

特约评述

DOI: 10.12211/2096-8280.2021-036

美德伦理视角下的合成生物学技术伦理治理

郭思敏, 叶斌, 徐飞

(中国科学技术大学人文与社会科学学院科技哲学系, 安徽 合肥 230026)

摘要: 当前针对合成生物学技术的伦理治理已取得初步进展, 基于后果主义和义务论的合成生物学伦理研究分别从事先规则制定和事后价值评估的角度为合成生物学技术的伦理治理提供了参考, 但由于该技术的不确定性特质, 已有的伦理治理方案依然在不同程度上面临科林格里奇困境。本研究认为, 还应当寻求一条连接前者和后者, 能够贯穿整个合成生物学研究过程的伦理治理路径。合成生物学科研人员作为唯一贯穿技术立项、研究及应用全过程的科研主体, 对技术发展中的风险决策以及产品构建等都具有主导性影响。本文认为厘清以合成生物学科研人员为对象的伦理规范, 将对当前的合成生物学技术治理研究构成有益补充, 有效促进该技术的正向发展。为此, 文章首先论证合成生物学科研人员伦理道德水平对技术发展与应用的巨大影响; 其次讨论已有合成生物学科研人员伦理理论与规范, 分析其在实践及理论上的困境; 最后, 引入美德伦理学视角, 从理论角度探讨美德伦理学对合成生物学科研人员伦理规范的指导意义, 并在此基础上尝试提出基于美德伦理和生物安全协同共治的合成生物学技术伦理综合治理建议。

关键词: 合成生物学; 美德伦理; 科研人员; 美德教育

中图分类号: Q 816 **文献标志码:** A

Ethical governance for synthetic biology technology from the perspective of virtue ethics

GUO Simin, YE Bin, XU Fei

(Department of Philosophy of Science and Technology, School of Humanities and Social Sciences, University of Science and Technology of China, Hefei 230026, Anhui, China)

Abstract: The current research on the ethical governance for synthetic biology technology has achieved preliminary progress. The ethical research for synthetic biology based on consequentialism and deontology provides a reference for the ethical governance of synthetic biology technology from the perspectives of pre-rule-making and post-value evaluation. However, synthetic biology technology is an emerging technology, and many questions about its nature, future use, and social consequences remain to be addressed. Due to its uncertain nature, many ethical issues related to

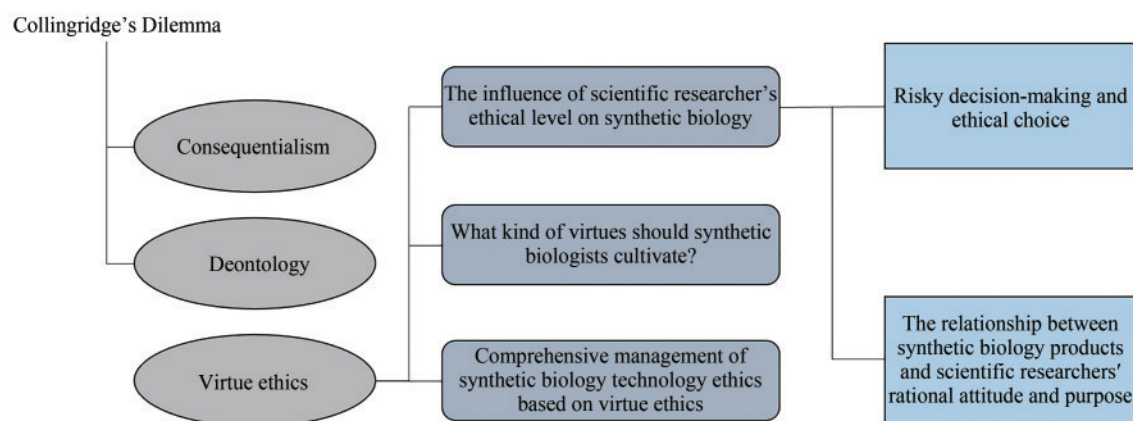
收稿日期: 2021-03-25 修回日期: 2021-06-28

基金项目: 中央高校基本科研业务费专项资金资助项目 (YD2110002004)

引用本文: 郭思敏, 叶斌, 徐飞. 美德伦理视角下的合成生物学技术伦理治理[J]. 合成生物学, 2022, 3(1): 224-237

Citation: GUO Simin, YE Bin, XU Fei. Ethical governance for synthetic biology technology from the perspective of virtue ethics[J]. Synthetic Biology Journal, 2022, 3(1): 224-237

synthetic biology technology cannot be reliably identified or analyzed, and it is still impossible to fully predict what ethical issues will arise once the technology is fully developed and entrenched in society. For the above reasons, existing ethical governance programs still face the Colingridge's dilemma to varying degrees. Studies indicate that we should seek an ethical governance path connecting the former and the latter and running through the entire synthetic biology research process. Synthetic biology researchers, as the scientific research subject who runs through the entire process from establishment of the technology project to research and application, have a leading influence on process for risk decision-making and product construction. This work suggests that clarifying the ethical norms for synthetic biology researchers would constitute a useful supplement to the current research on synthetic biology technology governance and effectively promote the technology development. To this end, we first demonstrate the influence of synthetic biology researchers' ethical level on the development and application of the technology; second, explore the ethical theories and norms for synthetic biology researchers, and analyze their practical and theoretical dilemmas; finally, we highlight the perspective of virtue ethics, discuss the guiding significance of virtue ethics to the ethics of synthetic biology researchers from a theoretical perspective, and on this basis propose suggestions on the comprehensive management of synthetic biology technology ethics.



Keywords: synthetic biology; virtue ethics; researchers; virtue education

1 引言

2021年2月26日,伯尔尼大学蒂尔实验室的专家沃克尔·蒂尔(Volker Thiel)在《自然》杂志上发表了一篇关于新冠病毒新变异体D614G的论文^[1],尽管此项研究目的在于“阐明该变异对于增强病毒复制和传播的作用,为新变体在全球范围内流行的原因提供解释”,但研究的基础——新冠病毒变异体并非从病人样本中提取,而是利用合成生物学技术,在实验室中进行体外复制合成。事实上,这已经不是该研究团队首次在实验室中合成新冠病毒,2020年1月21日,蒂尔在生命科学预印本平台上就发表过题为《使用合成基因组

学平台快速重组新冠病毒》的文章^[2]。该文表示,科研人员在收到相关基因片段后的一周内,就能对新冠病毒进行化学合成克隆,同时进行工程化设计和再生。该文一发表就引起极大争议,公众普遍担心,科研人员由于受到巨大的创新驱动乃至利益诱惑,可能会选择性无视人工合成新冠病毒所隐含的大量生物安全风险,进而可能导致技术被滥用直至产生不可逆转的严重后果。

上述案例中的担忧往往导向一个结果,即对合成生物学技术引发的伦理后果的关注。在合成生物学伦理的研究中,首先受到关注的是技术引发的伦理问题,同时相对应地也形成了诸多治理方法和措施。比如说将合成生物学可能引起的伦

理问题分为四类：生物安全、生物安保风险、知识产权、国际公正，并依托“后果论”和“义务论”两种伦理思想对该技术加以治理^[3]。亦或从潜在风险评估、人类社会影响、公共政策制定、伦理管理框架制定等方面开展伦理研究^[4]，以期对合成生物学技术进行伦理规范。总体而言，目前针对合成生物学的治理和监管对策主要从政府、公众、合成生物学团体三方面展开，大致有国际协作、经费审查、共享创新、机构干预、风险评估、风险监测、行为规范制定、伦理指导等治理策略。另一部分学者则更加关注技术本身的伦理问题，研究合成生物学作为新兴技术的特征及其本身的伦理内涵。国外学者主要针对合成生物学的道德意义^[5]、交叉学科特征^[6]、生物系统的随机性和复杂性^[7]问题展开讨论，国内学者侧重针对其对生命、自然及进化的挑战^[8]以及不确定性、不可控性^[9]展开一系列研究。

然而，在合成生物学技术伦理研究中始终相对重视不足的是该项技术的掌控者，即针对科研人员本身的规制。在许多伦理体系已较为成熟的学科中，都有针对相应学科科研人员的完整的伦理规范。以医学伦理为例，世界各国普遍在医科大学和医院内建立了医学伦理委员会^[10]，同时建立了针对科研人员和相关从业者的成熟的医学伦理培训课程体系^[11]，从业者需要接受严格的专业伦理课程培训，并确保研究在严格的监督下进行。而针对合成生物学技术的伦理研究才刚刚起步，研究方法、研究角度都仍在探索中，全面系统完善的法规、机构和教育体制正在形成中，由于合成生物学技术的研究过程具有开放性，往往难以保证科研人员的研究被完全置于有关机构的监督之下，而目前针对合成生物学科科研人员的专业伦理培训也都刚刚起步。

因此，本文作者认为，在合成生物学技术的伦理研究中，应高度关注相关科研人员自身伦理意识的培育。由于合成生物学研究的不确定性和巨大的潜在风险，在伦理规则和社会环境相似的情况下，科研人员自身的伦理道德意识将极大影响其在这一不确定性和潜在风险的技术应用中做出的选择，进而影响其创造的产品自身，这与技术造成的伦理问题和技术自身的伦理问题不同，

是一种纵贯技术发展全程的伦理影响。但在目前的合成生物学伦理治理研究中，专门针对合成生物技术研究人员伦理规范的研究及方案却较少，例如由德国发布的《合成生物学——机遇与风险》报告^[12]中，虽然鼓励科学的自我监管，提倡对于科研人员的伦理教育和培训，但是在微观的具体操作层面依然未有详细的指导性伦理意见。事实上，这类人员对合成生物学技术造成的伦理影响或许远超想象，当前的合成生物学研究内涵已发生“从认识生命到创造生命的质的变化”^[13]，而“一个技术产品表现出什么样的态度取决于产品的创造者实际上有什么样的态度”^[5]，或者更广泛地说，取决于与合成生物学家“典型相关”的态度。

基于此种考量，本文作者认为厘清以合成生物学科科研人员为主要对象的伦理规范，将对当前的合成生物学技术治理研究构成有益补充，有效促进该技术的正向发展。

2 科研人员伦理水平对合成生物学技术的影响

科研人员伦理水平究竟是如何对合成生物学技术应用的全过程产生影响的？目前至少可以从以下两方面开始研究：

2.1 有所为有所不为：合成生物学技术中的风险决策与科研人员的道德选择

在当前合成生物学研究中，许多研究人员面临的首先不是技术上的挑战，而是选择上的“为”与“不为”的两难困境。典型的如贺建奎制造的首例所谓艾滋免疫的基因编辑婴儿事件，该行为踏破了禁止使用基因编辑技术改变人类胚胎或生殖细胞的伦理红线，因而引起社会各界强烈谴责，然而贺建奎本人一开始却将其实验动机表述为“为了挽救生命”，并表示对自己的工作非常“骄傲（proud）”^[14]。可以说，贺建奎的动机与其科研行为具有一致性，他并非出于无知而违反规定，而是因为制造基因编辑婴儿这一选择与其自身乐于探险的“道德追求”相吻合。

因此, 诸如基因编辑婴儿、合成病毒一类的实验是否能够展开, 首先要由科研人员自身做出关于研究所涉及风险的道德分析。当前, 许多针对合成生物学研究中潜在风险及其结果的讨论都是从后果主义视角展开的^[15], 侧重讨论决策后可能出现的问题及科研人员需要承担的相关责任。

本文将讨论的焦点前移到科研人员的风险决策阶段, 倾向于认为: 临渊慕鱼, 不如退而结网。与其对基因编辑婴儿出现后的一系列影响和后果进行补救及管控回溯, 不如更加关注科研人员为有可能做出这一具有道德风险的决策本身。

一般而言, 合成生物学科研人员对不确定的技术做出选择往往具有两方面的特殊性:

首先是一旦启动研究就几乎必然存在的风险。选择冒险意味着科研人员在明知有风险的情况下冒险, 同时也知道这种行为的后果具有不可控性, 但至少要有把握知道风险和不可控性概率在可接受的范围之内。这就好比我们只要坐飞机就意味着可能遭遇空难, 但同时我们也知道空难的几率极低, 值得我们对此“冒险”。

其次, 合成生物学研究中科研人员的决策往往是对他人有较大影响的决策, 这就涉及一个人的决策影响另外一些人的额外道德责任。比如, 基因编辑婴儿, 其后果与研究者本人关系虽并不直接, 但却可能造成人类基因的不确定性变化。

有鉴于此, 科研人员表面上的技术选择, 实际上必定是涉及风险承担者的复杂的道德选择, 这其中涉及共谋、罪责和责任的问题, 以及对道德、价值正当性的判断。这就使我们不得不将注意力集中在最直接参与这一决策的科研人员的个人特质上。对承担风险的态度和对承担风险环境的敏感性, 都反映着一个人的道德品质。一个具有美德品格的人, 更有可能做出具有“道德可接受性”的合理决策。例如, 一个会选择用不知情的受害者的生命来进行生物学实验的人, 就是一个会用无辜他人的生命来承担不可接受风险的人, 他的选择就缺乏道德合理性。同理, 利用不知情的婴儿父母、医生和机构, 冒着极大损害他人利益的风险也要进行基因编辑婴儿实验的选择, 就是一个明显缺乏道德可接受性的选择, 做出这一选择与贺建奎本人的道德观和价值观是密切相关

的。正如学者桑德尔 (Michael Sandel) 所说, 我们必须认识到, 不是世界上的一切都向我们渴望或设计的任何用途开放。对美德的追求可以帮助合成生物学科研人员抵制“我们时代的统治实用主义”, 制止改造自然 (乃至人类自身) 以服务人类的欲望无节制的蔓延, 从而防止“对于功利和效用的无限制追求”^[16]。

2.2 积极的构建: 合成生物学产品与科研人员理性态度和目的的关联

需要澄清的是, 具有道德可接受性的选择并不意味着绝对的禁欲主义, 譬如发誓在思想和行动中绝不伤害任何生灵, 而是意味着在道德选择的实践中落实美德要求, 做出一个有道德的人理应做出的选择, 承担一个有道德的人应该承担的合理风险。在这种情况下, 如果说自然生物的功能状态取决于自然进化过程, 那么合成生物学产品的功能状态则在一定程度上取决于其创造者依据自身理性赋予它的状态和功能。我们甚至可以进一步设想, 这应该是大自然的应有之义, 技术发展再突破, 最终的归宿可能还是更高层面的顺应自然。

以近几年出现的一种新型生物库: 类器官生物库为例, 有机物在所谓“活着”的生物库中被存储, 以完成满足未来研究和临床目的的共同目标^[17]。这种生物银行模式带来了一系列独特的伦理挑战, 因为类器官的创建, 长期存储和交易意味着从“普通”身体材料中产生了新的价值。人体组织被转化为可以无限生长、扩展和储存的生物技术制品, 它们具有相当的科学、临床和商业价值。传统的治理手段 (譬如知情同意和伦理审查) 显然不适用于开放式的生物库研究, 也不适用于类器官的特殊性带来的伦理挑战。此类生物库的治理需要以适合目标、风险承担者和利益相关者的方式进行组织^[18]。一个成功组织的例子就是欧盟 H2020 计划中的 HIT-CF 项目^[19], 该项目将道德反思纳入了生物银行活动的过程之中, 通过不断影响技术的生产环节来积极构建伦理和治理, 在相互冲突的道德挑战之间寻求平衡。

这一步骤的成功很大程度上取决于合成生物

学研究人员自身道德品质上的反思性和良好的伦理意愿,唯有具备这一点才能让他们及时地将外界的观点和意愿纳入到对于技术的考虑之中。研究人员对于他们研究将要产生的种种影响的道德敏感,能够确保他们在整个研究过程中保持灵活性和反思性,从而使内心的道德准则灵活服务于研究目的。在这一情况下,诞生的技术产品就是一种蕴含了道德和社会影响敏感并积极构建的产物,也是更顺应自然的技术人工物。

3 合成生物学技术伦理原则的新思维——从后果主义、义务论到美德伦理

综上,本文作者认为合成生物学技术的科研人员伦理水平对于该技术的发展与应用有着巨大影响,因此,讨论在合成生物学的研究中应当采取何种伦理规范尤为重要。伦理原则往往是固定的,它们通过参照普遍标准来指出什么是对与错,什么是合适或不合适。通过提供行为指导,力求在变化的混乱中为技术发展提供一个稳定的参照点。当前对于合成生物学伦理问题的探讨,基本沿规范伦理学的两条主要研究进路进行:后果主义(Consequentialism)与义务论(Deontology)。我们将探讨以往两种规范作为伦理治理路径对合成生物学技术及科研人员可能造成的影响及其困境,并在此基础上提出第三条治理路径——美德伦理。

3.1 后果主义与义务论用于合成生物学技术伦理治理的局限

合成生物学的有关研究常常受到“扮演上帝”的诟病,这也从一个侧面反映了合成生物学科研人员手中权力的巨大。由于手握巨大的创新选择权,一个科研人员能对他人造成的伤害不仅仅是冒犯或造成一些不便,而是可能对社会及人类造成诸如基因污染、生态系统破坏、致命病毒传播等后果难以估量的深远影响。因此,在合成生物学伦理的相关讨论中,对后果的关注是无法绕开的话题。穆勒(John Stuart Mill)的自由理论认为,社会中的个人应该有广泛的自由,以及追求

自己认为合适的生活目标的权利。只有当一个人的行为会伤害他人时,他的自由才应当受到合理的限制,这就是所谓的“伤害原则”^[20]。这一原则也反映了后果主义的代表观点,即认为一个行为是否道德,主要取决于它的结果。然而,这其中暗藏着悖论,即当一个人的行为伤害到他人而受到限制时,伤害往往已经发生,无辜的受害者也随之产生。后果主义伦理学在对合成生物学技术及其相关科研人员进行伦理指导时面临的困境就在于此:当严重的伦理事件发生,后果开始显现时,即使知道问题出在哪一方面,可以如何进行控制,却往往为时已晚。比如,面对基因编辑婴儿,我们既不能像处理动物一样对待,也难以要求将来其不得婚育。

在合成生物学发展的过程中,出现了诸如后院生物学家^[21](Backyard Biologists)一类自行购置设备进行合成生物学实验的业余生物学爱好者群体,以及生物黑客^[22](Biohackers)一类利用合成生物学技术达成恶意传播病毒目的的群体,他们的不规范操作极可能引发一系列不可控的问题。伦理研究中的义务论规范希望清楚地描述个人和组织的职责和义务,将规范作为人们行为的基本准则。其中典型观点如牛津大学学者道格拉斯(Thomas Douglas)^[23]所说,要着重考虑合成生物学对从业人员应当作哪些要求。然而,问题在于,不可能建立一套如此全面的规则来解决每一种可能的偶然性^[24],即使是针对某一个具体问题,也不可能说明每一种潜在的情况。与此同时,所有规则都依赖于个人来解释和应用它们,由于这种不可避免的解释差异因素,伦理规则最终是由人们如何应用它们来定义的^[25],而这些规则只有在被遵守时才是有意义的,因此,事先制定的规则对于业余生物学爱好者来说约束力十分有限,更遑论以冒险为生的生物黑客。

以合成生物学为代表的一系列新兴技术伦理的核心问题是,由于无法预知未来,因此无法确定一旦技术得到充分发展并在社会中广泛应用,将会出现哪些伦理问题。因为合成生物学是正在形成中的技术,许多关于其性质、未来用途及其社会后果的问题仍未决定。因此,许多与之相关的伦理问题还不能被可靠地识别或分析。以后果

主义和义务论为代表的合成生物学伦理探讨，分别从事先设定规则和事后效果监管评估的角度展开，然而在技术不确定性的前提下，基于想象从义务论的视角事先制定伦理规则有时会偏离方向而导致规则失效或流于表面，而事后的后果主义的伦理评判往往具有一定滞后性，有时难免亡羊补牢。这就是技术发展过程中的科林格里奇困境（The Collingridge Dilemma）^[26]：技术发展的后果在其前期往往难以预测，故虽还可以进行控制却不知如何控制；随着技术发展，其影响逐渐明显时，虽知如何控制却很难对其进行控制。因此，本研究认为，需要一种能够更好地连接前后两者，以提升伦理治理的整体性的方法，从而更好地解决合成生物学伦理发展过程中的科林格里奇困境。

3.2 美德伦理思想对合成生物学技术伦理治理的启示

在以上论述的基础上，我们提出应关注以合成生物学科研人员自身行动为焦点的规范伦理学的第三条研究进路——美德伦理。赫斯特豪斯（Rosalind Hursthouse）明确阐释了以行为者为中心（agent-centered）^[27]的美德伦理学，认为一个行为是正当的，当且仅当一个有美德的行为者从其品德特征出发会选择那样做。在此，赫斯特豪斯强调从关注行为到关注行为者的转换。以美德为基础对伦理和诚信进行研究，将有助于改变关注点，从关注研究的进行到关注研究人员的品格。后者表明，我们应该强调研究者的个人美德素养，而不仅仅是遵守规则和原则的能力。美德伦理是一种更强调道德行为者自身道德素养的伦理学进路，因此，它对合成生物学科研人员的实践来说更具针对性的指导意义。

合成生物学技术虽然蕴藏巨大的创新潜力，但这些技术再造物的内在结构不仅无法直观可见，在科学研究层面也可能难以洞察其全部内在机理。在诸多不确定性与技术发展的动态变化过程中，如何为合成生物学科研人员寻求一个稳定的参照对象？需要由一个可以被内化合成生物学科研人员心中的标准来管理变革——一个超越责任的标准，一个激励道德想象和道德义务的基本理想，

这一标准即是美德。美德可以作为时代变革中的固定参照物，在其他一切尚不明确时作为指导行动的精神特质^[28]。它代表了人类在精神上渴望达到的最佳状态，作为人们心中潜在的善的标准、一个稳定的伦理支撑点而存在。

在目前合成生物学伦理监管的实践中，往往优先审查拟议的研究，而忽视作为实践者的研究人员的道德发展。大量形式化的伦理审查和烦琐的填表工作，往往难以为科研工作者提供切实的伦理指导。在一项对于科研诚信的调查报告中，学者班克斯（Sarah Jane Banks）^[29]指出，真正的研究人员的诚信只能来自于以品格为中心的美德，并且研究人员能够在他们的研究活动以及对道德问题的评估中实现批判性和反思性。麦金泰尔^[30]（Alasdair MacIntyre）也主张，美德伦理的观点强调的是行为者的统一性，即如果某人具有某种美德，这一美德也将在各种不同类型的环境和条件下表现出来。一旦具有某一美德，就会在之后的实践中一以贯之地表现出来，帮助科研人员在各种不同的环境中作出正确的选择。

因此，虽然基于规则的行动可以让科研人员和机构获得一定保障，但只有科研人员的品质才更有助于成功克服研究伦理的模糊性。赫斯特豪斯曾指出，应用伦理学的实践越来越表明，企图建立一套普遍规则的努力已经失效^[27]。在抽象的规则与复杂的现实中出现了空白地带，导致实践的后果往往与伦理的规则有较大差异。人类社会的道德生活面临着更为复杂的道德困境和规则冲突，在这里，就需要美德伦理学来进行填补。而美德伦理学中的重要概念——实践智慧的意义在于，在道德生活中，需要充分地运用道德行为者的道德判断力，这不是能够被事先或者事后规定的，而要运用道德行为者本身的实践智慧。当然，在这其中也有规则的存在，但规则如何能够在恰当的时候被恰当的人以恰当的方式所运用，这就是美德伦理学的实践智慧。

可以将美德伦理学对合成生物学伦理研究的启示总结如下：第一，合成生物学的科研人员与受其科研成果影响的群体往往是分离的，因此科研人员往往被视为一整个群体，此时便会出现责任分摊困境（many hands problem）^[31]，这使得伦

理责任很难被归咎于任何一个独立个体。而后果主义和义务论等非个人伦理体系只会加剧这种脱节。第二,美德伦理学是启发性和导向性的,有利于保证合成生物学科研人员一以贯之的灵活的行为选择,这一点不同于针对科研人员群体的普遍规则。第三,美德中包含着一种积极的行为动机,有利于促使科研人员做出更加积极的行为选择,而强调“预防”或是“避免”某种后果的行为规范和责任要求,则包含一种消极的制约性倾向,由此可见,美德伦理对具有不确定性和不可控性特征的合成生物学研究来说不但可行而且非常重要。

4 基于美德伦理的合成生物学伦理治理

接下来的问题是,对于合成生物学科研人员来说,何种美德至关重要?

4.1 合成生物学工作者应当培育何种美德?

首先,在合成生物学研究中最具有特殊意义的是与关怀有关的美德。对合成生物学科研人员来说,不可能仅仅依据规定对那些将被他们工作影响的人表现出关心,而在内心对他们没有任何共情。如果科研人员的内心完全无动于衷,那么就不可能真正做到将公众的安全、健康和福利纳入考虑之中。因此,这是他们道德准则中最基本的准则。关怀(care)是女性主义伦理学中一个关键的概念,在这一点上,美德伦理学与关怀伦理学也有相似之处,斯特洛(Michael Stole)在以行为者为基础(agent-based)的美德伦理学中强调关怀的概念^[32]。基于关怀伦理的美德伦理方法可以用来再次强调关爱品德的重要性^[33],斯特洛认为,关怀对于行为者为基础的美德伦理学是非常重要的,因为美德行为者的内心状况首先体现出了关怀。关怀不仅仅是单一的美德,而是将更多的道德问题纳入考虑之中的动机,这对于合成生物学发展过程中遇到的各种问题来说非常关键。

合成生物学在发展过程中常常面临“扮演上帝”的指责,荷兰科学家威廉·德雷^[34](William

Drees)认为,“扮演上帝”中所指的上帝并非宗教意义上的上帝,而是拟人化的自然。这即是说,合成生物学从神话自然的手中夺取了创世的权利,并将其中的一部分交予科学家手中。随之而来的,是人类对于科研工作者滥用权利的提防和对于技术未来尚不明朗的前景的恐惧。卡尔·巴尔特^[35](Karl Barth)认为,不道德有两种表现,一种表现为傲慢,另一种则表现为冷漠。这也对应着合成生物学发展中两种外部意见的争辩困境:支持发展高风险合成生物学技术的人可能被批判为傲慢和控制生命,而因为规避风险而反对合成生物学发展的人又可能被认为是冷漠和消极。

无论如何,人类的技术发展不可能停下脚步,要解决这一困境,必须回归科研人员自身,避免傲慢与极端的个人姿态,培养审慎、关怀与温情的内在美德或许是可行的折衷路线。莱弗勒(Leffel)^[36]等绘制了一个良性关怀模型,并提供数据来支持模型的结构有效性。他们认为道德直觉、情感和美德比遵守伦理规则更能解释道德行为。由此可见,科研人员美德教育的主要形式应当是一种注重培养这些直觉、情感和关怀的品格教育。

在一项关于新兴技术预期伦理的研究中,学者布雷(Philip Brey)针对作为新兴技术发展过程中主要问题的不确定性问题,列出了伦理检查清单^[37],方便研究者在研究过程中对照清单进行伦理过程的审视。该清单较为全面地涵盖了以合成伦理学技术为代表的新兴技术在其发展的不确定性中可能潜藏的伦理问题。针对合成生物学发展过程中影响的特殊性,我们也对照列出了合成生物学科研人员应当具有的美德清单(表1),以展现相关科研人员应加关注的道德实践和品格目标,并将两个最重要的生物伦理学原则——有利(beneficence)和不伤害(nonmaleficence)嵌入科学的目标中。

该清单的关键重点是,初步标定了合成生物学科研人员的美德目标,即追求科学知识以促进人类健康和福祉,并指导社会最大限度地减少这些知识的负面影响。

表1 合成生物学科研人员美德清单
Tab. 1 Virtues for synthetic biology researchers

一般科研人员美德举例	新兴技术伦理过程检查清单	合成生物学科研人员需特别强调的美德
	(一) 危害和风险	
奉献	1. 健康和身体伤害	关怀
勇于承担肩负追寻真理, 普及科学, 造福人类和社会的责任	2. 心理伤害	关怀人类的利益, 而非自身利益、商业利益或科学产业
	3. 对人的能力的伤害	
	4. 环境危害	
	5. 对社会的危害	
	(二) 权利	
诚实	1. 自治	审慎
以诚实的态度对待科研工作, 追求真实和准确	-能够思考自己的想法, 形成自己的观点	谨慎的评估工作可能对他人和社会造成的影响, 严谨地对待科研工作
	-自己做出选择的能力	
	-责任和问责	
尊重	2. 隐私	
尊重并承认他人的自由、隐私和财产, 不随意侵害	3. 财产	
	-财产权	
	-知识产权	
	4. 动物权利和动物福利	慈悲
	5. 与年龄、性别、性取向、社会阶层、种族、族裔、宗教、残疾等相关的不歧视和平等待遇	对自己以外的生命保有敬畏、慈悲和仁爱之心
	6. 社会包容	
包容	(三) 公正	正义
坚持人类平等, 包容同事在内的他人, 拒绝歧视和差别对待	1. 初级商品、能力、风险和危险的公正分配	努力做到客观、公正、追求公平和正义
	2. 与年龄、性别、性取向、社会阶层、种族、族裔、宗教、残疾等相关的不歧视和平等待遇	
	(四) 福祉和共同利益	良知
	1. 支持幸福、健康、知识、智慧、美德、友谊、信任、成就、愿望实现和跨文化意义	抱有善良的愿望, 追求幸福、和谐、友爱和文化多样性
	2. 支持重要的社会机构和结构	
	3. 支持文化和文化多样性	

(From left to right in the table are examples of the virtues of general researchers, including dedication, honesty, respect and other virtues that general researchers need to emphasize; a checklist of new emerging technologies ethical issues, which includes ethical issues that tend to occur in the development of new emerging technologies; And the virtues that synthetic biology researchers need to emphasize, including care, prudence, compassion, justice, and conscience.)

4.2 基于美德伦理的合成生物学技术伦理综合治理建议

上述美德并非空洞的诉诸内心, 而不需要任何客观的道德要求。研究美德伦理的根本目的是协助合成生物学科研人员将美德与外在的社会环境、外在的他人利益联系起来, 在处境中作出合适的行动。脱离社会语境去理解相关美德是空洞的, 因此, 必须通过有效的美德培养将美德真正内化到科研人员心中。继柏拉图和亚里士多德之后, 当代美德伦理学一直强调美德教育的重要性,

这种教育不是作为规则的灌输, 而是作为品德的培养。学者 Nafsika Athanassoulis^[38] 认为, 可以使用性格 (character) 的概念, 而不是通过检查一系列 (离散的) 美德和恶习, 来获得对一个人更平衡和复杂的看法。当我们谈论美德教育时, 我们的目标应当是帮助每个具体科研工作者美好品德的培养和塑造, 而不仅仅聚焦于这种美德或那种美德的外在表述。因此, 美德教育并不能像教授地理或数学那样直接进行。在此, 我们试图在对相关文献进行调研的基础之上, 尝试提出针对合

成生物学领域相关科研人员的美德培训方案，同时针对美德伦理在实践中可能存在的天然不足，提出基于美德伦理的合成生物学综合伦理治理建议（图1）。

相较于法律法规等刚性规制，科学家自身的美德修养提升更多有赖于柔性机制的配合，这是合成生物学伦理治理问题的一体两面。拥有美德的科学家将通过良好的个人意愿来协助生物安全规范的执行，这种执行将是非常自然且有效的。只有科学工作者美德伦理的理性自觉，生物安全规范才可能落到实处，一项研究表明，过度强调政策的干预或管制会导致科学家科研效率的下降^[9]。因此，只有将科学家基于美德伦理的主观意愿和生物安全的法律法规相结合，使美德伦理与其他管理措施协同并行，才能更好地保证合成生物学持续健康稳步的创新发展。

（1）强调科学共同体中的美德。在于2021年4月15日正式施行的《中华人民共和国生物安全法》第一章《总则》中^[39]，构建了针对包括国家、各级人民政府及有关部门，再到相关科研院校、医疗机构及企事业单位，及至新闻媒体乃至个人为

主体的生物安全风险防控法则。本研究认为，从合成生物学风险治理的主体来看，科学共同体是不可忽略的主体之一。合成生物学科科研人员处在科学共同体之中，必须与科学共同体中的其他成员相互协作，以追求团体的共同利益。任何社会团体的存在都意味着某种共同的追求，都需要团体内部的成员相互协作，以实现其目标。因此，需要强调美德在科学共同体的作用。诸如正义或良知等美德标准，不仅需要内化在行为者心中，也需要在与其共同实践的他人关系中体现。默顿认为，科学的精神特质是约束科学家的（具有情感色彩的）价值观的集合体。巴耶进一步阐发了这一观点，他认为所有科学家都是道德的践行者，科学的道德理想包含在科学本身之中。^[40]因此，科学共同体中的美德培养不仅仅意味着美德修养的提升，更意味着美德通过影响科研人员如何运用技术，如何设计产品，如何看待和防范风险的方式来改变合成生物学伦理治理的现状。科学共同体中的美德共识将深刻影响合成生物学业内行业规范的制定，影响对于科研人员风险防范意识的培养以及监督规范的制定，乃至影响合成生物

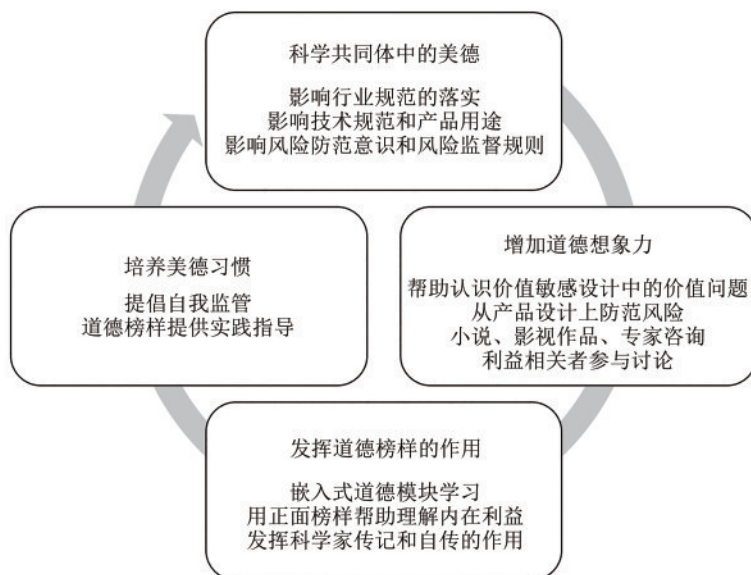


图1 基于美德伦理的合成生物学综合伦理治理建议

Fig. 1 Suggestions for comprehensive management of synthetic biology technology ethics based on virtue ethics

(Figure 1 shows the suggestions for comprehensive management of synthetic biology technology ethics based on virtue ethics. First of all, this project emphasizes the virtue in scientific community. Second, it is dedicated to enhancing the moral imagination of scientific researchers. Third, this project emphasizes the role of moral models. Finally, it underlines the cultivation of virtue habits)

学的学科方向、技术规范和产品用途。与严格的监管和惩罚措施同等重要的，是合成生物学科研人员对科研共同体内部行业规范和科研规则发自内心的认同。从国际视野看，不同国家或地区合成生物学的发展走向，也将和其科学共同体的美德程度直接相关联。

(2) 增强道德想象力。从合成生物学产品设计的角度来看，需要通过对道德想象力的培养，帮助科研人员将对于生物安全风险的防控意识嵌入到产品设计的过程之中，这涉及价值敏感设计的问题。价值敏感设计 (value sensitive design) 是一种形成性的设计框架，它会对产品设计者产生独特的塑造影响，并推动设计者注重产品设计的价值方面。通过在设计中系统地考虑产品价值，从而设计出将带来更大的益处和更低伤害的产品^[41]。美德伦理的培养可以帮助合成生物学技术研究人员更加深刻地认识其所生产产品的价值与风险，并在产品设计之初就对技术设计进行审慎的、长期的监测与评估。对于合成生物学技术结果的不确定性而言，首先需要培养的是科研人员关于道德的想象力，这种想象力实际就是对于其生产的产品将对他人造成的利益关涉的想象。在《孟子·梁惠王上》中，有这样一个故事：梁惠王放过了一头献祭的牛，他告诉孟子他看到这只受惊动物的眼睛，感到怜悯。孟子对他这一善举表示赞许，但反问梁惠王为什么为人民制定的政策让他们生存艰难，既不足以照顾父母，也不足以赡养妻子和孩子^[42]。孟子认为，梁惠王需要把仁慈扩展到他没有看到的人身上，而不是仅仅把仁慈应用到他眼前所看到的事物上。这属于道德想象的范畴。可以说，世界上大部分伤害是由那些对自己行为的不太明显的后果或一些受害者如何经历这些后果缺乏意识的人造成的，仅仅是能够理解不同于自己的人的观点，就能对一个人的性格产生重大影响。因此，美德的培养首先需要增强道德想象力，科研人员必须对自己的研究可能引起的伦理问题有充分的思考和想象，不但想到当下，还应考虑未来。繁重的科研工作往往占据了研究者的大部分精力，以至于他们无

暇顾及和思考伦理问题，因此，这常常是一个一语惊醒梦中人的过程。富有想象力的小说和影视作品，在运用得当的情况下，可以促进这个过程。同样，也可以邀请伦理专家进行现场咨询，帮助科研人员分析和计算行动的后果。如有可能，应当邀请相关研究的受试者、潜在受益者，亦或潜在受害者参与讨论，设计从而帮助研究者把握那些受其影响的人的可能经历。典型如通过一些合成生物学研究中的基因“自杀片段”的设计^[43]，使得合成生物学产品无法离开实验室环境存活，从而达到保护生物安全的目的。如果合成生物学科研人员缺乏类似的道德想象力，相关的风险就不可能从设计之初就加以防控。因此，道德想象力的培养将有利于合成生物学科研人员提前防范潜在问题，从产品设计角度上应对风险。

(3) 嵌入式道德模块学习及对道德榜样的模仿。由于合成生物学相关的科研人员的哲学理论背景有高有低，因此以伦理学理论为中心的课程必须从零开始教授，常常也由于枯燥而缺乏有效的感染力。通过对合成生物学科研人员中正面和反面案例的学习来培育美德，有利于提高科研人员在科研实践中的风险警觉度。一项研究表明^[44]，在伦理课程中，嵌入式道德模块是最有效的，即通过让学习者对一些现实案例进行简短讨论和主动学习练习来进行道德培养。在这个过程中，伦理学家可以亲自参与道德模块的设计与模块课程的教授。通过在课程中展示伦理推理过程以及课堂讨论，帮助合成生物学家从产品设计阶段就开始识别和解决伦理问题。特定案例中伦理推理过程的教学为合成生物学家提供了识别、面对和解决伦理问题的经验，也传达了在科研工作中识别、面对和解决伦理问题的必要性，从而提升合成生物学家对于科研实践中行为风险的控制与警觉。同时，通过对正面道德榜样的学习模仿来辅助学习也不失为一种好的方法。几项社会心理学研究表明，道德榜样的存在对早期道德发展至关重要，仅靠社会强化不足以诱导道德显著发展^[45]。道德典范的存在促进了向上的社会比较，并增强了观

察者自我改善和模仿的动机^[46]。麦金泰尔提出“内在利益”的概念，他认为美德的拥有和践行能使我们最终理解美德的“内在利益”，如果不理解这种内在利益，就不可能拥有美德^[30]。藉由这种对于内在利益的理解，我们才能让自己变得“卓越”（excellence），而这些美德的榜样则帮助我们认识了卓越的标准。因此，需要在道德培养的过程中引入道德榜样，特别是那些在专业方面表现杰出并保持道德卓越的人。彭诺克（Robert Pennock）^[47]提出了以典范为中心的美德教育方法，通过精心选择模范科学家的典范，培养学生在广泛的背景下从不同的角度探寻身为科研人员的美德。对合成生物学一类具有跨学科特征的研究领域来说，在美德教育中要注意选取跨学科领域的科学家榜样，尤其，需要选取不同学科的榜样以便科研人员在遇到不同的研究案例时灵活参照。除了历史上卓越的科学家外，也注重选择当代科学家的典范，以拉近与培养对象之间的距离；善于利用杰出科学家传记和自传辅助学习：科学家传记可以帮助科研人员产生“我可以成为这样的人”的想法，是一种实践智慧学习步骤，而科学家以第一人称叙述的自传可以帮助科研人员产生“我想成为那样的人”的愿望，是一种道德激励步骤。

（4）科研实践中美德习惯的培养。在德国发布的《合成生物学——机遇与风险》报告中提到了自我监管（self-regulatory）的概念^[12]，意指由科研机构或企业等合成生物学研究机构或研究者内部采取的监管措施。这种在科学共同体内部对于自我监管的提倡，有利于培养负责任的伦理监管意识与习惯。在大科学时代，科学组织中一些具有更敏锐的风险意识和更完善的伦理监管意识的科学家，也将带领或影响其他科研人员将科学求实和社会责任等美德付诸行动，从而帮助培养实践中的美德习惯。道德行为的早期习惯化是将美德伦理学思想运用于伦理教育的另一种方式。在一项跨越多国、多年龄段的关于美德教育的实证研究中，费拉里（Michel Ferrari）^[48]认为通过正式和非正式的教育方式均能激发美德。正规教育

中获得的积极价值取向，非正规教育诸如氛围熏陶和习惯培养均会激发人们拥有美德。在道德教育领域，向培养对象提供参与实际道德行为的实践被认为是有效和有意义的道德和品格教育的重要因素^[36]。从美德伦理学的角度来看，发展科研人员的道德品质最重要的方法是通过美德的早期习惯化和内化来培养道德美德。因为道德美德是一种性格，而性格是在从过去到未来的发展历史中不断构建的，因此重要的是通过习惯培养将道德美德灌输到科研人员的自我概念中，并使美德成为他们自我概念中最关键和最核心的心理因素^[49]。

5 总结

在合成生物学中，人们可以根据使用目的将作为生物组件的基因序列自由组合和构建，实现设计、改造乃至重塑包括人在内的生命体的可能。然而，合成生物学并没有通过将人造产品和生命实体结合的方式简单地合二为一，而是将工程技术学方法系统化地引入了合成生物学领域。因此，技术学中一系列理论假设与合成生物学的课题相互碰撞，既产生一系列变革性的创新成果，也留下一系列充满不确定性与不可控性的伦理疑难。其中固然蕴藏着巨大的创新潜能，然而将未来世界拱手交给技术再造，实际上已触达人类认知能力的边界，难免超出人类的掌控能力，因此，需要以伦理智慧来应对其中的不确定性与风险。当前合成生物学伦理研究从后果主义和义务论的角度展开，强调事先规则的制定和事后结果的伦理评估，这种伦理研究方法在一定程度上分裂了技术发展的整体过程。本文从美德伦理学角度，尝试寻找一条能够在实践中贯彻伦理原则，确保伦理指引在实践中不断发展的道路，我们确信，这条道路就在于合成生物学科研人员自身的道德选择。

基于美德伦理学视角来探讨合成生物学的伦理问题及其治理，引导科研人员在美德伦理的指

导下开展研究,在美德伦理的基础上协同其他管理措施进行合成生物学伦理治理,应当是合成生物学科技向善的必由之路。美德伦理将有助于把行业行为规范、生物安全法规法则、风险监督意识等内化到科研人员心中,并通过这些管理举措的落实来更好地推进合成生物学伦理治理。注重科研人员的美德训练,将为更好地开展合成生物学的伦理治理,在整体实践的过程中灵活把握和贯彻伦理原则描绘更加良好的蓝图。通过将美德伦理学方法与基于实践的知识基础相结合,我们可以帮助研究人员将美德伦理学纳入他们的研究活动,从而帮助他们成为有独立反思能力和道德选择能力的美德践行者,而不仅仅是伦理规则被迫的遵守者。针对合成生物学科科研人员的美德伦理培养方案的尝试和实践,还将为以合成生物学技术为代表的一系列新兴技术伦理问题的解决提供一个有参考价值的切入点。未来,逐步开展美德伦理培育方案的合理性和有效性的实践研究,将美德伦理与其他管理措施协同并行,根据科研实践中的反馈和效果进行调整,将会更好地辅助和优化方案中的美德标准和培育模型,作为合成生物学伦理治理方案的有效补充,更好地帮助合成生物学技术伦理问题的解决。

科技伦理问题实际就是未来科技如何在社会中落地的问题,这其中必然有一个碰撞的过程,在这个过程中必须由科学研究的实践者本身——科研人员来引导,科技发展才能够持续向更好的方向发展。科技伦理问题也是新时代和谐社会的问题,这一过程不意味着哪一方占据主导,而是要注重培育智能社会的人文素养,携手伦理走向“科技+人文”共建。对于以合成生物学为代表的新兴技术来说,这意味着必须同时关注技术本身和伦理期望二者,为此需要运用更大的智慧。在中国传统哲学也极为提倡的美德伦理,恰好构成了一种切合实际的选择,但这一选择的最终抉择者和实践者,不仅是过去我们理解的哲学家,更多的是需要科技工作者主动积极的深入参与,某种意义上说,在“科技+人文”的共建问题上,脱离了科技工作者的哲

学思考常常是空洞的,而离开了哲学思考的科学实践常常也会是盲目的。

参 考 文 献

- [1] ZHOU B, THAO T T N, HOFFMANN D, et al. SARS-CoV-2 spike D614G change enhances replication and transmission[J]. *Nature*, 2021, 592(7852): 122-127.
- [2] THI NHU THAO T, LABROUSSAA F, EBERT N, et al. Rapid reconstruction of SARS-CoV-2 using a synthetic genomics platform[J]. *Nature*, 2020, 582(7813): 561-565.
- [3] DE VRIEND H. Constructing life-early social reflections on the emerging field of synthetic biology[M]. Hague: Rathenau-Institute, 2006.
- [4] 翟晓梅, 邱仁宗. 合成生物学: 伦理和管治问题[J]. *科学与社会*, 2014, 4(4): 43-52.
ZHAI X M, QIU R Z. Ethical and governance issues in synthetic biology[J]. *Science and Society*, 2014, 4(4): 43-52.
- [5] DOUGLAS T, POWELL R, SAVULESCU J. Is the creation of artificial life morally significant? [J]. *Studies in History and Philosophy of Biological and Biomedical Sciences*, 2013, 44 (4 Pt B): 688-696.
- [6] SCHMIDT M. Diffusion of synthetic biology: a challenge to biosafety[J]. *Systems and Synthetic Biology*, 2008, 2(1/2): 1-6.
- [7] ANDRIANANTOANDRO E, BASU S, KARIG D K, et al. Synthetic biology: new engineering rules for an emerging discipline[J]. *Molecular Systems Biology*, 2006, 2(1): 1-14.
- [8] 程晨, 徐飞. 合成生物学: 工程伦理的实践悖论——从合成生物学对生命、自然及进化的挑战谈起[J]. *自然辩证法研究*, 2012, 28(8): 38-42.
CHENG C, XU F. Synthetic biology: The practice paradox of engineering ethics—starting from challenges which synthetic biology brings to life, nature and evolution[J]. *Studies in Dialectics of Nature*, 2012, 28(8): 38-42.
- [9] 马诗雯, 王国豫. 如何应对合成生物学的不确定性——《合成生物学的监管: 生物砖, 生物朋克与生物企业》评介[J]. *科学与社会*, 2019, 9(3): 124-136.
MA S W, WANG G Y. How to compromise the uncertainty of synthetic Biology? A review of regulation of synthetic biology: bioBricks, biopunks and bioentrepreneurs[J]. *Science and Society*, 2019, 9(3): 124-136.
- [10] 闫欣, 刘中国, 陈月芹, 等. 医学伦理委员会建设发展中的现存问题及其分析[J]. *中国药物与临床*, 2016, 16(3): 363-365.
YAN X, LIU Z G, CHEN Y Q, et al. Existing problems and analysis in the construction and development of medical ethics com-

- mittees[J]. *Chinese Remedies & Clinics*, 2016, 16(3): 363-365.
- [11] MUSICK D W. Teaching medical ethics: A review of the literature from North American medical schools with emphasis on education[J]. *Medicine, Health Care, and Philosophy*, 1999, 2 (3): 239-254.
- [12] Deutsche Forschungsgemeinschaft. Synthetic biology-opportunities and risk[R]. DFG, acatech and Leopoldina present joint statement, 2009.
- [13] 张婉, 徐飞. 合成生物学伦理问题研究态势分析[J]. *医学与哲学*, 2020, 41(9): 41-47.
- ZHANG W, XU F. Analysis of the research progress on the ethical issues of synthetic biology[J]. *Medicine & Philosophy*, 2020, 41(9): 41-47.
- [14] What was the reaction to Prof He doing this[EB/OL]. [2020-12-01] (2021-01-30). <https://www.bbc.com/news/health-48496652>.
- [15] [美]Steneck N H. 科研伦理入门: ORI 介绍负责任研究行为[M]. 曹南燕, 吴寿乾, 姚莉萍, 译. 清华大学出版社, 2005.
- STENECK N H. ORI Introduction to the responsible conduct of research[M]. CAO N Y, WU S Q, YAO L P, trans. Beijing: Tsinghua University Press, 2005.
- [16] COYNE L. The ethics and ontology of synthetic biology: a neo-Aristotelian perspective[J]. *NanoEthics*, 2020, 14(1): 43-55.
- [17] BOERS S N, VAN DELDEN J J, CLEVERS H, et al. Organoid biobanking: identifying the ethics: organoids revive old and raise new ethical challenges for basic research and therapeutic use[J]. *EMBO Reports*, 2016, 17(7): 938-941.
- [18] BREDENOORD A L, CLEVERS H, KNOBLICH J A. Human tissues in a dish: The research and ethical implications of organoid technology[J]. *Science*, 2017, 355(6322): eaaf9414.
- [19] What is HIT-CF Europe[EB/OL]. [2018-11-28] (2021-01-30). <https://www.hitcf.org/>.
- [20] MILL J S. *Ethics: History, theory and contemporary issues*[M]. Oxford: Oxford University Press, 1863: 317-351.
- [21] LATHAM D. Backyard biology: investigate habitats outside your door with 25 projects[M]. Vermont: Nomad Press, 2013.
- [22] WITZE A. People: The science life: Contest brings out the biohackers[J]. *Science News*, 2013, 183(1): 32.
- [23] DOUGLAS T, SAVULESCU J. Synthetic biology and the ethics of knowledge[J]. *Journal of Medical Ethics*, 2010, 36(11): 687-693.
- [24] EASTERBROOK F H, FISCHER D R. *The corporate contract, the economic structure of corporate law*[M]. Cambridge, MA: Harvard University Press, 1991: 1 - 39.
- [25] ORLIKOWSKI W J. Using technology and constituting structures: a practice lens for studying technology in organizations[M]//resources, co-evolution and artifacts. Springer, 2008: 255-305.
- [26] KUDINA O, VERBEEK P P. Ethics from within: Google glass, the collingridge dilemma, and the mediated value of privacy[J]. *Science, Technology, & Human Values*, 2019, 44(2): 291-314.
- [27] HURSTHOUSE R. *On virtue ethics*[M]. Oxford: Oxford University Press, 2002.
- [28] WHETSTONE J T. The language of managerial excellence: Virtues as understood and applied[J]. *Journal of Business Ethics*, 2003, 44(4): 343-357.
- [29] BANKS J S. *Virtue ethics in the conduct and governance of social science research*[M]. Bingley: Emerald Publishing Limited, 2018.
- [30] MACINTYRE A. *After virtue: A study in moral theory*[M]. 3rd Revised edition. University of Notre Dame Press, 2007.
- [31] THOMPSON D F. Responsibility for failures of government[J]. *The American Review of Public Administration*, 2014, 44(3): 259-273.
- [32] CRISP R, SLOTE M. *Virtue Ethics*[M]. Oxford: Oxford University Press, 1997: 243.
- [33] ROBERTSON M. The case for ethics review in the social sciences: Drawing from practice at Queen Mary University of London[J]. *Research Ethics*, 2014, 10(2): 69-76.
- [34] DREES W B. "playing God? yes!" religion in the light of technology[J]. *Zygon*, 2002, 37(3): 643-654.
- [35] BARTH K. *Church dogmatics*[M]. Edinburgh: T. & T. Clark Publishers, Ltd., 1969.
- [36] LEFFEL G M, OAKES MUELLER R A, CURLIN F A, et al. Relevance of the rationalist-intuitionist debate for ethics and professionalism in medical education[J]. *Advances in Health Sciences Education*, 2015, 20(5): 1371-1383.
- [37] BREY P A E. Anticipatory ethics for emerging technologies[J]. *NanoEthics*, 2012, 6(1): 1-13.
- [38] ATHANASSOULIS N. A response to harman: virtue ethics and character traits[J]. *Proceedings of the Aristotelian Society (Hardback)*, 2000, 100(1): 215-221.
- [39] 中华人民共和国生物安全法[M]. 北京: 中国法制出版社, 2020.
- China Legal Publishing House. *Biosafety Law of the People's Republic of China*[M]. Beijing: China Legal Publishing House, 2020.
- [40] 默顿 R K. 科学社会学[M]. 鲁旭东, 林聚任, 译. 北京: 商务印书馆, 2003(11): 363.
- MERTON R K. *The sociology of science: theoretical and empirical investigation*[M]. LU X D, LIN J R, trans. Beijing: The Commercial Press, 2003(11): 363.
- [41] HENDRY D G, FRIEDMAN B, BALLARD S. Value sensitive

design as a formative framework[J]. Ethics and Information Technology, 2021, 23(1): 39-44.

- [42] 杨伯峻,译. 孟子译注[M]. 北京:中华书局,1960:1-25.
Yang B J, translated. Annotated Mencius[M]. Beijing: Zhong-hua Book Company, 1960:1-25.
- [43] Gene drives spread their wings. CRISPR brings a powerful genetic tool closer to reality. Are we ready?[EB/OL]. [2015-12-2] (2021-4-21). <https://www.sciencenews.org/article/gene-drives-spread-their-wings>.
- [44] GROSZ B J, GRANT D G, VREDENBURGH K, et al. Embedded EthiCS[J]. Communications of the ACM, 2019, 62(8): 54-61.
- [45] BANDURA A. Social learning of moral judgments[J]. Journal of Personality and Social Psychology, 1969, 11(3): 275-279.
- [46] SCHNALL S, ROPER J, FESSLER D M T. Elevation leads to altruistic behavior[J]. Psychological Science, 2010, 21(3): 315-320.
- [47] PENNOCK R T. Fostering a culture of scientific integrity: Legalistic vs. scientific virtue-based approaches[R]. Professional Ethics Report: Newsletter of the American Association for the Advancement of Science, Committee on Scientific Freedom & Responsibility, Professional Society Ethics Group, 2015, 28(2): 450-454.
- [48] FERRARI M, BANG H, ARDELT M, et al. Educating for virtue: How wisdom coordinates informal, non-formal and formal education in motivation to virtue in Canada and South Korea[J]. Journal of Moral Education, 2019, 48(1): 47-64.
- [49] HAN H M. Virtue Ethics, Positive Psychology, and a new model of science and engineering ethics education[J]. Science &

Engineering Ethics, 2015, 21(2):441-460.



通讯作者: 徐飞(1961—),男,教授,博士生导师。研究方向为科技哲学与科学史、科学技术与社会。
E-mail: Xufei@ustc.edu.cn



第一作者: 叶斌(1988—),男,博士,副研究员。主要研究方向为科技伦理、近代哲学。
E-mail: binye@ustc.edu.cn



第一作者: 郭思敏(1993—),女,博士研究生。研究方向为科技哲学。
E-mail: guosimin@mail.ustc.edu.cn

广告索引:国家合成生物技术创新中心(后彩一)/九天基因科技(天津)有限公司(后彩二)/
诚志生命科技有限公司(封三)