

蛋白质的功能类可以还原为结构类吗?

Can the Functional Kinds of Proteins be Reduced to Structural Kinds?

马悦 / MA Yue

(清华大学哲学系, 北京, 100084)
(Department of Philosophy, Tsinghua University, Beijing, 100084)

摘要: 蛋白质作为典型的生物化学类, 它既可以基于结构, 也可以基于功能分类。本文旨在讨论两种分类之间的关系: 功能类能否被还原为结构类? 蛋白质的分类是一元的, 还是多元的? 本文将聚焦于刻画一元论的微观结构主义立场, 讨论对该立场的两种主要反驳: 多重实现和多重决定。本文将指出, 尽管微观结构主义可以通过调整具体主张来回应多重实现反驳, 但无法回应多重决定反驳。后者指出了蛋白质的结构无法决定功能, 由此本文主张功能类不能还原为结构类。蛋白质有两种相互独立的分类方式。

关键词: 生物化学类 微观结构主义 功能类

Abstract: Proteins, as a paradigmatic biochemical kind, can be classified either by their structure or by their function. This paper aims to explore the relationship between these two kinds: Can functional kinds be reduced to structural kinds? Is protein classification a matter of monism or pluralism? The discussion centers on microstructuralism, a philosophical stance committed to structural monism. The paper examines two major objections to this position: multiple realization and multiple determination. It argues that while microstructuralism may respond to the former by refining its specific claims, it cannot adequately address the latter. Since protein structure cannot fully determine function, this paper concludes that functional kinds cannot be reduced to structural kinds, and that there are two irreducible and independent ways of classifying proteins.

Key Words: Biochemical kinds; Microstructuralism; Functional kinds

中图分类号: Q51; N031 DOI: 10.15994/j.1000-0763.2026.10.002 CSTR: 32281.14.jdn.2026.10.002

一、蛋白质的分类: 微观结构主义

蛋白质是氨基酸序列通过肽键连接而成的大分子。它作为典型的生物化学类(biochemical kinds), 处于生物学和化学两个学科的界面之中。从化学的角度上来看, 科学家通过研究蛋白质的微观结构来研究它的性质。而从生物学的角度出发, 蛋白质在生物体中承担着重要的功能, 比如构成结构组织、参与酶促反应等。

本文关注于蛋白质的分类。在科学实践中, 我们既通过蛋白质的化学组成和结构对其进行分类, 比如球蛋白、角蛋白、谷蛋白等; 也通过生化功能对其进行分类。对于生物化学而言, 一种蛋白质的功能意味着它在有机体内承担的生化角色。比如血红蛋白的功能是运输氧气, 肌红蛋白的功能则是为动物的肌肉组织存储氧气。前者可以被称为结构类, 后者则被称为功能类。

那么, 蛋白质的分类是应该基于结构还是

收稿日期: 2025年12月12日

作者简介: 马悦(1999-)女, 北京人, 清华大学哲学系博士研究生, 研究方向为分析的形而上学、科学哲学。Email: may24@mails.tsinghua.edu.cn

功能, 还是二者兼有? 蛋白质的结构类和功能类的关系是什么? 一方面, 生物化学实践似乎暗示了我们更应该重视结构类。所有的遗传信息都包含在了蛋白质的一级结构之中: DNA 决定了结构, 进而决定了功能。另一方面, 结构本身又似乎不足以把握生物实践中的所有分类。

关于蛋白质的自然类一元论认为, 我们应该采取一套统一的分类体系。通常, 结构类被认为是唯一的自然类^①; 而多元论认为我们被允许对蛋白质采取不同的分类体系, 并且这些分类体系都是自然的、真实的(作为任意的、武断的对立面)。^[1]其中, 二元论认为蛋白质有结构和功能两种分类体系。

一元论的主流刻画方式由微观结构主义(microstructuralism)所提供。具体而言, 微观结构主义主张, 自然类的分类依据由它的微观结构所决定。对于任意对象, 它的微观结构是它属于什么类型的充分必要条件。^[2]关于蛋白质的微观结构主义认为, 只存在着一种对蛋白质的分类, 即结构类。蛋白质的功能类也应该具有唯一的微观结构本质。蛋白质的功能类被一对一地、基于同一性地还原为了微观结构。对于每一个功能都能找到一种唯一的微观结构与之对应。

本文试图从微观结构主义的立场出发, 讨论结构一元论的观点是否成立, 功能类能否被还原为结构类? 本文将处理两个对微观结构主义的反驳: 多重决定(multiple determination)和多重实现(multiple realization)。多重决定反驳指出同一种微观结构可以实现不同的功能; 而多重实现反驳则针对于不同的微观结构可以承担同一种功能。

第二节中, 本文将进一步澄清蛋白质的微观结构主义立场。第三节中, 本文将讨论多重实现的反驳, 并提出基于决定的微观结构主义立场。第四节中, 本文将处理多重决定的反驳, 并指出结构一元论是错误的, 结构类和功能类是两个相互独立的分类。

二、蛋白质的结构和微观结构主义

微观结构主义是基于对化学实践的观察而得出的。它主张化学类的个体化条件(individuation condition)是它们的微观结构性质。所谓个体化条件是将类型和其他类型区分开的依据。本文将讨论这种主张被应用于蛋白质的分类之中。

化学元素提供了微观结构主义的典型案例。元素可以依据原子序数个体化; 原子序数是原子核中的质子数。例如, 氢元素的个体化依据其质子的数量为二, 拥有两个质子是成为氦元素的充分必要条件。^[3]

化学哲学中讨论了微观结构本质主义能否被进一步从元素扩展到化合物、酸碱等类别之上。绝大部分化学类被认为符合这种刻画。这种立场也面临着争议, 例如有学者认为酸碱应该被视为结构类, 而不是功能类。^[4]对于蛋白质的讨论也部分地延续了这个思路。从构成上的由小而大来看, 如果元素、化合物等化学实体都可以被微观结构主义所解释, 那么我们至少有理由尝试去扩展这个理论, 让它应用于一些更复杂的实体, 比如像蛋白质这样的大分子。毕竟无论多么复杂的实体, 它们都最终由一些微观的粒子构成。

然而, 对蛋白质的微观结构主义理论构建要更加复杂, 因为蛋白质的结构并不是固定不变的。蛋白质承担功能就意味着它需要进入到环境中进行折叠。在折叠过程中, 蛋白质由氨基酸链条折叠成稳定的三维或四维结构。微观结构主义需要明确是蛋白质的什么结构决定了功能?

蛋白质共有四级结构。它的一级结构(primary structure)是氨基酸在多肽链上的排列顺序; 二、三、四级统称为高级结构。为了实现生物体内的功能, 蛋白质需要在环境内完成进一步的折叠, 形成高级结构。二级结构是

^①尽管在逻辑可能性上, 功能类一元论也是一种可能的立场。但目前为止没有学者严肃地持有过该立场。有学者对功能是否具有全面覆盖式地将蛋白质个体化的能力提出质疑。本文将不考虑这种一元论立场。

多肽链的主链部分在局部形成有规律的折叠和盘绕,三级结构是多肽链在二级结构的基础上进一步盘绕、折叠和卷曲,形成特定的空间结构。三级结构包括了肽链上所有原子的空间排布,也被称为蛋白质的构象(conformation)。不是所有的蛋白质都具有四级结构,只有一些具有两条肽链以上的蛋白质会因为亚基的相互作用进一步形成四级结构。

哪种类型的结构是重要的?一级结构和构象被给予了更多哲学和科学上的关注。一级结构是最稳定的,在化学构成研究上是重要的;同时,它直接被DNA编码,携带了所有的遗传信息。三级结构,即构象,是蛋白质在环境中热力学上最稳定的状态。构象和功能之间具有更为直接的联系。二级结构仅仅是从一级结构折叠成构象过程中的过渡状态,而四级结构不是所有蛋白质都具有的。

在讨论蛋白质结构和功能时,决定功能的是一级结构还是构象呢?绝大多数哲学家讨论的是一级结构。^{[5]-[8]}部分原因在于,构象是“不稳定”的:尽管构象是热力学上稳定的,但仍然是动态的。在简易版的考量中,构象意味着氨基酸和肽键在空间中的相对分布。然而,由于折叠环境的复杂,构象和二级结构一样都具有动态性:构象是通过氢键和其他弱分子间力结合的。斯莱特(Matthew Slater)将构象比喻为被磁铁固定的长软管;它虽然有一些节点被弱分子间力(比如范德华力和疏水)所固定,但节点间的链条会在环境中变化、翻转。而这些节点也不能得到预先的确定,它们受到折叠顺序的影响。^[1]因此,并不存在着一个静止不变的、得到明确确定的构象为蛋白质提供结构分类。排除了构象的选择,一级结构被认为提供了对结构类的分类准则。

这种基于一级结构进行分类的蛋白质的微观结构主义可以被表述为:

(蛋白质的)微观结构主义:

(1)(充分条件)存在着蛋白质的一级结构性质 $P_1, \dots, P_n$ 使得如果任意一个实体 x 具有这些性质,那么 x 属于功能类 K 。

(2)(必要条件)任意一个实体 x , x 是功

能类 K 的成员,那么 x 就具有一级结构性质 $P_1, \dots, P_n$ 。

微观结构主义辩护了结构一元论,微观结构提供了蛋白质分类的唯一依据。这种立场面临着两种类型的反驳,分别针对着它的充分条件和必要条件。在多重决定的情况下,同一种蛋白质的一级结构可以承担不同的功能。仅仅凭借蛋白质的微观性质,不足以决定它属于什么功能类。微观结构不是决定功能的充分条件。在多重实现的情况下,同一种功能可以被具有不同一级结构的蛋白质实现。具有某种功能,并不足以决定它具有什么微观性质。微观结构不是决定功能的必要条件。

本文后两节将分别处理这两种反驳意见。在第三节中,本文提出了基于决定的微观结构主义来回应多重实现的反驳。在第四节中,本文将考虑多重决定反驳,并指出结构一元论的错误,我们应该承认功能类是独立于结构类的分类,并给出一种更宽泛地对“结构决定功能”的理解。

三、多重实现和基于决定的微观结构主义

多重实现是一个久经讨论的哲学议题,尤其是在心灵哲学和科学哲学领域中。相关讨论关注于高阶实体、性质或状态如何被低阶的实体、性质或状态多重实现。例如,同一种心灵状态可以被不同的物理状态所实现。蛋白质的讨论为多重实现提供了一个更符合科学实践、具有更明确细节的案例。

血红蛋白的案例是讨论蛋白质多重实现现象的经典实例。血红蛋白处于红细胞中,负责运输氧气。血红蛋白是由四条肽链组成的四聚体。在四条肽链中,有两种亚基肽链各两条。成年人体内的绝大多数血红蛋白由两条 α 亚基和两条 β 亚基构成,即 $\alpha_2\beta_2$ 。而胎儿体内的血红蛋白则有 $\alpha_2\gamma_2$ 和 $\zeta_2\gamma_2$ 等多种组合方式。^[9]不同的亚基肽链具有不同的氨基酸序列,但它们相结合可以构成相似的高阶结构,承担同一种功能。在这个意义上,不同种类的微观结构实现了同一种生物学功能。

多重实现现象一定会破坏还原吗? 有一些学者认为这要取决于它是表面上的多重实现, 还是真正的多重实现。在这种观点下, 一些看似是多重实现的情景, 实际上并没有真的涉及到这一概念。以经典的开瓶器案例为例, 用于开启葡萄酒瓶的工具可以有不同类型, 例如海马刀式开瓶器依赖于手动操作和技巧, 需要维持开瓶器与瓶塞的垂直方向; 而双杆式开瓶器则运用了蝶形杠杆的原理, 通过机械结构实现开瓶。在这个意义上, 开瓶这个功能被两个不同的开瓶器种类实现了(当然开瓶器并不是一个自然类)。而开瓶器的另一些特征, 比如它的形状、颜色和图案的不同, 都不构成真正的多重实现。这一分析的核心思想是: 要构成真正的多重实现, 不同的实现方式必须在实现机制上存在实质性的差异。这也被称为相关差异要求。^[10] 海马刀式和双杆式开瓶器是通过不同的机制和方式来实现的开瓶这一功能。但是不同样式的海马刀式开瓶器在实现开瓶这一功能时, 虽然也在颜色、图案等维度有所差异, 但没有涉及到实现机制, 因此不是真正的多重实现。

本文将考虑结构和环境之间的相互作用来说明为什么蛋白质是真正的多重可实现现象。在此之前, 有必要先强调为什么结构和环境的相互作用是重要的。

无论是多重实现还是多重决定现象的产生, 都至少部分地是因为蛋白质的一级结构需要进入生物体的环境中折叠才能实现功能。在环境中, 一级结构会折叠成热力学上稳定的构象。影响蛋白质折叠的不仅包括氨基酸侧链上的相互作用力(一级结构本身特征), 还有和环境的互动, 比如疏水侧链会倾向聚合以尽可能减少与水接触的面积。有时蛋白质折叠还需要其他蛋白质进行帮助。有些需要分子伴侣(chaperones)的帮助, 来克服折叠的动力学障碍; 有些需要蛋白质二硫化物异构酶和肽酰脯氨酰顺反异构酶的帮助, 来形成正确的二硫键。还有一些环境, 比如酸性环境, 可能会让蛋白质变质, 破坏蛋白质的功能。因此, 可以说, 蛋白质承担功能脱离不了环境的影响。

多重实现现象产生的根源在于蛋白质需要在不同的生物体内部环境中承担同一种功能。例如, 血红蛋白之所以有不同的亚基组合, 部分地因为胎儿和成人体的温度和pH值的不同。而血红蛋白要承担运输氧气的功能, 需要形成相似的高级结构。成人体的 α 和 β 亚基进入胎儿体内, 反而无法执行功能。胎儿体内需要 $\alpha_2\gamma_2$ 和 $\zeta_2\gamma_2$ 的组合来形成血红蛋白。这些亚基肽链本身是不同的, 它们是以不同的方式形成了相似的结构。具体而言, 亚基肽链受到了结构间和环境的不同受力, 所以它们的折叠过程和机制是不同的。

因为不同的一级结构以不同的机制实现了血红蛋白, 这符合相关差异要求, 因此血红蛋白的案例是真正的多重实现现象。这对微观结构主义和蛋白质的一元论提出了反驳。由于必要条件不满足, 微观结构主义的议题是错误的。我们应该承认蛋白质有结构类和功能类这两种分类。

微观结构主义要如何回应多重实现的反驳? 塔科(Thomas Tahko)为了挽救一元论, 指出我们不应该将功能类视为真正的自然类, 而应该将其视为和人类的高阶旨趣相关的实践类。由于我们在高阶科学中, 关注到了运输氧的行为。出于研究和实践上的便利, 我们将这些可以运输氧的蛋白归为一类。然而, 相比于放弃微观结构主义立场, 否认功能类的自然性可能更难令人接受。巴托尔(Jordan Bartol)指出这种自然性是被演化所保证的。^[7]

本文试图说明, 即使坚持蛋白质的微观结构主义, 也不必认为功能只能由一种特定的结构单重实现。换言之, 微观结构主义不需要承诺它的必要条件, 任意一个实体 x , x 是功能类 K 的成员, 那么 x 就只能具有某一套特定的一级结构性质 $P_1, \dots, P_n$ 。并且, 这种放弃必要条件, 并不是特设性的, 而是出自于概念上的要求。本文将通过考虑如下三个相互矛盾的议题来说明这一点:

(1) 所有自然类通过它的微观结构进行分类。

(2) 功能类是自然类。

(3) 功能类通过它本身所承担的功能进行分类。

由(1)和(2)可以推断出功能类需要依据它的微观结构进行分类,这与(3)相矛盾。而(3)是依据科学实践所得出的,像诸多血红蛋白之所以构成一类是因为它们都承担了运输氧气的功能。而(1)-(3)之间的矛盾可以被简述为如下两个要求的矛盾:

(1') 基于微观结构主义的立场,功能类要通过微观结构实现个体化。

(2') 出于功能类自然性的要求,功能类要通过自身的行为和功能个体化。

塔科认为我们要坚持微观结构的立场,就应该放弃(2)和(2'),即否认功能类是自然类。本文则试图说明更好的做法是放弃(1)和(1'),微观结构主义不需要承认功能类要通过微观结构实现个体化,相反它可以认为存在着结构类和功能类两种分类方式,但是功能类可以非消除性地还原为结构类。本文将这种立场称为基于决定的微观结构主义。下文将通过区分类型本身和类型的成员来澄清这种立场。

回到化学哲学的案例中,化学类型通过它们的微观结构进行分类。我们可以同时有两个表述:

(a) (类型自身) 氢元素的个体化条件是它的质子数为二。

(b) (类型的成员) 任意具有两个质子的原子核都是氢元素的实例。

(a) 要求氢元素作为自然类而言,它的分类依据是原子核中所具有的质子数。质子数为二是氢元素的个体化条件。而(b)则仅仅要求只要有两个质子的都是氢元素,两个质子确保了化学实体作为氢元素而存在。(b)是氢元素的存在性条件。

(a) 包含了(b),如果质子数为二提供了氢元素的个体化条件,就也会提供氢元素的存在性条件。而(b)并不要求(a), (b) 仅仅阐明了具有两个质子足以确保和决定这是氢元素的实例,并没有要求氢元素只能具有两个质子。

对于功能类而言,由于自然性的要求,它

的个体化条件不由微观结构所提供。但是微观结构可以提供它的存在性条件。生物化学实体的微观结构决定了它属于什么功能类。在这个意义上,微观结构主义只需要保留它的充分条件:

基于决定的微观结构主义:存在着蛋白质的一级结构性质 $P_1, \dots, P_n$ 使得如果任意一个实体 x 具有这些性质,那么 x 属于功能类 K 。

并且,在定义中出现的这系列一级结构性性质应该都实质性地决定了实体的功能。我们不希望其中的某些结构仅仅是偶然和功能共存,例如 $P_1, \dots, P_n$ 本身就足以决定功能 K 。但是刚好所有的功能类的成员都同时具有某一结构性性质 P_{n+1} 。由此,我们可以为微观结构主义添加解释性条件,这些微观性质不仅仅决定了实体属于什么功能类,还可以进一步解释为什么实体属于这个功能类。这种基于决定的微观结构主义被转述为:

(1) (充分条件) 存在着蛋白质的一级结构性性质 $P_1, \dots, P_n$ 使得如果任意一个实体 x 具有这些性质,那么 x 属于功能类 K 。

(2) (解释性条件) 一级结构性性质 $P_1, \dots, P_n$ 解释了为什么实体 x 属于功能类 K 。

根据这种微观结构主义的立场,我们可以得出以下几点结论:首先,它和多重实现现象是相容的。功能类可以被不同结构类实现。其次,它依然保有了我们持有微观结构主义的动机,即底层的结构应该决定上层的功能。所以这种修改是可以被接受的。并且,这种修改并不是仅仅为了应对多重实现的反驳(经验性的证据),而是从构建这种立场的概念出发的,因此没有特设性。最后,由于最终起到决定作用的是结构类,因此基于决定的微观结构主义支持了自然类的一元论。这种一元论虽然承认功能类具有自身的个体化条件,但功能类可以被还原为结构类,被结构类所决定。

四、多重决定和非充分决定

多重决定现象指的是蛋白质的一级结构可以承担不同的功能,它反驳了微观结构主义的

充分条件。充分条件指出蛋白质的一级结构足以决定它的功能,这就意味着同一种一级结构只能承担一种功能。然而,在生物化学中,有一些蛋白质可以行使多种功能。这类蛋白被称为兼职蛋白。这种一级结构对应多种不同功能的反例被称为多重决定。晶状蛋白(crystallin proteins)是典型的兼职蛋白的例子。晶状蛋白在眼睛里作为结构蛋白存在,也在代谢中作为酶来承担催化活性的功能。

塔科认为多重决定对微观结构主义完全不构成挑战。将不同的功能性的能力刻画为未实现的倾向性(unactualized dispositions)。这些兼职蛋白的结构本身足以决定它具有什么样的倾向性能力,只是在不同环境中展现出了不同的能力。晶状蛋白本身就具有作为结构和作为催化酶等能力,在不同的生物体环境中,它会展现不同的能力。

然而,另一些学者则认为兼职蛋白对微观结构主义提出了无法回应的挑战。托宾(Emma Tobin)承认像晶状蛋白这样的案例的确无法反驳微观结构主义。但是她认为兼职蛋白中存在着更实质性的反例,即天然无折叠蛋白(naturally unfolded protein, NUP),也被称为内在无结构蛋白(intrinsically unstructured protein)。NUP所提供的反驳突出的不是一级结构可以对应于不同的功能(多重决定),而是结构对功能的非充分决定性,即仅仅凭借蛋白质的一级结构,并不能确定蛋白质所承担的功能。

NUP是一类广泛存在的蛋白质,目前为止已经发现的NUP占蛋白质总数的30%。这类蛋白在合成好后并不折叠,或者仅仅部分折叠,因此缺乏二级或三级结构,但仍具有功能。NUP的主要功能是参与信号传导、细胞周期调控和基因调控表达;也充当RNA和蛋白质的分子伴侣。

托宾以囊性纤维化跨膜传导调节蛋白(Cystic Fibrosis transmembrane conductance regulator, CFTR)为例,指出它体现出了结构对功能的非充分决定性。CFTR是一种氯离子通道蛋白,负责把氯离子从胞内运输到细胞外。

然而CFTR能否承担运输氯离子这一功能不直接取决于它的一级结构。CFTR上的结合区如果被蛋白酶磷酸化,它就可以承担传输氯离子的功能。而其他情况下,CFTR上的结合区不发生任何改变,CFTR则不能承担这一功能。在这个例子中,蛋白质的一级结构并不足以决定它能承担什么功能,并且它也不具有三维构象。因此,无法通过一个内在的、属于该蛋白质本身的微观结构来确定其功能类型。

塔科认为这种内在无结构蛋白的案例也可以像晶状蛋白一样,把功能归为结构的倾向性属性。然而,他并没有回答如下问题:(1)如何理解一级结构的倾向性属性?(2)为什么兼职蛋白案例中的功能可以被视为一级结构的倾向性属性?(3)两类兼职蛋白的案例有什么差别?为什么托宾主张晶状蛋白的案例中功能可以被归为结构,但是内在无结构蛋白案例中则不可以。与此同时,托宾和古德文(William Goodwin)断言内在无结构的案例就足以说明微观结构主义是错误的,功能是独立于结构的。但他们也没有考虑将功能视作为倾向性属性的方案能够处理这类反驳。后文将逐一讨论塔科未回答的三个问题,对这两派观点给出裁决,讨论在什么意义上功能可以被归为结构。

首先,什么是倾向性属性?它的核心特征可以通过触发和展现(trigger and manifestation)来把握:具有倾向性属性的对象会在特定环境的触发下,展现出特定的行为。例如,花瓶具有易碎性,就意味着:如果花瓶被推到地上,就会由此破碎。^[11]这看起来也是塔科想要把握的想法,晶状蛋白的功能是在眼部环境的触发下,执行结构蛋白的功能。在这个意义上,由于功能是一级结构的倾向性属性,因此功能被归于结构。在科学形而上学中,对如何给出倾向性属性的精确化定义有不同的方案。本文不试图讨论倾向性属性的一般化定义要如何构建,而是要借助如下的化学哲学中同分异构体(isomer)案例,来把握蛋白质的功能在什么意义上被当作为倾向性属性。

对于化合物而言,我们可以有如下具有微观结构主义精神的论断:化合物通过分子式而

个体化。分子式是表达化合物的元素构成的比例。例如,水是 H_2O ,甲烷是 CH_4 。然而,对于同分异构体而言,分子式本身不足以决定它的分类。比如正丙醇、异丙醇和甲乙醚等的分子式都是 $\text{C}_3\text{H}_8\text{O}$,但它们具有不同的化学性质,是不同的化合物类型。这些具有相同分子式的不同化合物类型被称为同分异构体。同分异构体的案例当然不会对化合物的微观结构主义构成反驳。因为我们考虑结构的时候,不应该仅仅考虑元素的组成比例,还需要考虑这些元素的空间排列方式。这些同分异构体之所以是不同的化合物类型,正是因为元素呈现出了不同的空间排列。正丙醇和异丙醇的羟基连接了不同位置的碳原子,因此具有不同的结构,由此具有了不同的化学性质。

对应于蛋白质的案例,蛋白质的一级结构是氨基酸的排列顺序,但承担功能需要蛋白质折叠成空间结构。仅仅通过对于一级结构本身的研究,无从得知它呈现出什么构象,还需要考虑它在特定环境中的受力。结构和环境共同地决定了蛋白质的空间结构。这个过程被理解为一级结构在特定环境的触发下,展现出了特定的空间结构。在塔科的表述中,这个空间结构可以被替换为功能,因为他认为空间结构可以直接决定功能。因此,一级结构的倾向性属性可以被理解为,在特定的环境中,展现出特定空间结构和功能。

晶状蛋白的案例可以适配于上述的描述:空间结构由一级结构和环境共同决定,空间结构决定功能。功能可以被视为一级结构被环境所触发的能力。然而,CFTR案例提供了不同的要点,其核心在于我们应该区分出空间结构和功能。对于CFTR而言,由一级结构受力(结构间和环境的作用力)形成的空间结构并没有直接决定功能。这也是托宾所强调的,CFTR的结合区始终没有改变;在这个意义上,托宾认为结构是没有变化的。但是环境中的分子伴侣会将结合区磷酸化,结构是否被磷酸化决定了它是否能决定功能。

在CFTR案例中,功能可以被归于结构吗?本文指出答案是否定的。最直接的理由在于,

CFTR案例并不符合上述对蛋白质的倾向性属性的界定。蛋白质的倾向性属性,即一级结构直接折叠成的空间结构,不足以决定CFTR的功能。基于此,氯传导功能不能被认为是其一级结构的倾向性属性。本文将通过指出晶状蛋白和CFTR案例之间的区别来进一步佐证这一点。

首先,在晶状蛋白案例中,功能仅仅由一级结构折叠后的空间结构来决定。所谓空间结构仅仅是一级结构在空间中排布的状态,并没有添加任何额外的东西。而CFTR案例中的磷酸化的操作实质性地改变了一级结构的构成。更广泛地说,以磷酸化为例的一类对蛋白质的修饰都有此特征。在这类操作中,诸如糖类、脂质等生物分子在特定酶的催化下对氨基酸残基进行化学修饰。比如说,糖类和肽链可以通过共价键连接形成糖蛋白。晶状蛋白和CFTR之间区别在于,对于前者环境仅仅对结构施加了物理受力,而后者改变了结构的化学组成。

这种区别是重要的,原因在于这与我们支持把功能归于结构的直觉相关。在同分异构体案例中,我们指出结构的构成元素自身不足以决定功能,还需要考虑空间结构。我们将构成元素/空间结构来类比一级结构和蛋白质折叠后的空间形态,强调空间结构本身仍然是结构的一部分。经过折叠的一级结构仍然是它自身,只是我们对它的了解增加了另一个维度。但是改变了化学组成的一级结构不再是它自身,我们可以将功能归于已经被修饰的结构,但不能将其归于原先的一级结构自身。

我们可以进一步考虑环境在其中起到的作用,再次澄清这一点。假设我们将已经具有特定空间排列的氨基酸序列送入特定环境中。在晶状蛋白案例中,只要环境不破坏它的结构,那么这个蛋白质就可以承担功能。而在CFTR案例中,蛋白质还需要继续经过修饰,才能承担功能。这就表明在后者的案例中,环境起到了更实质性的作用。

通过上述的分析,我们反驳了功能是一级结构的倾向性属性的说法,并且指出结构自身无法决定功能。在这个意义上,蛋白质功能类

不能被还原为结构类,是真正的独立的分类。

需要澄清的是,结构自身无法决定功能并不意味着结构是不起作用的。在CFTR案例中,并不意味着任何一个蛋白质进入环境中,都可以被磷酸化,从而承担功能。CFTR蛋白需要具有可被磷酸化的性质,CFTR被磷酸化后的结构才进一步具有作为倾向性属性的功能。

并且,我们仍然可以在更宽泛的意义上认为“结构决定功能”。托宾认为无论是否被修饰,“结构”是不会发生变化的。她想谈及的结构是在结构类之下的一级结构。经由化学修饰前后的蛋白质,在结构组成上显然发生了变化。蛋白质能否承担功能和它最后形成的空间结构相关。环境并不直接影响蛋白质的功能,相反,它通过影响蛋白质的空间结构来间接地决定蛋白质是否能承担特定功能。

综上所述,本文讨论关于蛋白质的微观结构主义立场。从化学分类延伸出的微观结构主义认为功能类可以和结构类一一对应,但这种立场面临着多重实现的反驳。为了回应反驳,本文提出了基于决定的微观结构主义,其主张功能类可以非消除地还原为结构类。然而,这依然面临着多重决定的反驳。本文指出多重决定反驳可以改述为非充分决定的反驳,即指出蛋白质的一级结构不能决定它的功能。由此,功能类不能被还原为结构类。不过,我们仍可在一种更宽泛的意义上坚持“结构决定功能”的观点,即蛋白质的一级结构与环境条件共同决定其高级结构,而环境也正是通过改变高级

结构,进而影响蛋白质是否承担相应功能。

[参考文献]

- [1] Slater, M. H. 'Macromolecular Pluralism'[J]. *Philosophy of Science*, 2009, 76(5): 851–863.
- [2] Bird, A., Tobin, E. 'Natural Kinds'[A], Zalta, E. N., Nodelman, U. (Eds.) *The Stanford Encyclopedia of Philosophy*[C], Stanford: Metaphysics Research Lab, Stanford University, 2024.
- [3] Hendry, R. F. 'Elements, Compounds and Other Chemical Kinds'[J]. *Philosophy of Science*, 2006, 73(5): 864–875.
- [4] Thyssen, P. 'Are Acids Natural Kinds?'[J]. *Foundations of Chemistry*, 2024, 26(2): 225–253.
- [5] Tobin, E. 'Microstructuralism and Macromolecules: The Case of Moonlighting Proteins'[J]. *Foundations of Chemistry*, 2010, 12(1): 41–54.
- [6] Goodwin, W. 'Structure, Function, and Protein Taxonomy'[J]. *Biology & Philosophy*, 2011, 26(4): 533–545.
- [7] Bartol, J. 'Biochemical Kinds'[J]. *The British Journal for the Philosophy of Science*, 2016, 67(2): 531–551.
- [8] Tahko, T. E. 'Where Do You Get Your Protein? Or: Biochemical Realization'[J]. *The British Journal for the Philosophy of Science*, 2020, 71(3): 799–825.
- [9] 王克夷. 蛋白质导论[M]. 北京: 科学出版社, 2007, 52–229.
- [10] Polger, T. W., Shapiro, L. A. *The Multiple Realization Book*[M]. Oxford: Oxford University Press, 2016, 60–80.
- [11] Schrenk, M. *Metaphysics of Science: A Systematic and Historical Introduction*[M]. New York: Routledge, 2016, 45–86.

[责任编辑 王巍 谭笑]