

What is the origin of homochirality in nature?

自然界中同型手性起源的难题

何裕建

中国科学院大学化学与化工学院, 北京 100049

E-mail: heyujian@ucas.ac.cn

2017-05-20 收稿, 2017-06-15 修回, 2017-06-20 接受, 2017-07-13 网络版发表

国家自然科学基金(21272263)、国家重点研发计划(2016YFF0203700)、北京大学天然药物及仿生药物国家重点实验室开放基金(K20160203)和中国科学院化学研究所科教融合资金资助

摘要 手性和对称破缺是自然界的重要客观存在. 从微观的粒子和分子到宏观的物质和宇宙星系, 均存在不同水平的手性和对称性破缺, 寻找它们的内在统一性是著名的科学难题. 本文对2005年美国*Science*杂志公布的125个科学前沿问题之一“自然界中同型手性的起源”进行了解读, 特别关注同型手性对生命起源和生命体系的重要意义, 概述介绍了国内外学者的相关研究假说、理论和进展.

关键词 同型手性, 对称性破缺, 生命起源, 研究进展

2005年7月1日, 美国*Science*杂志在纪念创刊125周年之际, 公布了125个最具挑战性的科学前沿问题. 其中第57个问题是“*What is the origin of homochirality in nature?*”. 其意为: 自然界中同型手性的起源是什么? 为什么这个问题如此重要和有难度呢? 本文给予简明解读并介绍相关的研究进展.

手性即不对称性, 指一个物体与其镜像不能重合. 如我们的双手, 左手与互成镜像的右手不重合. 在分子水平, 一个分子与其镜像不重合, 则称其为手性分子, 通常用绝对左、右手螺旋(*S*, *R*)、相对左、右手构型(*L*, *D*)、旋光性(+, -)来对它们进行标识. 旋光性用旋光度来表示, 可正可负. 旋光度的绝对值越大表明不对称性越强, 当旋光度为0时, 可能样品是对称性的, 也可能是左、右不对称的分子一样多(此时的样品叫外消旋体), 旋光度被抵消掉了. 手性分子具有旋光性, 因此也称其有光学活性.

自然界中的*D*-氨基酸与*L*-氨基酸(图1), 以及*D*-核糖与*L*-核糖是典型的手性分子. 法国学者巴斯德于19世纪中叶通过对酒石酸盐的研究, 最早发现并提出了分子手性概念.

在生命起源的化学进化过程中, 生物小分子(如氨基酸与核苷酸等)是重要且必不可少的, 它们一旦生成后分别缩合形成肽与寡聚核苷酸则是生命起源关键性的一步. 但缩合过程中至今仍令人迷惑不解的是手性的选择: 即在生命起源过程中, 仅*L*-氨基酸和*D*-核糖或*D*-脱氧核糖分别被选择缩合形成*L*-肽和*D*-寡聚核苷酸, 它们对应的*D*-氨基酸和*L*-核糖或*L*-脱氧核糖不被选择. 即生命选择相同手性的*L*-氨基酸和相同手性的*D*-核糖或*D*-脱氧核糖来分别组构蛋白质/肽和核酸.

如果生命以混合的*D*-和*L*-氨基酸或核糖来组构肽与核酸, 生命的高度有序性不可保障, 生命分子将没有或仅有很低的生物功能, 无法形成真正意义上的生命^[1,2]. 因此, 同型的手性是生命赖以起源与存在的分子基础, 通常不是纯*L*-氨基酸就是纯*D*-氨基酸, 二者必选其一, *D*-和*L*-核糖也是. 当然, 在自然界也发现某些细菌壁上存在含*D*-氨基酸的肽, 但这些肽仅占少数并且不是最至关重要的蛋白质肽.

在微观粒子水平, 1957年吴健雄等人证明了李政道和杨振宁的猜测: 宇称不守恒^[2]. 吴健雄用钴-60

引用格式: 何裕建. 自然界中同型手性起源的难题. 科学通报, 2017, 62: 2465–2472

He Y J. The problem on the origin of homochirality in nature (in Chinese). Chin Sci Bull, 2017, 62: 2465–2472, doi: 10.1360/N972016-00959

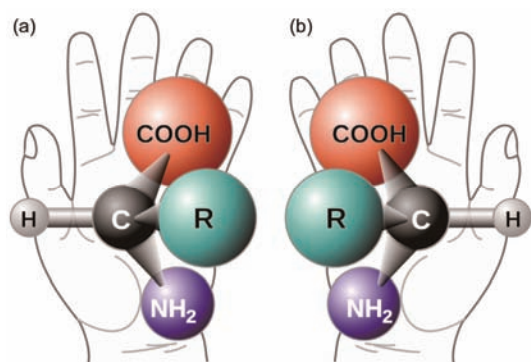


图1 (网络版彩色)镜像不重合的L-氨基酸(a)与D-氨基酸(b)示意图
Figure 1 (Color online) Chiral structure of L-amino acid (a) and D-amino acid (b)

的 β 衰变实验证实,产生的左旋电子比右旋的多,而不是之前学术界认为的各占50%,即对称性在宇称水平也被打破了^[2]。

另外,经调查统计发现^[1],地球上许多生命体是以螺旋形式存在的,通常其右手螺旋形式更占优势。如右手螺旋形式的海螺与藤状植物比左手螺旋的明显多,等等。这也是某一种同型手性被优势选择的事实,也属对称性破缺案例。

上面的例子都是表明在自然界中不同层次上某种手性形式比另一种更优势被选择,即出现同型手性选择的问题。事实上,目前学术界更关注生物体系中为什么仅优势选择L-氨基酸与D-核糖的手性问题。这个问题即是生命起源研究中令人瞩目的难题:生物分子手性起源(或称光学活性起源)。其原因是什么呢?不乏相关假说与研究,但尚未得到令人信服的破解。

1 国外生物分子同型手性起源的假说

目前国外关于生物分子手性起源有如下主要假说。

(1) 基于宇称不守恒的VESTER-ULBRICHT机理和YAMAGATA机理等。前者认为 β 衰变产生偏振电子会对D和L-氨基酸或核糖产生非对称影响,最后使L-氨基酸和D-核糖相对稳定而被选择^[2,3]。后者则认为因宇称不守恒使各电磁相互作用也不对称,导致L-氨基酸在能量上比D-的稳定从而被生命最后选择^[2,3]。但学术界感到困惑的是,宇称不守恒效应虽是一个持续的客观效应,但其效应可能太小(D/L-氨基酸之间的能量差约为 10^{-38} J/分子),不足以引起生命起源中如此明显的同型手性选择。也许,宇称不守恒本身也是自然界的一个结果而不是原因?

(2) 圆偏振光引起光学活性。自然光由于某些特定因素的影响产生不对称偏振性,对L-和D-分子进行不对称分解,最后导致使L-氨基酸和D-核糖相对稳定而被选择^[4]。但是自然光是各向同性的,这意味着地球上可能会同时存在着不同手性选择性的生命,但事实并不如此。因此,此理论有偏颇之处。

(3) 液固相化学反应引起同型手性选择。主要有泥土表面理论、不对称晶体石英和立体选择性结晶假说。它们基本的观点均是由于液固相化学反应的不对称性引起了手性选择^[5]。这也意味着地球上可能会同时存在着不同手性选择性的生命,但事实并不如此。地球生命是L-氨基酸和D-核糖相对比D-氨基酸和L-糖更被选择。因此,此理论也有偏颇之处。

(4) 统计起源论。此观点认为L-和D-被选择是随机的,只是现有正好是L-氨基酸和D-核糖被选择了,然后通过生命进化的遗传与放大而已^[2]。此假说具有无奈的被动性,没有说服力。

(5) 活力论。此观点认为没有生命就没有手性,即同型手性的选择源于生命本身^[2]。但这无法解释生命起源时的“第一批”同型手性从何而来的问题。

(6) 地磁场论。此观点认为,地球上的同型手性起源与地球是一个自左向右转具有磁性的球体有关^[6]。

(7) 耗散理论。20世纪70年代,Prigogine和Stengers^[7]提出耗散结构理论来解释同型手性起源问题。他们提出分叉和对称破缺假说:在平衡态或近平衡态存在分叉点,系统在二种可能性中选择其中的相对稳恒态实现对称性的破缺^[2,7]。

上述假说或观点虽或多或少能合理解释某些问题,但一个共同点是它们要么效应太小,要么不能明确地指出目前地球生命手性的同型选择是一个必然的不二结果,即选L-和选D-仍带有随机性。因此,无法令人完全信服。

目前,国外关于生物分子同型手性起源与生命起源研究仍是热点之一。近年来有研究表明,噪声、自催化和自复制、引力宇称不守恒等方式可能诱导同型手性的形成,即对称性破缺^[8~10],但理论上仍没有跳出之前的相关假说。

2 生物分子同型手性起源与生命起源研究的关系

目前学术界认为,解决生物分子同型手性起源的难题是解决基本科学难题生命起源的关键之一

(<http://www.us.net/life/>). 经过多年的努力, 归纳起来, 对生命起源的研究, 人们日渐发展并建立了下列主要理论^[2].

(1) 特殊创造论. 是指在宇宙历史的某一特殊时刻, 由上帝创造出生命, 这种学说曾一度占统治地位, 但基本上不被学术界所接受.

(2) 泛孢子理论. 提出生命的胚芽来自地外空间, 地球上的生命被假定为是与陨石或地外来访者一起到达地球, 然后生长发育^[11]. 微生物附着于陨石活着到达地球显然不可能, 它们将被紫外线杀死或因空间真空死亡. 泛孢子理论最多能说明生命存在于一颗特殊的行星里, 它仍未能解答宇宙中最初生命起源的问题.

鉴于星际空间中复杂的有机分子的发现, 目前泛孢子理论重又兴起, 但这些分子能否在地球上播种形成更复杂的分子, 至今未能确切回答.

(3) 自然发生论. 认为生物可从非生物自然发生. 例如蛙可从泥中长出, 蛆虫可从腐肉生出. 一些著名学者如古代的亚里士多德, 近代的Harney和牛顿, 都曾的自然发生论的信奉者. 该理论由于实验观察错误, 经不起推敲.

(4) 生源论. 认为生命只能来自生命. 1668年意大利医生F.Redi用实验证明没有蝇和卵, 不论把腐肉放多久, 也不会产生蛆^[2]. 1862年法国科学家L. Pasteur证明, 煮熟肉汤不可能长出细菌^[2], 说明微生物不能自然发生, 确立了生源论. 该理论认为生命只能来自生命, 从而否定了地球上生命的起源. 但这个理论无法回答第一个生命从何而来的生命起源问题, 更无法回答生命分子同型手性起源的难题.

(5) 化学进化学说. 1871年达尔文首先提出^[11]: “在一个存在着各种状态的氨和磷酸盐的温暖水池中, 在光、热、电存在条件下, 某种蛋白质合成物形成了, 并进行更复杂的变化”. 1924年苏联生物化学家A.I.Oparin提出生命是长期化学进化的结果^[2]. 1928年英国生物化学家Haldane提出^[2]: 当紫外线作用于水、二氧化碳和氨的混合物时, 形成多种有机物质, 包括糖类, 其中有些物质可以构成蛋白质. 原始海洋达到一个热的稀汤以前, 他们早已聚集. 1947年Bernal提出, 在有机物丰富的原始海洋里, 各种不同过程可把有机物结合起来, 并且描述了使小分子聚集产生生命大分子的方式和方法^[2]. 上述这些学者的思想奠定了化学进化实验的基础. 此外, 还有解释生

命起源的“RNA世界”理论, 认为生命最先起源于RNA的生成(<http://www.us.net/life/>), 等等.

美国学者S.L.Miller在1953年首次用实验表明, 生命起源研究是可以实验验证的(<http://www.us.net/life/>). 著名的“Miller实验”证明, 对简单的水、氨气和甲烷等混合分子加以放电或加热即可得到生命起源必需的氨基酸、碱基和糖等重要生命小分子. 但这些产物是外消旋的, 即D-与L-各占50%. 生命起源的重要下一步是, 这些生命小分子必须缩合形成生物大分子. 如对于氨基酸形成肽来说, 可能存在3种可能: 一是D-氨基酸和D-氨基酸相互缩合; 二是L-氨基酸和L-氨基酸相互缩合; 三是D-氨基酸和L-氨基酸相互缩合. 第3种情况形成的肽/蛋白质其有序性很低, 本身的稳定性差, 基本上无生物活性, 生命没有也不选择其作为存在形式是很好理解的. 但第1和第2种情况, 孰优孰劣则无法区分. 对于D-和L-核糖形成核酸来说, 也有类似问题. 而到底选D-或L-也就是上面提到的困扰了学术界多年的著名的生物分子同型手性起源问题.

总之, 要解决生命起源难题, 其关键难题之一是同型手性的起源问题^[1,2]. 即便是有种种优点的化学进化学说, 目前也仍然无法回答此难题.

解释生命起源需要一个自洽的、合理的、细节详尽的机理. 除能解释同型手性起源外, 它也可以很好解释已知的真实生命组织的生物化学、分子生物学和信息学等特点和规律, 而不仅仅是数学的或计算机模型. 具体地说, 这个机理必须符合下列要点(<http://www.us.net/life/>): (1) 能解释生命的遗传、生长、代谢与死亡; (2) 能解释生物信息的贮存、转化、传递等功能; (3) 能解释自然界如何运用4个物理力中的一个或某几个直接或间接地在前生物环境中产生前生物体的基因信息码并进化为现实生命体系; (4) 能解释生命体中奇特的同型手性光学异构体的集中现象: 相对纯的L-氨基酸和D-核糖如何从自然界通常是光学外消旋的化学环境中脱颖而出?

3 国内生命起源与手性起源研究概况

中国科学家在此领域中进行了多年的持续努力, 取得了一定的成果.

20世纪50年代, 以中国科学院生物物理研究所贝时璋为代表的一些科学工作者即以细胞重建的方式关注和研究生命起源与化学进化. 20世纪80年代,

北京大学王文清以“Miller实验”为基础,开展了氨基酸预生物合成的研究,她特别关注手性起源的研究. 20世纪90年代,清华大学赵玉芬发现了磷在生命起源中有特别的重要性,提出磷是生命的中心的概念,也提出蛋白质和核酸共同起源的遗传密码起源学说.

21世纪初,中国空间科学学会赵玉芬、刘志恒、庄逢源、陈均远等共同推进成立了中国空间科学学会空间生命起源与化学进化专业委员会,凝聚了全国对生命起源感兴趣的学者. 目前在国内,学者们从不同学科角度开展了生命起源相关的一系列研究工作,取得了较丰硕的成果.

3.1 有机大分子的起源与进化

生命起源之谜中,生命的化学起源,即有机大分子的起源与进化一直是研究的重点. 大自然为何选择核糖为核酸的组成,为何选择 α -氨基酸作为蛋白质的组成,维护选择磷作为核酸的骨架,这些是生命起源中最基本的化学问题.

厦门大学赵玉芬在有机磷与生命起源研究中做出了卓越贡献,她领导的团队和他们开展的工作受到国际同行的广泛关注. 他们发现, α -丙氨酸与磷结合后,可以容易生成多肽,而且可以使核苷转化成核苷酸,但是同分异构体 β -丙氨酸就无这种活性,因此提出了核酸、蛋白共起源和共进化的协同系统,并由此来研究遗传密码子起源^[12~14].

3.2 氨基酸及密码子起源的理论研究

香港科技大学王子晖在其提出的遗传密码子-氨基酸共进化论基础上分析了60种生物全基因组系列中的tRNA序列及氨基酸-tRNA合成酶序列与反密码子的使用,在生命之树上找到了在古菌范畴内最接近甲烷嗜高热菌(*M. kandleri*)的生命之根的位置^[15].

近年来,南京大学陈均远课题组^[16]、厦门大学的王义权课题组^[17]开展了以文昌鱼为模式,研究骨骼、神经及免疫系统的分化、发生起源的分子机制的工作,并尝试联系它们与地球环境之间的关系.

华中农业大学张红雨课题组^[18,19]关注蛋白质起源与进化机制,提出可根据氨基酸相对自由能的大小推测氨基酸在自然界中出现的大致顺序. 该研究从热力学层面解释了氨基酸和密码子的起源顺序,体现了理论研究的价值.

2010年,厦门大学纪志梁课题组^[20]对549个来自

古菌、细菌和真核物种全基因组水平的氨基酸使用频率分析,提出了新的氨基酸进化时序(L, A, V/E/G, S, I, K, T, R/D, P, N, F, Q, Y, M, H, W, C)及可能的演化过程. 该研究也从现有物种的遗传和表型状况支持了氨基酸和遗传密码子的共进化假说.

以上工作从不同侧面为生命起源研究提供了重要依据.

3.3 氨基酸聚合的预生物研究

国内在这方面研究比较突出的是中国科学院生物物理研究所王孔江课题组. 他们通过实验研究发现地球上海水中常见的氯化钠与氯化钾等物质具有催化氨基酸聚合的明显功能^[21~23]. 这意味着,在地球上,一旦生物分子氨基酸、糖和碱基等生成后,它们就有可能聚合形成对应的生物大分子肽、多糖和核苷或核苷酸.

目前天然蛋白质氨基酸有20种,仅甘氨酸没有手性. 研究表明,它的非手性在增加蛋白质构象的折叠、柔软性与功能多样性上有重要意义.

3.4 国内生物分子手性起源难题的研究状态

在生命起源的化学进化过程中,同型手性起源是生命起源研究中最令人瞩目的难题之一,我国学者也为此做出了努力.

(1) 氨基酸不平衡辐解和低温相变. 北京大学王文清^[2,24]是中国研究生命起源较早的学者之一. 她认为对称性破缺是生命起源的必需. 她和赵健通过实验证明,相对于L-亮氨酸, β^- 电子更易辐解D-亮氨酸; β^+ 电子(右手性电子)能不同地作用于不同手性状态的亮氨酸样品^[2]. 近年来,王文清^[24]发现D-氨基酸存在低温相变现象,从而提出电弱相互作用宇称不守恒在氨基酸晶体相变中的放大机制.

(2) 地球轨道手性力场假说. 20世纪90年代始,本文作者^[25~29]开始注意到地球在空间的不对称性运动(图2),其不对称力 F_{eoc} 有日、月、季和年等周期性,可方便地分别解释:宇称不守恒,生物分子同型手性的起源和生物节律的起源,等等. 2017年, Pavlov和 Pavlova^[30]的工作支持地球轨道手性力场假说.

(3) 电子自旋诱导生物分子手性合成. 近年来,哈尔滨工业大学王伟提出了一种关于生物分子单一手性源自电子自旋特性的新假说(<https://arxiv.org/abs/1309.1229>, <https://arxiv.org/abs/1410.6555>). 该

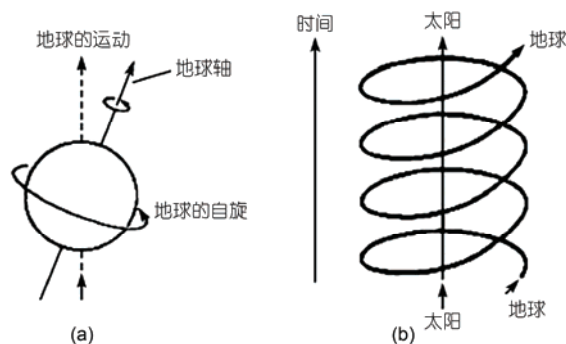


图2 地球轨道手性力场示意图. (a) 地球右手自旋运动; (b) 地球右手公转运动

Figure 2 The force field of Earth's orbital chirality (EOC). (a) The Earth's right-handed spinning; (b) the Earth's right-handed revolution

假说认为在酮酸还原氨基化合成氨基酸过程中, 酮酸先与氨基形成席夫碱, 其亚胺结构继而发生分步进行的两电子还原(图3(a)). 对于磁性材料, 尤其是

半金属材料, 由于其费米能面处(E_F)两种自旋方向电子的态密度不同, 导致它对一种自旋方向的电子导电, 对另一种自旋方向的电子表现为绝缘体(图3(b))^[31~33].

(4) 其他. 另外, 内蒙古大学罗辽复课题组^[30]对遗传密码子起源和手性问题进行了相关探索, 吉林大学冯守华课题组^[35]发展了生物水热合成化学与无机-有机手性螺旋杂化材料合成的研究, 均取得了较好的理论与实验结果.

4 结论

总之, 自然界中同型手性起源涉及物理、化学、生物等学科, 是个著名的经典科学难题, 意义重大深远. 其中, 以生物分子同型手性的起源难题最为典型. 生命起源时同型手性的选择有序性的选择, 也即降低熵值的选择. 本文主要关注了同型手性选择现象在生命体中的存在与可能解释, 离完全解决尚需时日.

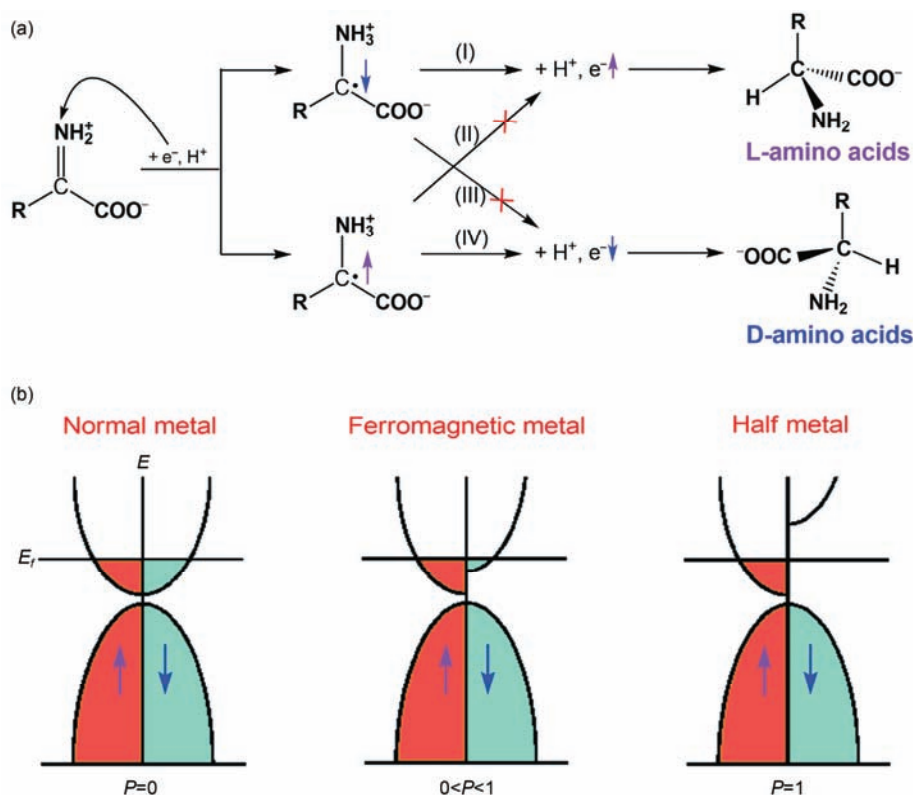


图3 (网络版彩色)电子自旋诱导生物分子手性合成. (a) 自旋极化电子诱导氨基酸不对称合成假说示意图; (b) 金属、铁磁金属、半金属材料电子能带结构的比较

Figure 3 (Color online) The biomolecular chiral synthesis induced by electron-spin. (a) Schematic illustration of the hypothesis on the spin-polarized electron induced asymmetric synthesis of amino acids; (b) the comparison of the electronic band structures of normal metal, ferromagnetic metal, and half metal materials

参考文献

- 1 Gara A S. Why is chirality so important? *Biosystems*, 1987, 20: 1–6
- 2 Wang W Q. *Chemical Evolution of Life* (in Chinese). Beijing: Atom Energy Press, 1994. 32–64 [王文清. 生命的化学进化. 北京: 原子能出版社, 1994. 32–64]
- 3 Pacheco A F. β - γ decay and stereoselective molecular breaking. *J Mol Evol*, 1987, 25: 197–200
- 4 Flores J J, Bonner W A, Massey G A. Asymmetric photolysis of (*RS*)-leucine with circularly polarized ultraviolet light? *J Am Chem Soc*, 1977, 99: 3622–3625
- 5 Lahav N, Chang S. The possible role of solid surface area in condensation reactions during chemical evolution: Reevaluation. *J Mol Evol*, 1976, 8: 357–380
- 6 Thiemann W. Speculations and facts on the possible inductions of chirality through earth magnetic field. *Orig life*, 1984, 14: 421–426
- 7 Prigogine I, Stengers I. *Order out of Chaos: Man's New Dialogue with Nature*. New York: Bantam Books, 1984
- 8 Jafarpour F, Biancalani T, Goldenfeld N. Noise-induced symmetry breaking far from equilibrium and the emergence of biological homochirality. *Phys Rev E*, 2017, 95: 032407
- 9 Stich M, Ribó J M, Blackmond D G, et al. Necessary conditions for the emergence of homochirality via autocatalytic self-replication. *J Chem Phys*, 2016, 145: 074111
- 10 Bargueño P. Chirality and gravitational parity violation. *Chirality*, 2015, 27: 375–381
- 11 Field G B, Verschuur G L, Ponnamperna C. *Cosmic Evolution: An Introduction to Astronomy*. Boston: Houghton Mifflin, 1978
- 12 Ni F, Sun S T, Huang C, et al. N-phosphorylation of amino acids by trimetaphosphate in aqueous solution—Learning from prebiotic synthesis. *Green Chem*, 2009, 11: 569–573
- 13 Gao X, Deng H G, Tang G, et al. Intermolecular phosphoryl transfer of N-phosphoryl amino acids. *Eur J Org Chem*, 2011, 17: 3220–3228
- 14 Gao Y X, Wang G, Chen L, et al. Copper-catalyzed aerobic oxidative coupling of terminal alkynes with H-phosphonates leading to alkynylphosphonates. *J Am Chem Soc*, 2009, 131: 7956–7957
- 15 Zhao Y F, Cheng C M, Ju Y. The great future of the research on origin of life (in Chinese). *Int Acad Dev*, 2006, 3: 17–18 [赵玉芬, 成昌梅, 巨勇. 生命起源研究具有巨大应用前景. 国际学术动态, 2006, 3: 17–18]
- 16 Yang J P, Cao Q Y, Wang X Q, et al. The inspirations of early animal fossils on evolutionary developmental biology. *Acta Pal Sin*, 2006, 45: 453–459
- 17 Wang Y Q, Fang S H. Taxonomic and molecular phylogenetic studies of amphioxus: A review and prospective evaluation. *Zool Res*, 2005, 26: 666–672
- 18 Ji H F, Kog D X, Shen L, et al. Distribution patterns of small-molecule ligands in the protein universe and implications for origin of life and drug discovery. *Genome Biol*, 2007, 8: R176
- 19 Zhang H Y. The evolution of genomes and language. *EMBO Rep*, 2006, 7: 748–749
- 20 Han D X, Wang H Y, Ji Z L. Amino acid homochirality may be linked to the origin of phosphate-based life. *J Mol Evol*, 2010, 70: 572–582
- 21 Xin L, Ma Y L, Liu Y N, et al. Sodium chloride enhanced oligomerization of L-arginine. *Biopolymers*, 2006, 81: 1–7
- 22 Ren J, Xin L, Liu Y N, et al. Copolymerization of mixed L-R-arginine with L-R-glutamic acid. *Macromolecules*, 2008, 41: 1996–2002
- 23 Wang K J, Ren J, Xin L. Na^+ and Cl^- enhanced polymerization of the opposite-charged amino acids. In: Sanchez P C, ed. *Progress in Biopolymer Research*. New York: Nova Science Publishers, 2007. 3–10
- 24 Wang W Q. The symmetry breaking in the origin of life (in Chinese). *Acta Sci Nat Univ Pekinensis*, 1997, 33: 265–270 [王文清. 生命起源中的对称性破缺. 北京大学学报(自然科学版), 1997, 33: 265–270]
- 25 He Y J, Qi F, Qi S C. Effect of chiral helical force field on molecular helical enantiomers and possible origin of biomolecular homochirality. *Med Hypotheses*, 1998, 51: 125–128
- 26 He Y J, Qi F, Qi S C. Periodicity of Earth's orbital chirality and possible mechanism of biological rhythms. *Med Hypotheses*, 2000, 55: 253–256
- 27 He Y J, Qi F, Qi S C. Effect of Earth's orbital chirality on elementary particles and unification of chiral asymmetries in life on different levels. *Med Hypotheses*, 2000, 54: 783–785
- 28 He Y J, Qi F, Qi S C. Earth's orbital chirality and driving force of biomolecular evolution. *Med Hypotheses*, 2001, 56: 493–496
- 29 He Y J, Dai Z F, Zeng L X, et al. Earth's orbital chirality and its possible role in biomolecular evolution. *Neuroquantology*, 2008, 6: 119–125
- 30 Pavlov V A, Pavlova T N. Paradoxes of symmetry: Homochirality; cryptochiral reactions; chiral field, memory, and induction; chiral and racemic. *Curr Org Chem*, 2017, 21: 872–888
- 31 Wang W, Li Q L, Yang B, et al. Photocatalytic reversible amination of α -keto acids on a ZnS surface: Implications for the prebiotic metabolism.

Chem Commun, 2012, 48: 2146–2148

- 32 Wang W, Song Y, Wang X, et al. α -oxo acids assisted transformation of FeS to Fe₃S₄ at low temperature: Implications for abiotic, biotic, and prebiotic mineralization. *Astrobiology*, 2015, 15: 1043–1051
- 33 Wang W, Yang B, Qu Y P, et al. FeS/S/FeS₂ redox system and its oxidoreductase-like chemistry in the iron-sulfur world. *Astrobiology*, 2011, 11: 471–476
- 34 Wang J Y, Luo L F. The inteaction of polarized electron with chiral molecules (in Chinese). *Sci China Ser B*, 1985, 15: 913–924 [王建英, 罗辽复. 极化电子和手性分子的相互作用. *中国科学 B 辑*, 1985, 15: 913–924]
- 35 Shi Z, Feng S H, Zhang L R, et al. Inorganic-organic hybrid materials constructed from [(VO₂)(HPO₄)] helical chains and [M(4,4'-bipy)₂]²⁺ (M=Co, Ni) fragments. *Angew Chem Int Ed*, 2000, 39: 2325–2327



何裕建

中国科学院大学化学生物学教授、博士生导师。先后分别获湖南师范大学、北京大学和美国华盛顿美利坚大学的化学学士、硕士和博士学位。美国加州大学旧金山分校(UCSF)访问学者和美国国立卫生研究院(NIH)博士后、访问研究员。主要研究兴趣：手性与生命起源，食品与环境分析化学。

Summary for “自然界中同型手性起源的难题”

The problem on the origin of homochirality in nature

HE YuJian

School of Chemistry and Chemical Engineering, University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China

E-mail: heyujian@ucas.ac.cn

The property of chirality is non-superimposable forms that are mirror images of one another, as are left and right hands. The chirality and symmetry breaking in nature are important phenomenon. From fundamental particle and molecule to matter and universal system, there are chirality and symmetry breaking at different level. To explore their unification is an interesting scientific problem. A substance is said to be homochiral if all the constituent units are the same chiral form. In life, homochirality is a common property of amino acids and sugars. The homochirality of *L*-amino acids as well as *D*-sugars is a necessity for the origin of life and biosystems. While the origin of this phenomenon is not clearly understood, many different mechanisms for the emergence of homochirality are proposed. The mechanism ensuring the preservation of homochirality in a prebiotic state is needed. In this paper, the question “what is the origin of homochirality in nature”, that was one of 125 scientific problems selected and published in *Science*, was interpreted. Specially, the relation between the homochirality and the origin of life was focused on, and these related hypothesis, theory and progress were introduced and discussed.

So far, there are the following major hypotheses on the origin of homochirality: (1) the Vester-Ulbricht Mechanism and Yamagata Mechanism based on parity violation; (2) the natural circularly polarized light caused the origin of homochirality; (3) the liquid solid chemical reaction caused the homochiral selection; (4) the statistical selection; (5) the vitality mechanism; (6) the Earth's magnetic field theory; (7) the dissipative theory. There are new researches indicated that the noise, self catalysis and self replication, and nonconservation of parity gravity may induce the origin of homochirality, i.e. symmetry breaking. These hypotheses can explain some experimental data on the homochirality, but each one is not able to get the inevitable result: only *L*-amino acids and *D*-sugar are selected in origin of life. In the research field on homochirality origin, Chinese scholars also put forward some hypotheses: (1) the unbalanced radiolysis and low temperature phase transition; (2) the Earth's orbital chirality theory; (3) the biomolecular chiral synthesis induced by electron-spin, and so on.

homochirality, symmetry breaking, origin of life, chiral research progress

doi: 10.1360/N972016-00959