合成生物技术发展的先行区域,最早提出对合成生物技术进行监管。目前,欧洲科学院科学咨询委员会和欧洲科学与新技术伦理研究组等机构针对合成生物技术的安全或监管展开了讨论并形成了研究报告,瑞士、英国、德国等多个国家分别发布了各自的相关研究评估结果^[32],强调合成生物技术的负责任研究与创新。此外,欧盟合成生物学的一些分支隶属于欧洲基因技术的法律监管框架,如德国生物安全中央委员会(ZKBS)2018年提出“针对大多数合成生物学方法导致的转基因生物,可以根据德国现有的监管框架进行评估,并适用于欧洲指令(2001/18/EC和2009/41/EC)和卡塔赫纳议定书”^[33]。美国倡导合成生物学的发展践行“先行原则”,大力支持合成生物学的相关研究,边发展边治理的同时,对生物安全方面的监管格外重视,如美国科学院研究理事会发布了《合成生物学时代的生物防御》的研究报告,对合成生物学的滥用风险进行了分析评估,并对加强生物防御能力提出了针对性的意见建议^[34]。美国主张通过对现行的针对生物技术应用的政策和监管框架进行部分调整,以满足合成生物学领域的发展需要^[35]。在监管实践中,采取多头监管的模式,例如,美国国立卫生研究院负责规范和管理合成生物学的研究,美国国防部负责生物安全问题并制定相应措施。

4 结论

基因编辑技术和合成生物技术作为现代生命科学领域内的新型前沿技术,对人类社会的发展产生了深远的影响,受到了世界各国的广泛关注。二者在理念和制度层面引发了一系列共性伦理问题的同时,由于其技术原理、使用目的、治理机制的不同也形成了差异化的伦理争论。人类是休戚相关的命运共同体,技术发展和治理实践应当基于人类

命运共同体共同推进。当前,面对基因编辑技术和合成生物技术的复杂性及其引发的社会伦理问题的多元性,迫切需要打破专业人士和业余人士、生命科学学科和地缘政治的界限,建立一个以共识塑造为前提和核心,以集体磋商为基础与原则,硬性法律手段与软性伦理规约有机结合的全过程的、可持续的、适应性的生物技术治理框架,有效控制研究本身及其产品可预见的风险,全面引导新兴生物技术走向社会期望的结果。惟其如此,才能正确规约现代生物学的发展目标和路径,制定差异化和针对性的治理对策,形成负责任的研究与创新成果,使其最大限度地符合社会公众的利益。

参考文献(References)

- [1] Randhawa S, Sengar S. The evolution and history of gene editing technologies[J]. *Progress in Molecular Biology and Translational Science*, 2021(178): 1-62.
- [2] Sun T, Song J, Wang M, et al. Challenges and recent progress in the governance of biosecurity risks in the era of synthetic biology[J]. *Journal of Biosafety and Biosecurity*, 2022(4): 59-67.
- [3] 陈高华. 基因编辑技术的现实道德困境及其消解路径[J]. *医学与哲学*, 2021, 42(2): 28-33.
- [4] 陆群峰. 人类基因编辑的伦理问题探析[J]. *自然辩证法研究*, 2020, 36(1): 68-73.
- [5] Agapito-Tenfen S Z, Okoli A S, Bernstein M J, et al. Revisiting risk governance of GM plants: The need to consider new and emerging gene-editing techniques[J]. *Frontiers in Plant Science*, 2018(9): 1-16.
- [6] Kaebnick G E, Gusmano M K, Murray T H. The ethics of synthetic biology: Next steps and prior questions[J]. *Hastings Center Report*, 2014, 44(S5): S4-S26.
- [7] 李真真, 董永亮, 高旖蔚. 设计生命: 合成生物学的安全风险与伦理挑战[J]. *中国科学院院刊*, 2018, 33(11): 1269-1276.
- [8] 蒲强, 罗嘉, 沈林园, 等. CRISPR/Cas9基因组编辑技术的研究进展及其应用[J]. *中国生物工程杂志*, 2015(11): 77-84.
- [9] Opinion on synthetic biology I definition[EB/OL]. (2014-09-25)[2021-04-11]. https://ec.europa.eu/health/scientific_committees/emerging/docs/scenih_r_o_044.pdf.
- [10] Keiper F, Atanassova A. Regulation of synthetic biology: Developments under the convention on biological diversity and its protocols[J]. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 2020(8): 1-20.
- [11] 马诗雯. 合成生物学的伦理学反思——一种责任视角[D]. 大连: 大连理工大学哲学系, 2020: 5.
- [12] 卢俊南, 褚鑫, 潘艳萍, 等. 基因编辑技术: 进展与挑战[J]. *中国科学院院刊*, 2018, 33(11): 1184-1192.

- [13] Srinivas K R. Governance of emerging technologies/applications in the bio/life sciences: Genome editing and synthetic biology[M]//Chaurasia A, Hawksworth D L, Miranda M P. GMOs: Implications for biodiversity conservation and ecological processes. Cham: Springer Nature Switzerland AG, 2020: 441-462.
- [14] 刘思敏, 郭卫华. 道家“自然生命观”视域下对“基因编辑技术”的哲学思考[J]. 中国医学伦理学, 2020, 33(6): 690-694.
- [15] 樊浩. 基因技术的道德哲学革命[J]. 中国社会科学, 2006(1): 123-134.
- [16] 杨磊, 翟晓梅. 合成生命的伦理问题及其管理建议[J]. 中国医学伦理学, 2012, 25(3): 273-276.
- [17] Dabrock P. Playing god? Synthetic biology as a theological and ethical challenge[J]. *Systems & Synthetic Biology*, 2009(3): 47-54.
- [18] 周树峰. 生物伦理学[M]. 厦门: 厦门大学出版社, 2019: 342.
- [19] Gómez-Tatay L, Hernández-Andreu J M. Biosafety and biosecurity in synthetic biology: A review[J]. *Crit Rev Environ Sci Technol*, 2019, 49(17): 1587-1621.
- [20] 彭耀进. 合成生物学时代: 生物安全、生物安保与治理[J]. 国际安全研究, 2020(5): 29-57.
- [21] Tucker J B, Zilinskas R A. The promise and perils of synthetic biology[J]. *The New Atlantis*, 2006(12): 25-45.
- [22] 王前, 刘洪佐. 机体哲学视域下基因编辑技术的伦理反思[J]. 伦理学研究, 2020(2): 108-113.
- [23] 张慧, 李秋甫, 李正风. 合成生物学的伦理争论: 根源、维度与走向[J]. 科学学研究, 2022, 40(4): 577-585.
- [24] Ahteensuu M. Synthetic biology, genome editing, and the risk of bioterrorism[J]. *Science and Engineering Ethics*, 2017(23): 1541-1561.
- [25] Synthetic biology[EB/OL]. (2019-8-14) [2021-05-23]. <https://www.genome.gov/about-genomics/policy-issues/Synthetic-Biology>.
- [26] Guo M, Liu H, Du R, et al. Advances in bacterial multiplex genome engineering and its applications in synthetic biology[J]. *Biotechnology Bulletin*, 2018, 34(5): 22-31.
- [27] 汪珍, 王晓生. 基因密码破译的生命伦理规制[J]. 科学技术哲学研究, 2020, 37(3): 117-122.
- [28] 孙道锐. 基因编辑的法律限度[J]. 中国科技论坛, 2020(6): 153-160.
- [29] 姚恒美. 国内外基因编辑技术相关政策规划[EB/OL]. (2020-11-26) [2021-05-12]. <http://www.istis.sh.cn/list/list.aspx?id=12984>.
- [30] 刘旭霞, 刘桂小. 基因编辑技术应用风险的法律规制[J]. 华中农业大学学报(社会科学版), 2016(5): 125-131.
- [31] 张军, 李笑蕾, 任跃明. 中国与欧盟、美国基因治疗产品安全性监管研究[J]. 中国药事, 2021, 35(4): 368-379.
- [32] 梁慧刚, 黄翠, 宋冬林, 等. 合成生物学研究和应用的生物安全问题[J]. 科技导报, 2016, 34(2): 307-312.
- [33] German Central Committee on Biological Safety(ZKBS). *Synthetic biology*[R]. Berlin: ZKBS, 2018.
- [34] 美国科学院研究理事会. 合成生物学时代的生物防御[M]. 郑涛, 叶玲玲, 程瑾, 等译. 北京: 科学出版社, 2020.
- [35] 中国科学院颠覆性技术创新研究组. 颠覆性技术创新研究: 生命科学领域[M]. 北京: 科学出版社, 2020: 131.

Comparison of ethical issues between gene editing technology and synthetic biology technology

ZHANG Hui¹, YAN Ruifeng^{2*}

1. Faculty of Humanities and Social Sciences, Dalian University of Technology, Dalian 116024, China

2. Beijing University of Technology, College of Marxism, Beijing 100124, China

Abstract The complex ethical issues arising from the development of the gene editing technology and the synthetic biology technology are reviewed in this paper. The common ethical disputes among the natural life view, the traditional culture view, the technological security and the social justice are analyzed, as well as the ethical differences in the ethical consequences, the ethical attitudes and the ethical governance. By developing a reasonable ethical reflection approach, the complex ethical challenges faced by the modern biotechnology and the scientific ethical position that should be upheld are prospected. This paper provides some guidance for the formulation of the forward-looking and targeted classified governance countermeasures in the future, to make the development of science and technology and the social ethics in harmony for the benefit of mankind.

Keywords gene editing technology; synthetic biology technology; ethical debates; fairness ●



(责任编辑 王丽娜)