

多学科、多物种交叉融合研究早、中更新世人类祖先的物种形成和进化  
(公开版, 欢迎传播)

**时间范围:** 约 10 – 100 万年前; **地理区域:** 非洲、欧洲和亚洲; **动植物类群:** Hominins、动植物区系的代表性物种; **学科:** 进化基因组学、古人类学、古气候、古地理、古 DNA、发育生物学、神经生物学、合成生物学等学科

人类进化过程异常复杂, 为解决考古学领域长期存在的诸多重要问题, 如人属化石物种的进化关系、物种形成和脑容量增长的机制, 急需从全新视角来开展研究<sup>1</sup>。其中 10 – 100 万年前是从直立人 (*Homo erectus*) 进化到现代人 (即智人, *H. sapiens*) 极其关键、但却争议极大的时期 (图 1)。主要挑战为: (1) 目前古 DNA 技术<sup>2,3</sup> 无法从数十万年前的化石中提取到古 DNA 用以作为古人类进化解析的依据; (2) 发现了许多 30 至 70 万年前、形态特征独特的古人类化石, 但却无法进行清晰的进化解析, 因此这段时期被视为人类进化的“混沌时期”<sup>4-6</sup>; (3) 自 185 万年前以来, 部分直立人曾长期生活在亚洲地区<sup>7-13</sup>, 并至少持续存在到 11 – 12 万年前<sup>14</sup>; (4) 远古人类的脑容量由 200 万年前约 700 毫升<sup>15</sup> 增加到现代人约 1400 毫升, 但是关键时间点以及分子神经生物学机制均不清楚; (5) 缺乏动植物区系的代表性物种的数据。一直以来人类群体遗传学的研究重点均集中在最近 10 万年, 即现代人走出非洲并扩散到全世界的过程<sup>16-29</sup>。对于现代人形成之前的群体历史、物种形成基本上是一片空白<sup>30</sup>。从 1987 年用线粒体多态性研究“走出非洲”<sup>16</sup> 以来, 近 40 年过去了, 如今迫切需要开辟新的领域来解决上述诸多重大科学问题。因此, 如何进行多学科交叉和融合, 以构建百万年内人类祖先的进化全景图, 是极其重要的 (表 1)。

为了解决这一重大挑战, 我们需要计算/进化基因组学的突破性创新, 并融合古人类学、古 DNA、发育生物学、神经生物学、合成生物学、古气候和古地理等学科, 充分利用现代人群<sup>31-35</sup>、古人类<sup>21,36</sup>、尼安德特人和丹尼索瓦人<sup>37-39</sup>、近缘灵长类物种<sup>41,42</sup> 以及动植物类群多个代表性物种的基因组数据, 通过建立新的研究范式和理论框架, 并在今后 20 年甚至更长时间内积累各领域的研究成果, 有望从早、中更新世开始完整地呈现人类进化全景图并延伸至今。

我们曾创立了快速极小时间溯祖新理论, 分析公共基因组数据并发现人类祖先在 93 万年前近乎灭绝 (Hu et al., *Science*, 2023)<sup>30</sup>。这一耗费极少经费取得的成果获得了广泛关注, 在 8 万余篇 *Science* 文章中关注度排名为 131 名, 进入前千分之 1.6。基于此, 我们认为这一新领域有着巨大潜力, 许多尚未涉足的重要问题亟待研究, 如从您更为专业的角度出发, 深信您的团队会做出更加有显度、更加创新的研究成果。欢迎联系我们:

李海鹏博士 ([lihaipeng@sinh.ac.cn](mailto:lihaipeng@sinh.ac.cn)) 或潘逸萱博士 ([yxpan@sat.ecnu.edu.cn](mailto:yxpan@sat.ecnu.edu.cn))。

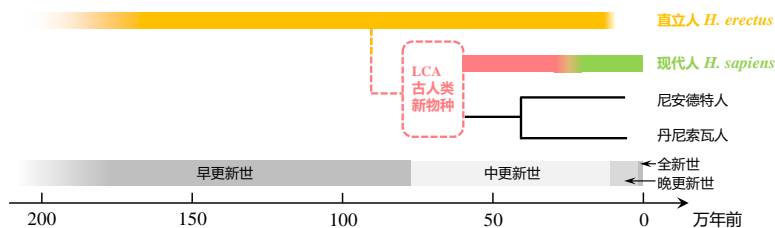


图 1、直立人、现代人、尼安德特人和丹尼索瓦人的进化关系<sup>4,30,38</sup>。

表 1、从遗传学角度研究人类进化的三个方向。

	遗传学角度研究现代人“走出非洲”	古 DNA 测序	多学科交叉融合研究早、中更新世人类祖先的物种形成和进化
研究的时间范围	最近 10 万年	最近 10 万年	约 10 – 100 万年前
Hominins 生活的地理区域	除南极洲之外的六大洲	除南极洲之外的六大洲	非洲、欧洲和亚洲
是否涉及物种形成	不涉及物种形成	不涉及物种形成	涉及两次物种形成事件：1、直立人到 LCA 古人类新物种的形成；2、LCA 古人类新物种到现代人的形成（图 1）
简要说明	研究近 40 年，取得许多重要成果 <sup>16-29</sup> ，依然有许多重要问题待解决 <sup>17,18</sup>	经过 40 年发展，已成为研究人类进化的重要技术 <sup>2,3,23,26,27,38,40</sup>	新领域，许多重要问题待解决 <sup>30</sup> ，比如困惑古人类学已经半个世纪之久的“混沌时期” <sup>4,6</sup>
需要的技术突破	见已有综述 <sup>17,18</sup>	见已有综述 <sup>38,40</sup>	急需计算生物学的原始创新，以及进化基因组学、古人类学、古气候、古地理和古 DNA 等学科的深度融合和协同发展
首篇文献和主要完成单位	Cann et al. ( <i>Nature</i> 1987) University of California, Berkeley <sup>16</sup>	Higuchi et al. ( <i>Nature</i> 1984) University of California, Berkeley <sup>2</sup> ; Pääbo ( <i>Nature</i> 1985) University of Uppsala <sup>3</sup>	Hu et al. ( <i>Science</i> 2023) 中国科学院上海营养与健康研究所、华东师范大学 <sup>30</sup> ; Muttoni & Kent ( <i>PNAS</i> 2024) University of Milan, Columbia University <sup>41</sup>

## 参考文献

- 1 de Sousa, A. A. *et al.* From fossils to mind. *Commun Biol* **6**, 636 (2023).
- 2 Higuchi, R., Bowman, B., Freiberger, M., Ryder, O. A. & Wilson, A. C. DNA sequences from the quagga, an extinct member of the horse family. *Nature* **312**, 282-284 (1984).
- 3 Pääbo, S. Molecular cloning of Ancient Egyptian mummy DNA. *Nature* **314**, 644-645 (1985).
- 4 Bergström, A., Stringer, C., Hajdinjak, M., Scerri, E. M. L. & Skoglund, P. Origins of modern human ancestry. *Nature* **590**, 229-237 (2021).
- 5 Harvati, K. & Reyes-Centeno, H. Evolution of *Homo* in the Middle and Late Pleistocene. *J Hum Evol* **173**, 103279 (2022).
- 6 Isaac, G. L. in *After the Australopithecines* (eds Karl W. Butzer & Glynn L. Isaac) 875-887 (De Gruyter Mouton, 1975).
- 7 Ferring, R. *et al.* Earliest human occupations at Dmanisi (Georgian Caucasus) dated to 1.85-1.78 Ma. *Proc Natl Acad Sci USA* **108**, 10432-10436 (2011).
- 8 Zhu, R. X. *et al.* Early evidence of the genus *Homo* in East Asia. *J Hum Evol* **55**, 1075-1085 (2008).
- 9 Zhu, Z. Y. *et al.* New dating of the *Homo erectus* cranium from Lantian (Gongwangling), China. *J Hum Evol* **78**, 144-157 (2015).
- 10 Shen, G., Gao, X., Gao, B. & Granger, D. E. Age of Zhoukoudian *Homo erectus* determined with (26)Al/(10)Be burial dating. *Nature* **458**, 198-200 (2009).
- 11 Wu, X., Holloway, R. L., Schepartz, L. A. & Xing, S. A new brain endocast of *Homo erectus* from Hulu Cave, Nanjing, China. *Am J Phys Anthropol* **145**, 452-460 (2011).
- 12 Liu, W. *et al.* A mandible from the Middle Pleistocene Hexian site and its significance in relation to the variability of Asian *Homo erectus*. *Am J Phys Anthropol* **162**, 715-731 (2017).
- 13 赖瑞和. “郟县人 3 号头骨”背后的故事 (ed 谢芳) (新华社, 浙江, 2022).
- 14 Rizal, Y. *et al.* Last appearance of *Homo erectus* at Ngandong, Java, 117,000-108,000 years ago. *Nature* **577**, 381-385 (2020).
- 15 Ponce de León, M. S. *et al.* The primitive brain of early *Homo*. *Science* **372**, 165-171 (2021).
- 16 Cann, R. L., Stoneking, M. & Wilson, A. C. Mitochondrial DNA and human evolution. *Nature* **325**, 31-36 (1987).
- 17 Cavalli-Sforza, L. L. & Feldman, M. W. The application of molecular genetic approaches to the study of human evolution. *Nat Genet* **33 Suppl**, 266-275 (2003).
- 18 Nielsen, R. *et al.* Tracing the peopling of the world through genomics. *Nature* **541**, 302-310 (2017).
- 19 The HUGO Pan-Asian SNP Consortium. Mapping human genetic diversity in Asia. *Science* **326**, 1541-1545 (2009).
- 20 Kamberov, Y. G. *et al.* Modeling recent human evolution in mice by expression of a selected EDAR variant. *Cell* **152**, 691-702 (2013).
- 21 Allentoft, M. E. *et al.* Population genomics of post-glacial western Eurasia. *Nature* **625**, 301-311 (2024).
- 22 Fan, S. *et al.* Whole-genome sequencing reveals a complex African population demographic history and signatures of local adaptation. *Cell* **186**, 923-939 (2023).
- 23 Yang, M. A. *et al.* Ancient DNA indicates human population shifts and admixture in northern and southern China. *Science* **369**, 282-288 (2020).
- 24 Yang, M. A. *et al.* 40,000-year-old individual from Asia provides insight into early population

- structure in Eurasia. *Curr Biol* **27**, 3202-3208.e3209 (2017).
- 25 Posth, C. *et al.* Palaeogenomics of Upper Palaeolithic to Neolithic European hunter-gatherers. *Nature* **615**, 117-126 (2023).
- 26 Nägele, K. *et al.* Genomic insights into the early peopling of the Caribbean. *Science* **369**, 456-460 (2020).
- 27 van de Loosdrecht, M. *et al.* Pleistocene North African genomes link Near Eastern and sub-Saharan African human populations. *Science* **360**, 548-552 (2018).
- 28 Moreno-Mayar, J. V. *et al.* Early human dispersals within the Americas. *Science* **362** (2018).
- 29 Liu, S. *et al.* Adaptive selection of cis-regulatory elements in the Han Chinese. *Mol Biol Evol*, msae034 (2024).
- 30 Hu, W. *et al.* Genomic inference of a severe human bottleneck during the Early to Middle Pleistocene transition. *Science* **381**, 979-984 (2023).
- 31 Zhang, P. *et al.* NyuWa Genome resource: A deep whole-genome sequencing-based variation profile and reference panel for the Chinese population. *Cell Rep* **37**, 110017 (2021).
- 32 Walter, K. *et al.* The UK10K project identifies rare variants in health and disease. *Nature* **526**, 82-89 (2015).
- 33 The 1000 Genomes Project Consortium. A global reference for human genetic variation. *Nature* **526**, 68-74 (2015).
- 34 Byrska-Bishop, M. *et al.* High-coverage whole-genome sequencing of the expanded 1000 Genomes Project cohort including 602 trios. *Cell* **185**, 3426-3440.e3419 (2022).
- 35 Bergström, A. *et al.* Insights into human genetic variation and population history from 929 diverse genomes. *Science* **367**, eaay5012 (2020).
- 36 Ning, C. *et al.* Ancient genomes from northern China suggest links between subsistence changes and human migration. *Nat Commun* **11**, 2700 (2020).
- 37 Skov, L. *et al.* Genetic insights into the social organization of Neanderthals. **610**, 519-525 (2022).
- 38 Peyrégne, S., Slon, V. & Kelso, J. More than a decade of genetic research on the Denisovans. *Nat Rev Genet* **25**, 83-103 (2024).
- 39 Zeberg, H., Jakobsson, M. & Pääbo, S. The genetic changes that shaped Neandertals, Denisovans, and modern humans. *Cell* **187**, 1-12 (2024).
- 40 Pääbo, S. *et al.* Genetic analyses from ancient DNA. *Annu Rev Genet* **38**, 645-679 (2004).
- 41 Muttoni, G. & Kent, D. V. Hominin population bottleneck coincided with migration from Africa during the Early Pleistocene ice age transition. *Proc Natl Acad Sci USA* **121**, e2318903121 (2024).