科学通报 2026 年 第 71 卷 第 26 期: 6286 ~ 6303
论 文
《中国科学》杂志社
SCIENCE CHINA PRESS

2座战国楚墓出土植物包的考古: 出土的最早粽子遗存及祭祀屈原的源流

彭华胜[1,2†], 蓝万里[3†], 冯晓婷[4,5†], 刘心雨[1,2†], 武志江[3], 尹旻臻[1,2], 杨梦园[1,2], 汪如冰[1,2], 金和天[6], 张治国[7*], 黄璐琦[1,2*]

1. 中国中医科学院中药资源中心, 道地药材品质保障与资源持续利用全国重点实验室, 北京 100700
2. 中医药文物研究国家文物局重点科研基地(中国中医科学院中药研究所), 北京 100700
3. 河南省文物考古研究院, 郑州 450099
4. 湖南省中医药研究院, 中药资源研究所, 长沙 410013
5. 湖南省中医药研究院附属医院, 长沙 410006
6. 北京市考古研究院, 北京 100078
7. 国家文物局考古研究中心, 北京 100013

† 同等贡献

* 联系人, E-mail: zzgwys@126.com; huangluqi01@126.com

2026-04-20 收稿, 2026-06-03 修回, 2026-06-14 接受, 2026-06-15 网络版发表
国家重点研发计划(2022YFC3500900)、国家中医药管理局中医药创新团队、人才支持计划(ZYYCXTD-C-202409)、中国中医科学院科技创新工程(CI2023E002)、名贵中药资源可持续利用能力建设项目(2060302)和中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金(ZZXT202403)资助

摘要 端午食粽是中国传统节日端午节最具代表性的传统习俗之一. 民间传说认为该习俗形成于祭祀屈原. 长期以来, 中国粽子用于祭祀的历史及其与屈原的关系主要依据传世文献, 未曾获得出土的实物史料证据. 河南省信阳市城阳城址八号墓和安徽省淮南市武王墩一号墓均出土了植物包. 通过古DNA分析, 鉴定2座战国楚墓出土植物包的包裹叶片来源于壳斗科栎属(*Quercus*)栎亚属白栎组(sect. *Quercus*)植物的叶片, 结合叶片边缘缺刻特征推断包裹叶片来源于槲树(*Quercus dentata* Thunb.)的叶片; 通过形态学、淀粉粒以及有机残留分析, 发现信阳市城阳城址八号墓植物包内容物主要含有果壳的稻(*Oryza sativa* L.)和黍(*Panicum miliaceum* L.), 是迄今发现最早的类粽子遗存. 淮南市武王墩一号墓植物包内容物主要为粟类(粟(*Setaria italica* (L.) P. Beauv.)或黍(*Panicum miliaceum* L.)并伴有动物源性成分, 与现今河南鲁山等地的槲叶粽完全一致. 因此, 淮南市武王墩一号墓出土植物包是迄今发现最早的粽子遗存. 槲叶、菰叶、箬竹叶等3种常见粽子包裹叶的抑菌实验表明, 槲叶多酚含量(49.81 mg/g)显著高于菰叶(3.56 mg/g)和箬竹叶(2.37 mg/g), 且在抑菌实验中表现出更广谱、更显著的抑制效果, 表明槲叶在抑制细菌生长、延长食品可食期方面有明显优势. 战国时期的“槲叶裹粮”, 表明先民已经将植物叶片应用于食品加工与储存过程中. 至少在屈原幼年时期, 楚国已将类粽子用于高等级墓葬祭祀. 粽子纪念屈原传说的历史可以追溯至南北朝, 唐宋时期端午食粽发展为全国性习俗. 本文报道了战国楚墓出土的最早类粽子及粽子遗存, 揭示了中国粽子的古代源流, 为端午食粽习俗形成提供了考古学依据.

关键词 信阳市城阳城址八号墓, 淮南市武王墩一号墓, 粽子, 古DNA

引用格式: 彭华胜, 蓝万里, 冯晓婷, 等. 2座战国楚墓出土植物包的考古: 出土的最早粽子遗存及祭祀屈原的源流. 科学通报, 2026, 71: 6286–6303
Peng H, Lan W, Feng X, et al. Plant bundles unearthed from two Warring States-period Chu tombs: the earliest excavated remains of *zongzi* and the origins of the Qu Yuan sacrificial tradition (in Chinese). Chin Sci Bull, 2026, 71: 6286–6303, doi: 10.1360/CSB-2026-0542

© 2026《中国科学》杂志社

端午节是中国重要的传统节日之一. 食粽, 悬艾, 龙舟竞渡, 是端午节最具代表性的三大传统习俗, 承载着纪念先贤、祈福辟邪、团结奋进的深厚文化内涵. 这几项习俗均与祭祀屈原的传说融合. 南宋朱熹在《朱子语类·卷九十·礼七》[1]中论及“俗祭”时曾反问: “於端午能不食粽乎? 重阳能不饮茱萸酒乎? 不祭而自享, 於汝安乎?” 强调了民间节俗与祭祀礼仪之间关系.

近年来, 一些学者研究了我国端午节的源流考证, 认为端午节并非因于屈原[2]. 端午食粽, 认为有六种说法: 夏至食粽, 祭屈原, 祭祖, 祭天神, 对龙的崇拜, 祭鬼[3]. 迄今为止, 关于粽子的源流主要依据传世文献进行讨论, 未涉及出土实物史料.

1988年, 江西德安县南宋太平州通判吴畴妻周氏墓出土两个棱形粽子[4]. 2015年, 河南信阳市城阳城址八号墓出土了植物包, 可能为我国传统食物粽子的早期形式[5]. 2024年, 安徽淮南市武王墩一号墓也出土了植物包. 不同时期的类粽子或粽子遗存为研究我国粽子源流提供了有力实证. 本文对河南信阳市城阳城址八号墓与安徽淮南市武王墩一号墓出土的植物包进行研究, 对其包裹叶片及其内容物进行鉴定分析, 并对多种包裹叶片进行抗菌比较实验, 为深入了解我国粽子的源流与应用历史提供依据.

1 材料与方法

1.1 样品收集

城阳城址八号墓位于河南省信阳市北25公里处的城阳城遗址西南岗墓葬区, 墓葬编号为M8. 墓葬历史上曾被盗, 但得益于地下水位较高, 墓室整体被地下水浸泡, 形成了特殊的缺氧环境, 使得漆木器、植物遗存等有机质文物得以保存下来. 前室和南、北侧室被盗严重, 主室和后室保存完好. 综合南侧室出土木炭测年结果与出土器物形态, M8的年代基本可推定为战国中期晚段, 相当于楚威王(公元前339年~公元前329年)前期或稍早[6]. 其中在南后室发现有陶方壶、圆壶、鉴等仿铜陶礼器, 表面多施彩绘. 在未被盗扰的中后室内, 共发现40个较完整的植物包, 其余破损散落的难以估计其数量. 植物包与陶鬲、陶罐、一件雕刻木案等器物共同存放, 包裹多置于木案之上及椁室底部. 破损散落的植物包均位于椁室底部, 推测破损的原因可能是在地下水浸泡过程中, 捆扎的绳索降解断裂导致的包裹崩散. 从形态、大小及捆扎方式观察, 这些植物包有很强的一致性. 本文样品采集自椁室底的破损散落植物包(图1(a, b)).

武王墩一号墓(M1)位于安徽省淮南市三和镇, 墓主人为楚考烈王熊元(公元前263年~公元前238年在位). 综合相关样品碳十四测年结果、出土器物形制以及文字信息等, 推断武王墩一号墓的年代为战国晚期[7]. 该墓地是经科学发掘的迄今规模最大、等级最高、结构最复杂的大型楚国高等级墓葬. 木椁室是首见结构完整的九室多重棺椁, 武王墩一号墓遭受2次严重盗扰, 盗扰主要集中在北室、南室、中室及部分东Ⅱ室、西Ⅱ室, 东侧室发现了200多个植物包[7]. 本文样品取自东Ⅰ室出土的其中一个较完整植物包(图1(c, d)).

1.2 古DNA分析

古DNA提取、建库及测序. DNA提取方法主要基于改良的CTAB法[8]. 为避免现代分子污染, DNA提取均在中国中医科学院中药资源中心的本草考古分子实验室完成. 参考Meyer和Kircher[9]的方法完成双链文库构建. 测序文库通过Illumina Hiseq平台, 使用PE150策略进行鸟枪法测序(shotgun sequencing). 实验过程中设置提取空白及建库空白对照.

古DNA数据比对与真实性分析. 原始测序数据使用AdapterRemoval (v2.3.4)进行去除接头序列并过滤掉低于30 bp的短片段, 合并重叠的双端测序读段[10]. 使用BWA (v0.7.18)[11]中的“aln”和“samse”将reads与槲栎(*Quercus aliena* Blume, NC_026790)叶绿体参考序列比对, 参数设为-l 1000, -n 0.01. 使用Picard(v2.20.5)的MarkDuplicates工具为降低古DNA末端胞嘧啶脱氨造成的偏倚(https://broadinstitute.github.io/picard/). 通过BamUtil (v1.0.15)的trimBam模块对去重复后的BAM文件中各条read的两端修剪5 bp[12] . 用Samtools (v1.6)[13]去除未比对的reads, 并过滤小于30 bp的reads, 最终用bcftools (v1.13)[13]生成古样品的叶绿体共识序列. 使用mapDamage (v 2.2.3)[14]对古DNA序列进行损伤模式分析, 并统计DNA片段长度分布以及5′端C-T和3′端G-A替换频率.

叶绿体系统发育树构建. 将重建的古样品叶绿体共识序列与现生栎属物种的叶绿体全基因组[15](表S1)使用MAFFT(v7.520)[16]进行多序列比对, 并利用AliFilter(v1.0.1)[17]对比对序列进行修剪. 以光叶水青冈(*Fagus lucida* Rehder & E. H. Wilson)、米心水青冈



图 1 2座战国楚墓位置及出土植物包所在墓室. (a) 信阳市城阳城址八号墓墓葬全貌; (b) 信阳市城阳城址八号墓中后室出土植物包; (c) 淮南市武王墩一号墓木椁室布局; (d) 淮南市武王墩一号墓东Ⅰ室出土遗物

Figure 1 Locations of two Warring States-period Chu tombs and the chambers where the excavated plant bundles were found. (a) General view of Tomb M8 at the Chengyangcheng Site in Xinyang City; (b) plant bundles unearthed from the middle-rear chamber of Tomb M8 at the Chengyangcheng Site in Xinyang City; (c) layout of the wooden outer coffin chamber of Wuwangdun Tomb No. 1 in Huainan City; (d) artifacts unearthed from East Chamber I of Wuwangdun Tomb No. 1

(*Fagus engleriana* Seem.)和三棱栎(*Trigonobalanus doichangensis* (A. Camus) Forman)作为外类群. 使用IQ-TREE(v2.3.6)[18]基于最大似然法(maximum likelihood, ML)构建系统发育树, 采用ModelFinder根据贝叶斯信息准则筛选最佳核苷酸替换模型, 最优模型为TVM+F+R3节点支持率采用1000次ultrafast bootstrap和1000次SH-aLRT检验进行评估. 最终在iTOL平台[19]完成系统发育树的可视化.

1.3 显微CT成像观察

使用岛津(Shimadzu) inspeXio SMX-225CT FPD HR Plus微焦点X射线CT系统(Shimadzu Corporation, 日本)对淮南市武王墩一号墓出土植物包的包裹叶片进行分析. 设备配备225 kV微焦点X射线源和16 inch高分辨率平板探测器(约1400万像素, 16位灰度级). 实验中采用锥束X射线成像模式获取样品的二维灰度分布图像, 数据采集时间设置为10 s至60 min. 扫描过程中, 样品置于专用塑料容器中固定.

1.4 淀粉粒显微观察

对信阳市城阳城址八号墓和淮南市武王墩一号墓出土植物包内容物进行淀粉粒提取与分析, 识别内容

物中淀粉粒的种类. 向样品中加入适量25%的甘油做制片剂, 轻轻震荡直至样品均匀分散后制片. 中性树胶对淀粉粒制片封片. 在配置有偏振光装置的OPLENIC D2000显微镜(杭州欧普林光电设备有限公司, 中国)下观察, 对样品中的淀粉粒进行观察、拍照和测量. 与现代淀粉粒形态数据库和图谱比对, 推断提取出的淀粉粒种类. 实验过程中所用一次性耗材均经过煮沸及超声清洗. 为了判断样品在淀粉粒提取过程是否存在实验室污染, 同时准备一只空白离心管, 加入未加任何样品的25%的甘油, 与装有考古样品的离心管同步开展淀粉粒的提取实验, 制片观察是否存在淀粉粒.

1.5 热裂解分析

(1) 仪器与材料. 冷冻干燥机(CHRIST, 德国), EGA/PY-3030D热裂解仪(Frontier Lab, 日本), 配有GCMS-QP2020 NX(岛津, 日本), ECO-CUP (Frontier Lab, 日本), 移液枪(Eppendorf, 德国), 石英棉(Frontier Lab).

(2) 试剂. 四甲基氢氧化铵(TMAH)衍生化试剂(CAS No.: 75-59-2, 批号: D2522205), 购自北京倍特仁康生物医药科技有限公司(中国).

(3) 样品处理. 分别取约0.5 mg冷冻干燥的信阳市城阳城址八号墓、淮南市武王墩一号墓出土的植物包内容物并转移至裂解杯, 用5 μL 25%(w/w)四甲基氢氧化铵(TMAH)溶液衍生化, 覆盖一层石英棉, 直接送入热裂解仪, 样品衍生化反应可在裂解反应进行的同时完成.

(4) 热裂解条件. 热解温度设定为600℃, 持续0.2 min, 进样口温度300℃.

(5) 色谱-质谱条件. 色谱柱为SH-Rxi-5Sil MS, 30 m×0.25 mm×0.25 μm; 初始温度40℃, 保持3 min, 以10℃/min升至320℃, 保持5 min; 分流比20:1; 载气: 氦气, 柱流量为1.5 mL/min; 接口温度320℃; 离子源温度200℃; 采集质量范围: *m/z* 29~600 Da.

1.6 3种常见粽子包裹叶的抑菌比较实验

超声波辅助提取3种粽子包裹叶的多酚类化合物. 分别采集3种常见粽子包裹叶: 槲叶来源于壳斗科植物槲树(*Quercus dentata* Thunb.)的叶、菰叶来源于禾本科植物菰(*Zizania latifolia* (Grisebach) Turczaninow ex Stapf)的叶、箬竹叶来源于禾本科植物箬竹(*Indocalamus tessellatus* (Munro) P. C. Keng)的叶. 上述植物均经张水寒研究员鉴定. 精确称取槲叶、菰叶、箬竹叶粉末各20.00 g, 加入45%乙醇水溶液, 充分混匀后静置浸提1 h. 随后在设定的提取温度、提取时间、超声功率、脉冲间歇比及料液比条件下进行超声波辅助提取. 提取结束后, 于5000 r/min条件下离心20 min, 重复提取1次, 合并上清液. 将合并提取液于55℃条件下减压旋转蒸发浓缩, 随后进行冷冻干燥, 获得不同粽子包裹叶多酚粗提物.

3种常见粽子包裹叶的多酚含量测定. 采用福林-酚(Folin–Ciocalteu)比色法测定总多酚含量[20]将没食子酸标准品用超纯水(超声助溶)配制成0.2 g/L标准储备液. 分别精密吸取0.2、0.4、0.5、0.6、0.7、0.8、0.9和1.0 mL标准液于比色管中, 加入超纯水6 mL及福林酚试剂0.5 mL, 混匀后静置30 s; 再加入20%碳酸钠溶液1.5 mL, 定容至10 mL, 充分混匀后于室温避光反应60 min. 在765 nm处测定吸光度, 绘制没食子酸标准曲线. 将槲叶、菰叶、箬竹叶多酚提取物用DMSO分别配制成2.0 g/L母液, 稀释至不同浓度的待测溶液, 按上述步骤测定吸光度值. 根据标准曲线计算样品总多酚含量, 结果以没食子酸当量(mg GAE/g干物质)表示.

1.7 3种常见粽子包裹叶的多酚提取物抑菌效果研究

3种常见粽子包裹叶的多酚提取物抑菌效果研究. 菌种活化和菌悬液制备. 将食源性腐败菌大肠杆菌、枯草芽孢杆菌接种于LB液体培养基中, 将食源性致病菌单增李斯特菌和金黄色葡萄球菌接种于TSB液体培养基中, 于37℃振荡培养20 h. 将培养液梯度稀释后涂布于相应固体培养基平板, 在37℃培养箱中培养并连续传代2次. 选取生长状态良好的单菌落接种于液体培养基中培养, 制备菌悬液备用[21,22].

抑菌活性测定. 采用琼脂扩散法(打孔法)评价抑菌活性. 将菌悬液稀释至约10^6 CFU/mL, 取100 μL均匀涂布于LB或TSB固体平板表面, 于4℃静置4 h以促进菌液吸附. 使用无菌打孔器在平板上打孔, 向孔内加入50 μL槲叶、菰叶、箬竹叶多酚提取物(以DMSO为溶剂). 以DMSO为空白对照. 将平板于4℃静置扩散4 h后, 转移至37℃培养16 h. 培养结束后, 使用游标卡尺测量抑菌圈直径, 以评估其抑菌能力[23].

最小抑菌浓度测定. 采用肉汤微量稀释法测定最小抑菌浓度(minimum inhibitory concentration, MIC)[24].

将金黄色葡萄球菌菌悬液稀释至约1×10^6 CFU/mL, 取200 μL加入无菌96孔板中. 通过二倍梯度稀释法使槲叶多酚提取物终浓度分别为2、1、0.5、0.25和0.125 mg/mL. 设空白对照和溶剂对照. 将96孔板置于37℃培养箱中培养18 h, 以肉眼观察孔内是否出现明显菌体生长(浑浊或沉淀), 无可见生长的最低浓度定义为MIC.

时间持久性杀伤测定. 采用改良的时间杀菌法(time–kill assay)评价槲叶多酚提取物对金黄色葡萄球菌的杀菌效果[22]将金黄色葡萄球菌菌悬液稀释至约1×10^6 CFU/mL, 分别加入不同浓度的槲叶多酚提取物, 使其终浓度为2×MIC、1×MIC、1/2×MIC和1/4×MIC, 以不添加提取物的菌液作为对照组. 将各处理组置于37℃恒温振荡培养(约150 r/min)条件下培养. 培养16 h后取样100 μL, 进行10倍梯度稀释(10^{-2}~10^{-7}). 每个稀释梯度取5 μL点样于TSB固体培养基表面. 平板于37℃培养24 h后, 观察存活菌数(CFU/mL).

2 结果

2.1 出土植物包的包裹叶片鉴定

2.1.1 出土植物包的包裹叶片古DNA分析

本研究共获得290.97 M的原始reads. 经去接头和数据过滤, 信阳市城阳城址八号墓2份样本及淮南市武王墩一号墓1份样本分别获得约14.75 M、12.66 M和91.35 M的clean data可以与参考的质体基因组进行比对. 以槲栎(*Q. aliena*)叶绿体基因组为参考, 对2座战国墓葬出土的植物包的包裹叶片过滤后的clean data进行比对和组装, 获得了叶绿体共识序列. 信阳市城阳城址八号墓2份样本及淮南市武王墩一号墓1份样本在参考叶绿体基因组上的平均测序深度分别为0.28×、0.28×和15.29×. 信阳市城阳城址八号墓出土植物包的包裹叶片古DNA比对片段平均长度分别为42.55 bp和42.97 bp(图S1, S2); 淮南市武王墩一号墓出土植物包的包裹叶片古DNA比对片段平均长度为39.53 bp(图S3). 在测序读段末端观察到5′端C→T替换与3′端G→A替换频率的显著升高(图S4~S6). 上述古样品DNA的片段化特征与末端碱基错配累积模式符合古DNA的典型特征.

结合现代壳斗科栎属(*Quercus*)叶绿体全基因组数据集, 构建最大似然(ML)系统发育树(图2). 结果显示, 所得树的拓扑结构与已有研究基于叶绿体基因组数据推断的中国栎属系统发育关系基本一致[15], 且主要分支均获得较高的支持率(bootstrap values, BS≥95%), 表明本研究所得系统发育关系具有较高可靠性. 2座战国墓葬出土植物包的包裹叶片均与栎亚属(subg. *Quercus*)白栎组(sect. *Quercus*)物种聚为一支, 并获得较高支持率(BS>90%).

进一步观察发现, 在分子系统树上, 2座战国墓葬出土植物包的包裹叶片与云南波罗栎(*Q. yunnanensis* Franch.)、白栎(*Q. fabri* Hance)等聚为一小支. 然而, 仅凭这一拓扑结构尚不足以对古样本作出准确的物种水平鉴定. 栎属(*Quercus*), 尤其是白栎组(sect. *Quercus*)植物在演化过程中存在频繁的种间杂交、基因渐渗[25~27]、不完全谱系分选[15]以及网状演化[28]等现象, 导致该组内近缘物种的界限通常较为模糊[29]. 尽管叶绿体全基因组在栎属系统发育研究分析时相较于DNA分子条形码具有较高分辨率[15], 但栎属广泛存在核质冲突以及叶绿体捕获等现象, 提示叶绿体系统发育树在推断该属物种真实系统发育关系时仍具有局限性[30]. 因此, 综合考量单一叶绿体基因组的局限性及白栎组复杂的演化背景, 单凭现有的分子系统发育证据, 仅能将2座战国墓葬出土的植物包的包裹叶片鉴定为壳斗科栎属白栎组植物.

2.1.2 出土植物包的包裹叶片的形态学特征

东亚地区分布7种白栎组植物[31]. 信阳市城阳城址八号墓地处大别山区, 该地区的白栎组植物有槲栎(*Q. aliena*)、槲树(*Q. dentata*)、白栎(*Q. fabri*)、枹栎(*Q. serrata*)与云南波罗栎(*Q. yunnanensis*); 淮南市武王墩一号墓位于安徽省淮南市, 安徽省白栎组植物有槲栎(*Q. aliena*)、槲树(*Q. dentata*)、白栎(*Q. fabri*)与枹栎(*Q. serrata*)[32~34]. 它们在叶缘形态上呈现一定的区别: 枹栎*Q. serrata*叶缘有粗锯齿, 齿端呈腺体状; 白栎(*Q. fabri*)叶缘波状缺刻较浅, 不呈指形; 槲栎(*Q. aliena*)、槲树(*Q. dentata*)与云南波罗栎(*Q. yunnanensis*)叶缘波状齿缺刻较深, 近指形, 叶长常可达20 cm以上. 信阳市城阳城址八号墓和淮南市武王墩一号墓出土包裹树叶的叶缘均具明显的近指状的波状缺刻结构, 可以排除枹栎(*Q. serrata*)和白栎(*Q. fabri*), 进一步将出土植物叶片的叶缘缺刻与槲栎(*Q. aliena*)、槲树(*Q. dentata*)与云南波罗栎(*Q. yunnanensis*)叶缘进行比较, 发现与槲树(*Q. dentata*)叶缘特征一致(图3). 此外, 2座楚墓出土的包裹树叶的叶背均未观察到柔毛, 推测叶片在包裹前可能经历了加工处理. 值得注意的是, 在今

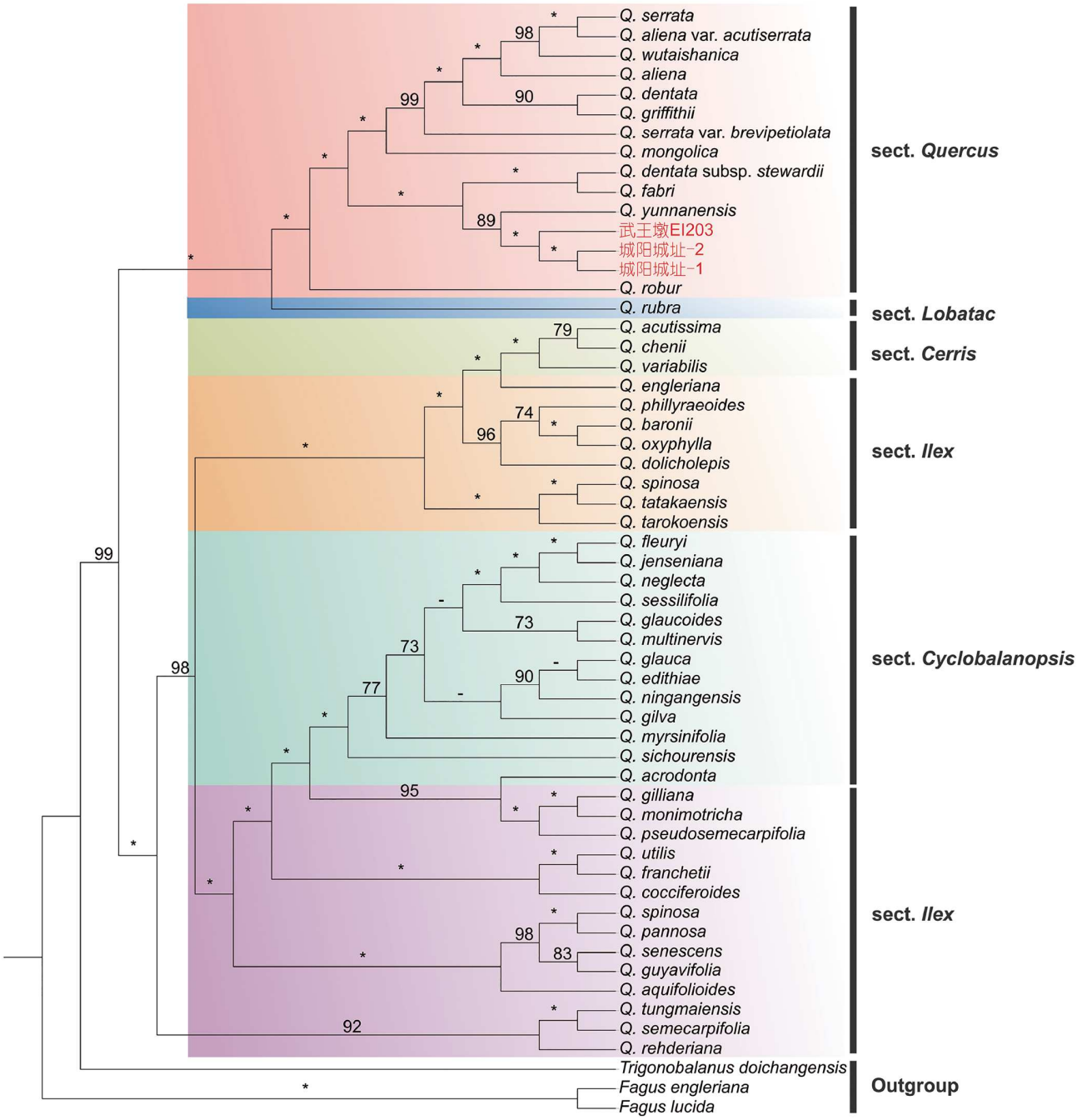


图 2 基于叶绿体全基因组序列构建的2座战国墓葬出土植物包的包裹叶片与现生栎属物种的系统发育树. 节点旁数字表示bootstrap支持率(BS), "–"表示BS < 70%, "*"表示BS = 100%

Figure 2 Phylogenetic tree of the wrapping leaves from plant bundles unearthed from two Warring States-period tombs and extant *Quercus* species, reconstructed based on complete chloroplast genome sequences. Numbers at the nodes indicate bootstrap values (BS); "–" indicates BS < 70%, and "*" indicates BS = 100%

河南伏牛山区栾川、卢氏、鲁山等地依然传承制作槲叶粽, 所用槲叶也是槲树(*Q. dentata*)叶片, 煮沸(或焯水)后的槲叶取出, 趁热用两张叶子相对轻轻搓揉, 使绒毛脱落并清洁叶面.

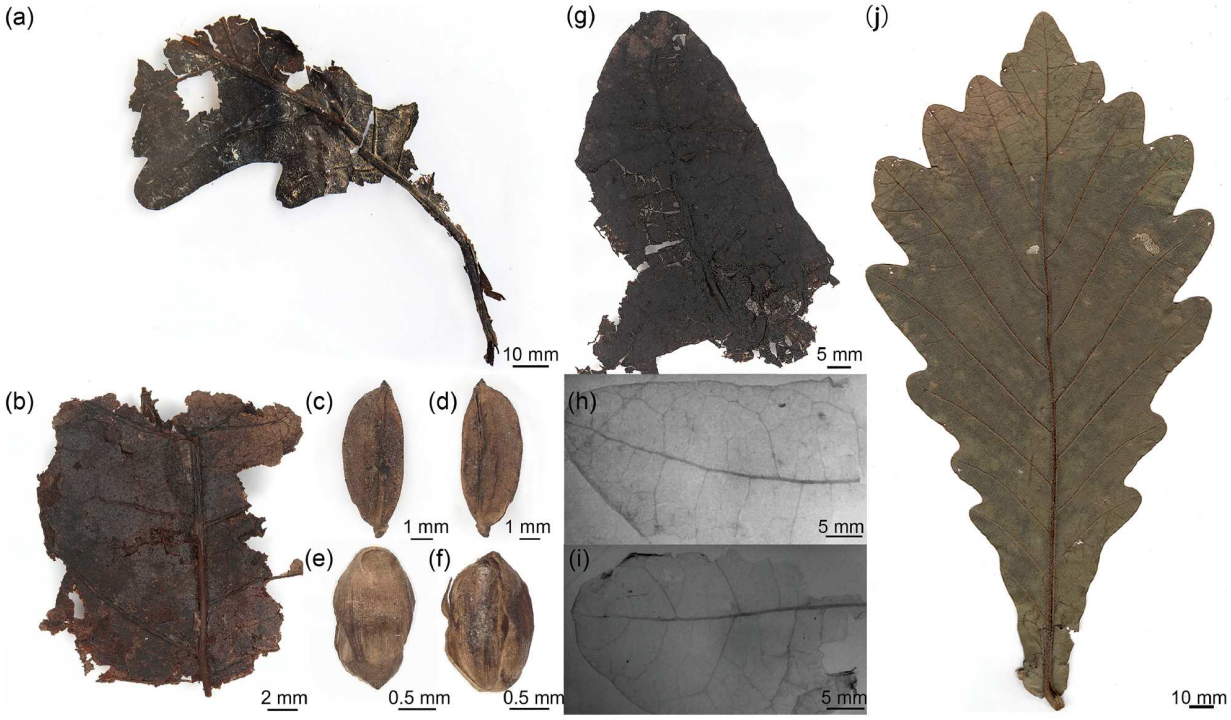


图 3 信阳市城阳城址八号墓植物包的包裹叶片及内容物与淮南市武王墩一号墓植物包的包裹叶片. (a, b) 信阳市城阳城址八号墓植物包的包裹叶片; (c~f) 信阳市城阳城址八号墓植物包内容物; (g~i) 淮南市武王墩一号墓植物包的包裹叶片; (j) 现代河南鲁山等地槲叶粽所用的槲树(*Quercus dentata*)的叶片

Figure 3 Wrapping leaves and contents of the plant bundles from Tomb M8 at the Chengyangcheng Site in Xinyang City, and wrapping leaves of the plant bundle from Wuwangdun Tomb No. 1 in Huainan City. (a, b) Wrapping leaves of the plant bundle from Tomb M8 at the Chengyangcheng Site in Xinyang City; (c–f) contents of the plant bundle from Tomb M8 at the Chengyangcheng Site in Xinyang City; (g–i) wrapping leaves of the plant bundle from Wuwangdun Tomb No. 1 in Huainan City; (j) leaves of *Quercus dentata* used for making traditional Huye-zong in Lushan County and surrounding areas of Henan Province, China

2.2 出土植物包内容物鉴定

2.2.1 信阳市城阳城址八号墓出土的植物包内容物分析

信阳市城阳城址八号墓一共出土了40个较完整的植物包, 其中1个包(编号M8:440)装的是黍(*Panicum miliaceum* L.), 且均是带壳的谷粒; 其余植物包裹均为带壳的水稻(*Oryza sativa* L.), 散落的种子也以稻谷为主[5]. 本研究所取植物包内容物中稻壳外观保存完整, 大部分因胚乳降解消失而变扁, 但结构清晰, 外稃中脉脊状弯曲, 内稃与外稃同长, 顶端尖. 黍粒绝大部分胚乳也已降解, 但颖壳未变形, 呈宽椭圆形, 浅黄褐色, 背、腹部凸出, 表面光滑, 可见细纵纹(图3). 发现了2种类型的游离分散的单颗淀粉粒(图4). 一类淀粉粒呈多面体结构, 且夹角尖锐, 表面较为光滑, 无裂隙, 径均为10.19 μm. 脐点居中, 层纹不明显, 部分淀粉粒脐点四周出现破损. 在偏光显微镜下, 消光臂清晰可见, 与稻(*O. sativa*)的淀粉粒特征相吻合[35,36]; 一类淀粉粒近圆形, 粒径为14.93 μm, 表面光滑, 脐点位于中央, 脐点处可观察Y字裂隙. 偏光下消光臂清晰, 互相垂直, 与黍(*P. miliaceum*)淀粉粒特征相符[37](图4). 综合植物遗存形态及淀粉粒分析结果判断, 信阳市城阳城址八号墓出土植物包内容物主要为带壳的稻(*O. sativa*)和黍(*P. miliaceum*).

热辅助水解甲基化裂解–气相色谱/质谱联用技术(THM-Py-GC/MS)分析结果显示(图5), 信阳市城阳城址八号墓植物包内容物检测出淀粉热解产物糠醛(化合物1), 单不饱和脂肪酸甲酯C16:1、C18:1、C18:2, 饱和脂肪酸甲酯C16:0、C18:0, 以及大量偶数碳超长链脂肪酸甲酯C22:0至C30:0和植物甾醇(化合物6). 实验结果中, 棕榈酸甲酯与硬脂酸甲酯的比值为5.51. 由此推测该植物包内容物不含动物源性成分.

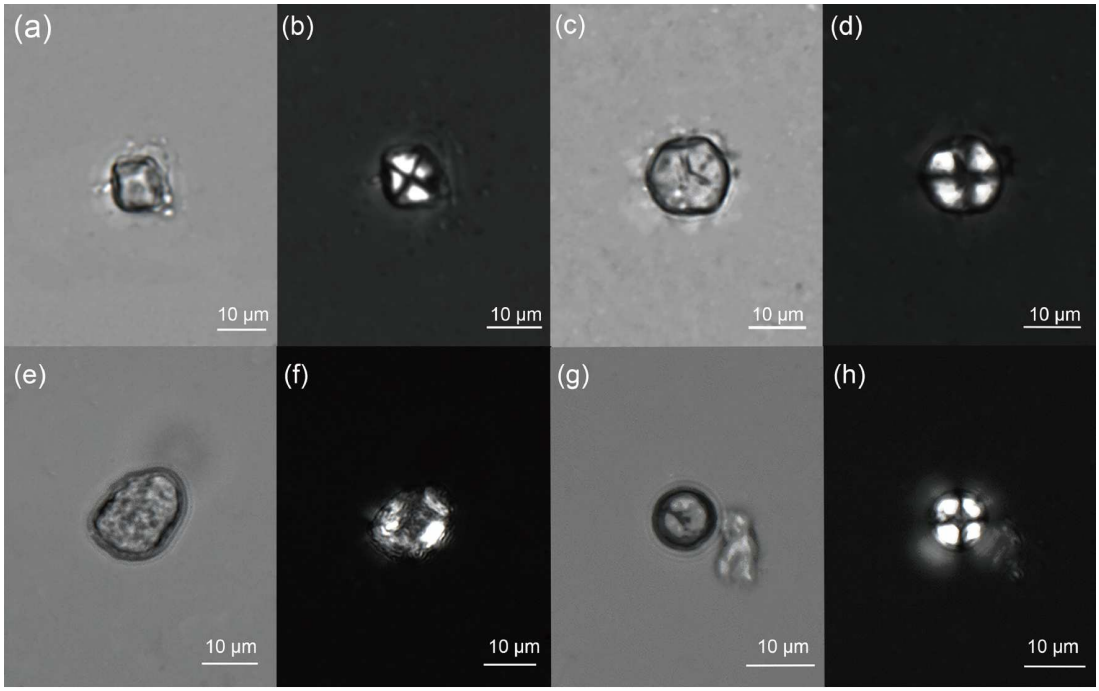


图 4 2座战国墓葬出土植物包内容物的淀粉粒. (a~d) 信阳市城阳城址八号墓植物包内容物淀粉粒; (e~h) 淮南市武王墩一号墓植物包内容物的淀粉粒

Figure 4 Starch grains from the contents of plant bundles unearthed from two Warring States-period tombs. (a–d) Starch grains from the contents of the plant bundle from Tomb M8 at the Chengyangcheng Site in Xinyang City; (e–h) starch grains from the contents of the plant bundle from Wuwangdun Tomb No. 1 in Huainan City

2.2.2 淮南市武王墩一号墓出土植物包内容物分析

本研究在淮南市武王墩一号墓植物包内容物样品中共获取较为完整的单粒淀粉粒3颗, 其中2颗形态较为完整, 粒径分别为9.72和14.05 μm. 该淀粉粒呈圆球形, 表面的脐点居中开放, 可见通过脐点的一字状裂隙, 层纹不明显, 表面和边缘较为光滑. 在偏光镜下消光臂清晰呈十字形. 综合所观察到的淀粉粒形态和十字消光特征, 我们推断该淀粉粒可能来自粟类(粟*Setaria italica* (L.) P. Beauv.或黍*Panicum miliaceum* L.)植物[38]. 剩余的2颗表面不同程度的损伤, 表面特征和消光特性不明显无法鉴定(图4), 推测可能经过加热等人工处理.

热辅助水解甲基化裂解—气相色谱/质谱联用技术(THM-Py-GC/MS)分析结果显示(图5), 淮南市武王墩一号墓植物包内容物检测出淀粉热解产物糠醛(化合物1), 氨基酸衍生物N-甲基-5-氧代脯氨酸甲酯(化合物3), 脂质热解产物包括二元羧酸脂肪酸二甲酯—任二酸(化合物4), 单不饱和脂肪酸甲酯C18:1, 饱和脂肪酸甲酯C16:0、C18:0, 还检出可能源自叶表皮蜡质的大量偶数碳超长链脂肪酸C22:0至C32:0[39], 以及蛋白质热解产物1-甲基吡咯(化合物2)[40]; 值得注意的是, 谱图中具有显著含量的植烷酸(化合物5). 实验结果测得棕榈酸甲酯与硬脂酸甲酯的比值为2.92. 因此推测武王墩一号墓植物包内容物可能含有动物源性成分.

2.3 常见3种粽子包裹叶的抑菌实验

2.3.1 常见3种粽子包裹叶多酚含量

在没食子酸质量浓度为0.004~0.02 mg/mL范围内, 其吸光度与浓度之间呈现良好的线性关系, 回归方程为Y=0.0258X+0.2041, 相关系数R^2=0.9992, 表明该标准曲线具有较高的拟合度和可靠性, 可用于多酚含量的定量分析(图6(a)).

3种常见粽子包裹叶多酚提取物在相应测定范围内均表现出良好的线性关系(图6(b~d)). 其中, 槲叶多酚提取物的回归方程为Y=9.370X+0.0213(R^2=0.9909), 菰叶和箬竹叶多酚的回归方程分别为Y=0.6395X+0.1278(R^2=0.9693), Y=0.6061X+0.1073(R^2=0.9704), 各回归方程相关系数均接近1, 说明测定方法具有良好的

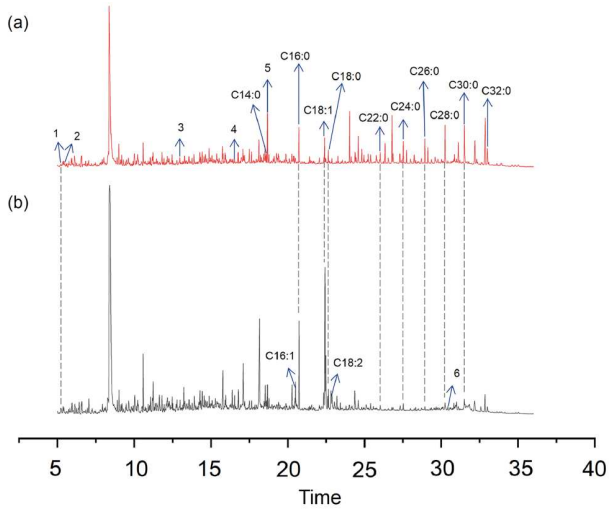


图 5 (网络版彩色)2座战国墓葬出土植物包内容物Py-GC/MS总离子流图. (a) 淮南市武王墩一号墓植物包内容物; (b) 信阳市城阳城址八号墓植物包内容物

Figure 5 (Color online) Py-GC/MS total ion chromatograms of the contents of plant bundles unearthed from two Warring States-period tombs. (a) Contents of the plant bundles from Wuwangdun Tomb No. 1 in Huainan City; (b) contents of the plant bundles from Tomb M8 at the Chengyangcheng Site in Xinyang City

线性关系、重复性和稳定性，可用于不同植物叶片多酚含量的比较分析.

基于没食子酸标准曲线的回归方程，对样品吸光度进行换算，得到槲叶多酚提取物的总多酚含量为49.81 mg/g(以干物质计)，折算为质量分数为4.981%，菰叶多酚提取物的总多酚含量为3.56 mg/g(0.356%)，箬竹叶多酚提取物的总多酚含量为2.37 mg/g(0.237%). 槲叶中多酚含量显著高于菰叶和箬竹叶.

2.3.2 常见3种粽子包裹叶多酚对食源性腐败菌和食源性致病菌的抑菌活性

不同植物叶片多酚提取物的抑菌效果存在显著差异(表1，图7). 槲叶多酚提取物对多种常见食源性微生物均表现出明显的抑制作用，不仅对典型的食源性腐败菌大肠杆菌和枯草芽孢杆菌具有良好的抑菌活性，同时对重要食源性致病菌单增李斯特菌和金黄色葡萄球菌亦表现出不同程度的抑制效果. 各处理组均形成了边界清晰、透明度较高的抑菌圈，说明槲叶多酚提取物能够有效抑制目标菌株的生长繁殖，具有较为广谱的抑菌特性，其潜在应用范围较为广泛(图7).

与槲叶相比，菰叶和箬竹叶多酚提取物的抑菌作用较弱，呈现出一定的选择性抑制特征. 二者对枯草芽孢杆菌和大肠杆菌具有一定抑制作用，但对金黄色葡萄球菌和单增李斯特菌未表现出显著抑菌效果，平板上未形成明显抑菌圈. 这一差异与其多酚含量较低的结果相一致，进一步说明多酚类物质可能在抑菌过程中发挥关键作用. 此外，DMSO对照组未观察到明显抑菌圈，表明所用溶剂对实验菌株无抑制作用，从而验证了实验体系的可靠性.

综上，不同植物叶片在多酚含量及抑菌活性方面存在显著差异，其中槲叶表现出更高的多酚富集水平及更广谱的抑菌能力，说明其在传统食品包裹材料中的应用具有更为突出的功能优势.

槲叶多酚提取物对金黄色葡萄球菌的抑制作用尤为显著，其抑菌圈直径达到29.77±0.02 mm，明显高于其他受试菌株(表1). 这表明槲叶多酚对革兰氏阳性菌具有更强的抑制能力.

2.3.3 槲叶多酚的最小抑菌浓度结果

为进一步量化槲叶多酚的抑菌活性强度，采用微量肉汤稀释法测定其对金黄色葡萄球菌的最低抑菌浓度(minimum inhibitory concentration, MIC). 培养18 h后，以600 nm处测定的吸光度($A_{600\ nm}$)作为细菌生长情况的评价指标，并结合肉眼观察菌体沉淀情况进行综合判定.

结果表明，随着槲叶多酚浓度的逐渐升高，96孔板孔底菌体沉淀明显减少，培养液由浑浊逐渐转为澄清，显示出良好的剂量依赖性抑菌效应. 当槲叶多酚浓度达到0.5 mg/mL及以上时，肉眼未观察到明显菌体沉淀，同时$A_{600\ nm}$值显著降低，表明细菌生长受到有效抑制. 由此判定，槲叶多酚对金黄色葡萄球菌的MIC值为0.5 mg/mL. 该结果验证了槲叶多酚对革兰氏阳性菌具有较强的抑制能力，与抑菌圈实验结果相一致. 同时，较低的MIC值说明其在较低浓度下即可发挥显著抑菌作用，具有良好的应用潜力，为其作为天然抑菌剂在食品保鲜中的开发利用提供了实验依据.

2.3.4 槲叶多酚时间持久性杀伤结果

未添加槲叶多酚提取物的对照组菌液在培养过程中始终保持较高活性，即使稀释至10^{-7}倍后仍可观察到明显菌落生长，表明金黄色葡萄球菌具有良好的增殖能力(图S7). 经槲叶多酚提取物处理后，菌体存活情况随处理浓度的增加呈现出明显的剂量依赖性变化. 当处理浓度为1/4 MIC和1/2 MIC时，菌落数较对照组显著下降，说明槲叶多酚在低浓度下已对细菌生长产生一定抑制作用，但仍存在部分存活菌，表现为抑菌效

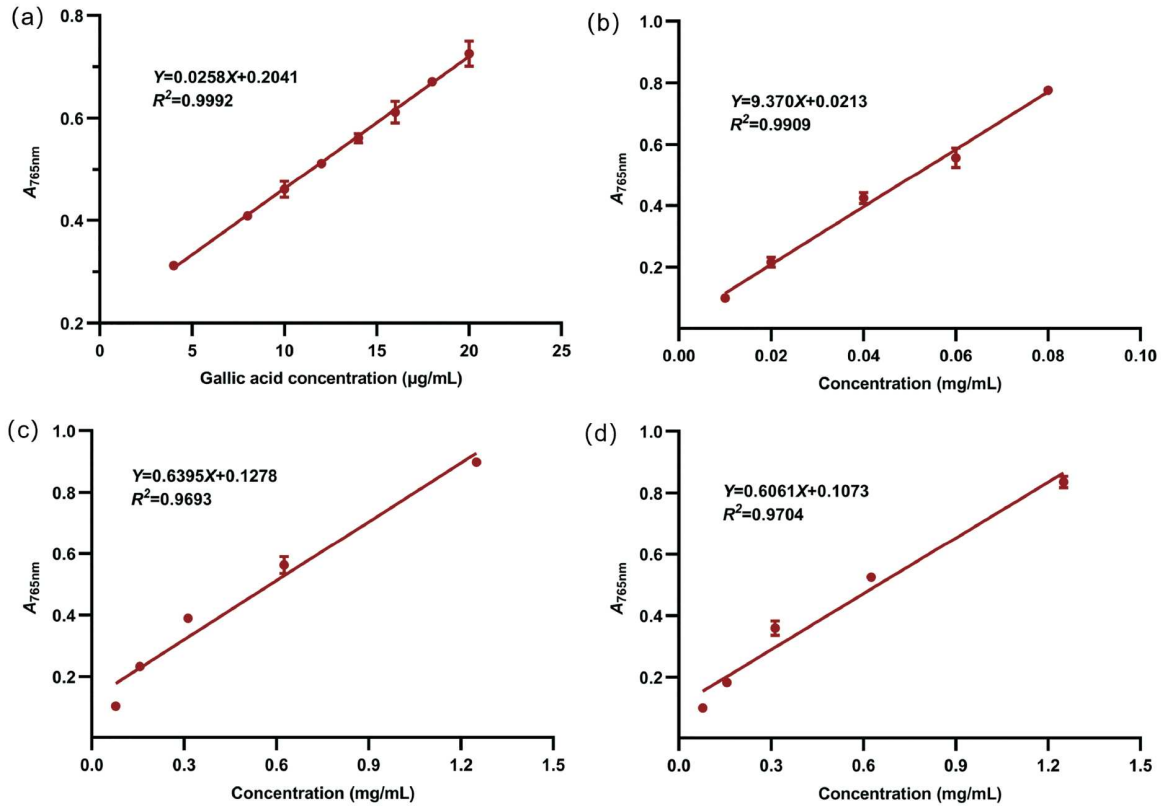


图 6 (网络版彩色)不同粽叶多酚含量. (a) 没食子酸标准曲线. (b) 槲叶多酚提取物含量. (c) 菰叶多酚提取物含量; (d) 箬叶多酚提取物含量
Figure 6 (Color online) The polyphenol contents in different bamboo leaf species. (a) Gallic acid standard curve; (b) polyphenol content in *Quercus dentata* leaf extract; (c) polyphenol content in *Zizania latifolia* leaf extract; (d) polyphenol content in *Indocalamus tessellatus* leaf extract

应. 当处理浓度提高至1 MIC及2 MIC时, 菌体数量显著减少, 在后续培养过程中未观察到菌体数量回升或复苏现象, 表明槲叶多酚在该浓度范围内不仅能够有效抑制细菌生长, 还具有持续的抑菌甚至潜在杀菌作用, 且对金黄色葡萄球菌表现出较为稳定且持久的抑制效果.

上述结果表明, 槲叶多酚提取物不仅具有良好的即时抑菌能力, 还具备一定的时间持久性抑菌特征, 这一特性对于延缓食品在储存过程中的微生物污染具有重要意义, 从而为槲叶在传统粽子包裹过程中可能发挥的防腐保鲜作用提供了实验依据.

3 讨论

3.1 战国中期槲叶粽已经成为楚国的祭祀文化

信阳市城阳城址八号墓出土的植物包是槲叶包裹带壳的稻谷或黍谷粒, 不能食用, 无疑是专门祭祀所用. 淮南市武王墩一号墓出土植物包是槲叶包裹已经脱壳的粟类(粟*S. italica*或黍*P. miliaceum*). 棕榈酸和硬脂酸的比值(P/S)可区分动物油脂与植物油, 通常P/S低于1.3指示为反刍动物油脂, 高于4表示纯植物油[41,42], 介于两者之间则可能表示动植物混合油脂来源[43]. 信阳市城阳城址八号墓出土的槲叶包内容物值为5.51, 淮南市武王墩一号墓出土槲叶包内容物P/S值为2.92, 且含有植烷酸这一化合物. 植烷酸并非植物自身产生, 是叶绿素分子链在反刍动物瘤胃中经微生物降解而形成, 也被认为是水生生物来源的标志物[44,45]. 综上所述, 信阳市城阳城址八号墓出土的槲叶包只含有带壳的稻谷或黍谷粒, 不含动物油类, 是迄今发现最早的类粽子遗存. 淮南市武王墩一号墓出土槲叶包存在粟类并伴有动物源性成分, 与现今河南伏牛山区栾川、卢氏、嵩县、洛宁、西峡、鲁山等地所制作的槲叶粽一致. 因此, 淮南市武王墩一号墓出土槲叶包是迄今发现最早的粽子遗存.

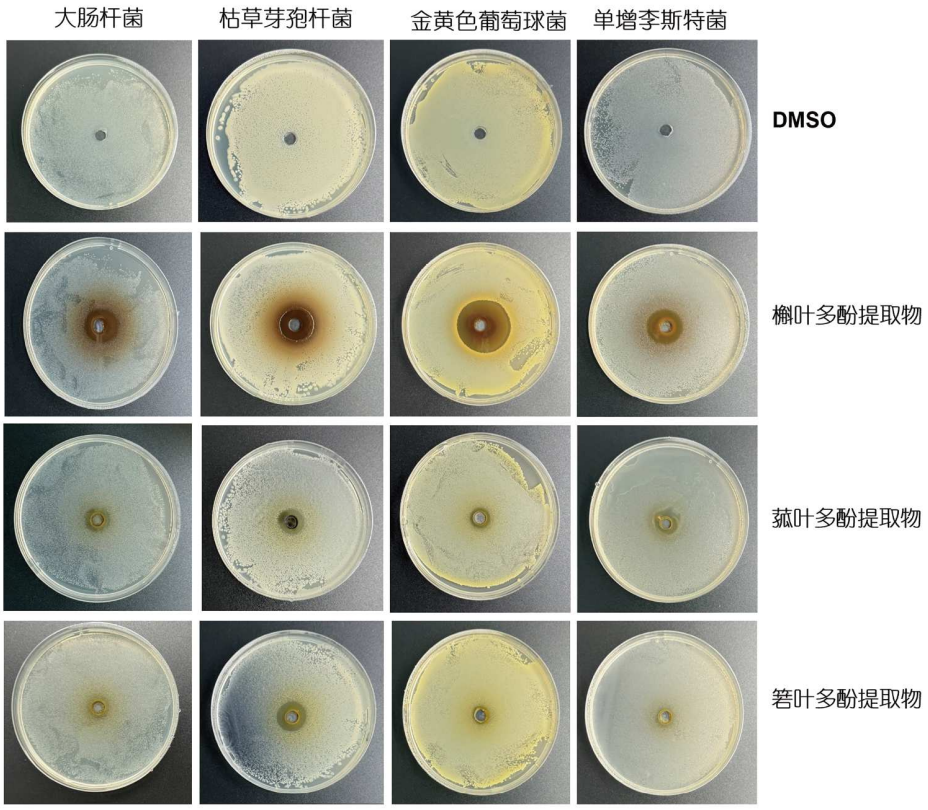


图 7 槲叶、菰叶、箬叶多酚对食源性微生物的抑菌效果图

Figure 7 Inhibitory activities of polyphenols from *Quercus dentata*, *Zizania latifolia* and *Indocalamus tessellatus* leaves against foodborne microorganisms

表 1 食源性腐败菌和食源性致病菌的抑菌活性[a)]

Table 1 Inhibitory activities against foodborne spoilage bacteria and foodborne pathogenic bacteria

多酚提取物	抑菌圈直径(mm)			
	大肠杆菌	枯草芽孢杆菌	金黄色葡萄球菌	单增李斯特菌
DMSO	N	N	N	N
槲叶提取物	17.40±0.02	18.99±0.01	29.77±0.02	20.26±0.01
菰叶提取物	12.92±0.01	10.39±0.88	N	8.56±0.21
箬叶提取物	5.32±0.02	16.57±0.01	N	N

a) N表示无抑菌圈. 数据为3次重复实验的平均值±标准差

3.2 古代先民槲叶裹粮反映了对槲叶天然抑菌的经验性认知

本文结果表明，槲叶多酚提取物具有较高的多酚含量(49.81 mg/g，干物质计)，并对多种食源性腐败菌及致病菌表现出显著抑制作用，尤其对金黄色葡萄球菌具有较强的抑菌活性(MIC为0.5 mg/mL). 多酚含量与抑菌活性之间呈现出良好的对应关系，说明槲叶中富集的多酚类物质是其发挥抑菌作用的关键功能成分，具有潜在的天然防腐应用价值[46,47]. 这与已有研究中多酚类物质通过破坏细菌细胞膜结构、改变膜通透性以及抑制关键代谢酶活性，从而抑制微生物生长的作用机制相一致[48~50].

需要指出的是，本文选择“总多酚”作为主要功能成分进行分析，主要基于以下考虑: 一方面，多酚类物

质是植物叶片中分布最广、含量较高的一类活性成分, 尤其在绿叶组织中富集程度显著, 是植物抵御微生物侵染和环境胁迫的重要次生代谢产物[51,52]. 已有研究表明, 多种用于食品包裹的植物叶片中均检测到较高含量的多酚类物质, 并证实其对多种食源性致病菌具有抑制作用[53]. 另一方面, 多酚类化合物结构中富含酚羟基, 能够通过破坏细胞膜结构、改变膜通透性以及与蛋白质发生相互作用, 从而表现出较强的抑菌活性[54,55]. 因此, 以总多酚含量作为评价指标, 更有利于从整体层面揭示槲叶抑菌性能的物质基础. 3种常见粽子包裹叶在多酚含量及抑菌能力方面存在显著差异, 而菰叶和箬竹叶仅对部分腐败菌表现出一定抑制作用, 对金黄色葡萄球菌和单增李斯特菌等致病菌抑制效果不明显. 这种"成分—活性"的一致性表明, 多酚含量的高低可能是决定不同植物叶片抑菌能力差异的关键因素之一.

本文研究为"槲叶裹粮"这一历史习俗提供了重要的科学解释. 端午食粽中, 常用的槲叶、菰叶与箬竹叶包裹实物的历史都比较悠久, 它们的叶片通常富含多酚、黄酮等次生代谢产物, 能够通过抗氧化和抗菌作用延缓食品腐败[53,56]. 本文表明, 较于菰叶与箬竹叶, 槲叶在活性成分含量及抑菌效果上具有明显优势. 当代的河南豫西伏牛山、桐柏山一带依然传承了制作食用槲叶粽的传统. 每年端午节前, 采摘槲树(*Q. dentata*)的叶片, 刷去槲叶背面绒毛, 包裹有黏性的黍米或糯米, 用秸秆或草茎捆扎, 蒸煮而成, 也称"槲包".

信阳市城阳城址八号墓和淮南市武王墩一号墓均地处北热带地区, 5或6月后一直至整个夏季, 气温均较高, 空气湿度大, 微生物易繁殖, 食物不宜保存. 槲树(*Q. dentata*)叶片至5~6月长成, 含较高的多酚含量不仅能够抑制细菌生长, 还可能通过抗氧化作用延缓食物脂质氧化及品质劣变, 从而在延长食品可食期方面发挥协同作用. 在古代, 先民可能在长期实践经验中, 逐渐认识并利用某些植物叶片的天然抑菌特性, 将其应用于食品加工与储存过程中. 实验表明, 无论是槲叶还是菰叶、箬竹叶制作粽子, 均蕴含了"植物多酚—抑菌活性—食物保存"的内在联系, 揭示了传统饮食经验与现代科学认知之间的内在一致性, 也为天然来源食品保鲜剂的开发提供了有益启示. 因此, 战国时期出土的"槲叶裹粮"可能反映了先民基于长期生活实践对植物叶片作为食物包裹材料的经验性认知. 槲叶较高的多酚含量和较强的体外抑菌活性, 为理解古代先民选择槲树(*Q. dentata*)叶片作为粽子的包裹叶片的潜在功能基础提供了实验参考, 但相关功能解释仍需结合更多考古证据和文献证据进一步验证.

3.3 中国粽子演变历史与"端午食粽"的文化演绎

信阳市城阳城址八号墓和淮南市武王墩一号墓出土的"槲叶包", 前者是"类粽子"遗存, 后者则是与当今河南伏牛山区槲叶粽几乎完全一致的粽子遗存. "槲叶包"是我国迄今发现的粽子的最初形态.

东汉许慎《说文解字》卷七上米部"新附"载: "糉, 芦叶裹米也"[57]. 西晋周处《风土记》载: "仲夏端午, 烹鵹角黍. 端, 始也, 谓五月初五日也. 俗重此日, 与夏至同. 先节一日, 以菰叶裹黏米以栗枣灰汁煮…一名粽, 一名角黍." 该书也是最早记载"端午"一词[58]. 可见, 至少在西晋时期, 端午食粽习俗即与时令节俗密切相关, 但尚未见其与纪念屈原相联系.

南朝梁宗懔《荆楚岁时记》[59]记载: "夏至节日. 食粽. 按周处《风土记》谓为角黍, 人并以新竹为筒粽". 该书"五月五日"条记载: "五月五日, 谓之浴兰节……采艾以为人, 悬门户上, 以禳毒气. 以菖蒲或镂或屑, 泛酒. ……今谓之浴兰节, 又谓之端午". "是日竞渡采杂药". 且其下注: "按五月五日竞渡, 俗为屈原投汨罗日, 伤其死所, 故并命舟楫以拯之. 舟舸取其轻利, 谓之'飞凫', 一自以为'水车', 一自以为'水马'." 《荆楚岁时记》是记载屈原家乡楚地风俗的著作, 该书记载了夏至食粽而不是端午食粽, 记载端午悬艾、菖蒲, 但是均未提及与纪念屈原有关, 明确记载了端午竞渡与纪念屈原有关. 可见, 《荆楚岁时记》成书之时, 食粽与端午、纪念屈原并无关系. 殷墟甲骨文中已有完备的历法纪年, 在《逸周书·时训解》中就记载了一年的二十四节气[60]. 在我国, 夏至是一年中阳气最盛的时候, 因为这一天是白昼最长的一天. 夏至与农历五月五日的时间比较接近. 因此, 《风土记》"仲夏食粽"与《荆楚岁时记》"夏至食粽", 尽管没有明确提及纪念屈原, 但是该习俗与端午竞渡、悬艾等节日习俗时间相近.

南朝梁吴均《续齐谐记》首次将粽子与祭祀屈原、蛟龙窃食的故事相联系: "屈原五月五日投汨罗水, 楚人哀之, 至此日, 以竹筒子贮米投水祭之. 汉建武中, 长沙区曲(一作'区回')忽见一士人, 自云'三闾大夫', 谓曲曰: '闻君常见祭, 甚善. 常年为蛟龙所窃. 今若有惠, 当以楝树叶塞其上, 以彩丝缠之. 此二物, 蛟龙所惮.' 回依其言. 今五月五日作粽, 并带楝叶五彩丝遗风也".该

书完整地构建了将屈原投江、楚人投粽以祭的传说[61].

根据浦江清[62]研究, 屈原出生于公元前339年. 测年推定信阳市城阳城址八号墓为战国中期晚段, 相当于楚威王(公元前339年~公元前329年在位)前期或稍早[6]. 七号墓亦发现"由大量的植物叶片包裹的圆形物品[63]". 说明屈原幼年时期, "以叶裹粮"的槲叶包在楚国已经用于作随葬品用于祭祀. 淮南市武王墩一号墓的主人是楚考烈王. 楚考烈王于公元前238年去世时, 屈原已经去世40年. 2座战国楚墓出土槲叶粽, 说明了槲叶粽在楚国是较为普遍的饮食文化, 并用于高等级墓葬祭祀(图8). 值得注意的是, 《史记》卷八十四《屈原贾生列传》[64]载: "屈原者, 名平, 楚之同姓也. 为楚怀王左徒. ……令尹子兰闻之, 大怒, 卒使上官大夫短屈原于顷襄王, 顷襄王怒而迁之. ……于是怀石, 遂自投汨罗以死". 该书没有记载屈原具体投江的日期, 南朝《续齐谐记》首次将屈原投江日期写作五月五日. 《续齐谐记》记载所用的是竹筒粽, 而不是战国楚墓出土的槲叶粽. 但是屈原曾担任三闾大夫, 以粽子纪念屈原确实与楚国祭祀风俗相符. 河南鲁山被认为是屈原的故乡之一, 该地区的端午节一致沿用槲叶粽以纪念屈原. 尽管《续齐谐记》所载与考古出土的槲叶粽地区、时间与形制不同, 但是该书将长期形成的端午与夏至食粽习俗联系在一起, 将楚国祭祀习俗与怀念屈原联系在一起, 实现了固定节日祭祀先贤的粽子文化衍义.

唐玄宗曾在《端午三殿宴群臣探得神字并序》中提到"四时花竞巧, 九子粽争先"[65], 说明"端午食粽"民俗已经得到宫廷推崇. 安徽南陵北宋铁拐墓(约1113年)出土两只形态完好的粽子. 经鉴定粽子里的米经过了高温加工, 是煮熟后被用于随葬的. 粽子里包含有明显的蛋白质产物, 可能为肉粽, 包粽子的叶子及外面的粽绳均为箬竹叶[66]. 江西德安南宋周氏墓(1274年)出土粽子. 墓主周氏右手持桃枝, 上系两只粽子. 宋代粽子出土的粽子与现代粽子高度相似, 标志着形态的最终定型. 同时制作工艺逐渐成熟, 使用粽叶包裹、粽绳捆扎, 体现了宋代饮食文化的精细化.

在宋代的文献中, 关于粽子的记载极为丰富. 宋陈元靓《岁时广记》引《岁时杂记》[67]: "端午粽子, 名品甚多, 形制不一, 有角粽、锥粽、茭粽、筒粽、秤锤粽, 又有九子粽". 周密《武林旧事》[68]卷三《端午》: "糖蜜巧粽, 极其精巧……巧粽之品不一, 至结为楼台舫辂". 南宋吴自牧《梦粱录》[69]卷十六《荤素从食店》: "又有粉食店, 专卖……裹蒸粽子, 栗粽、金铤裹蒸菱粽、糖蜜韵果、巧粽". 展现了其从节令食品发展为精致商品的繁荣景象馅料创新, 形态多样, 名目繁多,

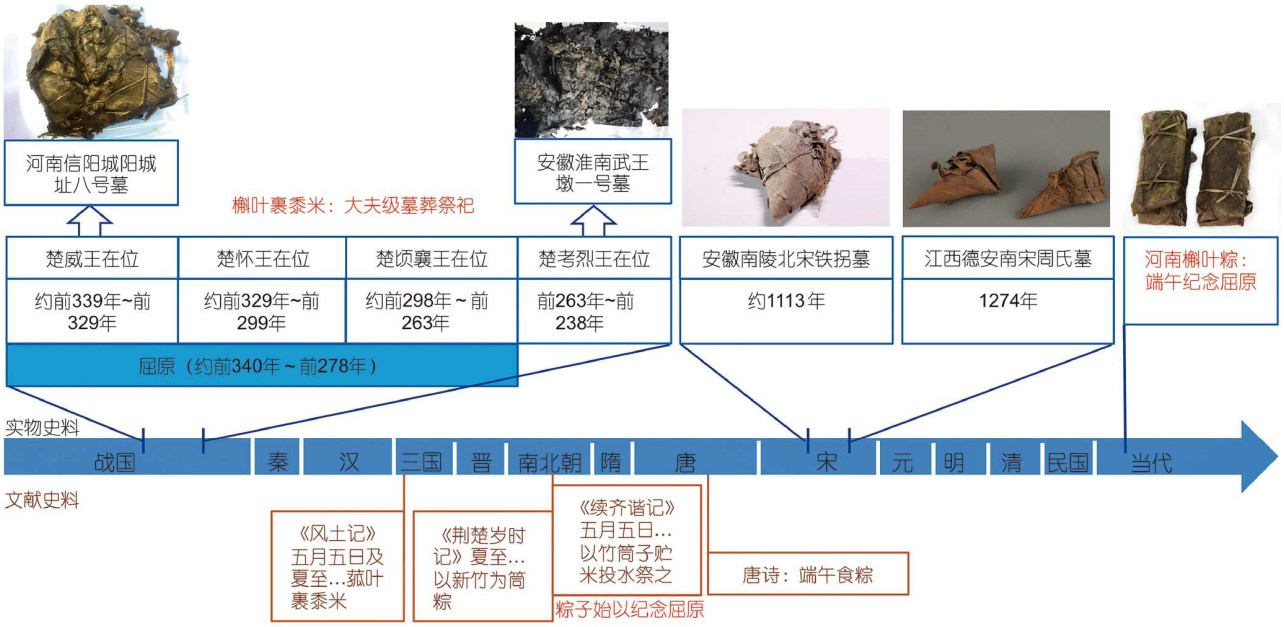


图 8 中国粽子演变图

Figure 8 Historical evolution of Chinese zongzi

口味丰富. 台北故宫博物院藏元人所绘《天中佳景》(图S8), 画中粽子与艾、菖蒲、香囊一起构成了特色的端午传统习俗. 该习俗一直传承至今.

信阳市城阳城址八号墓和淮南市武王墩一号墓出土植物包的科技考古, 可以看出从战国时期至南朝, 包裹的内容物基本上没有变化, 主要是稻谷、粟类等主粮, 包裹树叶为壳斗科植物槲树*Q. dentata*叶片. 经过汉代至南北朝的发展, 逐渐发展有芦叶粽、菰叶粽和竹筒粽, 体现了我国古代因地制宜、就地取材的丰富多彩的节俗文化. 唐宋以后, “端午食粽”民俗已经定型, 粽子类型得到充分发展, 形成了丰富多彩的中国特色节日习俗.

3.4 结论

信阳市城阳城址八号墓和淮南市武王墩一号墓发现的植物包, 分别是目前已知出土年代最早的类粽子遗存和粽子形态遗存. 战国时期出土的槲叶粽, 在一定程度上体现了我国先民对植物叶片天然抑菌特性的经验性认知, 也表明至少在屈原幼年时期, 楚国已经盛行槲叶粽, 并成为大夫级墓葬的祭祀品. 西晋时期“夏至食粽”, 逐渐演变为南朝隋唐时期的“端午食粽”. 至南朝, 粽子被赋予纪念屈原的内涵. 粽子的考古发现与源流演变, 见证了古代先民的“以叶裹粮”逐渐演变为祭祀先贤的节日文化, 充分反应了端午食粽传统习俗的传承与发展.

致谢 感谢北京科技大学杨玉璋课题组在淀粉粒分析实验过程中提供支持.

参考文献

1 Li J D, compiled. Wang X X, collated. Zhuzi Yulei (in Chinese). Beijing: Zhonghua Book Company, 1986. 2321 [黎靖德, 编. 王星贤, 点校. 朱子语类. 北京: 中华书局, 1986. 2321]
2 Zhang X Q. On the view that the Dragon Boat Festival did not originate from Qu Yuan (in Chinese). Qilu J, 1982, 1: 39–42, 59 [张心勤. 端午节非因屈原考. 齐鲁学刊, 1982, 1: 39–42, 59]
3 Yan Y. A preliminary study on the origin and evolution of Dragon Boat Festival customs (in Chinese). J Inner Mong Norm Univ (Philos Soc Sci Ed), 2007, 36: 117–124 [阎艳. 端午节俗源流及其变迁初探. 内蒙古师范大学学报(哲学社会科学版), 2007, 36: 117–124]
4 Sun J H. Zongzi in the Song dynasty (in Chinese). Agric Archaeol, 1989, 2: 294–295 [孙家骅. 宋代的粽子. 农业考古, 1989, 2: 294–295]
5 Lan W L. Identification and analysis of plant macro-remains unearthed from Tomb No. 8 at the Chengyangcheng Site, Xinyang (in Chinese). Huaxia Archaeol, 2020, 5: 66–70, 103 [蓝万里. 信阳市城阳城址八号墓出土植物大遗存的鉴定与分析. 华夏考古, 2020, 5: 66–70, 103]
6 Henan Provincial Institute of Cultural Heritage and Archaeology. Excavation report on Tomb No. 8 at the Chengyangcheng Site, Xinyang, Henan (in Chinese). Huaxia Archaeol, 2020, 4: 24–45 [河南省文物考古研究院. 河南信阳市城阳城址八号墓发掘简报. 华夏考古, 2020, 4: 24–45]
7 Fang L, Li F X, Chai Z L, et al. Tomb No. 1 of the late Warring States period at Wuwangdun, Huainan City, Anhui Province (in Chinese). Archaeology, 2025, 9: 25–46, 2 [方玲, 李凤翔, 柴政良, 等. 安徽淮南市武王墩战国晚期一号墓. 考古, 2025, 9: 25–46, 2]
8 Peng H, Yin M, Tan X, et al. Bencao archaeology of “*Haitongpi*” from imperial pharmacy in Qing Dynasty: common evidence based on ancient DNA information and chemical characteristics (in Chinese). Chin Sci Bull, 2025, 70: 585–599 [彭华胜, 尹旻臻, 谭祥梅, 等. 清宫海桐皮本草考古: 古DNA信息与化学特征的共同证据. 科学通报, 2025, 70: 585–599]
9 Meyer M, Kircher M. Illumina sequencing library preparation for highly multiplexed target capture and sequencing. Cold Spring Harb Protoc, 2010, 2010(6): pdb.prot5448
10 Schubert M, Lindgreen S, Orlando L. AdapterRemoval v2: rapid adapter trimming, identification, and read merging. BMC Res Notes, 2016, 9: 88
11 Li H, Durbin R. Fast and accurate short read alignment with Burrows-Wheeler transform. Bioinformatics, 2009, 25: 1754–1760
12 Jun G, Wing M K, Abecasis G R, et al. An efficient and scalable analysis framework for variant extraction and refinement from population-scale DNA sequence data. Genome Res, 2015, 25: 918–925
13 Danecek P, Bonfield J K, Liddle J, et al. Twelve years of SAMtools and BCFtools. GigaScience, 2021, 10: giab008
14 Jónsson H, Ginolhac A, Schubert M, et al. mapDamage2.0: fast approximate Bayesian estimates of ancient DNA damage parameters. Bioinformatics, 2013, 29: 1682–1684
15 Yang Y, Zhou T, Qian Z, et al. Phylogenetic relationships in Chinese oaks (Fagaceae, Quercus): evidence from plastid genome using low-coverage whole genome sequencing. Genomics, 2021, 113: 1438–1447
16 Katoh K, Standley D M. MAFFT multiple sequence alignment software version 7: improvements in performance and usability. Mol Biol Evol, 2013, 30: 772–780

17 Bianchini G, Zhu R, Cicconardi F, et al. AliFilter: a machine learning approach to alignment filtering. Mol Biol Evol, 2026, 43: msag097
18 Minh B Q, Schmidt H A, Chernomor O, et al. IQ-TREE 2: new models and efficient methods for phylogenetic inference in the genomic era. Mol Biol Evol, 2020, 37: 1530–1534
19 Letunic I, Bork P. Interactive Tree of Life (iTOL) v6: recent updates to the phylogenetic tree display and annotation tool. Nucleic Acids Res, 2024, 52: W78–W82
20 Ainsworth E A, Gillespie K M. Estimation of total phenolic content and other oxidation substrates in plant tissues using Folin-Ciocalteu reagent. Nat Protoc, 2007, 2: 875–877
21 Liu X, Shu Q, Chen Q, et al. Antibacterial efficacy and mechanism of mannosylerythritol lipids-A on Listeria monocytogenes. Molecules, 2020, 25: 4857
22 Li G Q, Wang Y F, Yang B Y, et al. Plant polyphenols: antibacterial activity and structural insights. Fitoterapia, 2025, 185: 106763
23 Balouiri M, Sadiki M, Ibnsouda S K. Methods for *in vitro* evaluating antimicrobial activity: a review. J Pharm Anal, 2016, 6: 71–79
24 Wiegand I, Hilpert K, Hancock R E W. Agar and broth dilution methods to determine the minimal inhibitory concentration (MIC) of antimicrobial substances. Nat Protoc, 2008, 3: 163–175
25 Li X, Wei G, El-Kassaby Y A, et al. Hybridization and introgression in sympatric and allopatric populations of four oak species. BMC Plant Biol, 2021, 21: 266
26 O'donnell S T, Fitz-Gibbon S T, Sork V L, et al. Ancient introgression between distantly related white oaks (*Quercus* sect. *Quercus*) shows evidence of climate-associated asymmetric gene exchange. J Heredity, 2021, 112: 663–670
27 Gao J P, Qin L, Cao Q Q, et al. Genetic structure of populations and introgression of three *Quercus* species in mountainous area of Beijing (in Chinese). J Beijing For Univ, 2020, 42: 58–67 [高基朋, 秦岭, 曹庆芹, 等. 北京山区3种栎属植物居群遗传结构与基因渐渗研究. 北京林业大学学报, 2020, 42: 58–67]
28 Morales-Saldaña S, Hipp A L, Valencia-Ávalos S, et al. Divergence and reticulation in the Mexican white oaks: ecological and phylogenomic evidence on species limits and phylogenetic networks in the *Quercus laeta* complex (Fagaceae). Ann Bot, 2024, 133: 1007–1024
29 Yang J, Vázquez L, Chen X, et al. Development of chloroplast and nuclear DNA markers for Chinese oaks (*Quercus* Subgenus *Quercus*) and assessment of their utility as DNA barcodes. Front Plant Sci, 2017, 8: 816
30 Yang Y Y, Qu X J, Zhang R, et al. Plastid phylogenomic analyses of Fagales reveal signatures of conflict and ancient chloroplast capture. Mol Phylogenet Evol, 2021, 163: 107232
31 Qi M, Wang J, Wang R, et al. Intraspecific character displacement in oaks. Plant J, 2025, 122: e70165
32 Anhui Flora Editorial Cooperative Group. Flora of Anhui. Vol. 2 (in Chinese). Beijing: China Prospect Publishing House, 1987. 77 [安徽植物志协作组. 安徽植物志: 第2卷. 北京: 中国展望出版社, 1987. 77]
33 Ding B Z, Wang S Y, Gao Z Y. Flora of Henan, Vol. 1 (in Chinese). Zhengzhou: Henan Science and Technology Press, 1997. 244–257 [丁宝章, 王遂义, 高增义. 河南植物志: 第1册. 郑州: 河南科学技术出版社, 1997. 244–257]
34 Huang C C, Zhang Y T, Bartholomew B. Quercus. In: Wu Z Y, Raven P H, eds. Flora of China, Vol. 4. Beijing & St. Louis: Science Press & Missouri Botanical Garden Press, 1999. 370–380
35 Zhang Y H, Weng Y, Yao L, et al. Identification and analysis of starch granules on the surface of the slabs from Peiligang Site (in Chinese). Quat Sci, 2011, 31: 891–899 [张永辉, 翁屹, 姚凌, 等. 裴李岗遗址出土石磨盘表面淀粉粒的鉴定与分析. 第四纪研究, 2011, 31: 891–899]
36 Yang X Y, Jiang L P. Starch grain analysis reveals ancient diet at Kuahuqiao site, Zhejiang Province (in Chinese). Chin Sci Bull, 2010, 55: 596–602 [杨晓燕, 蒋乐平. 淀粉粒分析揭示浙江跨湖桥遗址人类的食物构成. 科学通报, 2010, 55: 596–602]
37 Ge W, Liu L, Jin Z Y. Morphological analyses on starch granules of five grass species and their significance their significance for archaeology (in Chinese). Quat Sci, 2010, 30: 377–384 [葛威, 刘莉, 金正耀. 几种禾本科植物淀粉粒形态比较及其考古学意义. 第四纪研究, 2010, 30: 377–384]
38 Song A Q, Dou H F. Analysis of plant food composition of human sacrifices in Xitou Site, Xunyi County, Shaanxi Province during the late Shang and early Zhou periods: evidence from starch grains and phytoliths in dental calculus (in Chinese). Quat Sci, 2023, 43: 242–255 [宋阿倩, 豆海锋. 陕西旬邑西头遗址商末周初殉人植物性食物组成分析——来自牙结石中的淀粉粒和植硅体证据. 第四纪研究, 2023, 43: 242–255]
39 Mao B, Cheng Z, Lei C, et al. Wax crystal-sparse leaf2, a rice homologue of WAX2/GL1, is involved in synthesis of leaf cuticular wax. Planta, 2012, 235: 39–52
40 Orsini S, Parlanti F, Bonaduce I. Analytical pyrolysis of proteins in samples from artistic and archaeological objects. J Anal Appl Pyrolysis, 2017, 124: 643–657
41 Romanus K, Poblome J, Verbeke K, et al. An evaluation of analytical and interpretative methodologies for the extraction and identification of lipids associated with pottery sherds from the Site of Saga lassos, Turkey. Archaeometry, 2007, 49: 729–747
42 Dunne J, Mercuri A M, Evershed R P, et al. Earliest direct evidence of plant processing in prehistoric Saharan pottery. Nat Plants, 2016, 3: 16194
43 Lyu N, Wang T, Yu J, et al. Pottery lipid analysis at the Shangzhai Site, Beijing, and its implication for subsistence strategy (in Chinese). Sci Sin

Terrae, 2023, 53: 1808–1816 [吕楠宁, 王涛, 郁金城, 等. 北京上宅遗址出土陶片的脂质分析与先民生计策略. 中国科学: 地球科学, 2023, 53: 1808–1816]
44 Han B, Lyu N, Yan L, et al. Rapid screening of pottery lipid residue profile via comprehensive two-dimensional gas chromatography. Anal Chim Acta, 2025, 1338: 343598
45 Schönfeld P, Kahlert S, Reiser G. A study of the cytotoxicity of branched-chain phytanic acid with mitochondria and rat brain astrocytes. Exp Gerontology, 2006, 41: 688–696
46 Zhao Y, Li H, Zhang Z, et al. Extraction, preparative monomer separation and antibacterial activity of total polyphenols from *Perilla frutescens*. Food Funct, 2022, 13: 880–890
47 Saleh I, Abu-Dieyeh M H. Novel *Prosopis juliflora* leaf ethanolic extract as natural antimicrobial agent against food spoiling microorganisms. Sci Rep, 2021, 11: 7871
48 Daglia M. Polyphenols as antimicrobial agents. Curr Opin Biotechnol, 2012, 23: 174–181
49 De Rossi L, Rocchetti G, Lucini L, et al. Antimicrobial potential of polyphenols: mechanisms of action and microbial responses—a narrative review. Antioxidants, 2025, 14: 200
50 Álvarez-Martínez F J, Barrajón-Catalán E, Encinar J A, et al. Antimicrobial capacity of plant polyphenols against Gram-positive bacteria: a comprehensive review. Curr Med Chem, 2020, 27: 2576–2606
51 Dai J, Mumper R J. Plant phenolics: extraction, analysis and their antioxidant and anticancer properties. Molecules, 2010, 15: 7313–7352
52 Lattanzio V, Lattanzio V M T, Cardinali A. Role of phenolics in the resistance mechanisms of plants against fungal pathogens and insects. In: Imperato F, ed. Phytochemistry: Advances in Research. Kerala: Research Signpost, 2006. 23–67
53 Thongphichai W, Pongkittiphan V, Laorpaksa A, et al. Antimicrobial activity against foodborne pathogens and antioxidant activity of plant leaves traditionally used as food packaging. Foods, 2023, 12: 2409
54 Baqer S H, Al-Shawi S G, Al-Younis Z K. Quercetin, the potential powerful flavonoid for human and food: a review. Front Biosci (Elite Ed), 2024, 16: 30
55 Zhao L, Zhou Y, Yue W, et al. Natural phenolics as multitarget antimicrobials for food preservation: mechanisms of action. Food Chem-X, 2025, 31: 103056
56 Wang L, Li T, Wu C, et al. Unlocking the potential of plant polyphenols: advances in extraction, antibacterial mechanisms, and future applications. Food Sci Biotechnol, 2024, 34: 1235–1259
57 Xu S. Shuowen Jiezi (in Chinese). Beijing: Zhonghua Book Company, 1963. 148 [许慎. 说文解字. 北京: 中华书局, 1963. 148]
58 Zhou C. Jin W X, collated. Yangxian Fengtu Ji (in Chinese). Jiangyin: Jiangyin Jin Family, 1894. 19 [周处撰. 金武祥补校. 阳羡风土记. 江阴: 江阴金氏, 1894. 19]
59 Zong L. Jingchu Suishi Ji (in Chinese). Beijing: Zhonghua Book Company, 1991. 11–12 [宗懔. 荆楚岁时记. 北京: 中华书局, 1991. 11–12]
60 Yu X, Zhou J T. From kingcraft to seasonal anomalies: records of untimely disasters in the “Wuxing zhi” chapters of official histories from the Han to Tang dynasties (in Chinese). Acad Mon, 2018, 50: 173–184 [余欣, 周金泰. 从王政到时妖: 汉唐间正史《五行志》中的违时灾异记录. 学术月刊, 2018, 50: 173–184]
61 Wang G L. Research on Xu Qixie Ji (in Chinese). Taipei, China: Wen Shi Zhe Press, 1987. 44–45 [王国良. 续齐谐记研究. 台北: 文史哲出版社, 1987. 44–45]
62 Pu J Q. A study on the calculation of Qu Yuan’s birth date (in Chinese). Hist Res, 1954, (1): 73–97 [浦江清. 屈原生年月日的推算问题. 历史研究, 1954, (1): 73–97]
63 Chen Y T, Zuo C, Liu W, et al. Brief excavation report on Chu Tomb No. 7 at Changtaiguan, Xinyang, Henan (in Chinese). Cult Relics, 2004, (3): 31–41 [陈彦堂, 左超, 刘维, 等. 河南信阳长台关七号楚墓发掘简报. 文物, 2004, (3): 31–41]
64 Sima Q. Pei Y, Sima Z, Zhang S J, annotated. Shiji (in Chinese). Beijing: Zhonghua Book Company, 1959. 2481–2490 [司马迁撰. 裴骃集解, 司马贞索隐, 张守节正义. 史记. 北京: 中华书局, 1959. 2481–2490]
65 Quan Tang Shi. Vol. 1 (in Chinese). Beijing: Zhonghua Book Company, 1999. 28 [全唐诗. 第1册. 北京: 中华书局, 1999. 28]
66 Anhui Provincial Institute of Cultural Relics and Archaeology, Nanling County Office for the Administration of Cultural Heritage. Brief excavation report on the Song tomb at Tiegua, Nanling, Anhui (in Chinese). Cult Relics, 2016, (12): 34–53 [安徽省文物考古研究所, 南陵县文物管理所. 安徽南陵铁拐宋墓发掘简报. 文物, 2016, (12): 34–53]
67 Chen Y L. Suishi Guangji (in Chinese). Beijing: Zhonghua Book Company, 1985. 237 [陈元靓. 岁时广记. 北京: 中华书局, 1985. 237]
68 Zhou M. Pei X W, annotated. Wulin jiushi (in Chinese). Beijing: Xueyuan Press, 2001. 292–293 [周密, 撰. 裴效维, 选注. 武林旧事. 北京: 学苑出版社, 2001. 292–293]
69 Wu Z M. Mengliang Lu (in Chinese). Hangzhou: Zhejiang People’s Press, 1984. 148 [吴自牧. 梦粱录. 杭州: 浙江人民出版社, 1984. 148]

补充材料

图S1 城阳城址-1植物包包裹叶片的古DNA片段长度分布图
图S2 城阳城址-2植物包包裹叶片的古DNA片段长度分布图
图S3 武王墩EI203植物包包裹叶片的古DNA片段长度分布图
图S4 城阳城址-1植物包包裹叶片的古DNA末端碱基错配模式图
图S5 城阳城址-2植物包包裹叶片的古DNA末端碱基错配模式图
图S6 武王墩EI203植物包包裹叶片的古DNA末端碱基错配模式图
图S7 槲叶多酚对金黄色葡萄球菌的持久性杀伤结果
图S8 元佚名《天中佳景》(中国台北故宫博物院藏)
表S1 系统发育分析所用叶绿体基因组序列信息

本文以上补充材料见网络版csb.scichina.com. 补充材料为作者提供的原始数据, 作者对其学术质量和内容负责.

Summary for “2座战国楚墓出土植物包的考古: 出土的最早粽子遗存及祭祀屈原的源流”

Plant bundles unearthed from two Warring States-period Chu tombs: the earliest excavated remains of *zongzi* and the origins of the Qu Yuan sacrificial tradition

Huasheng Peng[1,2†], Wanli Lan[3†], Xiaoting Feng[4,5†], Xinyu Liu[1,2†], Zhijiang Wu[3], Minzhen Yin[1,2], Mengyuan Yang[1,2], Rubing Wang[1,2], Hetian Jin[6], Zhiguo Zhang[7*] & Luqi Huang[1,2*]

[1] *State Key Laboratory for Quality Ensurance and Sustainable Use of Dao-Di Herbs, National Resource Center for Chinese Materia Medica, China Academy of Chinese Medical Sciences, Beijing 100700, China*
[2] *Key Scientific Research Base of Traditional Chinese Medicine Heritage (Institute of Chinese Materia Medica, China Academy of Chinese Medical Sciences), National Cultural Heritage Administration, Beijing 100700, China*
[3] *Henan Provincial Institute of Cultural Heritage and Archaeology, Zhengzhou 450099, China*
[4] *Institute of Chinese Materia Medica, Hunan Academy of Traditional Chinese Medicine, Changsha 410013, China*
[5] *Hunan Academy of Chinese Medicine Affiliated Hospital, Changsha 410006, China*
[6] *Beijing Institute of Archeology, Beijing 100078, China*
[7] *National Centre for Archaeology, Beijing 100013, China*
† Equally contributed to this work
* Corresponding authors, E-mail: zzgwys@126.com; huangluqi01@126.com

Eating *zongzi* is one of the most representative traditional customs of the Dragon Boat Festival in China. According to popular tradition, this custom has long been associated with the commemoration of Qu Yuan. However, the early history of *zongzi* as a sacrificial offering and its relationship with Qu Yuan has been reconstructed mainly on the basis of historical texts, with no previously reported archaeological evidence from excavated remains. This study investigates plant bundles excavated from two Warring States-period Chu tombs: Tomb M8 at the Chengyangcheng Site in Xinyang City, Henan Province, and Wuwangdun Tomb No. 1 in Huainan City, Anhui Province. We applied ancient DNA analysis, morphological observation, starch-grain analysis, and organic residue analysis. Antibacterial assays were also conducted on three common types of *zongzi*-wrapping leaves, namely oak leaves (*Quercus dentata* Thunb.), indocalamus leaves (*Indocalamus tessellatus* (Munro) P. C. Keng), and wild rice leaves (*Zizania latifolia* (Griseb.) Turcz. ex Stapf). The results indicate that the wrapping leaves from both tombs belonged to Fagaceae, genus *Quercus*, subgenus *Quercus*, section *Quercus*, and were further inferred to have derived from *Quercus dentata* Thunb. on the basis of leaf-margin morphology. In Tomb M8 at the Chengyangcheng Site, the contents were identified as rice (*Oryza sativa* L.) and broomcorn millet (*Panicum miliaceum* L.) with husks, representing the earliest *zongzi*-like remains discovered to date. Analyses of the plant bundles from Wuwangdun Tomb No. 1 showed that their contents were dominated by millet remains attributable to foxtail millet (*Setaria italica* (L.) P. Beauv.) or broomcorn millet (*Panicum miliaceum* L.), accompanied by animal-derived components. This composition is highly consistent with that of modern Huye *zongzi* made in Lushan County and nearby areas of Henan Province. Therefore, the plant bundles from Wuwangdun Tomb No. 1 can be identified as the earliest *zongzi* remains discovered to date. The results revealed that oak leaves had a significantly higher polyphenol content (49.81 mg/g) than indocalamus leaves (2.37 mg/g) and wild rice leaves (3.56 mg/g), and exhibited a broader antibacterial spectrum and stronger antibacterial activity, indicating their potential to extend the shelf life of food. These findings indicate that oak-leaf-wrapped grains existed during the Warring States period, suggesting that ancient communities had already used plant leaves for food processing and storage. By the time of Qu Yuan’s childhood at the latest, *zongzi*-like remains and *zongzi* remains had already appeared in high-status Chu tombs, suggesting that plant-wrapped foods may have formed part of mortuary ritual practices in high-status burials of Chu society. The legend associating *zongzi* with the commemoration of Qu Yuan can be traced back to the Northern and Southern Dynasties, while the custom of eating *zongzi* during the Dragon Boat Festival developed into a nationwide tradition during the Tang and Song dynasties. This study identifies the earliest archaeological evidence of *zongzi* and *zongzi*-like plant-wrapped food from Warring States-period Chu tombs, sheds light on the early development of Chinese *zongzi*, and provides direct archaeological evidence for understanding the formation of the Dragon Boat Festival custom of eating *zongzi*.

Tomb M8 at the Chengyangcheng Site in Xinyang City, Wuwangdun Tomb No. 1 in Huainan City, *zongzi*, ancient DNA

doi: 10.1360/CSB-2026-0542