

稳定同位素混合模型揭示的长江下游新石器时代人群摄食策略

王 伟¹, 黎海明², 段阜涛^{1*}

1. 南京信息工程大学 科技史与气象文明研究院, 南京 210000

2. 南京农业大学 人文与社会发展学院/中华农业文明研究院/农业考古研究中心, 南京 210095

摘要: 长江下游地区是稻作农业的主要起源地之一。然而, 水稻对长江下游新石器时代人群饮食的贡献程度仍不清晰。稳定同位素混合模型能够量化揭示长江下游地区史前人群的摄食策略。系统收集长江下游地区已发表的人骨、动物骨和植物稳定碳氮同位素数据, 基于稳定同位素混合模型, 对长江下游地区新石器时代人群的摄食策略进行研究。结果发现: 距今 7.0—5.3 ka 长江下游地区人群可能摄食多种动植物资源, 该时期水稻对人类饮食的贡献与其他植物资源基本相当。距今 5.3—4.3 ka, 水稻已超过其他动植物资源, 成为美人地遗址人群的主要食物资源。研究揭示了长江下游新石器时代文明化进程与稻作农业发展具有同步性, 狩猎采集经济则为该区域文明化进程起到基础支撑作用。

关键词: 长江下游地区; 水稻; 摄食策略; 稳定同位素混合模型; 文明化进程

Dietary strategy of neolithic population in the lower reaches of the Yangtze River revealed by stable isotope mixed model

WANG Wei¹, LI Haiming², DUAN Futao^{1*}

1. Institute of Sci-Tech History & Meteorological Civilization, Nanjing University of Information Science and Technology, Nanjing 210000, China

2. College of Humanities & Social Development/Institution of Chinese Agricultural Civilization/Agricultural Archaeology Research Center, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China

Abstract: Background, aim, and scope The lower reaches of the Yangtze River are one of the main areas for the origins of rice cultivation. However, the contributions of rice and other food resources to the diet of the ancient population in the lower reaches of the Yangtze River is still poorly understood. We used a stable isotope mixed model to quantitatively reveal the contributions of potential foodstuffs, including rice, to the diet of neolithic populations in the lower reaches of the Yangtze River. **Materials and methods** In this work, we collected stable carbon and nitrogen isotopic data from human bones, animal bones, and plants in the lower reaches of the Yangtze River. Based on the Bayesian stable isotope mixed model, the dietary components of the neolithic population in

收稿日期: 2023-05-31; 录用日期: 2023-10-21; 网络出版: 2023-11-10

Received Date: 2023-05-31; Accepted Date: 2023-10-21; Online first: 2023-11-10

基金项目: 国家自然科学基金项目(42201169, 42101152); 江苏省自然科学基金项目(BK20210656, BK20210658, BK20221027)

Foundation Item: National Natural Science Foundation of China (42201169, 42101152); Natural Science Foundation of Jiangsu Province (BK20210656, BK20210658, BK20221027)

通信作者: 段阜涛, E-mail: 003309@nuist.edu.cn

Corresponding Author: DUAN Futao, E-mail: 003309@nuist.edu.cn

引用格式: 王 伟, 黎海明, 段阜涛. 2024. 稳定同位素混合模型揭示的长江下游新石器时代人群摄食策略 [J]. 地球环境学报, 15(2): 249–266.

Citation: Wang W, Li H M, Duan F T. 2024. Dietary strategy of neolithic population in the lower reaches of the Yangtze River revealed by stable isotope mixed model [J]. *Journal of Earth Environment*, 15(2): 249–266.

the lower reaches of the Yangtze River were studied. **Results** The stable isotopic values of human bones in the lower Yangtze River fell within the stable isotopic region for potential food sources, indicating that important food sources that humans likely consumed were considered in this study and that no important food sources were omitted. Human populations from different periods had different dietary compositions in the lower reaches of the Yangtze River. **Discussion** During 7.0—5.3 ka BP, the human population in the lower reaches of the Yangtze River may have consumed a variety of animal and plant resources. During this period, the contribution of rice crops to the human diet was basically equivalent to that of other wild plant resources. During 5.3—4.3 ka BP, the contribution of rice crops exceeded that of other wild plant and animal resources, becoming the main food resource of the Meirendi population. In addition, we found obvious differences in the dietary components of human populations belonging to the same culture in the lower reaches of the Yangtze River, such as the Hemudu Culture and Liangzhu Culture. **Conclusions** The neolithic civilization process in the lower reaches of the Yangtze River coincided with the development of rice cultivation. In addition to rice cultivation, hunting and gathering also played a basic role in the development of neolithic civilization in the lower reaches of the Yangtze River. **Recommendations and perspectives** Compared with stable isotopic studies of human and animal bones in the lower reaches of the Yangtze River, stable isotopic studies of plant remains are very limited. It is necessary to carry out stable isotopic studies of plant remains, including rice, from different sites in the future, which will provide accurate data for the application of stable isotope models.

Key words: the lower reaches of Yangtze River; rice; dietary strategy; stable isotope mixing model; the process of civilization

长江下游地区是稻作农业主要起源地之一（严文明，1982；Zhao，2010，2011；秦岭，2012；赵志军，2018）。距今 10 ka 前后，上山文化为代表的先民便开始进行水稻栽培（郑云飞和蒋乐平，2007；Zuo et al.，2017）。距今 8.0—5.0 ka，伴随着跨湖桥、河姆渡、马家浜和崧泽等文化的演化，稻作农业经济在长江下游地区持续发展（潘艳和袁靖，2018，2019），并于距今 5.0 ka 前后成为良渚文化人群的主要生计经济形式（Zhao，2010；郑云飞，2018；袁靖等，2020）。尽管水稻在长江下游史前社会占据重要的经济地位，但是水稻作物在该区域史前人群的饮食贡献量仍不清楚。植物考古学研究可提供长江下游地区水稻出土的实物证据与量化统计（游修龄，2001；Li et al.，2021；黎海明等，2022；Jia et al.，2022），但无法量化水稻对人类饮食的具体贡献程度。此外，该区域动植物考古研究发现长江下游地区新石器时代除了出土水稻外，还经常出土丰富的植物资源如菱角、芡实、橡子等（Zhao，2010；高玉，2012；黎海明等，2022），陆生动物资源如鹿科动物、猪、水牛等，以及淡水鱼、海洋动物等（魏丰等，1989；傅稻镰等，2011；张颖等，2011；吕鹏和蒋乐平，2014）。这些动植物遗存

的广泛出土，虽然可以显示该区域史前人群的食物资源结构，但却增加了认识水稻对长江下游史前人群饮食贡献的难度。

稳定碳氮同位素在考古上的应用为了解古人群的饮食组成提供了关键技术（张雪莲等，2003；胡耀武，2021），近年来已被广泛应用到长江下游地区的史前考古中，为量化该区域史前人群的食谱构成，尤其是对淡水资源、海生和陆生动物资源的摄入量提供了关键信息（张雪莲等，2003；胡耀武等，2007；南川雅男等，2011；张国文等，2015；董惟妙和胡耀武，2020；郭怡，2021；Hu，2021）。作为 C_3 类作物之一，水稻相对于以 C_3 类植物为食的鹿科动物、野猪等陆生动物，具有较低的碳同位素和氮同位素值。当史前人群的骨骼碳氮同位素数值相对较低时，可推断先民摄食了大量的 C_3 类食物，比如水稻。但当史前人群同时摄食多种食物资源，如水稻、鹿或猪等陆生动物和水生资源时，则难以识别水稻对人群饮食的贡献。胡耀武等（2007）提出可通过人骨骨胶原中的 $\delta^{13}C$ 和 $\delta^{15}N$ 同位素数值的相关性判断先民的食物来源，若两者相关则表明先民主要摄食动物蛋白，反之则表明先民主要摄食植物资源。此方法可有助于判断史前人群对植物或动物

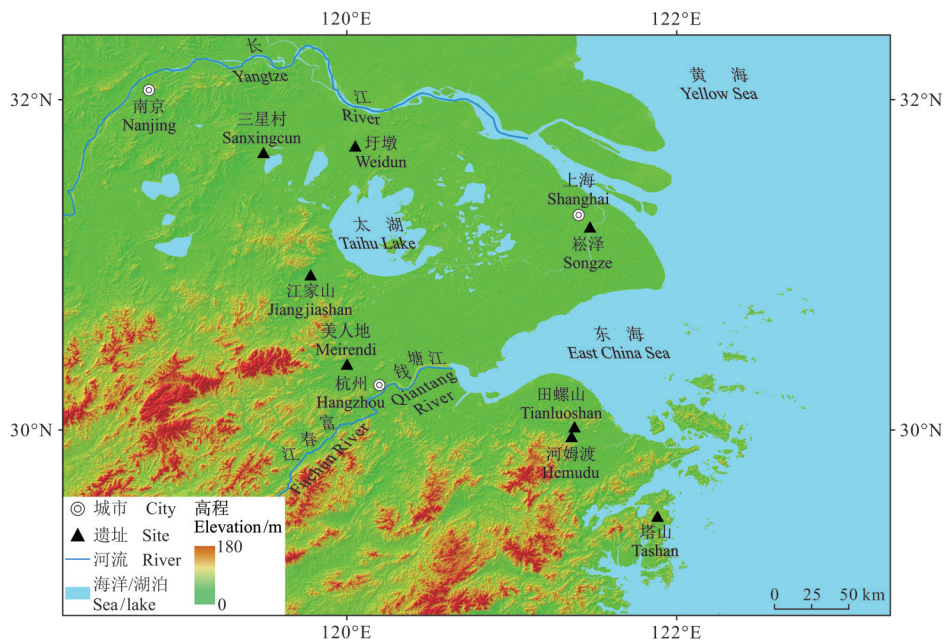
资源的摄食, 但是此方法需要建立在同一遗址人骨同位素数据丰富的基础上。考虑到长江下游地区骨骼样品常保存不佳, 可供分析的人骨同位素数据有限, 在一定程度上限制了该方法的应用。贝叶斯稳定同位素混合模型可以基于有限的人骨同位素数据, 深入挖掘人骨同位素数据与潜在食物来源同位素之间的关系, 并进一步量化不同食物来源对古人群饮食组成的贡献。

因此, 本研究系统收集长江下游地区新石器时代(约 7.0—4.3 ka BP) 已发表考古遗址的人骨、动物骨和炭化植物遗存的稳定碳氮同位素数据, 结合遗址动植物考古研究结果, 通过贝叶斯稳定同位素混合模型, 将可能的食物源对长江下游地区新石器时代人群的饮食贡献进行量化分析, 并进一步探

讨稻作农业对该区域史前人群饮食的影响。

1 材料与方法

长江下游地区系统开展新石器时代人骨稳定碳氮同位素研究的遗址共有 8 处, 包括河姆渡、田螺山、江家山、圩墩、崧泽、三星村、塔山和美人地遗址(图 1)。本文收集上述 8 处遗址的人骨、动物骨及植物碳氮同位素数据。此外, 长江下游地区有两处遗址(跨湖桥、骆驼墩遗址)存在动物骨骼同位素研究(楼佳, 2018; 管理等, 2019), 本文也将相关结果收集用于同位素基准值的计算。这些新石器时代遗址的年代始于距今 7.0 ka 左右, 结束于距今 4.3 ka, 考古学文化类型涉及河姆渡、马家浜、崧泽和良渚等文化。



河姆渡(张雪莲等, 2003); 田螺山(南川雅男等, 2011; 董艳芳, 2016); 江家山(俞博雅, 2016); 圩墩(郭怡, 2021); 崧泽(张雪莲等, 2003); 三星村(胡耀武等, 2007); 美人地(米田稷, 2017); 塔山(张国文等, 2015)。

Hemudu (Zhang X L et al., 2003); Tianluoshan (Minagawa et al., 2011; Dong Y F et al., 2016); Jiangjiashan (Yu B Y, 2016); Weidun (Guo Y, 2021); Songze (Zhang X L et al., 2003); Sanxingcun (Hu Y W et al., 2007); Meirendi (Minoru, 2017); Tashan (Zhang G W et al., 2015)。

图 1 长江下游地区开展新石器时代人骨碳氮稳定同位素研究遗址点

Fig. 1 Sites including human bone stable carbon and nitrogen isotope study in the lower reaches of the Yangtze River during the neolithic age

动植物考古学研究结果显示: 新石器时代长江下游地区常出土稻米、菱角和芡实等水生植物遗存, 鹿、猪等陆生动物遗存, 以及淡水鱼、海洋鱼类等水生动物遗存, 这些水生、陆生动植物遗存为了解史前人群可利用的动植物资源提供了关键信息, 也为贝叶斯稳定同位素混合模型中可能食物来源的设置提供了重要参考。但不同遗址出

土动植物遗存种类与数量存在一定差异(表 1), 因此不同遗址人群的食物源选择将参照表 1 中的动植物遗存信息进行适当调整。例如: 崧泽遗址植物遗存主要为水稻和壳斗科坚果, 未发现菱角和芡实(叶常丰和游修龄, 1987), 因此该遗址仅将水稻和壳斗科栎属树种的果实橡子视为该遗址人群潜在的植物性食物来源。

表 1 遗址考古学信息
Tab. 1 Archaeological information of the sites

遗址 Site	年代 Period	考古学文化 Archaeological culture	植物遗存 Plant remains	动物遗存 Animal remains	参考文献 References
跨湖桥 Kuahuoqiao*	8289—6944 a BP (n=39) ^a	跨湖桥文化 Culture	稻米、菱角、芡实、桃、梅、南酸枣、柿、榉、麻栎、白栎、栓皮栎、蓼属、眼子菜、蕺菜、藜草、藜草和疑似的慈姑块茎等。 <i>Oryza sativa</i> L., <i>Trapa bispinosa</i> Roxb., <i>Euryale ferox</i> Salisb., <i>Prunus persica</i> (L.) Batsch, <i>Prunus mume</i> Siebold & Zucc., <i>Choerospondias axillaris</i> (Roxb.) B. L. Burt & A. W. Hill, <i>Diospyros kaki</i> Thunb., <i>Melia azedarach</i> L., <i>Quercus acutissima</i> Carruth., <i>Quercus fabri</i> Hance, <i>Quercus variabilis</i> Blume, <i>Pericararia</i> (L.) Mill., <i>Potamogeton distinctus</i> A. Benn., <i>Scirpus triquetar</i> Linn. <i>Humulus scandens</i> (Lour.) Merr., and suspected tubers of <i>Sagittaria trifolia</i> subsp. <i>Leucopetal</i> (Miq.) Q. F. Wang, etc.	哺乳动物 14 种, 依据最小个体数, 家猪、狗约占哺乳动物 30%, 野生动物约占 70%; 节肢纲 1 种; 硬骨鱼纲 3 种; 爬行纲 2 种; 鸟纲 12 种; 共计 32 种。 There is 14 species of mammals. Based on the minimum number of individuals, <i>Sus domestica</i> L. and <i>Canis familiaris</i> L. accounting for approximately 30% of the mammals, while wild animals make up about 70%. There is 1 species in the class Arthropoda, 3 species in the class Osteichthyes, 2 species in the class Reptilia, and 12 species in the class Aves, totaling 32 species.	浙江省文物研究所和萧山博物馆, 2004 (Zhejiang Provincial Institute of Cultural Relics and Archaeology and Xiaoshan Museum, 2004)
河姆渡 Hemudu	7170—5599 a BP (n=38) ^a	河姆渡文化 Culture	稻米、菱角、麻栎、白栎、南酸枣、芡实、槐树子、薏苡、葫芦、圆柏、枫香、桃和喜树等。 <i>Oryza sativa</i> L., <i>Trapa bispinosa</i> Roxb., <i>Quercus acutissima</i> Carruth., <i>Quercus fabri</i> Hance, <i>Choerospondias axillaris</i> (Roxb.) B. L. Burt & A. W. Hill, <i>Euryale ferox</i> Salisb., <i>Syphnolobium japonicum</i> (L.) Schott, <i>Coix lacrym-jobi</i> L., <i>Lagenaria siceraria</i> (Molina) Slandl., <i>Juniperus chinensis</i> Roxb., <i>Liquidambar formosana</i> Hance, <i>Prunus persica</i> (L.) Batsch, <i>Campitrochea acuminata</i> Decne., etc.	哺乳动物 34 种, 以野生动物为主, 狗和家猪为家养动物。腹足纲 1 种, 瓣鳃纲 1 种, 节肢纲 1 种, 软骨鱼纲 1 种, 硬骨鱼纲 9 种, 爬行纲 6 种, 鸟纲 8 种, 共计 61 种。 There are 34 species of mammals, predominantly wild animals, with <i>Canis familiaris</i> L. and <i>Sus domestica</i> L. as the domesticated animals. There is 1 species in the class Gastropoda, 1 species in the class Bivalvia, 1 species in the class Arthropoda, 1 species in the class Chondrichthyes, 9 species in the class Osteichthyes, 6 species in the class Reptilia, and 8 species in the class Aves, totaling 61 species.	魏丰等, 1989; 俞为洁和徐耀良, 2000; 魏丰, 2003; 浙江省文物考古研究所, 2003 (Wei F et al., 1989; Yu W J and Xu Y L, 2000; Wei F, 2003; Zhejiang Provincial Institute of Cultural Relics and Archaeology, 2003)
田螺山 Tianluoshan	7022—5998 a BP (n=46) ^a	河姆渡文化 Culture	菱角、芡实、稻米、橡子、橡、榉、梅、南酸枣、榕属、乌柏、樟科、榉、豆科、葫芦科、莎草科、葡萄科、蕨草、百里香和白屈菜等。 <i>Trapa bispinosa</i> Roxb., <i>Euryale ferox</i> Salisb., <i>Oryza sativa</i> L., <i>Quercus acorns</i> , <i>Nelumbo nucifera</i> Gaertn., <i>Coix lacryma-jobi</i> L., <i>Diospyros kaki</i> Thunb., <i>Prunus persica</i> (L.) Batsch, <i>Prunus mume</i> Siebold & Zucc., <i>Choerospondias axillaris</i> (Roxb.) B. L. Burt & A. W. Hill, <i>Ficus</i> L., <i>Friadica sebifera</i> (L.) Small, Lauraceae Juss., <i>Melia azedarach</i> L., Fabaceae Lindl., Cucurbitaceae Juss., Cyperaceae Juss., Vitaceae Juss., <i>Humulus scandens</i> (Lour.) Merr., <i>Thymus mongolicus</i> (Ronniger) Ronniger, <i>Chelidonium majus</i> L., etc.	哺乳动物 20 种, 以野生动物为主, 包括水牛、野猪和各种鹿科动物。以最小个体数计, 鹿科动物和水牛在哺乳动物中的百分比约 50%—67%。 软骨鱼 1 种, 硬骨鱼 8 种, 其中淡水鱼 6 种, 咸水鱼 2 种, 鸟类 11 种。 There are 20 species of mammals, predominantly wild animals, including <i>Bubalus</i> sp., <i>Sus scrofa</i> , and various Cervidae. Based on the minimum number of individuals, Cervidae and <i>Bubalus</i> sp. account for approximately 50%—67% of the mammals. There is 1 species of Chondrichthyes, 8 species of Osteichthyes, including 6 species of freshwater fish and 2 species of marine fish, and 11 families of Aves.	南京博物院考古研究所, 2003; 李兰等, 2008; 南京博物院和宜兴市文物管理委员会, 2009 (Institute of Archaeology, Nanjing Museum, 2003; Li L et al., 2008; Nanjing Museum and Yixing Cultural Heritage Administration Committee, 2009)
骆驼墩 Luotodun*	7169—5738 a BP (n=3) ^a	马家浜文化 Culture	稻米、蓼属、蕺菜属、苜蓿属、酸浆属等。 <i>Oryza sativa</i> L., <i>Pericararia</i> (L.) Mill., <i>Scirpus</i> L., <i>Najas</i> L., <i>Alkekengi</i> Mill., etc.	哺乳动物有牛、麋鹿、梅花鹿、猪和狗等, 水生动物有鳊、鲤鱼和大量贝类。 Mammals include Bovine, <i>Elaphurus davidianus</i> , <i>Cervus nippon</i> , <i>Sus</i> sp., and <i>Canis familiaris</i> L., while aquatic animals include <i>Pelochelys bibroni</i> , Cyprininae indet., and a large number of Gastropoda.	(待续 To be continued)

(续表 1 Continued Tab. 1)

遗址 Site	年代 Period	考古学文化 Archaeological culture	植物遗存 Plant remains	动物遗存 Animal remains	参考文献 References
江家山 Jiangjiashan	6900—5800 a BP ^b	马家浜文化 Majiabang Culture	猪、水牛、梅花鹿、水鹿、獐、狗、猴、鳖、鹅和鹤等 10 余种, 其中梅花鹿约占 42%, 猪约占 24%, 水牛约占 18%。 Over ten species such as <i>Sus</i> sp., <i>Bubalus</i> sp., <i>Cervus nippon</i> , <i>Cervus unicornis</i> , <i>Hydropotes inermis</i> , <i>Canis familiaris</i> L., Primates, <i>Trionyx sinensis</i> , <i>Anser</i> sp., and <i>Grus</i> sp. Among them, <i>Cervus nippon</i> account for approximately 42%, <i>Sus</i> sp. account for about 24%, and <i>Bubalus</i> sp. make up around 18%。 哺乳纲有狗、猪、食蟹猴、獐、野猪、家猪、猿、鹿、梅花鹿、麂和水牛等 12 种, 依据可鉴定标本数, 家养动物和家猪约占哺乳动物总数的 30%, 野生动物约占 70%, 腹足纲有 1 种; 瓣鳃纲 6 种; 爬行动物 3 种; 鸟纲 7 种, 共计 38 种。 The class Mammalia includes 12 species such as <i>Canis familiaris</i> L., <i>Nyctereutes procyonoides</i> , <i>Melogale moschata</i> , <i>Herpestes urva</i> , Herpestidae, <i>Sus scrofa</i> , <i>Sus domestica</i> L., <i>Hydropotes inermis</i> , <i>Muntiacus</i> sp., <i>Cervus nippon</i> , <i>Elaphurus davidianus</i> , and <i>Bubalus</i> sp.. Based on the number of identifiable specimens, domestic animals such as <i>Canis familiaris</i> L. and <i>Sus domestica</i> L. account for approximately 30% of the total number of mammals, while wild animals make up about 70%. The class Gastropoda has 1 species; the class Bivalvia has 9 species; the class Osteichthyes has 6 species; the class Reptilia has 3 species; and the class Aves has 7 species, totaling 38 species。 狗、家猪、獐、梅花鹿和麂、鲤鱼、乌龟等。依据可鉴定标本数的统计结果, 野生动物约占 70%, 家养动物和家猪约占哺乳动物总数的 30%。 <i>Canis familiaris</i> L., <i>Sus domestica</i> L., <i>Hydropotes inermis</i> , <i>Cervus nippon</i> , <i>Elaphurus davidianus</i> , Cyprinidae indet., and <i>Chinemys reevesii</i> , among others. According to the statistical results based on the number of identifiable specimens, wild animals account for 70%, while domestic animals such as <i>Canis familiaris</i> L., <i>Sus domestica</i> L. make up approximately 30% of the total number of mammals。 猪、狗、牛、鹿、兔和鳖, 以及不明种属的螺蛳、鸟类和鱼类。 <i>Sus</i> sp., <i>Canis familiaris</i> L., Bovine, Cervidae, <i>Muntiacus</i> sp., <i>Chelonia</i> indet., and <i>Trionyx sinensis</i> , as well as unidentified Gastropoda, Aves, and Pisces。 哺乳类包括猪、鹿和水牛。其中, 猪属占总数的 77%, 鹿科占 6%。有淡水龟、雁族鸟类。 The mammals include <i>Sus</i> sp., Cervidae, and <i>Bubalus</i> sp.. Among them, the <i>Sus</i> sp. accounts for 77% of the total, and the Cervidae accounts for 6%. There are also freshwater turtles and geese-like birds。 家猪、赤鹿、水鹿, 以可鉴定标本数统计, 野生动物占 80%, 家养动物占 20%。 <i>Sus domestica</i> L., <i>Muntiacus muntjak</i> , <i>Cervus unicornis</i> , and <i>Bubalus</i> sp.. Based on the number of identifiable specimens, wild animals account for 80% and domestic animals account for 20%。	张颖, 2009 (Zhang Y, 2009)	
圩墩 Weidun	6396—4959 a BP (n = 8) ^a	马家浜文化晚期 Late Majiabang Culture	稻米、葫芦、菱角、芡实等水生植物。 <i>Oryza sativa</i> L., <i>Lagenaria siceraria</i> (Molina) Standl., <i>Trapa bispinosa</i> Roxb., <i>Euryale ferox</i> Salisb., etc.	许多灰坑出土稻米, 初步鉴定属人工栽培稻。 A large number of <i>Oryza sativa</i> L. were unearthed from ash pits, and preliminary identification suggests that they belong to cultivated rice。 稻米、葫芦、甜瓜、桃、梅、杏、柿、南酸枣、葡萄、茨实、菱角等。 <i>Oryza sativa</i> L., <i>Lagenaria siceraria</i> (Molina) Standl., <i>Cucumis melo</i> L., <i>Prunus persica</i> (L.) Batsch, <i>Prunus mume</i> Siebold & Zucc., <i>Prunus armeniaca</i> L., <i>Diospyros kaki</i> Thunb., <i>Choerospondias axillaris</i> (Roxb.) B. L. Burt & A. W. Hill, <i>Itis vinifera</i> L., <i>Euryale ferox</i> Salisb., <i>Trapa bispinosa</i> Roxb., etc.	黄象洪和曹克清, 1987; 上海市文物保管委员会, 1987; 叶常丰和游修龄, 1987 (Huang X H and Cao K Q, 1987; Shanghai Cultural Relics Preservation Commission, 1987; Ye C F and You X L, 1987) 江苏省三星村联合考古队, 2004 (The Jiangsu Province Joint Archaeological Team at Sanxingcun, Jiangsu Province, 2004)
崧泽 Songze	6300—5584 a BP (n = 7) ^a	崧泽文化 Songze Culture	稻米、桃、梅和壳斗科坚果。		
三星村 Sanxingcun	5922—5320 a BP (n = 6) ^a	崧泽文化 Songze Culture	许多灰坑出土稻米, 初步鉴定属人工栽培稻。 A large number of <i>Oryza sativa</i> L. were unearthed from ash pits, and preliminary identification suggests that they belong to cultivated rice。 稻米、葫芦、甜瓜、桃、梅、杏、柿、南酸枣、葡萄、茨实、菱角等。 <i>Oryza sativa</i> L., <i>Lagenaria siceraria</i> (Molina) Standl., <i>Cucumis melo</i> L., <i>Prunus persica</i> (L.) Batsch, <i>Prunus mume</i> Siebold & Zucc., <i>Prunus armeniaca</i> L., <i>Diospyros kaki</i> Thunb., <i>Choerospondias axillaris</i> (Roxb.) B. L. Burt & A. W. Hill, <i>Itis vinifera</i> L., <i>Euryale ferox</i> Salisb., <i>Trapa bispinosa</i> Roxb., etc.		
美人地 Meirendi	4849—4412 a BP (n = 19) ^a	良渚文化 Liangzhu Culture			松井章等, 2016; 郑云飞, 2018 (Matsui et al., 2016; Zheng Y F, 2018)
塔山 Tashan	5900—4200 a BP ^b	良渚文化 Liangzhu Culture			吕鹏和蒋乐平, 2014 (Lü P and Jiang L P, 2014)

*: 仅发表动物骨骼同位素研究, 未在图 1 中标出。a: 年代来自放射性¹⁴C 测年结果; b: 年代来自考古学文化信息。
*: only stable isotope studies on animal bone and no human bone isotope studies have been conducted, so it was not marked in Fig. 1. Ages information of "a" are derived from radiocarbon dating results; ages information of "b" are derived from archaeological cultural information.

在确定各遗址潜在动植物食物源的基础上, 使用 SIAR 软件包量化潜在的植物和动物资源对长江下游地区新石器时代人群饮食的贡献, 具体操作标准参照 Phillips et al. (2014)。通过稳定同位素模型量化不同食物源对人群饮食的贡献, 潜在食物源同位素数值的选择是基础。在本研究中, 部分遗址仅开展了人骨同位素研究, 缺乏相应的动物或植物同位素研究。不同遗址间动物骨骼同位素数据对比显示, 多数遗址的猪、鹿和淡水鱼等动物骨的同位素数值不存在显著性差异。因此, 这些遗址的动物骨同位素值取均值可作为缺乏动物骨同位素研究遗址点的潜在食物源同位素基准值。再者, 长江下游地区仅在田螺山遗址开展了炭化水稻、菱角、芡实、橡子等多种植物资源系统的稳定同位素研究 (郭怡, 2021)。不同遗址间植物遗存的同位素值可能存在一定的差异, 但考虑到长江下游地区地理

环境较一致, 田螺山遗址植物同位素数据在本研究中被尝试用于其他遗址的研究。作为贝叶斯稳定同位素混合模型, SIAR 软件包同时将相关因子误差考虑在内, 其中包括个体组织如骨胶原与所摄食食物之间的同位素差异, 食物源的同位素值变化以及不同食物源碳氮元素的浓度。骨胶原与所摄食食物之间的同位素差值已有研究 (Schoeninger, 1985; Lee-Thorp et al., 1989; Ambrose and Norr, 1993; Newsome et al., 2004; Hedges and Reynard, 2007), 本研究分别以 $5‰ \pm 1‰$ 和 $4‰ \pm 1‰$ 代表骨胶原与所摄食食物之间的碳和氮同位素差异。不同食物源的碳氮元素浓度则以该食物源的实测碳氮元素值的均值来表示。最后, 将各遗址人骨碳氮同位素数据、潜在食物源碳氮同位素数据、骨胶原与所摄食食物之间同位素差值、潜在食物源碳氮元素浓度输入模型进行计算 (表 2)。

表 2 模型中使用的同位素和饮食成分数据
Tab. 2 Isotope and diet composition data used in modeling

遗址 Site	样品 Samples	$\delta^{13}\text{C}$ /‰	$\delta^{13}\text{C}_{\text{SD}}$ /‰	碳浓度 Carbon concentration	$\delta^{15}\text{N}$ /‰	$\delta^{15}\text{N}_{\text{SD}}$ /‰	氮浓度 Nitrogen concentration	<i>n</i>	
河姆渡 Hemudu	人类 <i>Homo sapiens</i> L.	-16.70	2.30		11.40	0.30		2	
	跨湖桥/田螺山/骆驼墩/ 圩墩/美人地 Kuahuoqiao/Tianluoshan/ Luotuodun/Weidun/Meirendi	鹿 <i>Cervidae</i>	-19.22	2.75	0.40	6.55	1.76	0.15	134
	田螺山/江家山/圩墩/ 美人地/塔山 Tianluoshan/Jiangjiashan/ Weidun/Meirendi/Tashan	猪 <i>Sus</i> sp.	-20.25	1.51	0.35	6.68	1.41	0.13	36
	骆驼墩/圩墩 Luotuodun/Weidun	淡水鱼 Freshwater fish	-19.02	2.52	0.37	9.77	1.29	0.13	6
	田螺山 Tianluoshan	海洋鱼类 Marine fish	-14.02	1.73	0.28	12.58	1.67	0.10	10
	田螺山 Tianluoshan	稻米 <i>Oryza sativa</i> L.	-26.37	1.27	0.50	4.82	2.17	0.02	20
	田螺山 Tianluoshan	菱角 <i>Trapa bispinosa</i> Roxb.	-26.37	0.73	0.44	4.76	3.45	0.01	27
	田螺山 Tianluoshan	人类 <i>Homo sapiens</i> L.	-20.54	0.46		8.72	1.25		20
	田螺山 Tianluoshan	猪 <i>Sus</i> sp.	-20.81	1.03	0.40	6.40	1.02	0.14	11
	田螺山 Tianluoshan	鹿 <i>Cervidae</i>	-20.71	2.30	0.41	6.97	1.89	0.14	53
	田螺山 Tianluoshan	水牛 <i>Bubalus</i> sp.	-14.74	2.85	0.40	8.86	1.02	0.14	48
	田螺山 Tianluoshan	淡水鱼 Freshwater fish	-19.89	1.12	0.37	6.83	1.13	0.13	7
	田螺山 Tianluoshan	海洋鱼类 Marine fish	-14.02	1.73	0.28	12.58	1.67	0.10	10
	田螺山 Tianluoshan	稻米 <i>Oryza sativa</i> L.	-26.37	1.27	0.50	4.82	2.17	0.02	20
	田螺山 Tianluoshan	橡子 <i>Quercus acorns</i>	-27.27	0.99	0.42	4.81	1.82	0.01	29
	田螺山 Tianluoshan	芡实 <i>Euryale ferox</i> Salisb.	-25.42	0.73	0.43	6.44	1.21	0.01	15
	田螺山 Tianluoshan	菱角 <i>Trapa bispinosa</i> Roxb.	-26.37	0.73	0.44	4.76	3.45	0.01	27

(待续 To be continued)

(续表 2 Continued Tab. 2)

遗址 Site	样品 Samples	$\delta^{13}\text{C}$ /‰	$\delta^{13}\text{C}_{\text{SD}}$ /‰	碳浓度 Carbon concentration	$\delta^{15}\text{N}$ /‰	$\delta^{15}\text{N}_{\text{SD}}$ /‰	氮浓度 Nitrogen concentration	<i>n</i>
江家山 Jiangjiashan	人类 <i>Homo sapiens</i> L.	-20.31	0.21		7.62	3.59		2
江家山 Jiangjiashan	猪 <i>Sus</i> sp.	-20.08	2.01	0.41	6.23	1.60	0.14	9
跨湖桥/田螺山/ 骆驼墩/圩墩/美人地 Kuahuqiao/Tianluoshan/ Luotuodun/Weidun/Meirendi	鹿 <i>Cervidae</i>	-19.22	2.75	0.40	6.55	1.76	0.15	134
跨湖桥/田螺山/骆驼墩/ 圩墩/美人地/塔山 Kuahuqiao/Tianluoshan/ Luotuodun/Weidun/Meirendi/ Tashan	水牛 <i>Bubalus</i> sp.	-14.66	2.90	0.40	8.86	1.67	0.14	80
江家山 Jiangjiashan	淡水鱼 Freshwater fish	-19.02	2.52	0.37	9.77	1.29	0.13	6
田螺山 Tianluoshan	橡子 <i>Quercus</i> acorns	-27.27	0.99	0.42	4.81	1.82	0.01	29
田螺山 Tianluoshan	芡实 <i>Euryale ferox</i> Salisb.	-25.42	0.73	0.43	6.44	1.21	0.01	15
田螺山 Tianluoshan	菱角 <i>Trapa bispinosa</i> Roxb.	-26.37	0.73	0.44	4.76	3.45	0.01	27
圩墩 Weidun	人类 <i>Homo sapiens</i> L.	-20.20	0.28		10.35	0.49		2
圩墩 Weidun	猪 <i>Sus</i> sp.	-19.73	1.83	0.39	7.36	1.64	0.14	9
圩墩 Weidun	鹿 <i>Cervidae</i>	-20.18	1.30	0.39	5.99	1.43	0.14	18
圩墩 Weidun	水牛 <i>Bubalus</i> sp.	-14.20	2.69	0.38	8.10	0.28	0.14	2
圩墩 Weidun	淡水鱼 Freshwater fish	-19.70	2.87	0.37	8.78	1.13	0.13	8
田螺山 Tianluoshan	海洋鱼类 Marine fish	-14.02	1.73	0.28	12.58	1.67	0.10	10
田螺山 Tianluoshan	稻米 <i>Oryza sativa</i> L.	-26.37	1.27	0.50	4.82	2.17	0.02	20
田螺山 Tianluoshan	芡实 <i>Euryale ferox</i> Salisb.	-25.42	0.73	0.43	6.44	1.21	0.01	15
田螺山 Tianluoshan	菱角 <i>Trapa bispinosa</i> Roxb.	-26.37	0.73	0.44	4.76	3.45	0.01	27
崧泽 Songze	人类 <i>Homo sapiens</i> L.	-19.90	0.46		10.85	1.63		2
田螺山/江家山/圩墩/ 美人地/塔山 Tianluoshan/Jiangjiashan/ Weidun/Meirendi/Tashan	猪 <i>Sus</i> sp.	-20.25	1.51	0.35	6.68	1.41	0.13	36
跨湖桥/田螺山/骆驼墩/ 圩墩/美人地 Kuahuqiao/Tianluoshan/ Luotuodun/Weidun/Meirendi	鹿 <i>Cervidae</i>	-19.22	2.75	0.40	6.55	1.76	0.15	134
圩墩 Weidun	淡水鱼 Freshwater fish	-19.02	2.52	0.37	9.77	1.29	0.13	6
田螺山 Tianluoshan	稻米 <i>Oryza sativa</i> L.	-26.37	1.27	0.50	4.82	2.17	0.02	20
田螺山 Tianluoshan	橡子 <i>Quercus</i> acorns	-27.27	0.99	0.42	4.81	1.82	0.01	29

(待续 To be continued)

(续表 2 Continued Tab. 2)

遗址 Site	样品 Samples	$\delta^{13}\text{C}$ /‰	$\delta^{13}\text{C}_{\text{SD}}$ /‰	碳浓度 Carbon concentration	$\delta^{15}\text{N}$ /‰	$\delta^{15}\text{N}_{\text{SD}}$ /‰	氮浓度 Nitrogen concentration	<i>n</i>	
三星村 Sanxingcun	人类 <i>Homo sapiens</i> L.	-20.04	0.21		9.69	0.33		19	
三星村 Sanxingcun	田螺山/江家山/圩墩/ 美人地/塔山 Tianluoshan/Jiangjiashan/ Weidun/Meirendi/Tashan	猪 <i>Sus</i> sp.	-20.25	1.51	0.35	6.68	1.41	0.13	36
三星村 Sanxingcun	跨湖桥/田螺山/骆驼墩/ 圩墩/美人地 Kuahuoqiao/Tianluoshan/ Luotuodun/Weidun/ Meirendi	鹿 Cervidae	-19.22	2.75	0.40	6.55	1.76	0.15	134
三星村 Sanxingcun	跨湖桥/田螺山/骆驼墩/ 圩墩/美人地/塔山 Kuahuoqiao/Tianluoshan/ Luotuodun/Weidun/ Meirendi/Tashan	水牛 <i>Bubalus</i> sp.	-14.66	2.90	0.40	8.86	1.67	0.14	80
三星村 Sanxingcun	骆驼墩/圩墩 Luotuodun/Weidun	淡水鱼 Freshwater fish	-19.02	2.52	0.37	9.77	1.29	0.13	6
三星村 Sanxingcun	田螺山 Tianluoshan	稻米 <i>Oryza sativa</i> L.	-26.37	1.27	0.50	4.82	2.17	0.02	20
三星村 Sanxingcun	田螺山 Tianluoshan	芡实 <i>Euryale ferox</i> Salisb.	-25.42	0.73	0.43	6.44	1.21	0.01	15
三星村 Sanxingcun	田螺山 Tianluoshan	菱角 <i>Trapa bispinosa</i> Roxb.	-26.37	0.73	0.44	4.76	3.45	0.01	27
美人地 Meirendi	美人地 Meirendi	人类 <i>Homo sapiens</i> L.	-19.87	1.26		10.27	0.44		9
美人地 Meirendi	美人地 Meirendi	野猪 <i>Sus scrofa</i>	-20.64	0.96	0.35	6.44	1.59	0.13	4
美人地 Meirendi	美人地 Meirendi	鹿 Cervidae	-19.98	1.78	0.40	6.86	2.88	0.15	4
美人地 Meirendi	美人地 Meirendi	水牛 <i>Bubalus</i> sp.	-13.16	0.10	0.40	7.91	2.07	0.14	2
美人地 Meirendi	骆驼墩/圩墩 Luotuodun/Weidun	淡水鱼 Freshwater fish	-19.02	2.52	0.37	9.77	1.29	0.13	6
美人地 Meirendi	田螺山 Tianluoshan	稻米 <i>Oryza sativa</i> L.	-26.37	1.27	0.50	4.82	2.17	0.02	20
美人地 Meirendi	田螺山 Tianluoshan	芡实 <i>Euryale ferox</i> Salisb.	-25.42	0.73	0.43	6.44	1.21	0.01	15
美人地 Meirendi	田螺山 Tianluoshan	菱角 <i>Trapa bispinosa</i> Roxb.	-26.37	0.73	0.44	4.76	3.45	0.01	27
塔山 Tashan	塔山 Tashan	人类 <i>Homo sapiens</i> L.	-18.43	0.45		9.20	0.72		3
塔山 Tashan	塔山 Tashan	猪 <i>Sus</i> sp.	-19.73	0.42	0.19	7.27	0.71	0.07	3
塔山 Tashan	塔山 Tashan	鹿 Cervidae	-22.90	1.70	0.22	5.40	0.60	0.08	7
塔山 Tashan	塔山 Tashan	水牛 <i>Bubalus</i> sp.	-20.15	2.62	0.06	3.85	0.49	0.02	2
塔山 Tashan	骆驼墩/圩墩 Luotuodun/Weidun	淡水鱼 Freshwater fish	-19.02	2.52	0.37	9.77	1.29	0.13	6
塔山 Tashan	田螺山 Tianluoshan	海洋鱼类 Marine fish	-14.02	1.73	0.28	12.58	1.67	0.10	10
塔山 Tashan	田螺山 Tianluoshan	稻米 <i>Oryza sativa</i> L.	-26.37	1.27	0.50	4.82	2.17	0.02	20
塔山 Tashan	田螺山 Tianluoshan	芡实 <i>Euryale ferox</i> Salisb.	-25.42	0.73	0.43	6.44	1.21	0.01	15
塔山 Tashan	田螺山 Tianluoshan	菱角 <i>Trapa bispinosa</i> Roxb.	-26.37	0.73	0.44	4.76	3.45	0.01	27

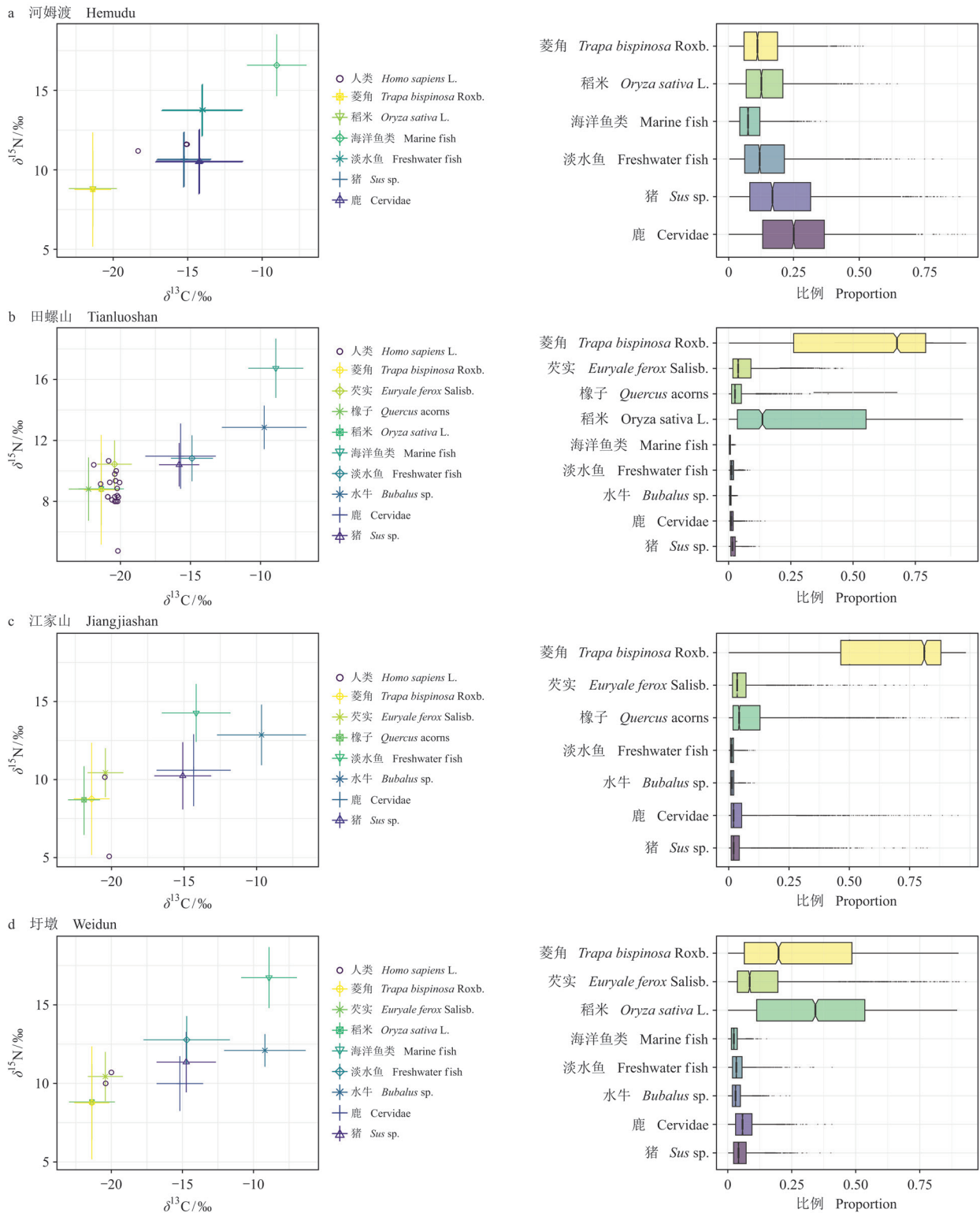
SD: 标准偏差; *n*: 样品数量。 SD: standard deviation; *n*: number of samples.

2 结果与讨论

2.1 长江下游新石器时代不同遗址人群的饮食分析

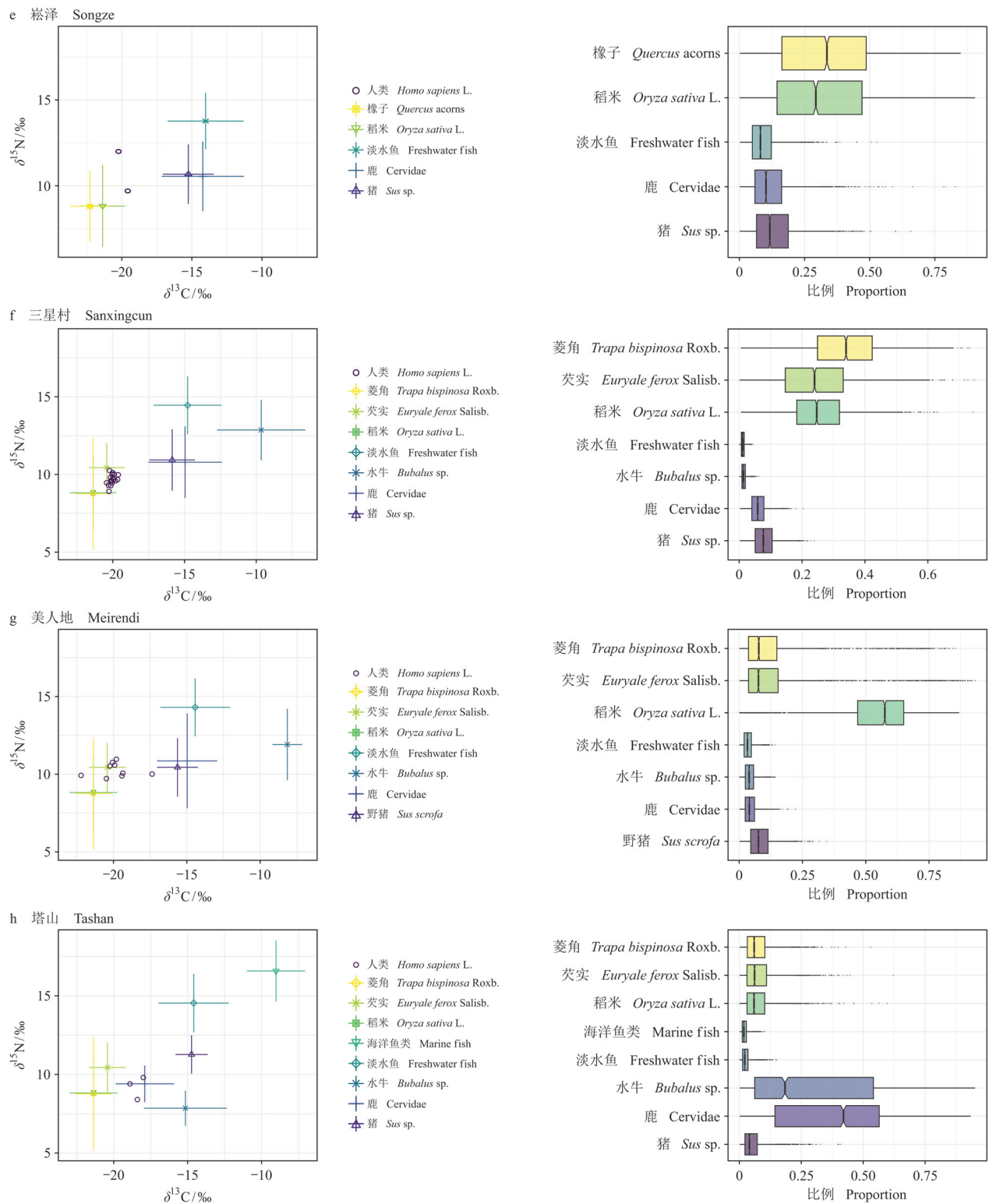
图 2 和表 3 展示了长江下游新石器时代遗址的贝叶斯稳定同位素混合模型结果。从图 2 可以看

出: 长江下游不同遗址人骨同位素数值基本分布在潜在食物源构建的混合区域中, 表明本研究已经涵盖了人群对应的潜在重要食物源, 未遗漏部分重要的食物源。此外, 图 2 还显示了这些食物源对长江下游地区不同遗址人群饮食组成贡献的差异。



(待续 To be continued)

(续图 2 Continued Fig. 2)



a、b: 河姆渡文化遗址; c、d: 马家浜文化遗址; e、f: 崧泽文化遗址; g、h: 良渚文化遗址。

a, b: Hemudu cultural sites; c, d: Majiabang cultural sites; e, f: Songze cultural sites; g, h: Liangzhu cultural sites.

图 2 稳定同位素数据输入混合模型和各遗址点混合模型结果

Fig. 2 Summary of stable isotope data input into the mixing models and the mixing model results

表3 贝叶斯模型估计动植物资源对古人类饮食的贡献比例
 Tab. 3 Estimated proportional dietary contributions of various animal and plant food resources to archaeological humans with Bayesian credible intervals

遗址 Site	食物源 Food Source	平均值 Average value	方差 Variance	95% 贝叶斯可信区间 95% Bayesian confidence interval	
				2.50%	97.50%
河姆渡 Hemudu	猪 <i>Sus</i> sp.	0.22	0.17	0.02	0.63
	鹿 Cervidae	0.26	0.16	0.03	0.61
	淡水鱼 Freshwater fish	0.15	0.12	0.02	0.46
	海洋鱼类 Marine fish	0.09	0.06	0.01	0.23
	稻米 <i>Oryza sativa</i> L.	0.15	0.10	0.02	0.38
	菱角 <i>Trapa bispinosa</i> Roxb.	0.13	0.09	0.01	0.35
	$\delta^{13}\text{C}_{\text{SD}}/\text{‰}$	0.00	0.00	0.00	0.00
	$\delta^{15}\text{N}_{\text{SD}}/\text{‰}$	0.00	0.00	0.00	0.00
田螺山 Tianluoshan	猪 <i>Sus</i> sp.	0.02	0.02	0.00	0.06
	鹿 Cervidae	0.02	0.01	0.00	0.04
	水牛 <i>Bubalus</i> sp.	0.01	0.01	0.00	0.02
	淡水鱼 Freshwater fish	0.02	0.01	0.00	0.04
	海洋鱼类 Marine fish	0.01	0.00	0.00	0.01
	稻米 <i>Oryza sativa</i> L.	0.28	0.29	0.01	0.85
	橡子 <i>Quercus acorns</i>	0.04	0.04	0.00	0.15
	芡实 <i>Euryale ferox</i> Salisb.	0.07	0.07	0.00	0.28
江家山 Jiangjiashan	菱角 <i>Trapa bispinosa</i> Roxb.	0.55	0.30	0.01	0.89
	$\delta^{13}\text{C}_{\text{SD}}/\text{‰}$	0.00	0.00	0.00	0.00
	$\delta^{15}\text{N}_{\text{SD}}/\text{‰}$	0.00	0.00	0.00	0.00
	猪 <i>Sus</i> sp.	0.06	0.10	0.00	0.38
	鹿 Cervidae	0.07	0.13	0.00	0.44
	水牛 <i>Bubalus</i> sp.	0.02	0.01	0.00	0.05
	淡水鱼 Freshwater fish	0.02	0.01	0.00	0.05
	橡子 <i>Quercus acorns</i>	0.12	0.17	0.00	0.62
圩墩 Weidun	芡实 <i>Euryale ferox</i> Salisb.	0.06	0.08	0.00	0.29
	菱角 <i>Trapa bispinosa</i> Roxb.	0.66	0.31	0.02	0.95
	$\delta^{13}\text{C}_{\text{SD}}/\text{‰}$	0.00	0.00	0.00	0.00
	$\delta^{15}\text{N}_{\text{SD}}/\text{‰}$	0.00	0.00	0.00	0.00
	猪 <i>Sus</i> sp.	0.05	0.04	0.01	0.17
	鹿 Cervidae	0.07	0.05	0.01	0.19
	水牛 <i>Bubalus</i> sp.	0.04	0.03	0.01	0.11
	淡水鱼 Freshwater fish	0.04	0.04	0.01	0.14
三星村 Sanxingcun	海洋鱼类 Marine fish	0.03	0.02	0.01	0.07
	稻米 <i>Oryza sativa</i> L.	0.34	0.23	0.01	0.74
	芡实 <i>Euryale ferox</i> Salisb.	0.15	0.17	0.01	0.63
	菱角 <i>Trapa bispinosa</i> Roxb.	0.28	0.24	0.01	0.75
	$\delta^{13}\text{C}_{\text{SD}}/\text{‰}$	0.00	0.00	0.00	0.00
	$\delta^{15}\text{N}_{\text{SD}}/\text{‰}$	0.00	0.00	0.00	0.00
	猪 <i>Sus</i> sp.	0.08	0.04	0.02	0.17
	鹿 Cervidae	0.06	0.03	0.02	0.12
三星村 Sanxingcun	水牛 <i>Bubalus</i> sp.	0.02	0.01	0.00	0.04
	淡水鱼 Freshwater fish	0.01	0.01	0.00	0.03
	稻米 <i>Oryza sativa</i> L.	0.25	0.10	0.08	0.46
	芡实 <i>Euryale ferox</i> Salisb.	0.24	0.13	0.03	0.51
	菱角 <i>Trapa bispinosa</i> Roxb.	0.33	0.13	0.07	0.58
	$\delta^{13}\text{C}_{\text{SD}}/\text{‰}$	0.00	0.00	0.00	0.00
	$\delta^{15}\text{N}_{\text{SD}}/\text{‰}$	0.00	0.00	0.00	0.00

(待续 To be continued)

(续表 3 Continued Tab. 3)

遗址 Site	食物源 Food Source	平均值 Average value	方差 Variance	95% 贝叶斯可信区间 95% Bayesian confidence interval	
				2.50%	97.50%
崧泽 Songze	猪 <i>Sus</i> sp.	0.14	0.09	0.02	0.35
	鹿 <i>Cervidae</i>	0.12	0.08	0.02	0.32
	淡水鱼 <i>Freshwater fish</i>	0.09	0.06	0.02	0.23
	稻米 <i>Oryza sativa</i> L.	0.32	0.20	0.03	0.71
	橡子 <i>Quercus acorns</i>	0.34	0.20	0.03	0.70
	$\delta^{13}\text{C}_{\text{SD}}/\text{‰}$	0.00	0.00	0.00	0.00
	$\delta^{15}\text{N}_{\text{SD}}/\text{‰}$	0.00	0.00	0.00	0.00
美人地 Meirendi	野猪 <i>Sus scrofa</i>	0.08	0.05	0.01	0.20
	鹿 <i>Cervidae</i>	0.05	0.03	0.01	0.12
	水牛 <i>Bubalus</i> sp.	0.04	0.02	0.01	0.10
	淡水鱼 <i>Freshwater fish</i>	0.04	0.02	0.01	0.09
	稻米 <i>Oryza sativa</i> L.	0.52	0.20	0.03	0.76
	芡实 <i>Euryale ferox</i> Salisb.	0.15	0.19	0.01	0.78
	菱角 <i>Trapa bispinosa</i> Roxb.	0.13	0.15	0.01	0.67
	$\delta^{13}\text{C}_{\text{SD}}/\text{‰}$	0.00	0.00	0.00	0.00
$\delta^{15}\text{N}_{\text{SD}}/\text{‰}$	0.00	0.00	0.00	0.00	
塔山 Tashan	猪 <i>Sus</i> sp.	0.06	0.05	0.01	0.19
	鹿 <i>Cervidae</i>	0.38	0.23	0.01	0.76
	水牛 <i>Bubalus</i> sp.	0.29	0.26	0.01	0.76
	淡水鱼 <i>Freshwater fish</i>	0.03	0.02	0.00	0.08
	海洋鱼类 <i>Marine fish</i>	0.02	0.01	0.00	0.06
	稻米 <i>Oryza sativa</i> L.	0.08	0.06	0.01	0.23
	芡实 <i>Euryale ferox</i> Salisb.	0.08	0.07	0.01	0.25
	菱角 <i>Trapa bispinosa</i> Roxb.	0.08	0.06	0.01	0.22
$\delta^{13}\text{C}_{\text{SD}}/\text{‰}$	0.00	0.00	0.00	0.00	
$\delta^{15}\text{N}_{\text{SD}}/\text{‰}$	0.00	0.00	0.00	0.00	

在距今 7.0—6.0 ka 的河姆渡遗址, 该遗址人群很可能摄食多种动植物资源。其中, 作为可能栽培的农作物, 水稻对河姆渡遗址人群的饮食贡献率约为 15%, 野生植物菱角的饮食贡献率与水稻相当 (图 2a)。相较于植物资源, 动物资源对河姆渡遗址人群饮食贡献率明显更高, 达到 72% (图 2a)。这些动物资源既包括了鹿、猪为代表的陆生动物, 也包括了淡水鱼、海洋鱼类等水生动物。值得注意的是, 河姆渡遗址人群对淡水鱼、海洋鱼类等水生动物资源的摄食率较高, 达到 24%, 超过长江下游其他新石器时代遗址人群。同属于河姆渡文化的田螺山遗址在地理位置上与河姆渡遗址仅相距 7 km (图 1), 但是该遗址人群的饮食组成与河姆渡遗址人群存在显著差异。在田螺山遗址, 包括菱角、橡子、稻米等在内的植物资源对田螺山人群的饮食贡献率高达 94%, 其中水稻对该遗址人群的饮食贡献率达到 28% (图 2b)。尽管田螺山遗址中出土数量可观

的鹿科动物、野猪、淡水鱼、咸水鱼、鸟类和龟鳖等动物遗存 (张颖等, 2011), 但是这些动物资源对田螺山遗址先民的饮食贡献率较低, 其中水生动物的饮食贡献率仅为 3% (图 2b)。基于稳定同位素模型计算的河姆渡文化时期河姆渡遗址和田螺山遗址人群的饮食差异与董惟妙和胡耀武 (2020)、Hu (2021) 的分析结果一致。

在马家浜文化时期 (距今 7.0—5.9 ka), 先民可利用的动物与植物资源均较为丰富 (图 2), 然而, 稳定同位素模型结果显示该时期人群似乎更偏好摄食植物资源。其中, 菱角、芡实和橡子等野生植物遗存对江家山遗址人群的饮食贡献率高达 84% (图 2c), 稻米、菱角、芡实等水生植物遗存对圩墩遗址人群的饮食贡献率也高达 77% (图 2d)。水稻对圩墩遗址人群的饮食贡献率更是高达 34%, 高于前一阶段河姆渡文化时期水稻的饮食贡献率, 不过仍低于同时期野生植物资源对人群的饮食贡献率 (图 2d)。除了植物资源外, 该

时期先民还摄食少量的动物资源,包括鹿、猪等陆生动物和鱼类资源。

在崧泽文化时期(距今6.0—5.3 ka),崧泽遗址和三星村遗址中均出土了炭化水稻(叶常丰和游修龄,1987;江苏省三星村联合考古队,2004),稳定同位素模型结果显示水稻对两处遗址人群的饮食贡献率均不低于25%(图2e、2f),其中水稻对崧泽遗址人群饮食贡献率更是达到32%,这一比例与该遗址野生植物资源、动物资源的饮食贡献率相当,表明水稻在长江下游地区该时期人群的饮食中占有重要地位(胡耀武等,2007)。在动物资源的利用上,崧泽遗址人群对猪、鹿、淡水鱼等动物资源的摄入量(35%)明显高于三星村遗址(17%)。

在良渚文化时期(距今5.3—4.3 ka),长江下游地区新石器时代人群的饮食组成较前期出现明显变化。美人地遗址水稻对该遗址人群的饮食贡献率高达52%(图2g)。这一比例远远超过菱角和芡实等野生植物资源、猪和鹿等动物资源的饮食贡献(分别为27%和21%),表明这一时期水稻已成为美人地遗址先民的主要食物资源。在同时期的塔山遗址中,该遗址人群的饮食组成与美人地遗址人群存在明显差异,表现出动物资源如鹿、猪、水牛和淡水鱼等对该遗址人群的饮食贡献率明显较高,可达77%(图2h),而水稻对该遗址人群的饮食贡献率仅为8%。

2.2 长江下游地区新石器时代文明化进程的食谱视角

长江下游地区新石器时代的文明化进程主要包括奠基(距今10 ka前后)、起步(距今8.0—6.0 ka)、加速(距今6.0—5.3 ka)、进入(距今5.3—4.3 ka)四个阶段(王巍,2022)。

距今10 ka前后是长江下游地区文明化进程的奠基时期,该时期长江下游地区以上山文化为代表,遗址人群主要以狩猎、捕鱼和采集为生,古人已经开始种植水稻,稻作农业处于孕育阶段(Zhao, 2010, 2011; 赵志军, 2018)。距今8.0—6.0 ka是长江下游地区文明化进程的起步时期,这一时期以河姆渡、马家浜等文化为代表,遗址人群仍主要摄食鹿、猪、淡水鱼等动物资源和菱角、芡实、橡子等植物资源。但稳定同位素模型结果显示水稻已在河姆渡、马家浜等文化的人群饮食中占有一定比重,表明水稻驯化在此阶

段已初步完成,长江下游地区也形成了以渔猎、采集为主,水稻种植为辅的生业经济(潘艳和袁靖,2019)。距今6.0—5.3 ka是长江下游地区文明化进程的加速时期,该时期野生动植物资源对崧泽文化人群的贡献率有所降低,水稻在崧泽文化人群饮食中的比重已提升到与野生植物、动物资源相当,这也标志着稻作农业在该时期得到了快速发展(潘艳和袁靖,2019)。距今5.3—4.3 ka是长江下游地区文明化进程的进入时期,稳定同位素模型结果显示水稻已超过其他野生动植物资源,成为以美人地遗址为代表的良渚文化人群的主要食物来源,这一时期,稻作农业经济也取代采集渔猎经济成为长江下游地区社会经济的主体(郑云飞,2018)。根据以上分析,长江下游新石器时代的文明化进程与稻作农业的发展是同步的,稻作农业的发展与长江下游地区文明化进程之间彼此相互作用,即稻作农业社会的建立为良渚文明的出现奠定了基础,良渚文明的形成又促进了稻作农业社会的建立和发展(赵志军,2018)。

长江下游地区的植物考古研究表明:除了出土水稻外,考古遗址还经常出土菱角、芡实、橡子等植物资源,稳定同位素模型结果显示这些植物资源对长江下游地区新石器时代各遗址人群的饮食贡献率介于13%—84%。即使在稻作农业很发达的良渚文化时期,这些野生植物资源对人群的饮食贡献率仍可达27%。该现象表明在新石器时代的长江下游地区,采集经济一直以来都是该地区人群的基础选择,在长江下游文明化进程中起到了重要的支撑作用。动物考古研究结果显示:长江下游地区新石器时代遗址中出土了丰富的动物资源,包括鹿、猪等陆生动物,以及淡水鱼、海洋鱼类等水生动物(潘艳和袁靖,2018,2019)。其中,稳定同位素模型结果显示鱼类对人群饮食的贡献率较低,海洋鱼类可能仅对少数遗址人群的饮食有所贡献(如河姆渡遗址),反映出捕鱼在长江下游新石器时代人群生业模式中的重要性可能较低。相较于水生资源,陆生动物资源对长江下游地区新石器时代人群的饮食贡献率更高,表明狩猎活动在长江下游地区人群饮食和生业模式中有着重要地位。除渔猎以外,家猪饲养也是长江下游地区新石器时代人群获取食物资源的重要方式。动物考古学研究发现长江下游地区的家猪饲养始于距今约8.2 ka的跨湖桥遗址

(罗运兵, 2012), 在距今 5.0—4.3 ka 的良渚文化时期, 长江下游地区家猪饲养出现了明显发展(袁靖等, 2020)。然而, 稳定同位素模型结果却显示猪对长江下游新石器时代人群的饮食贡献率整体偏低(介于 2%—22%)。在良渚文化时期的美人地遗址中, 虽然出土猪属骨骼占哺乳动物骨骼出土总数的 77%, 但同位素模型却显示猪对该遗址人群的饮食贡献仅有 8%。同位素分析结果与动物考古学结果之间存在明显差异, 需要更多数据进一步研究。

此外, 在长江下游地区新石器时代文明化进程中, 聚落社会出现了由平等社会向分层社会的转变, 良渚文化时期社会分化现象尤为明显(林留根, 2011)。社会分化是否会影响人群的生业模式? 长江下游地区良渚文化时期不同遗址人群的饮食分析提供了部分信息。在位于政治核心区域的美人地遗址人群摄食了大量的稻米, 显示出美人地遗址人群主要以种植水稻为生。而远离政治中心的塔山遗址人群则摄食更多的鹿科动物等动物资源, 表现出塔山遗址人群主要以狩猎为生。同一文化时期不同遗址之间的饮食差异可能是社会分化的结果, 但也可能与长江下游地区自然环境有关。

3 结论

系统收集长江下游新石器时代遗址发表的人骨、动物骨骼稳定碳氮同位素和炭化植物遗存的出土数据, 通过贝叶斯稳定同位素混合模型, 量化分析潜在的食物源对长江下游地区新石器时代人群的饮食贡献, 研究发现:

(1) 距今 7.0—6.0 ka, 长江下游地区河姆渡、马家浜等文化人群可能摄食多种动植物资源, 包括水稻、菱角、芡实、橡子等植物, 鹿科动物、猪等陆生动物, 以及淡水鱼、海洋鱼类等水生动物。该时期, 水稻仅占人群饮食组成的小部分。距今 6.0—5.3 ka, 水稻在崧泽文化人群饮食中的比重较前阶段明显提升, 与其他野生植物、动物资源相当, 稻作农业快速发展。距今 5.3—4.3 ka, 在属于良渚文化核心区域的美人地遗址中, 水稻已超越其他动植物资源, 成为该遗址人群的主要食物资源。

(2) 同一考古学文化的人群, 其摄食策略可能存在明显差异。河姆渡文化时期, 河姆渡人群摄食更多的陆生和水生动物资源, 而田螺山人群

则摄食更多的菱角、芡实、水稻和橡子等植物资源; 良渚文化时期, 美人地遗址人群摄食大量的稻米, 而塔山遗址人群则摄食更多的动物资源。

(3) 长江下游地区新石器时代的文明化进程与稻作农业的发展几乎同步, 除稻作农业外, 狩猎和采集经济也支撑了长江下游地区新石器时代的文明发展。此外, 长江下游地区新石器时代末期的社会分化可能也影响了史前人群的食物资源选择。

参考文献

- 陈娟英. 2000. 试析常州圩墩新石器时代遗址的原始农业因素 [J]. *农业考古*, (1): 101–103, 128. [Chen J Y. 2000. Analysis on the primitive agricultural factors in the neolithic site at Weidun, Changzhou [J]. *Agricultural Archaeology*, (1): 101–103, 128.]
- 董惟妙, 胡耀武. 2020. 人骨稳定同位素视角下长江下游地区史前先民的生存方式及演变 [J]. *南方文物*, (6): 253–260. [Dong W M, Hu Y W. 2020. Subsistence strategy and its evolution of prehistoric ancestors in the lower region of the Yangtze River from the perspective of human bone stable isotopes [J]. *Cultural Relics in Southern China*, (6): 253–260.]
- 董艳芳. 2016. 浙江沿海地区史前先民生业经济初探: 以田螺山遗址先民(动物)的食物结构分析为例 [D]. 杭州: 浙江大学. [Dong Y F. 2016. Preliminary discussion of the subsistence strategy of Zhejiang coastal neolithic ancestors: a case study of stable isotope analysis from Tianluoshan site [D]. Hangzhou: Zhejiang University.]
- 傅稻镰, 秦岭, 赵志军, 等. 2011. 田螺山遗址的植物考古学分析: 野生植物资源采集与水稻栽培、驯化的形态学观察 [M]// 北京大学中国考古学研究中心, 浙江省文物考古研究所. 田螺山遗址自然遗存综合研究. 北京: 文物出版社: 47–96. [Fuller D Q, Qin L, Zhao Z J, et al. 2011. Archaeobotanical analysis of Tianluoshan site: collection of wild plant resources and morphological observation of rice cultivation and domestication [M]// Center for the Study of Chinese Archaeology, Peking University, Zhejiang Provincial Institute of Cultural Relics and Archaeology. Integrated studies on the natural remains from Tianluoshan. Beijing: Cultural Relics Press: 47–96.]
- 高玉. 2012. 环太湖地区新石器时代植物遗存与生业经济形态研究 [D]. 北京: 北京大学. [Gao Y. 2012. Study on plant remains and subsistence economic forms of neolithic

- age in the area around Taihu Lake [D]. Beijing: Peking University.]
- 管 理, 林留根, 侯亮亮, 等. 2019. 环太湖地区马家浜文化早期家猪驯养信息探讨: 以江苏骆驼墩遗址出土猪骨分析为例 [J]. *南方文物*, (1): 151–158, 297. [Guan L, Lin L G, Hou L L, et al. 2019. Discussion on domestication information of domestic pigs in early Majiabang Culture around the area of Taihu Lake: a case study of pig bones unearthed in Luotodun site, Jiangsu Province [J]. *Cultural Relics in Southern China*, (1): 151–158, 297.]
- 郭 怡. 2021. 同位素视角下长三角地区先民生业模式与文明化进程 [M]. 杭州: 浙江大学出版社. [Guo Y. 2021. Investigation of human subsistence strategy and process of civilization in the neolithic Yangtze River Delta by stable isotope analysis [M]. Hangzhou: Zhejiang University Press.]
- 胡耀武, 王根富, 崔亚平, 等. 2007. 江苏金坛三星村遗址先民的食谱研究 [J]. *科学通报*, 52(1): 85–88. [Hu Y W, Wang G F, Cui Y P, et al. 2007. Study on the recipes of ancestors in Sanxingcun site in Jintan, Jiangsu Province [J]. *Chinese Science Bulletin*, 52(1): 85–88.]
- 胡耀武. 2021. 稳定同位素生物考古学的概念、简史、原理和目标 [J]. *人类学学报*, 40(3): 526–534. [Hu Y W. 2021. Definition, history, principles and aims of stable isotope bioarchaeology [J]. *Acta Anthropologica Sinica*, 40(3): 526–534.]
- 黄文几. 1978. 圩墩新石器时代遗址出土动物遗骨的鉴定 [J]. *考古*, (4): 241–243. [Huang W J. 1978. Identification of animal remains unearthed from the neolithic site at Weidun [J]. *Archaeology*, (4): 241–243.]
- 黄象洪, 曹克清. 1987. 崧泽遗址中的人类和动物遗存 [M]//上海市文物保管委员会. 崧泽: 新石器时代遗址发掘报告. 北京: 文物出版社: 108–114. [Huang X H, Cao K Q. 1987. Human and animal remains at the Songze site [M]// Shanghai Cultural Relics Preservation Committee. Songze: excavation report of neolithic sites. Beijing: Cultural Relics Press: 108–114.]
- 黄象洪. 1990. 常州圩墩新石器时代遗址第四次(1985年)发掘出土的动物遗存研究 [M]//上海市自然博物馆. 考察与研究. 上海: 上海科学技术文献出版社: 20–30. [Huang X H. 1990. Study on animal remains from the fourth (1985) excavation of the neolithic site at Weidun, Changzhou [M]// Shanghai Museum of Natural History. Investigation and research. Shanghai: Shanghai Scientific and Technical Literature Press: 20–30.]
- 黄象洪. 2001. 圩墩遗址出土动物遗骸鉴定 [J]. *考古学报*, (1): 108. [Huang X H. 2001. Identification of animal remains unearthed at Weidun site [J]. *Acta Archaeologica Sinica*, (1): 108.]
- 江苏省三星村联合考古队. 2004. 江苏金坛三星村新石器时代遗址 [J]. *文物*, (2): 4–26. [The Joint Archaeological Team at Sanxingcun, Jiangsu Province. 2004. Excavation of a neolithic site at Sanxingcun, Jintan, Jiangsu [J]. *Cultural Relics*, (2): 4–26.]
- 江苏省圩墩遗址考古发掘队. 1995. 常州圩墩遗址第五次发掘报告 [J]. *东南文化*, (4): 69–89. [Archaeological Excavation Team at Weidun Site, Jiangsu Province. 1995. Report of the fifth excavation of the Weidun site in Changzhou [J]. *Southeast Culture*, (4): 69–89.]
- 黎海明, 郑 铎, 刘 真, 等. 2022. 长江下游地区崧泽文化时期农业形成及其影响因素研究 [J]. *地理科学*, 42(10): 1807–1817. [Li H M, Zheng D, Liu Z, et al. 2022. Formation of agriculture and its influencing factors in the Songze Culture period in the lower reaches of the Yangtze River [J]. *Scientia Geographica Sinica*, 42(10): 1807–1817.]
- 李 兰, 朱 诚, 林留根, 等. 2008. 江苏宜兴骆驼墩遗址地层 7500—5400 BC 的海侵事件记录 [J]. *地理学报*, 63(11): 1189–1197. [Li L, Zhu C, Lin L G, et al. 2008. Transgression records between 7500—5400 BC on the stratum of the Luotodun site in Yixing, Jiangsu Province [J]. *Acta Geographica Sinica*, 63(11): 1189–1197.]
- 林留根. 2011. 长江下游地区史前经济与社会文明化进程 [D]. 南京: 南京师范大学. [Lin L G. 2011. Prehistoric economy and social civilization process in the lower reaches of the Yangtze River [D]. Nanjing: Nanjing Normal University.]
- 楼 佳. 2018. 新石器时代中国长江下游地区水牛家养文化特征的 C、N、O 稳定同位素研究: 以跨湖桥遗址与田螺山遗址为例 [D]. 杭州: 浙江大学. [Lou J. 2018. The carbon, nitrogen and oxygen stable isotope analysis of water buffalo (*Bubalus* sp.) from the lower reaches of the Yangtze River during the neolithic age: a case study of the Kuahuqiao site and the Tianluoshan site [D]. Hangzhou: Zhejiang University.]
- 罗运兵. 2012. 中国古代猪类驯化、饲养与仪式性使用 [M]. 北京: 科学出版社: 148–150, 217–218. [Luo Y B. 2012. Domestication, breeding, and ritual use of pigs in ancient

- China [M]. Beijing: Science Press: 148–150, 217–218.]
- 吕 鹏, 蒋乐平. 2014. 塔山遗址动物遗存鉴定 [M]// 浙江省文物考古研究所, 象山县文物管理委员会. 象山塔山. 北京: 文物出版社: 295–300. [Lü P, Jiang L P. 2014. Identification of animal remains at Tashan site [M]// Zhejiang Provincial Institute of Cultural Relics and Archaeology, Xiangshan County Cultural Relics Administration Committee. Xiangshan and Tashan. Beijing: Cultural Relics Press: 295–300.]
- 米田穰. 2017. 同位素生态学研究方法的展望: 对长江下游早期农耕民生活与社会的复原研究 [J]. *南方文物*, (3): 10–15. [Minoru Y. 2017. Prospect of the research methods of isotope ecology: research on the recovery of the early farming people's life and society in the lower reaches of the Yangtze River [J]. *Cultural Relics in Southern China*, (3): 10–15.]
- 南川雅男, 松井章, 中村慎一, 等. 2011. 由田螺山遗址出土的人类与动物骨骼胶原碳氮同位素组成推测河姆渡文化的食物资源与家畜利用 [M]// 北京大学中国考古学研究中心, 浙江省文物考古研究所. 田螺山遗址自然遗存综合研究. 北京: 文物出版社: 262–269. [Minagawa M, Matsui A, Nakamura S, et al. 2011. The food resources and animal utilization of Hemudu Culture inferred from the carbon and nitrogen isotopic compositions of human and animal bones unearthed at Tianluoshan site [M]// Center for the Study of Chinese Archaeology, Peking University, Zhejiang Provincial Institute of Cultural Relics and Archaeology. Integrated studies on the natural remains from Tianluoshan. Beijing: Cultural Relics Press: 262–269.]
- 南京博物院, 宜兴市文物管理委员会. 2009. 江苏宜兴骆驼墩遗址发掘报告 [J]. *东南文化*, (5): 26–44. [Nanjing Museum, Yixing Cultural Heritage Administration Committee. 2009. An excavation report of Luotudun site in Yixing, Jiangsu [J]. *Southeast Culture*, (5): 26–44.]
- 南京博物院考古研究所. 2003. 江苏宜兴市骆驼墩新石器时代遗址的发掘 [J]. *考古*, (7): 3–9. [Institute of Archaeology, Nanjing Museum. 2003. Excavation of the neolithic site of Luotudun, Yixing City, Jiangsu Province [J]. *Archaeology*, (7): 3–9.]
- 潘 艳, 袁 靖. 2018. 新石器时代至先秦时期长江下游的业形态研究 (上) [J]. *南方文物*, (4): 111–125. [Pan Y, Yuan J. 2018. Study on profession morphology from the neolithic period to the pre-Qin period in the lower reaches of Yangtze River [J]. *Cultural Relics in Southern China*, (4): 111–125.]
- 潘 艳, 袁 靖. 2019. 新石器时代至先秦时期长江下游的业形态研究 (二) [J]. *南方文物*, (1): 122–135. [Pan Y, Yuan J. 2019. Study on profession morphology from the neolithic period to the pre-Qin period in the lower reaches of Yangtze River () [J]. *Cultural Relics in Southern China*, (1): 122–135.]
- 秦 岭. 2012. 中国农业起源的植物考古研究与展望 [J]. *考古学研究*, (9): 260–315. [Qin L. 2012. Research and prospect of plant archaeology on the origin of agriculture in China [J]. *A Collection of Studies on Archaeology*, (9): 260–315.]
- 上海市文物保管委员会. 1987. 崧泽: 新石器时代遗址发掘报告 [M]. 北京: 文物出版社: 87–88. [Shanghai Cultural Relics Preservation Commission. 1987. Songze: excavation report of neolithic sites [M]. Beijing: Cultural Relics Press: 87–88.]
- 松井章, 菊地大树, 松崎哲也, 等. 2016. 良渚遗址群美人地遗址出土的动物遗存 (初报) [M]// 松井章, 菊地大树. 中国新石器时代家畜、家禽的起源和东亚地区扩散的动物考古学研究. 奈良: 奈良文化财研究所: 51–53. [Matsui A, Kikuchi H, Matsuzaki T, et al. 2016. Animal remains unearthed from the Meirendi locus of the Liangzhu site [M]// Matsui A, Kikuchi H. The origin and spread in East Asia of the Chinese neolithic livestock, poultry based on zooarchaeology study. Nara: Nara National Research Institute for Cultural Properties: 51–53.]
- 王 巍. 2022. 中华文明探源研究主要成果及启示 [J]. *大众考古*, (6): 90–91. [Wang W. 2022. The main achievements and enlightenment of the research on the origin of Chinese civilization [J]. *Popular Archaeology*, (6): 90–91.]
- 魏 丰, 吴维棠, 张明华, 等. 1989. 浙江余姚河姆渡新石器时代遗址动物群 [M]. 北京: 海洋出版社. [Wei F, Wu W T, Zhang M H, et al. 1989. Fauna of Hemudu neolithic site, Yuyao, Zhejiang [M]. Beijing: China Ocean Press.]
- 魏 丰. 2003. 动物遗骸 [M]// 浙江省文物考古研究所. 河姆渡: 新石器时代遗址考古发掘报告 (上册). 北京: 文物出版社: 154–216. [Wei F. 2003. Fauna remains [M]// Zhejiang Provincial Institute of Cultural Relics and Archaeology. Hemudu: neolithic site archaeological excavation report (1st volume). Beijing: Cultural Relics Press: 154–216.]
- 吴小红, 秦 岭, 孙国平, 等. 2011. 田螺山遗址的 ^{14}C 年代

- 数据 [M]// 北京大学中国考古学研究中心, 浙江省文物考古研究所. 田螺山遗址自然遗存综合研究. 北京: 文物出版社: 40–46. [Wu X H, Qin L, Sun G P, et al. 2011. ^{14}C chronological data of Tianluoshan site [M]// Center for the Study of Chinese Archaeology, Peking University, Zhejiang Provincial Institute of Cultural Relics and Archaeology. Integrated studies on the natural remains from Tianluoshan. Beijing: Cultural Relics Press: 40–46.]
- 严文明. 1982. 中国稻作农业的起源 [J]. *农业考古*, (1): 19–31, 151. [Yan W M. 1982. The origin of rice farming in China [J]. *Agricultural Archaeology*, (1): 19–31, 151.]
- 叶常丰, 游修龄. 1987. 崧泽遗址古代种子鉴定报告 [M]// 上海市文物保管委员会. 崧泽: 新石器时代遗址发掘报告. 北京: 文物出版社: 129–130. [Ye C F, You X L. 1987. Report on ancient seed identification at Songze site. Shanghai Cultural Relics Preservation Committee. Songze: excavation report of neolithic sites. Beijing: Cultural Relics Press: 129–130.]
- 游修龄. 2001. 圩墩遗址出土炭化稻鉴定 [J]. *考古学报*, (1): 109. [You X L. 2001. Identification of carbonized rice unearthed at Weidun site [J]. *Acta Archaeologica Sinica*, (1): 109.]
- 俞博雅. 2016. 中国家猪驯化路线初探: 以中原地区与长江下游地区遗址出土猪骨为例 [D]. 杭州: 浙江大学. [Yu B Y. 2016. Preliminary discussion of pathways to pig domestication in China: analysis of pigs bones from typical sites in the Central Plains region and the lower Yangtze region [D]. Hangzhou: Zhejiang University.]
- 俞为洁, 徐耀良. 2000. 河姆渡文化植物遗存的研究 [J]. *东南文化*, (7): 24–32. [Yu W J, Xu Y L. 2000. Studies of the foliage relics of the Hemudu Culture [J]. *Southeast Culture*, (7): 24–32.]
- 袁靖, 潘艳, 董宁宁, 等. 2020. 良渚文化的生业经济与社会兴衰 [J]. *考古*, (2): 83–92. [Yuan J, Pan Y, Dong N N, et al. 2020. The rise and fall of the Liangzhu society in the perspective of subsistence economy [J]. *Archaeology*, (2): 83–92.]
- 张国文, 蒋乐平, 胡耀武, 等. 2015. 浙江塔山遗址人和动物骨的 C、N 稳定同位素分析 [J]. *华夏考古*, (2): 138–146. [Zhang G W, Jiang L P, Hu Y W, et al. 2015. Analysis of the carbon and nitrogen stable isotopes in the human and animal bones from the Tashan site in Zhejiang [J]. *Huaxia Archaeology*, (2): 138–146.]
- 张雪莲, 王金霞, 冼自强, 等. 2003. 古人类食物结构研究 [J]. *考古*, (2): 62–75. [Zhang X L, Wang J X, Xian Z Q, et al. 2003. A study of ancient human's diet [J]. *Archaeology*, (2): 62–75.]
- 张颖, 袁靖, 黄蕴平, 等. 2011. 田螺山遗址 2004 年出土哺乳动物遗存的初步分析 [M]// 北京大学中国考古学研究中心, 浙江省文物考古研究所. 田螺山遗址自然遗存综合研究. 北京: 文物出版社: 172–205. [Zhang Y, Yuan J, Huang Y P. 2011. Preliminary analysis of mammal remains unearthed at Tianluoshan site in 2004 [M]// Center for the Study of Chinese Archaeology, Peking University, Zhejiang Provincial Institute of Cultural Relics and Archaeology. Integrated studies on the natural remains from Tianluoshan. Beijing: Cultural Relics Press: 172–205.]
- 张颖. 2009. 田螺山、江家山和卞家山遗址的动物遗存和相关问题探讨 [D]. 北京: 北京大学. [Zhang Y. 2009. Discussion on animal remains and related problems in Tianluoshan, Jiangjiashan and Bianjiashan sites [D]. Beijing: Peking University.]
- 赵志军. 2018. 中国稻作农业起源研究的新认识 [J]. *农业考古*, (4): 7–17. [Zhao Z J. 2018. New thinking on the study of rice agriculture origin in China [J]. *Agricultural Archaeology*, (4): 7–17.]
- 浙江省文物考古研究所, 萧山博物馆. 2004. 跨湖桥 [M]. 北京: 文物出版社: 241–277. [Zhejiang Provincial Institute of Cultural Relics and Archaeology, Xiaoshan Museum. 2004. Kuahuqiao [M]. Beijing: Cultural Relics Press: 241–277.]
- 浙江省文物考古研究所. 2003. 河姆渡: 新石器时代遗址考古发掘报告 [M]. 北京: 文物出版社: 216–217. [Zhejiang Provincial Institute of Cultural Relics and Archaeology. 2003. Hemudu: neolithic site archaeological excavation report [M]. Beijing: Cultural Relics Press: 216–217.]
- 郑云飞, 陈旭高, 孙国平. 2011. 田螺山遗址出土植物种子反映的食物生产活动 [M]// 北京大学中国考古学研究中心, 浙江省文物考古研究所. 田螺山遗址自然遗存综合研究. 北京: 文物出版社: 97–107. [Zheng Y F, Chen X G, Sun G P. 2011. Food production activities reflected by plant seeds unearthed from Tianluoshan site [M]// Center for the Study of Chinese Archaeology, Peking University, Zhejiang Provincial Institute of Cultural Relics and Archaeology. Integrated studies on the natural remains from Tianluoshan. Beijing: Cultural Relics Press: 97–107.]

- 郑云飞, 蒋乐平. 2007. 上山遗址出土的古稻遗存及其意义 [J]. *考古*, (9): 19–25, 99. [Zheng Y F, Jiang L P. 2007. Remains of ancient rice unearthed from the Shangshan site and its significance [J]. *Archaeology*, (9): 19–25, 99.]
- 郑云飞. 2018. 良渚文化时期的社会生业形态与稻作农业 [J]. *南方文物*, (1): 93–101, 60. [Zheng Y F. 2018. The form of social subsistence and rice farming in the Liangzhu Culture period [J]. *Cultural Relics in Southern China*, (1): 93–101, 60.]
- Ambrose S H, Norr L. 1993. Experimental evidence for the relationship of the carbon isotope ratios of whole diet and dietary protein to those of bone collagen and carbonate [M]// Lambert J B, Grupe G. Prehistoric human bone: archaeology at the molecular level. Berlin, Heidelberg: Springer: 1–37.
- Eda M, Itahashi Y, Kikuchi H, et al. 2022. Multiple lines of evidence of early goose domestication in a 7, 000-y-old rice cultivation village in the lower Yangtze River, China [J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 119(12): e2117064119. DOI: 10.1073/pnas.2117064119.
- Hedges R E M, Reynard L M. 2007. Nitrogen isotopes and the trophic level of humans in archaeology [J]. *Journal of Archaeological Science*, 34(8): 1240–1251.
- Hu Y W. 2021. Human subsistence strategies and adaptations in the lower Yangtze River region during the prehistoric era [J]. *Frontiers in Earth Science*, 9: 654416. DOI: 10.3389/feart.2021.654416.
- Jia X, Zhao D S, Storozum M J, et al. 2022. The “2.8 ka BP cold event” indirectly influenced the agricultural exploitation during the late Zhou Dynasty in the coastal areas of the Jianghuai region [J]. *Frontiers in Plant Science*, 13: 902534. DOI: 10.3389/fpls.2022.902534.
- Lee-Thorp J A, Sealy J C, van der Merwe N J. 1989. Stable carbon isotope ratio differences between bone collagen and bone apatite, and their relationship to diet [J]. *Journal of Archaeological Science*, 16(6): 585–599.
- Li H M, Liu Z, James N, et al. 2021. Agricultural transformations and their influential factors revealed by archaeobotanical evidence in Holocene Jiangsu Province, eastern China [J]. *Frontiers in Earth Science*, 9: 661684. DOI: 10.3389/feart.2021.661684.
- Newsome S D, Phillips D L, Culleton B J, et al. 2004. Dietary reconstruction of an Early to Middle Holocene human population from the central California coast: insights from advanced stable isotope mixing models [J]. *Journal of Archaeological Science*, 31(8): 1101–1115.
- Phillips D L, Inger R, Bearhop S, et al. 2014. Best practices for use of stable isotope mixing models in food-web studies [J]. *Canadian Journal of Zoology*, 92(10): 823–835.
- Schoeninger M J. 1985. Trophic level effects on $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ and $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ ratios in bone collagen and strontium levels in bone mineral [J]. *Journal of Human Evolution*, 14(5): 515–525.
- Zhao Z J. 2010. New data and new issues for the study of origin of rice agriculture in China [J]. *Archaeological and Anthropological Sciences*, 2(2): 99–105.
- Zhao Z J. 2011. New archaeobotanic data for the study of the origins of agriculture in China [J]. *Current Anthropology*, 52(S4): S295–S306.
- Zuo X X, Lu H Y, Jiang L P, et al. 2017. Dating rice remains through phytolith carbon-14 study reveals domestication at the beginning of the Holocene [J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 114(25): 6486–6491.