

嫩江流域全新世以来的水文条件与渔业资源对先民生存策略的影响

——以月亮泡为例*

韦元香^{1**}, 王晓明^{2**}, 石晓轩^{2†}, 张迪², 王杰³, 李文洋²

(1: 东北师范大学地理科学学院, 长春 130024)

(2: 吉林省文物考古研究所, 长春 130033)

(3: 吉林大学考古学院, 长春 130012)

摘要: 嫩江流域作为我国东北地区史前文化遗址的重要分布区域, 以其丰富的水资源和渔业资源为特征, 是研究史前人类活动与水文环境相互关系的理想区域。本研究以嫩江流域月亮泡为例, 通过计算全新世以来的水文环境演变与渔业资源变迁, 结合区域史前考古记录, 深入探讨自然资源对史前人群生存策略与聚落演化的影响机制。本文旨在探讨以渔猎经济为主的史前社会如何应对水文环境波动以调整其人地关系。研究表明: (1) 在 13~7 cal ka BP (新石器时代早中期) 期间, 水文条件与渔业资源持续增长, 最大鱼产力达到 1928.55 t/年, 最低可支撑人口容量达 9180 人, 足以满足当时人类生存所需的蛋白质需求。充足而稳定的水资源与渔业资源, 促进了该时期聚落发展和定居模式的形成; (2) 约 6.0-5.0 cal ka BP (新石器时代晚期) 期间, 可能受不稳定的气候波动和水患影响, 该地区聚落整体衰落。然而, 此时人均资源量可能相对增多, 促使个体生活条件相对宽裕, 渔业资源利用更为充分; (3) 约 5.0 cal ka BP 之后, 水资源量减少, 鱼产力降至 1198.53 t/年, 最低可支撑人口容量减至 5705 人, 至青铜时代中期, 月亮泡水域渔业资源无法充分满足快速增长的人口规模所带来的巨大需求。为此, 人们逐步增加家畜饲养以获取更稳定蛋白质, 以维持社会发展; (4) 水文变化还推动了聚落空间格局的演变, 新石器时代聚落更临近水体, 而晚期聚落则向高地迁移, 反映了对洪涝灾害的主动规避。本文首次通过定量重建水文条件和渔业资源变化, 揭示了水文条件与人类生存、聚落选址以及生业模式之间的密切关系, 为进一步研究人类与自然环境的互动提供了新视角。

关键词: 水文条件; 渔业资源; 生存策略; 全新世; 嫩江流域

Influence of hydrological conditions and fishery resources on prehistoric survival strategies in the Nenjiang River Basin since the Holocene: A case study of Lake Yueliangpaopao

Yuanxiang Wei^{1*}, Xiaoming Wang^{2*}, Xiaoxuan Shi^{2†}, Di Zhang², Jie Wang³, Wenyang Li²

(1: School of Geographical Science, Northeast Normal University, Changchun 130024, P.R.China)

(2: Jilin Provincial Institute of Archaeology, Changchun 130033, P.R.China)

(3: School of Archaeology Jilin University, Changchun 130012, P.R.China)

Abstract: The Nenjiang River Basin, a key distribution area of prehistoric cultural sites in Northeast China, possesses rich water and fishery resources, making it an ideal region to investigate the interactions between prehistoric human activities and hydrological conditions. Taking Lake Yuejiapao in this basin as a case, this

* 2025-07-23 收稿; 2025-10-20 收修改稿.

** 共同第一作者.

吉林省文物考古研究所项目 (2024019) 资助.

***[†] 通信作者; E-mail: 19843065380@163.com.

study quantitatively reconstructs Holocene hydrological evolution and fishery resource changes. By integrating regional prehistoric archaeological records, it explores the mechanisms through which natural resources influenced prehistoric human subsistence strategies and settlement evolution. The research aims to examine how prehistoric societies, primarily reliant on fishing and hunting, adapted their human-environment relationships in response to hydrological fluctuations. Results indicate that: (1) During 13–7 cal ka BP (Early to Middle Neolithic), hydrological conditions and fishery resources continuously increased, with maximum fish productivity reaching 1928.55 t/year, capable of supporting a maximum population of 9180 people and sufficiently meeting the protein needs of contemporary human groups. Abundant and stable water and fishery resources promoted settlement development and the formation of a sedentary lifestyle during this period; (2) Around 5.5 cal ka BP (Late Neolithic), possibly influenced by unstable climatic fluctuations and flooding, settlements in the region generally declined. However, per capita resources may have increased relatively, resulting in comparatively favorable living conditions and more thorough utilization of fishery resources; (3) After about 5.0 cal ka BP, water resources diminished, and fish productivity declined to 1198.53 t/year, supporting a minimum population of only 5705 people. By the Middle Bronze Age, fishery resources in Lake Yuejiapao could no longer fully satisfy the substantial demand from a rapidly growing population. Consequently, people gradually increased livestock rearing to obtain more stable protein sources and sustain social development; (4) Hydrological changes also drove the evolution of settlement spatial patterns. Neolithic settlements were located closer to water bodies, whereas later settlements migrated to higher elevations, reflecting active adaptation to flood risks. This study provides the first quantitative reconstruction of hydrological conditions and fishery resource variation in the region, revealing close linkages between hydrology and human survival, settlement location, and subsistence patterns, and offers a new perspective for further research on human-nature interactions.

Keywords: Hydrological conditions; Fishery resources; Survival strategies; Holocene; Nenjiang River Basin

水文条件在人类生存、聚落选址及生业模式等方面有着深远的影响^[1-4]。稳定的水源维系着动植物资源，是人类生存的基础；而水文波动则促使人类不断调整生存策略以适应环境。在此过程中，渔业资源以其稳定、可预期的供给特性，不仅为早期人类提供了优质蛋白质，更为定居生活的出现与巩固发挥了至关重要的作用^[5]。例如，青藏高原玛布错遗址的研究揭示，约 4400 cal BP 的早期定居生活与稳定的水源及丰富的渔业资源密切相关，挑战了传统上将定居生活仅与农业传播关联的观念^[6]。在长江下游地区，全新世适宜期之后，逐渐形成的淡水湿地支持了水稻种植的开展，同时周围丰富的渔业资源也为农业发展提供了稳定的补充，共同促进了社会的长期稳定和文化的繁荣^[3]。这些研究为理解水文条件和渔业资源如何影响早期人类生存策略，并为理解史前人类如何在自然环境变化中灵活适应提供了宝贵的视角。

嫩江流域位于中国东北，水系发达，湖泊、河流和湿地众多，长期以来一直是考古学研究的重点区域。该地区史前文化序列完整，目前已初步构建了从新石器时代至早期铁器时代的考古文化编年^[7-8]。以后套木嘎一期遗存为代表的新发现，已将本区域新石器时代考古学文化的历史轴线向前推进至距今 12900 年^[8]。在新石器时代，聚落密集分布于水源丰富的区域^[9]。出土的大量压制细石器、渔猎工具以及鱼、蚌、野生动物等遗存，共同揭示了以渔猎采集为主的经济模式^[9-12]。进入青铜时代，社会形态发生显著变化。聚落向大型定居点演变，人类活动强度加剧。尽管渔猎经济仍占重要地位，但猪、马、牛和羊等家养动物，以及用于加工植物的磨盘和磨棒等工具的普遍出现，表明先民开始兼营畜牧业和农业种植^[13-15]，生产方式已由攫取型经济向生产型经济转化。月亮泡作为嫩江与洮儿河交汇处的关键区域，其周边密集分布着自新石器时代早期以来的遗址 73 处^[9]，为观察区域史前文化演替和生业模式调整提供了一个完整且连续的“微观样本”。

嫩江流域史前文化的演替和生业策略的调整，是在全新世以来环境波动背景下发生的。古气候、古环境研究显示，全新世早中期，气候逐渐转好，植被恢复^[16]。有学者认为新石器晚期的昂昂溪“渔猎文化”的繁荣与该时期温暖湿润的气候高度相关。而约 5000 BP 之后气候的恶化与冷干化趋势，

则常被视为导致昂昂溪文化衰落的重要原因^[17]。可见当前的研究已揭示气候变化与史前人类活动之间的关系。然而，与先民生存策略息息相关的水文条件和渔业资源，其波动过程如何具体影响生存策略，其内在机制仍有待阐明。这也限制了我们对区域人地关系动态调整的进一步认识。

鉴于此，本文旨在定量重建嫩江流域新石器时代以来的水文条件和渔业资源，并探讨它们对史前人类生存策略的影响。首先，基于现代观测数据，建立了水文条件与降水量间的定量关系，并对流域内全新世以来的水文条件进行了模拟重建。其次，参照大水面增殖殖容量计算方法，定量重建了全新世以来的鱼产力，并估算了渔业资源可支撑的最低人口数量。最后，结合流域内的考古证据，深入探讨新石器时代以来水文条件和渔业资源对先民生存策略的影响。通过对嫩江流域水文条件、渔业资源和考古遗址等数据的综合分析，本文将进一步加深学界对该区域先民生业模式、聚落选择以及文化演进的认识，并为理解史前人类与自然环境的互动关系提供新视角。

1 研究区概况

月亮泡（45°39'18.36"N-45°48'10.32"N，123°46'26.6"E-124°2'16.1"E）位于吉林省大安市东北部，地处洮儿河下游，嫩江右岸（图1）。湖体呈不规则形态，湖底平坦，底质为细沙和黑土。其地理成因十分特殊，是晚更新世末至全新世时期嫩江故道滞水所形成的洼地性湖泊。在现代水文条件下，其主要补给水源为嫩江、洮儿河、地下水和雨水。现代观测数据显示，月亮泡的面积历年最小为146.9 km²，历年最大为292.1 km²，常年平均水深3~4 m，历年最深达5 m，平均库容4.87×10⁸ m³。湖泊水质清澈透明，pH值范围为8.0~8.5，属弱碱性水体。湖中浮游生物资源丰富，鱼种繁多，为吉林省淡水鱼主要产区。主要经济鱼类包括草鱼、鲢鱼、鳙鱼、鲫鱼等，渔业资源年均产能稳定，为区域人类长期定居与经济发展提供了坚实支撑。当前月亮泡地区人口相对密集，据地方志与统计年鉴显示，该区域自1980年代以来总人口维持在约8.5万至10万人，形成了以农牧业为主导，兼具渔业的复合型经济结构。

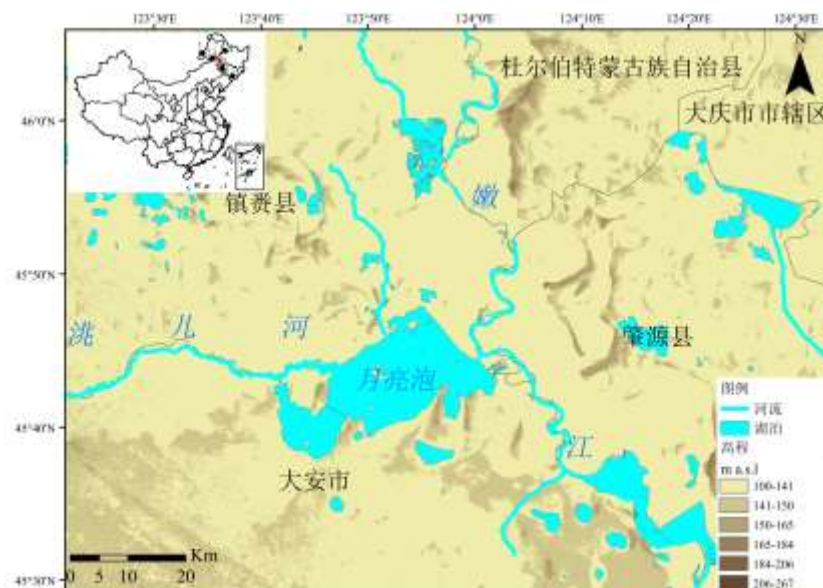


图1 月亮泡地理位置及文中引用的古气候记录点分布图。主图展示了月亮泡及其周边的水系与高程。左上角角图显示研究区在中国的地理位置。图中数字分别代表本文用于对比的古气候记录点：1.呼伦湖；2.驼峰岭；3.月亮湖；4.五大连池；5.大布苏；6.前六十四村；7.四海龙湾。（底图基于自然资源部标准地图服务网站下载的审图号为GS（2020）4619号的标准地图制作，无修改）

Fig 1. Geographical location of Lake Yueliangpao and the distribution of paleoclimate record sites cited in this study. The main map shows the water systems and elevation of Lake Yueliangpao and its surrounding areas. The numbers on the map represent the paleoclimate record sites used for comparison in this paper: 1. Lake Hulun; 2. Tuofengling; 3. Moon Lake; 4. Lake Wudalianchi; 5. Dabusu; 6. Qianliucun; 7. Sihailongwan.

考古研究表明,月亮泡地区遗址密集分布,迄今已发现了从新石器时代早期至清末民国时期的遗址 73 处^[18]。通过对遗址中出土的遗物和遗迹的综合分析,已初步构建了该地区从新石器时代至青铜时代的考古文化序列。具体的文化序列如下:新石器时代早期至晚期的考古文化依次为:后套木嘎一期文化(公元前 11000~前 9000 年)、双塔一期文化(公元前 9000~前 7000 年)、黄家围子文化(公元前 6000~前 5000 年)、后套木嘎三期文化(公元前 4800~前 3500 年)、后套木嘎四期遗存(公元前 3500~前 2900 年)、昂昂溪文化(公元前 2500~前 2000 年)。青铜时代的考古文化依据年代早晚顺序分别是小拉哈文化(公元前 2000~前 1300 年)、白金宝二期文化(公元前 1300~前 1000 年)、白金宝文化(公元前 1000~前 500 年)和汉书二期文化(公元前 500~公元元年)^[9]。

2 研究方法

2.1 水文条件重建方法

首先,收集了 1991-2020 年期间,该地区的年均降水量,年均水位、年均水域面积及年均水量数据。其中,年均降水量数据来自中国气象数据网(<http://data.cma.cn/en>),水文数据由月亮泡水库管理局提供。本研究的历史降水量数据来源于 CHELSA-TraCE21k v1.0 数据集^[19]。该数据提供了过去 21,000 年、每 100 年为间隔的全球 1 公里分辨率气候数据,包括温度和降水量。其边界条件主要由全球气候模型(CCSM3-TraCE21k)及其动态重建的古地形(如 ICE6G 冰盖模型)决定。需要注意的是,由于月亮泡现已建坝为水库,其实测水位数据无法反映自然状态。因此,我们运用了 ArcScene 软件中的“Flood level simulation module”功能,模拟在自然条件下,不同水量对应的月亮泡的年均水位和年均水域面积。这项模拟旨在建立水量、水位与水域面积三者间的自然响应关系,为古水文重建提供基准模型,而非模拟单次洪水过程。

其次,本研究采用一种带有物理约束的回归方法,建立了年均降水量与各水文要素(年均水位、年均水域面积、年均水量)之间的定量转换函数。该方法在拟合前,首先根据湖泊的水文特征预设了一个基准截距项,以更真实地反映降水对水文变化的驱动关系。最后,将该转换函数应用于 TraCE-21k 数据集的全新世古降水序列,重建了月亮泡自全新世以来的水文变化历史,包括其水位、水域面积及水量的波动。

2.2 鱼产力重建方法

本文参照了《SC/T 1149-2020 大水面增殖殖容量计算方法》来估算月亮泡的鱼产力^[20],具体公式如下:

$$\text{滤食性鱼类的鱼产力: } F = \frac{m \times (P/B) \times a}{E} \times V \times 10^{-6}$$

式中, F 为鱼产力(t); m 为水生生物平均生物量(mg/L); P/B 为饵料生物年生产量与年平均生物量之比; a 为饵料利用率; E 为饵料系数; V 为水库表层 20 m 以上的容积(m^3),当水库平均深度 ≤ 20 m 时取其实际库容。

$$\text{底栖性鱼类的鱼产力: } F = \frac{m \times (P/B) \times a}{E} \times S \times 10^{-6}$$

式中, F 为鱼产力(t), m 为水生生物平均生物量(g/m^2), P/B 为饵料生物年生产量与年平均生物量之比, a 为饵料利用率, E 为饵料系数, S 为水库面积(m^2)。

式中的有关参数结合东北地区的实际情况进行选取。其中浮游植物 P/B 按 50 计算,饵料系数取 80,可利用率取 40%;浮游动物 P/B 取 20,饵料系数取 10,可利用率取 30%;底栖生物的 P/B 取 3.5,饵料系数取 6,可利用率取 25%^[20]。水生生物平均生物量由《吉林省大水面生态渔业发展规划》提供,目前该流域共有浮游植物 129 种,以硅藻门、绿藻门为主,年平均生物量为 4.46 mg/L;共有浮游动物 65 种,年平均生物量为 3.05 mg/L;共有底栖动物 80 种,年平均生物量 54.61 mg/m²。腐殖质、有机碎屑及细菌等所能提供的鱼产力约占浮游生物的 30%~50%,本调查报告按 40% 计算。此外,为检验估算模型的可靠性,本文利用该模型估算了月亮泡当前的鱼产力,并与水库 2015-2023 年的商品鱼产量数据进行对比。

需要指出的是,该估算模型源于现代生态渔业管理,将其应用于史前研究存在固有的局限性。首先,模型结构基于现代生态系统,未能动态模拟全新世以来关键生态变量(如各类生物种群、营养盐等)的变化。其次,模型也无法还原史前社会的捕捞技术与渔业组织方式。因此,本文所估算的鱼

产力应理解为自然状态下潜在可供渔业资源的理论上限，其结果主要用于探讨不同水文背景下资源的相对波动趋势，而非对史前渔获能力进行精确的定量重建。

为进一步探讨史前渔业资源的社会承载力，我们将重建的鱼产力所序列转化为营养量，并据此估算了 13 cal ka BP 以来渔业资源所能支撑的最低人口容量。

鱼产力生产转化模型的公式如下^[21]：
$$NPQ_j = \sum_{i=1}^4 PQ_i \times EP_i \times e_{ij}$$

式中，NPQ 表示营养生产量 (kcal/t)，j=1,2,3 分别表示热量 (EnC)、蛋白质 (Pro)、脂肪 (Fat)；PQ 表示第 i 种食物的产量(t)；EP 表示食物可食用比例(%)；e 表示单位食物营养成分含量(kcal/g)。

式中所使用的鱼类营养成分和可食用比例数据来自《中国食物成分表 2018 年(标准版)第 6 版》^[22]。需要指出的是，食物成分表只提供了常见的鱼类营养成分。考虑到月亮泡的主要鱼类品种为草鱼、鲢、鳙、黄颡鱼等，因此我们主要采用这几种常见鱼类品种的营养成分来计算月亮泡的鱼产力所产生的营养量(补充材料表 1)。在这些鱼类品种中，草鱼和鲢鱼以浮游植物为饵料生物，因此浮游植物提供的鱼产力主要转化为草鱼和鲢鱼。鳙鱼主要摄食浮游动物以及有机碎屑等，水域浮游动物提供的鱼产力和一部分有机碎屑和腐殖质等(按 50% 计算)鱼产力转化为鳙鱼鱼产力，因此假设浮游动物和一半的有机碎屑和腐殖质提供的鱼产力全部转化为鳙鱼的鱼产力。有机碎屑、腐殖质和细菌等提供的剩余鱼产力转化为杂食性鱼类(如黄颡鱼)的鱼产力。鲫鱼以底栖生物为饵料，底栖生物提供的鱼产力转化为鲫鱼。

蛋白质是动物生长发育、繁殖和维持机体正常生命活动的必需营养素。自古以来，鱼类就是人类重要的食物来源，在人类膳食结构中占据重要地位，尤其是提供高质量蛋白质的关键来源。因此，本文基于月亮泡鱼类所提供的蛋白质含量，估算其渔业资源所能支撑的最低人口容量。按照中国食物营养标准，人均日蛋白质需求量设定为 57 g。同时，假设该地区人类所需的蛋白质全部依赖鱼类供给，以此计算全新世以来，月亮泡渔业资源转化的蛋白质所能承受的最低人口容量。

2.3 史前人口规模估算

为评估渔业资源供给能力与人口压力之间的关系，本文采用基于面积-密度指数的标准化方法对月亮泡地区不同时期的人口规模进行估算^[23]。该方法源于聚落考古学研究中的“面积-密度”指数，其核心在于通过聚落总面积与单位面积陶片密度的乘积构建人口指数，并进一步结合各考古时期的持续时间进行标准化处理，以反映每百年的人口相对强度。在此基础上，利用已有考古发掘数据所推导的陶片密度与人口数量之间的经验换算比例(每百年单位指数对应 500~1000 人)，将人口指数转换为绝对人口估值，从而获得更为可比和可控的跨时期人口估算结果。其中，月亮泡地区不同时期聚落面积与陶片密度数据，来源于该区域系统考古调查的实地采集与统计结果(补充材料表 2 和表 3)；考古时期的持续时间则基于文献与分期框架进行推定与量化^[18]。

3 月亮泡全新世以来的水文条件和鱼产力变化

3.1 月亮泡全新世以来的水文条件重建

回归分析结果显示，月亮泡的年均水位和水域面积与该地区的年均降水量密切相关。年均降水量与年均水位、年均水域面积、年均水量之间的回归方程，分别为 $y=0.00486x+128$ ($R^2=0.99, P<0.05$)、 $y=561005.01x+1.05$ ($R^2=0.94, P<0.05$) 和 $y=730556.66x-0.052$ ($R^2=0.94, P<0.05$) (图 2)。

基于 TraCE-21k 模拟的月亮泡地区全新世以来的年均降水量数据，分别代入回归方程以重建该地区全新世以来水文条件变化。结果显示，月亮泡年均水位、年均水域面积以及年均水量变化范围分别在 129.37-131.95 m、 2.23×10^8 - 3.59×10^8 m² 以及 2.90×10^8 - 4.67×10^8 m³ 之间波动(图 3)。其中最小值与最大值出现时间均分别为 12.58 cal ka BP 和 8.91 cal ka BP。对比年均降水量、年均水位、年均水域面积以及年均水量变化，发现这三者之间的变化趋势较为一致，在末次冰消期晚段，即新仙女木事件期间(13-11.7 cal ka BP)，均为本文时段内的最低值，在 11.7-9 cal ka BP 逐渐增高，并在 9-7 cal ka BP 达到最高值，随后在 7-2 cal ka BP 逐渐降低，最后在 2 cal ka BP 以来再次逐渐增高。

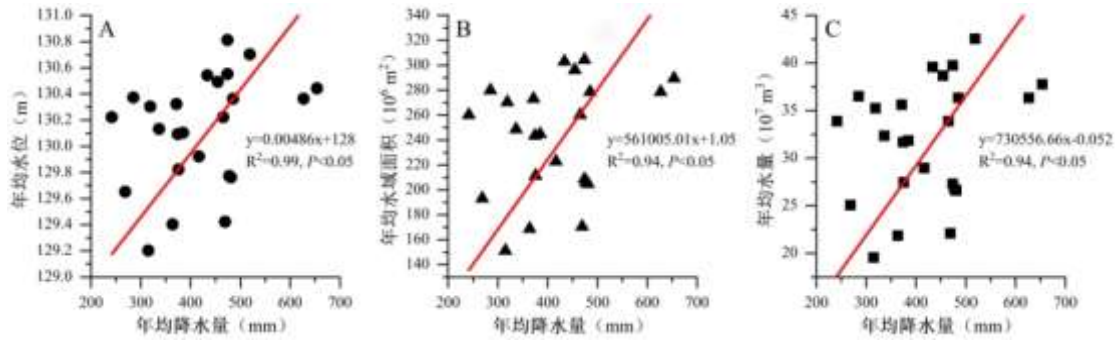


图2 月亮泡 1991-2020 年年均降水量与年均水位 (A)、年均水域面积 (B) 以及年均水量 (C) 之间回归关系
 Fig.2 Regression relationships between the mean annual precipitation (1991-2020) and the mean annual water level (A), mean yearly water area (B) and mean annual water volume (C) of the Lake Yueliangpao.

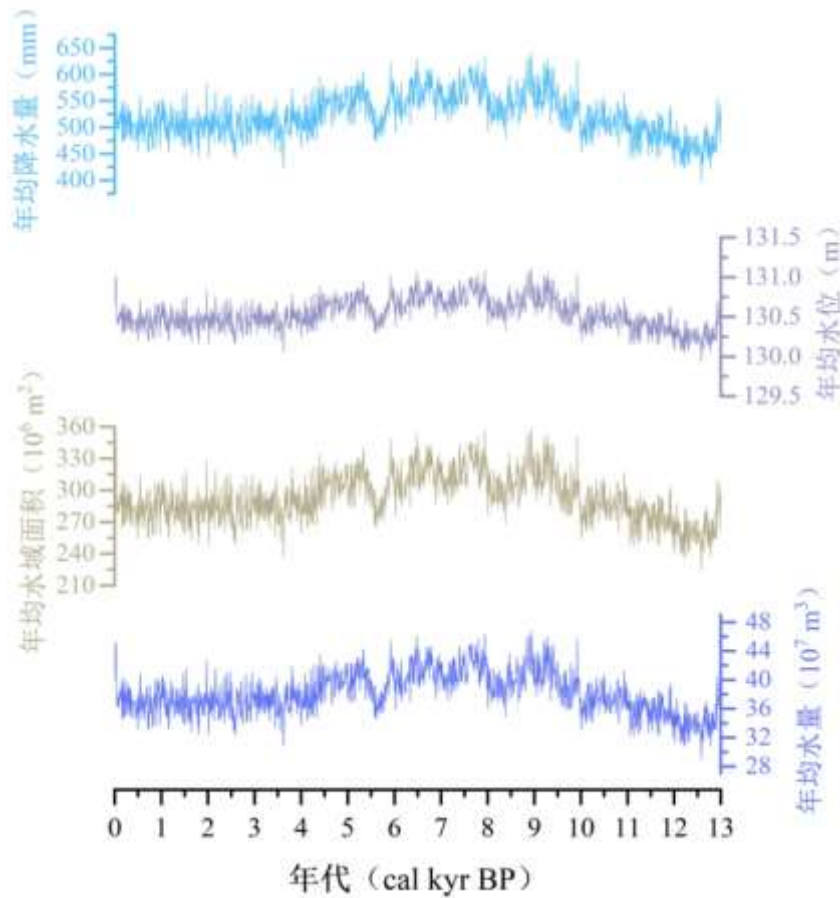


图3 TraCE-21k 模拟的月亮泡全新世以来的年均降水量及基于此计算得到的年均水位、年均水域面积及年均水量变化
 Fig.3 Annual precipitation, mean water level, mean water area, and mean water volume changes of the Lake Yueliangpao since 13 cal ka BP based on the TraCE-21k model

3.2 月亮泡全新世以来的鱼产力重建

根据鱼产力估算模型 (表 1), 月亮泡水域的总鱼产力为 144.39 kg/hm²。其中, 浮游植物、浮游动物、底栖生物及腐殖质\有机碎屑的贡献分别为 39.03 kg/hm²、60.05 kg/hm²、0.08 kg/hm² 和 41.23 kg/hm²。为了检验估算结果的可靠性, 本文将其与现代渔业数据进行了对比。按目前 17800 hm² 的有效水域面积计算, 水库的理论总鱼产力为 2570.42 t。按 50% 的最大科学捕捞比例计算, 其理论最大可持续年产量应为 1285 t 左右。这一推算值与《大安年鉴》记载的 2015-2023 年实际年均渔获量 (约 1163 t) 非常接近, 表明该计算公式适用于估算月亮泡的年均鱼产力。

本文的重建结果显示，全新世以来月亮泡的年均鱼产力在 1198.53-1928.55 t 之间波动，平均为 1564.62 t。具体而言，新石器时代早期（13~11 cal ka BP）产量最低，随后逐渐增加并在新石器时代中期（9~5.5 cal ka BP）达到峰值。在新石器时代晚期（约 5.0 cal ka BP），鱼产力又呈波动下降趋势，近百年才再次逐渐增高（图 4）。换算为人口承载力，全新世期间月亮泡的渔业资源理论上可支撑 5705.47~9180.63 人，平均为 7448.17 人（图 4f）。

对比人口承载力数据与区域考古记录（图 4g-i）可见，在新石器时代至青铜时代早期，基于渔业资源计算的人口承载力数值持续高于基于聚落面积估算的人口规模（图 5）。动物骨骼记录显示，整个新石器时代，鱼类与哺乳动物的骨骼数量均维持在较高水平（图 4g-h）。自青铜时代中期开始，聚落面积扩张（图 4i），且基于面积估算的人口数量在数值上接近并超过基于渔业资源计算的人口承载力（图 5）。与此同时，动物骨骼记录中鱼类骨骼比重呈现下降趋势，而哺乳动物骨骼中存在家养食草动物（图 4g-h）。至辽金时期，估算人口规模与渔业资源承载力之间的数值差距达到最大。

表 1 月亮泡水域饵料生物提供的鱼产力

Tab.1 Fish productivity provided by bait organisms in the Lake Yueliangpao

饵料生物	现存量 (kg/hm ²)	P/B	利用率 (%)	饵料系 数	鱼产力 (kg/hm ²)
浮游植物	156.10	50	40	80	39.03
浮游动物	106.75	20	30	10	60.05
底栖生物	0.55	3.5	25	6	0.08
腐殖质、有机碎屑及 细菌等					41.23
总鱼产力					144.39

4 讨论

4.1 嫩江流域全新世以来的水文条件和渔业资源演变

TraCE-21 模拟结果显示，约 13.0~12.0 cal ka BP 期间，嫩江流域气候相对干旱，湖泊水位低，渔业资源稀少（图 6g）。这一时间段与新仙女木事件（Younger Dryas Event）吻合。东北地区多项古环境记录均反映出干冷特征，如月亮湖的木本花粉的呈显著下降指示草原植被扩张（图 6e）^[27]。同时，四海龙湾的孢粉记录也表明湖区周围分布大量旱生型植物（如蒿属等），进一步支持了降水量减少和气候干旱的结论（图 6e）^[28]。驼峰岭水位的定量重建亦表明，YD 事件期间湖泊处于低水位状态（图 6i）^[29]。

YD 事件结束后，早中全新世期间降水量开始回升，气候逐渐改善，并在约 9.0-7.0 cal ka BP 达到全新世降水的最大期（图 6g）。该时期区域湿润化趋势已被多项古气候记录结果所证实，四海龙湾孢粉定量重建显示降水增加了约 500 mm（图 6e）^[28]。呼伦湖的木本花粉也呈增长趋势，表明该时期木本植物扩张，降水量增加^[30]（图 6b）。前六十四村的植硅体干湿指数在 8.0 cal ka BP 左右达到最大（图 6f）^[31]，以及驼峰岭水位在此后达到全新世高点（图 6i）^[29]。降水变化与东亚夏季风强度密切相关，反映出该区域对区域性季风气候的高度响应（图 6a）^[32]。与此同时，该时期湖泊水位的上升极大地促进了渔业资源的繁荣，考古证据也为此提供了佐证。约 10 cal ka BP 的双塔一期文化层中，丰富的鱼骨遗存便揭示了当时湖泊生态系统已能支持规模可观的鱼类种群^[24]。

值得注意的是，全新世早中期的整体湿润化趋势，被数次短暂的干冷事件所打断（图 6g）。其中，约 8.5~8.0 cal ka BP 的降水量下降，可能是对全球 8.2 ka BP 冷事件的区域响应。该事件在四海龙湾^[28]（图 6e）、五大连池^[33]（图 6d）和前六十四村^[31]（图 6f）的古气候记录中，均表现为一次显著的干旱化趋势。此后，在约 5.5 cal ka BP，区域气候再次转干，降水下降，水位降低，大布苏湖的硅藻 PCA1 得分下降也支持了这一趋势（图 6h）。尽管该时段气候趋于干旱、湖泊水位下降，但在该时段的部分文化层中仍发现了多种鱼类的鱼骨遗存^[25]，表明湖泊中仍保有一定规模的鱼类种群。

约 5.0 cal ka BP 之后，TraCE-21k 模拟结果显示，气候由湿转干，区域降水量明显下降，湖泊水位随之降低（图 6g）。该趋势与东亚夏季风指数相似，推测降水量的减少可能与东亚夏季风提供的水汽减少有关（图 6a）^[32]。五大连池孢粉定量重建的降水记录也显示该时期降水量呈下降趋势（图 6d）^[33]。四海龙湾孢粉定量重建结果进一步表明，在 4.0 cal ka BP 之后，降水量持续下降，且该趋

势与本文的模拟结果相似（图 6e）^[28]。在水位变化方面，驼峰岭定量重建的水位结果显示该时期水位逐渐下降（图 6i）^[29]；松嫩平原的大布苏硅藻 PCA1 得分显示该阶段得分较低，进一步支持水位较低的结论（图 6h）^[34]。伴随着湖泊水位的下降，鱼产力亦出现下降。后套木嘎遗址出土资料显示，该时期鱼类骨骼数量和占比均低于前期，表明湖泊中鱼类资源可能有所减少，这一结果也增强了本研究重建的渔业资源的可靠性。

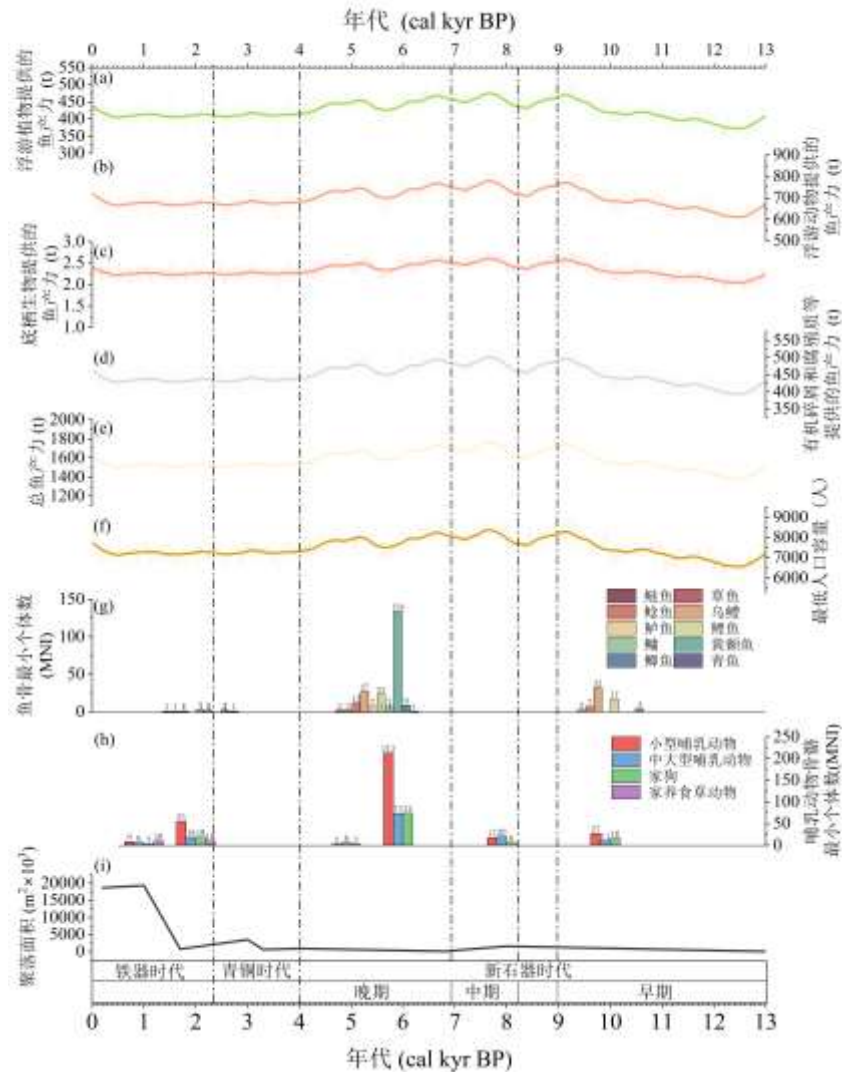


图 4 全新世以来月亮泡年均鱼产力变化及区域考古记录。（a-e）月亮泡年均浮游植物提高的鱼产力、浮游动物提高的鱼产力、底栖生物提供的鱼产力、有机碎屑和腐殖质等提供的鱼产力和总鱼产力变化；（f）鱼产力提供的蛋白质所能支撑的最低人口潜在容量；（g-h）鱼类和哺乳动物骨骼的最小个体数（仅新石器时代早期记录来自双塔遗址，其余记录均来自后套木嘎遗址不同文化层）^[2426]；（i）环月亮泡聚落面积变化^[9]。

Fig.4 Changes in annual fish productivity at Lake Yueliangpao and regional archaeological records since the Holocene. (a-e) Annual fish productivity at Lake Yueliangpao contributed by phytoplankton, zooplankton, benthic organisms, organic detritus and humus, and the total fish productivity; (f) Minimum potential population capacity supported by protein provided through fish productivity; (g-h) Minimum number of identified individuals (MNI) of fish and mammal bones (Note: the early neolithic records are from the Shuangta site, while all remaining records are from various cultural layers of the Houtaomuga site). (i) Changes in settlement area around Lake Yueliangpao.

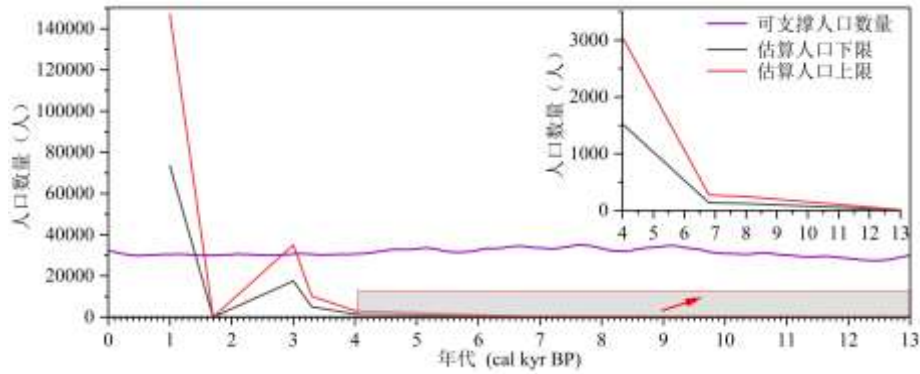


图 5 全新世以来月亮泡年均鱼产力所能支撑的最低人口容量变化与估算人口规模

Fig. 5 Comparative analysis of minimum population capacity supported by fish productivity and archaeological population estimates since the Holocene at Lake Yueliangpao

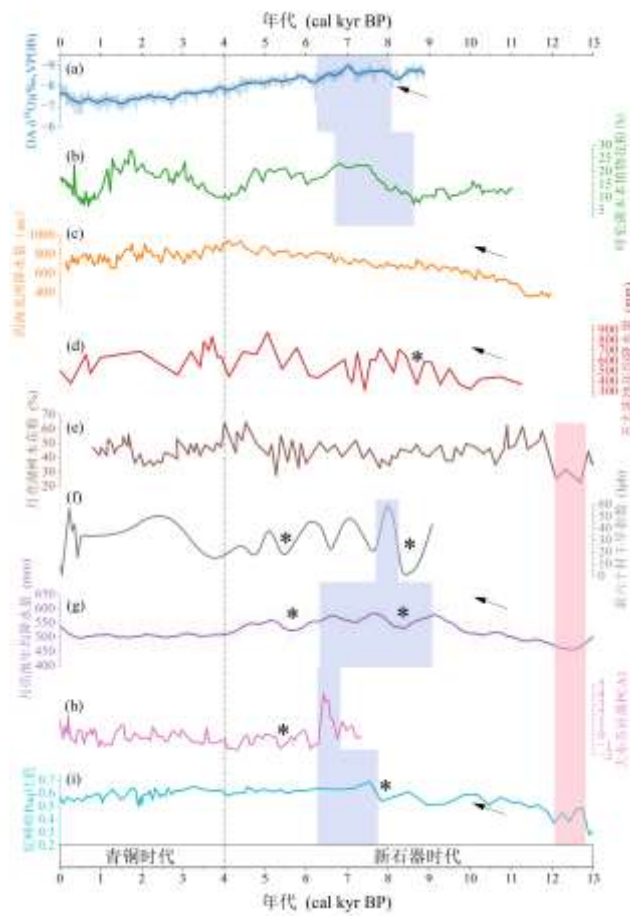


图 6 全新世以来嫩江流域年均降水量记录及周边古水文条件重建记录对比。(a) 东亚夏季风指数^[32]；(b) 呼伦湖木本花粉百分比^[30]；(c-d) 四海龙湾和五大连池降水重建^{[28][33]}；(e) 月亮湖木本花粉百分比^[27]；(f) 前六十四村干旱指数 (Iph) ^[31]；(g) 月亮泡降水量重建^[19]；(h) 大布苏硅藻 PCA1 得分^[34]；(i) 驼峰岭 Paq 比值^[29]；图中的星号代表关键气候事件，而阴影则代表全新世降水量最大期的时间区间。

Fig.6 Holocene annual precipitation record in the Nenjiang River Basin and its comparison with reconstructed paleohydrological records from surrounding regions. (a) East Asian Summer Monsoon (EASM) Index; (b) boreal pollen percentages from Lake Hulun; (c) Reconstructed precipitation from Lake Sihailongwan and Wudalianchi; (e) Arboreal pollen percentages from Lake Moon; (f) Qianliucun Drought Index (Iph); (g) Reconstructed precipitation from Lake Yueliangpao (this study). (h) Dabusun Lake diatom PCA1 score; (i) Tuofengling Paq ratio; Asterisks in the figure represent key climate events, while shading indicates the period of the Holocene precipitation maximum.

需要指出的是，尽管本文以降水变化作为水位与渔业资源变化的主要驱动因子，并已得到多项古气候与水文重建结果的验证，但月亮泡地区在全新世期间经历的湖盆演化与河道改造过程仍需重视。已有研究指出，嫩江自晚更新世以来发生过四次显著改道，而大安吉河道亦在更新世末—全新世中期形成并终止发育^[16]，这对月亮泡的湖盆范围、水体补给机制乃至生态系统格局均可能造成深远影响。因此，本文重建的鱼产力变化趋势主要反映气候主导下的区域尺度生态响应，而湖泊实际边界变动与微观地貌过程仍有待后续高分辨率地层、沉积学与生物指标研究加以限定。

4.2 水文条件和渔业资源对先民生存的影响

史前人类的聚落分布往往与水源的可获得性、地形起伏度和水文变化密切相关。从月亮泡地区的遗址分布情况来看，分布在南侧的遗址多靠近现有水域，而北侧的遗址则主要位于距离水域相对较远的地方（图 7）。这种分布差异与该地区的地势特点密切相关。月亮泡周边南侧地势较高，不易受到水淹影响，因此沿水域边缘分布（图 7），可以方便先民取水。相比之下，北侧地势则较低，涨水季节水面上升，水面扩张会逐渐淹没北侧的近水低地。为保障安全，先民选择在距水域较远的安全地带栖息。

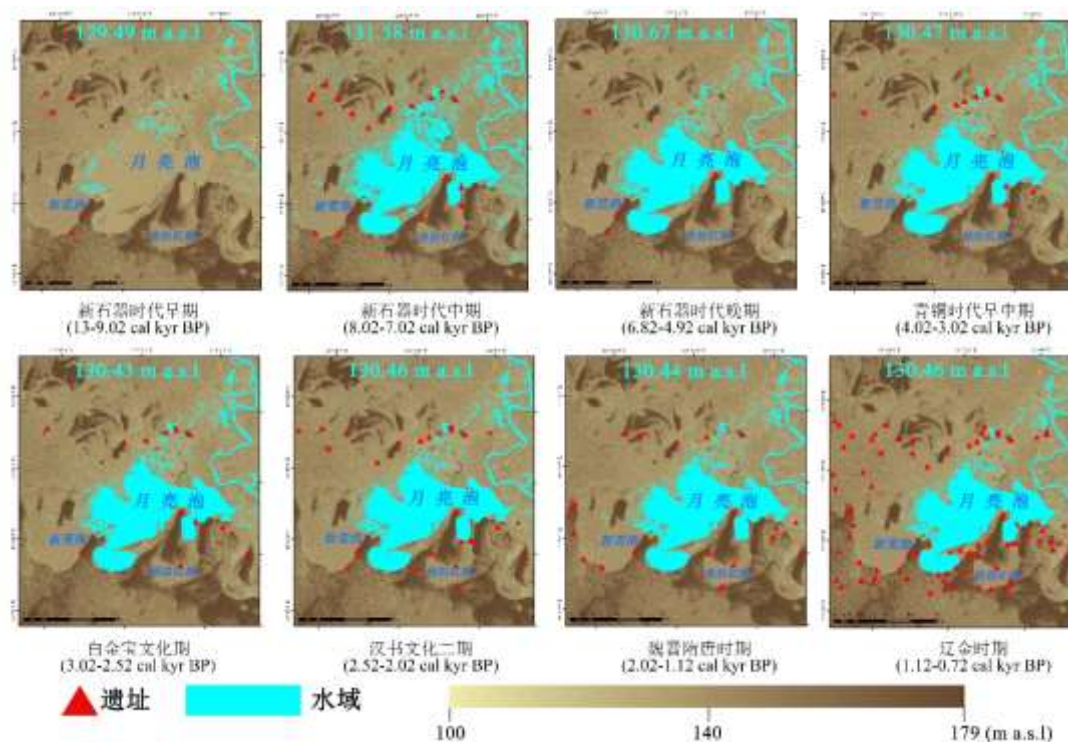


图 7 月亮泡周边新石器时代早期至辽金时期遗址分布及其水域范围变化（m a.s.l 指示平均水位对应的海拔高度）

Fig.7 The distribution of sites and the change of water area from early Neolithic Age to Liaojin period around the Lake Yueliangpao (m a.s.l indicates the altitude corresponding to the mean water level)

水文条件的变化对聚落的发展、人类活动以及生业模式演化具有重要影响。本研究发现，在新石器时代早中期，月亮泡地区湖泊规模扩大、水资源与渔业资源显著增加，与同期遗址数量增多、聚落面积扩大的趋势之间呈现出明显的耦合关系（图 4）。此前，有研究在假设资源量相对恒定的前提下，将该时期人类活动强度的上升归因于技术的提升。相比之下，本文认为，水资源与渔业资源的扩张可能构成另一关键变量，推动了聚落扩张和人口聚居。此外，有学者认为，自双塔一期文化开始，嫩江流域人群的生计方式和居住策略正由流动性向固定性转变，初步呈现定居化趋势^{[9][35]}。丰富而稳定的自然资源被视为这一转变的重要物质基础。本文通过对月亮泡地区渔业资源潜在供给能力的量化研究显示，在保守模型设定下，该区域水体系统的鱼类年产量所提供的蛋白质总量，足以满足当前考古记录推测的人口需求。我们认为这种定居生活的形成可能与充足的而稳定的渔业资源供给密切相关。Yang 等（2024）对青藏高原玛布错遗址的研究中指出，水源稳定性与渔业资源的可持续利用，是支持高原早期人群逐步转向定居的关键生态因素。该类证据共同表明，在农业尚未主导的

区域，渔业资源可作为促进定居化进程的核心生计支撑^[6]。

新石器时代晚期，月亮泡地区出现了一个特殊的聚落演变模式，即在区域水资源和鱼产力仍优越的背景下，遗址数量显著减少，并呈现出向地势较高处集中的趋势。这一现象虽然在形式上与松辽平原北部因气候恶化而出现的区域性衰退相似^[31]，但本文进一步分析表明，月亮泡地区优越的环境，及并未下降的人口规模，决定了其背后的驱动力完全不同。考虑到嫩江流域历史上常有洪水泛滥，我们推测该时期聚落的整合与迁移很可能与洪水事件有关。这一推断也得到了区域古环境记录的有力支持。古水文记录显示，乌苏里江流域在此时段内洪水频发^[36]；更为直接的证据来自邻近的大布苏湖，其水生生物指标记录了在 5.0-4.5 cal ka BP，存在一个强降水和高湖水位的湿润期^[37]。因此，新石器时代晚期嫩江流域频发的洪水事件，很可能是促使当地人群采取了向高地聚集的避险策略。类似的响应模式在长江中下游等地的史前文化中也得到验证^[38]。

进入青铜时代，月亮泡地区的人地关系演变除受环境影响外，社会内部动力的重要性也日益凸显。一个显著的现象是，尽管区域水文和渔业资源呈下降趋势，聚落和人口规模反而显著增加。本文揭示了其背后的驱动机制，自青铜时代中期（约 3.3 cal ka BP）起，持续的人口增长使得区域渔业资源的承载压力日益凸显（图 5）。与此同时，考古证据显示，该时期遗址中出土的哺乳动物骨骼数量相较于新石器时代有所下降。这表明通过狩猎获取的蛋白质来源正在减少。面对这一挑战，人群并非被动地受环境制约，而是主动调整其生存策略。动物骨骼记录证实，自白金宝文化起，遗址中出现家养食草动物（牛、羊、马），表明家畜饲养在维持人口增长与推动聚落扩展方面发挥了关键作用，为人群提供了更稳定、持续的肉食来源^{[14][15]}。尽管如此，渔业资源依然是蛋白质的重要补充，本文估算结果显示，该时期月亮泡的渔业资源蛋白质供给仍可支持约 7000 人，可从遗址中仍出土一定数量的鱼骨和渔具中得到证实（图 4）。

与长江中下游地区最终走向以稻作农业和家猪饲养为特征的生业模式不同^[39]，嫩江流域的人地关系演化呈现出独特的模式。本文揭示，月亮泡地区的先民在面对人口压力时，选择了发展以饲养牛、羊为主的畜牧业，形成了渔捞、狩猎与动物饲养并举的复合型生业^[40]。尽管丰富的渔业资源可能是两个区域早期定居的共同基础，但后期的策略分化根植于区域生态环境的差异。嫩江流域地处湿地广布的温带草原区，为发展以牛、羊为主的畜牧业提供了广阔的空间；而长江中下游地区作为亚热带冲积平原，其水热条件则为稻作农业和与之相适应的家猪饲养创造有利条件。因此，本文清晰地揭示了史前社会面对发展压力时的多样化选择。

需要指出的是，本文基于气候驱动下重建的水文条件与渔业资源动态，并通过鱼产力估算其可支撑的潜在人口容量变化，为理解以渔猎经济为主的史前社会如何在环境波动背景下调整生存策略提供了定量依据。然而，本研究仍存在以下几方面有待深入探讨，以期未来进一步完善。首先，本文构建的水文条件与渔业资源模型目前均仅以降水为主要驱动力，其估算结果未来需要通过月亮泡沉积岩芯中的古生态指标（如总有机碳、浮游藻类、浮游和底栖动物等）进行直接验证，并进一步整合温度、植被等多重因素以提升精度。第二，依据鱼产力估算的人口容量侧重于自然条件下渔业资源的理论供潜力，未能充分考量史前时期渔具效率与捕捞组织等技术约束。第三，受限于现有动植物考古资料的完备性，本研究未能将通过狩猎、采集等方式获取的其他重要资源，纳入与渔业资源同等程度的量化分析中，以更全面地呈现多元生业体系下资源与人类活动之间的复杂关系。最后，采用的“面积-密度法”本身也存在固有挑战，其关键参数引自地理相近但文化背景不同的赤峰地区，可能存在偏差；且估算结果易受不同时期遗址信息保存状况差异的干扰（如辽金时期遗存保留较好），可能导致对晚期人口的高估。因此，本文的估算结果更应被理解作为一种相对的人口波动趋势和渔业资源承载力的理论上限，而非精确的史前人口绝对值。未来研究可通过建立区域专属参数、引入墓葬等考古数据，并结合沉积记录中的粪生真菌孢子、孢粉以及粪甾醇化合物等多重指标进行交叉验证，以期获得更精确的人口估算结果。

5 结论

嫩江流域水网密布，拥有丰富的水资源和动植物资源，为史前人类生存提供了良好的生存环境。水文条件和渔业资源对该地区先民的聚落发展、生业模式及社会稳定起到了重要作用。本文通过 TraCE-21k 模型和大水面增养殖容量计算方法，定量重建了月亮泡全新世以来的水文条件和渔业资

源变化, 并系统分析了这些变化对不同时期先民生存的影响。主要结论如下:

(1) 全新世以来, 月亮泡地区水文环境经历了明显波动, 水位与鱼产力整体呈先升后降趋势。YD 事件期间 (13.0~12.0 cal ka BP) 气候干旱、资源贫乏; 9.0~7.0 cal ka BP 期间, 降水显著增加, 湖泊水位上升, 渔业资源达到顶峰, 为区域提供了优越的生态承载力。而在 5.0 cal ka BP 之后, 随着气候转干, 水域萎缩、鱼产力下降, 资源支撑能力趋于弱化。

(2) 史前人类的聚落分布与水源可获得性、地形起伏和水文变化密切相关。月亮泡地区遗址分布呈现的南北差异, 反映了先民在聚落选址上, 依据地势高低和水文条件, 采取了临水而居与规避洪涝灾害并行的适应性策略。

(3) 水文环境变化显著影响了人类的生存策略。新石器时代早中期 (13-5.5 cal ka BP), 水资源与渔业资源的增加促进了聚落发展和人口增长, 推动了早期定居生活的形成; 到新石器时代晚期, 频繁的洪涝灾害导致聚落整体衰落, 仅少数位于高地的遗址得以延续。青铜时代起, 尽管渔业资源在生业模式中的地位有所下降, 但仍作为重要的蛋白质来源持续发挥着补充作用。

综上, 水文环境变化通过调节资源禀赋与风险水平, 深刻影响了人群的选址模式与生存策略。面对动态变化的水文条件, 先民持续调整其适应方式, 展现出聚落系统对环境变化的高度响应能力。本文的定量分析为识别水文条件如何具体影响聚落分布与生业策略演变提供了数据支持和方法路径。

6 参考文献

- [1] Xia ZK, Deng H, Wu HL. Geomorphologic Background of the Prehistoric Cultural Evolution in the Xar Moron River Basin, Inner Mongolia. *Journal of Geographical Sciences*, 2000, (3): 329-336. DOI: 10.3321/j.issn:0375-5444.2000.03.009. [夏正楷, 邓辉, 武弘麟. 内蒙西拉木伦河流域考古文化演变的地貌背景分析. *地理学报*, 2000, (3): 329-336.]
- [2] Zhang J, Zhang X, Xia Z, et al. Geomorphic changes along the Yiluo River influenced the emergence of the first urban center at the Erlitou Site, Central Plains of China. *Quaternary International*, 2019, 521: 90-103. DOI: 10.1016/j.quaint.2019.06.038.
- [3] Wu Y, Wang, C, Zhang, Z, et al. Subsistence, Environment, and Society in the Taihu Lake Area during the Neolithic Era from a Dietary Perspective. *Land*, 2022, 11(8): 1229. DOI: 10.3390/land11081229.
- [4] He K, Lu H, Sun G, et al. Multi-proxy evidence of environmental change related to collapse of the Liangzhu Culture in the Yangtze Delta, China. *Science China Earth Sciences*, 2021, 64(6): 890-905, <https://doi.org/10.1007/s11430-020-9767-5>. [贺可洋, 吕厚远, 孙国平, 等, 2021, 长江三角洲良渚文化衰亡的多指标环境证据. *中国科学: 地球科学*, 51(07): 1107-1122.]
- [5] Qiu Y, Shu P, Ao H, et al. New radiocarbon dates and the prehistoric human occupation at the Lake Qinghai Basin, northeast Tibetan Plateau. *Quaternary International*, 2023, 655: 27-36. DOI: 10.1016/j.quaint.2023.02.003.
- [6] Yang X, Gao Y, Wangdue S, et al. Lake-centred sedentary lifestyle of early Tibetan Plateau Indigenous populations at high elevation 4,400 years ago. *Nature Ecology & Evolution*, 2024, 8(12): 2297-2308. DOI: 10.1038/s41559-024-02539-w.
- [7] Wang LX. Studies on the remains of the Neolithic age in Houtaomuga site and relevant issues. *Acta Archaeologica Sinica*, 2018, (02): 141-164. [王立新. 后套木嘎新石器时代遗存及相关问题研究. *考古学报*, 2018, (02): 141-164.]
- [8] Zhao BF. Research on the Genealogical Structure of Archaeological Culture of the Bronze Age in the Northeast China. *Research of China's Frontier Archaeology*, 2012, 12(02): 127-147. [赵宾福. 东北青铜时代考古学文化谱系格局的研究. *边疆考古研究*, 2012, 12 (2): 127-147.]
- [9] 刘晓溪. 嫩江流域新石器至早期铁器时代聚落考古研究[学位论文]. 长春: 吉林大学, 2020.
- [10] Wang LX, Huo DF, Fang Q. Major Discoveries from the Excavation of the Houtaomuga Site in Da'an, Jilin. *Research of China's Frontier Archaeology*, 2017, (01):321-333. [王立新, 霍东峰, 方启. 吉林大安后套木嘎遗址发掘的主要收获. *边疆考古研究*, 2017,(1):321-333.]

- [11] Xu YJ. From the Bone Fishing and Hunting Tools of Ang'angxi to the Subsistence Patterns of Prehistoric Inhabitants in the Nen River Basin. *Popular Archaeology*, 2017, (01): 57-62. [许永杰. 从昂昂溪骨制渔猎工具说起嫩江流域史前先民的生计模式. *大众考古*, 2017, (1): 57-62.]
- [12] Zhao BF. A Study into the Mode of Subsistence in the Neolithic Nenjiang River Valley. *Archaeology*, 2007, (11): 55-61+2. [赵宾福. 嫩江流域新石器时代生业方式研究. *考古*, 2007, (11): 55-61+2.]
- [13] Sun YG, Zhao ZJ, Zhang W, et al. A New Understanding of the Prehistoric Agricultural Model in the Nenjiang River Basin: Taking the Analysis of the Plant Remains in 2019 at the Honghe Site in Heilongjiang Province as an Example. *Agricultural History of China*, 2023, 42(03): 42-49+100. [孙永刚, 赵志军, 张伟等. 嫩江流域史前农业模式的新认识——以黑龙江洪河遗址 2019 年度出土植物遗存为例. *中国农史*, 2023, 42(3): 42-49+100.]
- [14] Liang Q, Chen Q, Zhang N, et al. Subsistence strategies in the Late Neolithic and Bronze Age in Nenjiang River Basin: A zooarchaeological and stable isotope analysis of faunal remains at Honghe site, Northeast China. *International Journal of Osteoarchaeology*, 2023, 33: 271-284. DOI: 10.1002/oa.3212.
- [15] 吉林省文物考古研究所, 吉林大学边疆考古研究中心, 吉林大学考古学院. 大安汉书——青铜时代遗址考古发掘报告. 北京: 科学出版社, 2018.
- [16] Ma JP. The formation and evolution of the Daan Paleochannel on the right bank of the lower Nenjiang River. *Scientia Geographica Sinica*, 1994, (02):194-196. [马建平. 嫩江下游右岸大安古河道的形成与演化. *地理科学*, 1994, (2):194-196.]
- [17] Leng CC, Tang ZW, Zhang W, et al. Research of environmental archaeology (preliminary) in Nenjiang River Basin since Neolithic age. *Quaternary Sciences*, 2019, 39(1): 48-58. Doi: 10.11928/j.issn.1001-7410.2019.01.05. [冷程程, 汤卓炜, 张伟, 等. 嫩江流域新石器时代以来的环境考古(初步)研究. *第四纪研究*, 2019, 39(1): 48-58.]
- [18] 吉林大学边疆考古研究中心、吉林省文物考古研究所. 环月亮泡地区区域性系统考古调查报告. 北京: 科学出版社, 2023.
- [19] Karger DN, Nobis NP, Normand S, et al., CHELSA-TraCE21k: Downscaled transient temperature and precipitation data since the last glacial maximum. *Climate of the past*, 2021, 19, 439-456. <https://doi.org/10.16904/ensdat.211>.
- [20] 中华人民共和国农业农村部. 大水面增殖容量计算方法: SC/T1149-2020. 北京: 中国农业出版社, 2020.
- [21] Yin W, Yu HJ, Qiu RS, et al. Food and nutrition security in China from the perspective of land-ocean coordination. *Resources Science*, 2022, 44(4): 674-686. DOI: 10.18402/resci.2022.04.03. [殷伟, 于会娟, 仇荣山, 等. 陆海统筹视角下的中国食物与营养安全. *资源科学*, 2022, 44(4): 674-686.]
- [22] 杨月欣. 中国食物成分表: 标准版(第 6 版). 北京: 北京大学医学出版社, 2018.
- [23] Ortman S, Cooper Z. Artifact density and population density in settlement pattern research. *Journal of Archaeological Science: Reports*, 2021, 39, 103189. <https://doi.org/10.1016/j.jasrep.2021.103189>.
- [24] Tang ZW, Wang LX, Duan TJ, et al. Animal remains and their environments from the Neolithic Shuangta site in Baicheng, Jilin. *Acta Anthropologica Sinica*, 2017, 36 (04): 537-552. DOI: 10.16359/j.cnki.cn11-1963/q.2017.0024. [汤卓炜, 王立新, 段天璟, 等. 吉林白城双塔新石器时代遗址的动物遗存及其环境. *人类学学报*, 2017, 36 (04): 537-552.]
- [25] 张哲. 后套木嘎遗址(2011-2012)新石器时代动物遗存研究[学位论文]. 长春: 吉林大学, 2020.
- [26] 王雪颖. 后套木嘎遗址 2013 年出土动物骨骼及相关问题研究[学位论文]. 长春: 吉林大学, 2020.
- [27] Wu J, Liu Q. Pollen-Recorded Vegetation and Climate Changes from Moon Lake since Late Glacial. *Earth Science*, 2012, 37(5): 947-954. DOI: 10.3799/dqkx.2012.103. [伍婧, 刘强. 晚冰期以来月亮湖孢粉记录反映的古植被与古气候演化. *地球科学(中国地质大学学报)*, 2012, 37(5): 947-954.]
- [28] Stebich M, Rehfeld K, Schlütz F, et al. Holocene vegetation and climate dynamics of NE China based on the pollen record from Sihailongwan Maar Lake. *Quaternary Science Reviews*, 2015, 124, 275-289. DOI: 10.1016/j.quascirev.2015.07.021
- [29] Sun W, Zhang E, Liu E, et al. Hydroclimate changes since the last glacial maximum from sedimentary biomarkers in a crater lake in the Great Khingan Mountains, Northeast China. *Quaternary Science Reviews*, 2023, 312, 108175. DOI: 10.1016/j.quascirev.2023.108175.

- [30] Wen, R., Xiao, J., Fan, J., et al. Pollen evidence for a mid-Holocene East Asian summer monsoon maximum in northern China. *Quaternary Science Reviews*, 2017, 176, 29-35. DOI: 10.1016/j.quascirev.2017.10.008.
- [31] 王江永. 松辽平原全新世人类生存环境演变及其对史前人类活动的影响[学位论文]. 长春: 东北师范大学 2022.
- [32] Wang Y, Cheng H, Edwards RL, et al. The holocene Asian monsoon: Links to solar changes and North Atlantic climate. *Science*, 2005, 308, 854–857. <https://doi.org/10.1126/science.1106296>.
- [33] 刘孝艳. 五大连池火山口湖花粉记录的末次冰期以来的植被及气候变化[学位论文]. 安徽: 中国科学技术大学, 2021.
- [34] 牛洪昊. 中晚全新世松嫩草原植被空间演变及其对气候变化的响应[学位论文]. 长春: 东北师范大学, 2023.
- [35] Zhao BF. A Study into the Mode of Subsistence in the Neolithic Nenjiang River Valley. *Archaeology*, 2007, (11):55-61+2. [赵宾福. 嫩江流域新石器时代生业方式研究. *考古*, 2007, (11): 55-61+2.]
- [36] Zhang Z, Li L, Yin R, et al. Holocene climatic controls on flooding regime along the Ussuri River in Northeast Asia. *Science of the Total Environment*, 2023, 887, 164007. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.164007>.
- [37] Sawada K, Ono M, Nakamura H, et al. Reconstruction of Holocene Optimum paleoclimatic variations using long-chain n-alkanes and alkenones in sediments from Dabusu Lake, northeastern China. *Quaternary International*, 2020, 550, 27-38. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2020.03.011>.
- [38] Zhang ZX, Zhang ZP, Xu J, et al. A review of paleofloods in the middle-lower reaches of the Yangtze River during the Holocene: Processes, causes and effects. *Quaternary Science Reviews*, 2024, 345, 109019. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2024.109019>.
- [39] Yuan J, Pan Y, Dong NN. The Rise and Fall of the Liangzhu Society in the Perspective of Subsistence Economy. *Archaeology*, 2020, (02): 83-92. [袁靖, 潘艳, 董宁宁, 等. 良渚文化的生业经济与社会兴衰. *考古*, 2020, (02): 83-92.]
- [40] Chen QJ, Wang FG, Wang CX. A Study of the Bronze Age Survival Mode in the Nenjiang River Valley. *Huaxia Archaeology*, 2011, (2): 46-53. DOI: CNKI:SUN: HXKG.0.2011-02-006. [陈全家, 王法岗, 王春雪. 嫩江流域青铜时代生业方式研究. *华夏考古*, 2011, (2): 46-53.]