



牙齿形态特征的演化与变异 在人类族群关系研究中的应用

洪胜君, 谭婧泽

复旦大学现代人类学教育部重点实验室, 上海 200433

摘要: 牙齿作为人类学研究的重要材料之一, 被广泛地应用于人类学研究的众多领域, 如通过牙齿的演化和变异来研究人类族群间的关系。目前这方面的研究主要通过分析和比较不同人群在牙齿形态特征(非测量特征)和测量特征等方面的相似和差异, 来研究人类不同群体间的亲缘关系。由于牙齿的非测量形态特征相之于测量特征受到环境因素的影响相对较小, 故而更多的研究着重于牙齿的非测量形态特征, 如铲形门齿、双铲形门齿、上颌第三臼齿退化等在不同人群中出现频率的分布差异。本文对牙齿形态特征的演化规律和变异类型, 以及已有的研究方法和结果进行了综述, 同时也讨论了其中的一些缺点和不足。

关键词: 牙齿形态特征; 分布差异; 人类族群关系

Evolution and Variation of Tooth Morphology and its Application in Human Population Phylogenetic Studies

HONG Shengjun, TAN Jingze

MOE Key Laboratory of Contemporary Anthropology, School of Life Sciences, Fudan University, Shanghai 200433 China

ABSTRACT: As an important research material, the human tooth shape is widely studied in many aspects of anthropology, for instance, demonstrating the relationships of human populations by exploring the evolution and variation of their teeth. The human population relationships are mostly focused on in the field of dental anthropology, measuring by the geographic distribution of the metrical or non-metrical traits of the teeth. As the non-metrical traits are usually less affected by the environment factors than the metrical traits, researchers used to analyze the distribution of the non-metrical traits, such as Shovel U11, Double Shovel U11, and P/R/CA UM3, among human populations. In this paper, we review the present methods, recent results, and problems of these studies.

Key words: Non-metrical traits of teeth; Geographic distribution; Human population relationships

在人类学的研究中, 牙齿是十分重要的研究材料之一。观察和比较不同时期人类牙齿的大小和形态特征对了解当时人类的生活状况及不同人类族群间的相互关系有着很重要的意义[1]。

早在上个世纪, 国内外就已经有多篇文章报道指出: 人类牙齿的测量特征和形态特征(非测量特征)在不同的群体间存在着明显的差异, 而这些差异的形成与人类的起源和进化有着一定程度的相关性[2-5]。另外, 多数学者的研究结果表明: 牙齿的形态特征比测量特征受环境因素的影响更小, 主要受遗传因素的控制, 而且在群体间的分布差异比较显著[6-8]。故而, 牙齿非测量性状的研究在牙齿人类学的研究中始终占有重要地位。

一、牙齿形态特征的演化规律和

变异类型

在漫长的人类进化过程中, 人类牙齿的演化规律表现出形态结构趋于简单化、牙齿萌出障碍、牙齿尺寸缩小等退化现象。由于受到多种因素的影响, 不同地区人类的牙齿开始退化的时间和速度不尽相同, 因而牙齿的形态和大小等特征在不同群体间产生了很大的差异, 形成了牙齿的多种变异类型[9-11]。牙齿的变异主要分为牙齿形态特征的变异和牙齿大小的变异两种。国内外已经有多位学者对这两方面的变异进行了研究, 主要集中在对牙齿变异类型的研究、牙齿变异在探索人类起源进化和人类不同族群亲缘关系中的作用等方面。

1991 年, 美国亚利桑那州立大学的 Turner 等[8]在前人研究的基础上, 定义了 38 项牙齿齿冠和齿根的非测量形态特征, 建立

了“亚利桑那州立大学齿科人类学系统 (Arizona State University Dental Anthropology System)”。这一系统被简称为“ASU 标准”，并附有用于观察分级的参考牙模。该标准自建立以后在国内外被广泛应用，标准化了牙齿非测量形态特征的观察记录方法，方便了不同样本的对比分析，推动了牙齿形态特征在人类学研究中的应用。国内外一些学者运用 ASU 标准，对全球史前人类和现代人类的牙齿标本进行了大量的调查研究，得到了一系列有关人类族群间亲缘关系的有趣的结论，虽然有些观点目前还存在着争议，或与人体头面部测量学、遗传学等学科的研究结果不相一致，但应用牙齿非测量形态特征的研究结果诠释人类起源和演化及不同人类族群间亲缘关系发挥着非常重要的作用。例如，日本学者埴原和郎根据铲形门齿、下次小尖、第六尖、屈曲隆脊四项牙齿齿冠形态特征在人群中的一些人种中的高出现率提出了“蒙古人种牙齿复合体 (Mongoloid Dental Complex)”的论点[3-4]；Turner 在研究了大量的史前人和现代人牙齿材料的基础上，提出了亚洲齿系可分为中国型(Sinodonty)和巽他型(Sundadonty)两种牙齿类型，并将其应用到亚洲人类的起源、演化和迁徙等问题上[5-8]；我国学者也采用 ASU 标准，对我国史前人类和现代人类的牙齿非测量形态特征进行了大量调查，如对内蒙古察右前旗庙子沟(新石器时代)、河南淅川下王岗(新石器时代)、河北阳原姜家梁(新石器时代)、陕西陇县(战国时代)，以及中国直立人和晚期智人等史前考古遗址出土的古人类牙齿标本和近现代中国人群的牙齿标本，在牙齿非测量形态特征上的表现特点进行了研究，统计分析比较了中国古代和近现代人群与世界其他人群间可能存在的关系，并提出了一些独特的见解[12-16]。此外，有学者还应用牙齿人类学的研究方法对欧洲人群、非洲人群、亚洲人群、太平洋人群、美洲移民、澳洲土著居民的起源和迁徙，及这些人群间的相互关系和在牙齿形态特征上的差异等问题的探讨中也得到了广泛的应用[17]。

自 Turner 等建立了亚利桑那州立大学牙齿形态特征系统后，人类学家观察牙齿形态

特征的变异及等级就有了统一的标准，从而使得不同观察者的观察结果可以在统一标准的基础上进行比较，极大地推动了牙齿形态学的发展和应用。

这一标准定义的牙齿形态特征将近有四十个，其中最常用的有 28 项(图 1)，分别是：1、上颌中央门齿扭转(Winging UI1)；2、上颌中央门齿铲型(Shoveling UI1)；3、上颌中央门齿双铲型(Double shoveling UI1)；上颌侧门齿中断沟(Interruption groove UI2)；上颌侧门齿齿结节(Tuberculum dentale UI2)；上颌犬齿近中脊(Mesial ridge UC)；上颌犬齿远中副脊(Distal accessory ridge UC)；上颌第二臼齿次尖(Hypocone UM2)；上颌第一臼齿 5 尖型(5-cusp UM1)；上颌第一臼齿卡氏尖(Carabelli's cusp UM1)；上颌第三臼齿前副尖(Parastyle UM3)；上颌第一臼齿牙釉质延伸(Enamel extension UM1)；上颌第三臼齿退化(Peg/reduced/congenital absence UM3)；单根型上颌第一前臼齿(1-root UP1)；三根型上颌第二臼齿(3-root UM2)；下颌第二前臼齿舌侧多尖(>1 Lingual cusp LP2)；下颌第二臼齿 Y 型沟纹(Y-groove pattern LM2)；下颌第一臼齿 6 尖型(6-cusp LM1)；下颌第二臼齿 4 尖型(4-cusp LM2)；下颌第一臼齿转向皱纹(Deflecting wrinkle LM1)；下颌第一臼齿远中三角脊(Distal trigonid crest LM1)；下颌第一臼齿原副尖(Protostylid LM1)；下颌第一臼齿第 7 尖(7-cusp LM1)；下颌第一前臼齿托梅斯根(Tome's root LP1)；双根型下颌犬齿(2-root LC)；三根型下颌第一臼齿(3-root LM1)；单根型下颌第二臼齿(1-root LM2)；前臼齿牙瘤(Odontome U and L P1,2)。这些牙齿形态特征项目又根据各自的情况被分为不同的等级[8]。

二、牙齿形态特征的研究价值和应用

目前国内外人类学界运用牙齿形态特征研究人类族群间亲缘关系远近的方法主要分为以下几大步骤：首先，观察所收集的牙齿样本的形态特征，根据亚利桑那州立大学牙齿形态特征系统(ASU 标准)对观察结果做好记录。由于人类牙齿的左右两侧不是完全对



图 1 人类牙齿形态特征的各种变异 Fig.1 Variations of human tooth morphology A.上颌中央门齿扭转(Winging UI1); B.上颌中央门齿铲型(Shoveling UI1); C.上颌侧门齿中断沟(Interruption groove UI2); D.上颌第二白齿次尖(Hypocone UM2)、上颌第一白齿5尖型(5-cusp UM1); E.上颌第一白齿卡氏尖(Carabelli's cusp UM1); F.上颌第三白齿前副尖(Parastyle UM3); G.上颌第一白齿牙釉质延伸(Enamel extension UM1); H.下颌第二前白齿舌侧多尖(>1 Lingual cusp LP2); I.下颌第二白齿 Y 型沟纹(Y-groove pattern LM2); J.下颌第一白齿 6 尖型(6-cusp LM1); K.下颌第一白齿转向皱纹(Deflecting wrinkle LM1); L.下颌第一白齿第 7 尖(7-cusp LM1); M.下颌第一前白齿托梅斯根(Tome's root LP1); N.单根型下颌第二白齿(1-root LM2); O.前白齿牙瘤(Odontome U and L P1,2)。

称的，所以存在三种用于牙齿形态特征记录的方法：单侧记录法、双侧混合记录法及个体记录法[18]。这三种方法各有利弊，在实际工作过程中应该根据所掌握样本的具体情况选择合适的方法进行观察记录。

其次，对上述记录的观察数据进行统计分析。实际研究中最常用的统计分析方法是 MMD 系数方法，即通过计算各个性状在不同人群中出现的频率来求出各人群间的平均差异度。差异度越小，即 MMD 越小，代表

群体间的相似程度越高。由于古人类牙齿化石材料珍贵稀少，一般样本量很少，所以 Green 和 Suchey 等[19]在 MMD 系数的基础上专门设计了用于小样本的校正公式：

$$MMD = (1/r) \sum [(0_{1i} - 0_{2i})^2 - \{1/(N_{1i} + 1/2) + 1/(N_{2i} + 1/2)\}]$$

其中，K：出现数； N：样本数； r：形质数。当 MMD 系数出现负值时，用零替代。

再次，以计算出的 MMD 系数对各个观测人群进行聚类分析，得到直观的图形化结果。最后，分析各个观测性状对聚类结果的

影响，找到其中起关键作用的形态特征并对这些特征进行进一步分析，如找寻这类形态特征在各人群中的分布规律及影响该形态特征分布的因素，也可从分子水平上研究该特征出现的遗传机制。

牙齿形态特征的演化和变异自上个世纪初叶就在人类各族群间关系的研究中有所应用了。国外学者开始研究的时间远早于国内，并提出了与亚洲、美洲新大陆、太平洋地区等各人类族群起源、演化、迁徙及相互关系的一些观点和视野。

美国学者Turner通过对来自北亚、东亚、东南亚、太平洋岛屿及北美和南美的几千具史前及现代人类骨骼的牙齿进行形态特征的观察研究后指出：埴原和郎提出的“蒙古人种牙齿复合体(Mongoloid Dental Complex)”可以进一步划分为两种牙齿形态特征类型，即“巽他型牙齿”和“中国型牙齿”。巽他型表现为简单、原始和一般化的牙齿形态特征，中国型表现为强化、复杂及特殊化的牙齿形态特征。巽他型主要包括东南亚地区和印度尼西亚各人类群体、日本绳文人和阿伊努人，以及太平洋地区的波利尼西亚人和密克罗尼西亚人等人群；中国型则主要分布在以中国安阳殷墟为代表的亚洲东北部地区各人类群体，其中包括中国、朝鲜、日本、蒙古、西伯利亚以及美洲印第安人等人群[5-7]。

Turner的研究还发现：上颌中央门齿铲型、上颌中央门齿双铲型、上颌第一白齿牙釉质延伸、单根型上颌第一前白齿、上颌第三白齿退化、下颌第一白齿转向皱纹、下颌第二白齿四尖型、三根型下颌第一白齿这八项牙齿形态特征在中国型和巽他型中的出现率有很大的差异。除下颌第二白齿四尖型外，其余七项特征在包括中国人群、朝鲜人群、日本人群、蒙古人群、西伯利亚地区人群以及美洲印第安人人群的，以中国安阳殷墟为代表的东北亚地区的中国型牙中有较高的出现率；而以东南亚地区各人群以及太平洋地区的波利尼西亚和密克罗尼西亚人群为代表的巽他型牙则具有较高的下颌第二白齿四尖型出现率[5-7]。在上述八项特征中，目前研究较为关注的是上颌中央门齿铲型和第三白齿退化现象的机制及其在现代人类群体演化中

的意义和作用。有大量研究表明这两个牙齿特征在以中国人为代表的东亚地区人类群体中具有较高的出现率，并具有显著的独特的时代连续性特征[12-16]。

Scott和Turner在《现代人牙齿人类学》一书中[17]，根据23项齿冠和齿根非测量形态特征的观察，对这些特征在世界五大地区人群，欧亚西部人群(西欧、北欧、北非)、撒哈拉以南非洲人群(西非、南非、闪人)、中国—美洲人群(中国、蒙古、日本、绳文人、东北西伯利亚、南北美洲)、巽他群岛—太平洋人群(史前东南亚、现代东南亚、波利尼西亚、密克罗尼西亚)、萨胡—太平洋人群(澳大利亚、新几内亚、美拉尼西)中出现频率的调查显示，在牙齿形态结构上存在明显的人群间差异：欧亚西部人群在下颌第一、第二白齿4尖型和下颌犬齿双根型两种特征具有明显高频于世界其他人群，卡氏尖和上颌第二白齿3尖化也处于世界人群变异的高端；非洲人群在第7尖、犬齿近中脊、Y型沟纹、上颌第一前白齿双根化、上颌第二白齿三根化及托梅斯根等特征表现出极端的高频；亚洲东北部人群及美洲土著人群的铲形门齿具有很高出现频率的独特特性，双铲形门齿、上颌中央门齿扭转、上颌门齿中断沟、前白齿牙瘤、釉质延伸、第6尖，及下颌第一白齿转向皱纹等特征也处于世界人群的高端位置；巽他群岛—太平洋人群的卡氏尖和第6尖具有较高的出现率；萨胡—太平洋人群的第5尖、卡氏尖和第6尖表现出高频，然而只有第5尖才能将他们排除于其他人群。研究结果表明某些牙齿形态特征为某一或某些人群所特有，在出现频率上相对很突出，如铲形门齿在亚洲东北部人群及美洲土著人群中有着极高的出现率；但也有一些牙齿特征的频率分布还缺乏规律性或至今尚不了解其原因[17]。

有关中国人类牙齿形态特征方面的研究，早在半个多世纪以前魏敦瑞在研究北京猿人(*Homo erectus pekinensis*)化石时就注意描述了北京猿人的牙齿上具有铲形门齿、齿结节、下颌白齿转向皱纹等形态特征[20-21]。以后有更多的学者对在我国境内发现的古人类化石的牙齿形态特征进行了研究，并特别强调了铲形门齿、第三白齿退化等特征在蒙

古人种进化上的特殊意义,进一步论证了中国直立人与早期智人、晚期智人及新石器时代人类直至现代中国人形态学上的连续性和继承关系[22-26]。

近年来,牙齿人类学的研究,特别是应用“ASU标准”关于牙齿非测量形态特征的研究在国内取得了长足的发展。中国古脊椎动物与古人类研究所的刘武先生是目前在我国进行牙齿人类学研究的领军人物,他不仅著文将国外学者的研究成果介绍给国内同行,还在这方面作了大量的工作,搜集了大量的数据资料。

刘武等对我国内蒙古察右前旗庙子沟和河南淅川下王岗两批新石器时代人类牙齿形态特征进行了调查,并与其他学者的数据进行比较分析。其研究对包括我国下王岗、庙子沟、安阳、华南、香港及史前台湾等亚洲地区的26个人类群体的八项牙齿形态特征数据,和对包括西伯利亚、阿穆尔河、贝尔加湖等17个人类群体的28项牙齿形态特征数据进行比对分析,结果认为:在观测的八项牙齿形态特征中,铲形门齿、双铲形门齿、上颌第一白齿釉质延伸、三根下颌第一白齿、下颌第一白齿转向皱纹这五项特征在新石器时代的下王岗和庙子沟人群中的出现率与亚洲东北部的人群接近,而与东南亚人类有较大差别;观测的28项牙齿形态特征也显示我国华北新石器时代人类与亚洲东北部各个时期的人群均有较近的亲缘关系;统计和聚类分析还提示华南地区的香港及史前台湾组这两种类型可能存在过渡类型;研究结果还支持Turner提出的亚洲人类齿系的二分学说[12-13]。

刘武等还研究了陕西陇县战国时期的牙齿形态特征。研究表明,陇县战国时代人类在上颌中央门齿扭转、铲形上颌中央门齿、双铲形门齿、上颌侧门齿中断沟、上颌第一白齿釉质延伸等形态特征上的出现率与新石器时代、青铜时代和现代华北人在内的亚洲东北部人类很接近。值得注意的是,在少数牙齿形态特征上,上述结论并不成立。作者认为这可能与庙子沟人群的样本例数少有很大的关系或者受到南部人群基因交流的影响[14]。可见,在牙齿形态特征的研究中,

还应该考虑地理因素和时代变迁因素对研究结果的影响。

李法军等人对我国河北阳原姜家梁遗址的新石器时代居民的牙齿非测量形态特征进行了研究。认为:河北阳原姜家梁新石器时代居民的牙齿形态特征属于中国型牙齿,但自身又具有某些独特的特征,如铲形上颌中央门齿和单根上颌第一前白齿等特征的出现率较高[15]。

第三白齿退化被认为是人类牙齿演化过程中发生的牙齿退化现象的一部分,在不同人群中存在发布差异。多年来,国内外学者积累了较为丰富的相关数据和资料,对第三白齿的退化进行了大量的研究,探讨了其在人类演化上的意义,提出了不同的看法。刘武等学者研究认为第三白齿的退化出现在人类进化早期阶段,在以中国人为代表的东亚地区人类群体中有较高的出现率,且在中国境内人类群体的分布呈明显的时代连续性特征。但国外学者认为第三白齿退化在东北亚人群中有很高的出现率是由于遗传漂变作用产生的。此外,还有人认为,第三白齿的退化在人类演化上的意义并不清楚,并不能以此来论证现代人类各族群间的关系[16,27-28]。

郭莲等人通过对中、日两所医科大学学生白齿Carabelli尖(卡氏尖)的发生情况,认为:日本大学生的Carabelli尖发生率高于中国学生,进一步证明了Carabelli尖这种牙齿形态特征确实存在着人类族群间的差异[29]。

三、总结和展望

牙齿形态特征的出现频率在不同人类群体间分布的差异已经被国内外学者用来研究人类不同时期或不同地理位置的人群之间的相互关系。其中有较大影响的研究结果主要集中在东亚地区。Turner提出亚洲齿系的中国型牙齿和巽他型牙齿二分论后,不少学者支持这一研究结果,但也有一些学者提出了质疑。提出的质疑之一就是如何理解东亚南北地区人类在牙齿形态特征上所表现的差异。到目前为止,由于大多数研究所用的材料的数量和分布区域的局限,对人类群体关系的研究尚未能深入,证据也不太充分,研

究结果也不系统和全面。这可能有以下几方面的原因: 其一、由于年代久远, 存留至今的古人类的牙齿化石数量稀少, 完整性不高。在统计分析中, 用这样的样本来估计总体的可信度是不高的。其二、牙齿形态特征虽然主要受遗传因素的控制, 但是也受到自然环境、生活方式的改变等非遗传因素的影响。人类的进化经历了漫长的时间过程, 很难排除上述客观因素曾经对人类牙齿的演化和变异产生过巨大的影响。其三、不能排除遗传漂变和建立者效应对现今牙齿形态特征在不同人群中分布差异可能产生的影响。

虽然目前牙齿人类学研究还存在着诸多的局限性, 但是牙齿人类学在研究人类起源与进化、人群关系等方面仍然发挥着很重要的作用。随着牙齿人类学尤其是牙齿形态学研究的不断发展, 它将在人类起源和演化, 人类的迁徙与交流, 以及不同人类族群间亲缘关系的研究中占有越来越重要的地位。

参考文献

- Carolineberry A, Berry RJ (1967) Epigenetic variation in the human cranium. *J Anat* 101:361-379.
- Brace CL, Smith SL, Hunt KD (1991) What big teeth you had grandma! Human tooth size, past and present. In: Kelley MA, Larsen CS (eds) *Advances in Dental Anthropology*. New York: Wiley Liss, 3357.
- Hanihara K (1968) Racial characteristics in the dentition. *J Dent Res* 46:923-926.
- Hanihara K (1969) Mongoloid dental complex in the permanent dentition. *Proc VIIIth Int Congr Anthropol Ethnol Sci* 1:298-300.
- Turner CG II (1987) Late Pleistocene and Holocene population history of East Asia based on dental variation. *Am J Phys Anthropol* 73:305-321.
- Turner CG II (1989) Teeth and prehistory in Asia. *Sci Am* 206(2):88-96.
- Turner CG II (1990) Major features of Sundadonty and Sinodonty, including suggestions about East Asian microevolution, population history, and late Pleistocene relationship with Australian Aborigines. *Am J Phys Anthropol* 82:295-317.
- Turner CG II, Nichol CR, Scott GR (1991) Scoring procedures for key morphological traits of the permanent dentition: the Arizona State University dental anthropology system. In: Kelley MA, Larsen CS (eds) *Advances in dental anthropology*. New York: Wiley-Liss, 13-32.
- Bailit HL, Friedlaender JS (1966) Tooth size reduction: a hominid trend. *Am Anthropol* 68:665-672.
- Brace CL (1967) Environment, tooth form and size in the Pleistocene. *J Dent Res* 46:809-816.
- Brace CL, Mahler PE (1971) Post-Pleistocene changes in the human dentition. *Am J Phys Anthropol* 32:191-204.
- 刘武,朱泓(1995)庙子沟新石器时代人类牙齿非测量特征. *人类学学报* 14(1):8-20.
- 刘武(1995)华北新石器时代人类牙齿形态特征及其在现代中国人起源与演化上的意义. *人类学学报* 14(4):360-380.
- 刘武,曾祥龙(1996)陕西陇县战国时代人类牙齿形态特征. *人类学学报* 15(4):302-313.
- 李法军,朱泓(2006)河北阳原姜家梁新石器时代人类牙齿形态特征的观察与研究. *人类学学报* 25(2):87-101.
- 刘武,曾祥龙(1996)第三臼齿退化及其在人类演化上的意义. *人类学学报* 15(3):185-197.
- Scott GR, Turner CG II (1997) *The anthropology of modern human teeth-Dental morphology and its variation in recent human populations*, Cambridge University Press.
- 刘武,杨茂有(1999)中国古人类牙齿尺寸演化特点及东亚直立人的系统地位. *人类学学报* 18(3):176-192.
- Green RF, Suchey JM (1976) The use of inverse sine transformations in the analysis of non-metric cranial data. *Am J Phys Anthropol* 45:61-68.
- Weidenreich F (1937) *The dentition of Sinanthropus Pekinensis: A comparative odontography of the hominids*. Pal Sin, New Series D, 1, Peking.
- Weidenreich F (1943) *The skull of Sinanthropus Pekinensis: a comparative study on a primitive hominid skull*. Pal Sin, New Series D, 10:1-484.
- 吴汝康(1966)陕西蓝田发现的猿人头骨化石. *古脊椎动物与古人类* 10(1):1-16.
- 吴新智,张银运(1978)中国古人类综合研究. 中国科学院古脊椎与古人类研究所编:古人类论文集.北京:科学出版社,38-41.
- Wolpoff MH, Wu XZ, Thorne AG (1984) Modern Homo sapiens: a general theory of hominid evolution involving the evidence from east Asia. In: Smith FH, Spencer F (eds) *The Origin of Modern Humans*. New York: Alan R Liss Inc, 411-483.
- 张银运(1986)中国早期智人牙齿化石. *人类学学报* 5(2):103-113.
- 张银运,刘武(2002)中国直立人与早期智人的牙齿形态鉴别. *人类学学报* 21(2):87-101.
- 魏伯源(1988)下颌智齿阻生缺失的调查及其原因探讨. *解剖学杂志* 11:30.
- Garn SM, Lewis AB, Bonn  B (1961) Third molar polymorphism and the timing of tooth formation. *Nature* 192:989.
- 郭莲,孙大麟,任玲,沈军,潘可风,多田逸,岩井康智,椿井孝芳,东义景(1995)中、日两组大学生Carabelli牙尖的比较研究. *上海口腔医学* 4(2):66-72.

(本文照片均由谭婧泽拍摄)