

# 实验室考古（植硅体方向）

日常考勤 10% 3次随机点名

课堂表现 10% 随堂提问、实践课的表现

平时测验 10% 3.22 随堂小测验

平时成绩 10% 植硅体鉴定的正确率

期中考试 10% 4.19 提交1份课后作业

「整理一份“植硅体分析在稻作农业研究中的应用”课堂笔记」

期末成绩 50% 课程论文：评述一篇植硅体研究论文，不少于3000字

## 课程目标

### “小目标”

- 了解：知晓植硅体特性及其应用、读懂植硅体文献，
- 会用：能够融会贯通地利用相关研究成果解决“自己的”考古学问题
- 推广，能为考古项目设计植硅体研究方案并切实推进

### “大目标”

- 寻找科学问题：针对一个遗址或区域，找到可用植硅体解决的科学问题
- 独立分析：独立对一个遗址开展植硅体分析
- 发表成果：撰写、发表相关成果

## 前言：植硅体简介

- 植硅体：是指植物通过吸收单硅酸，在细胞壁、细胞内或细胞间硅化而形成的非晶质二氧化硅。植硅体在植物死亡和腐烂之后从细胞中脱离出来，由于其抗氧化能力强，容易保存于土壤及沉积物中，故可广泛应用于相关研究中。
- 发现和探索阶段（1804-约1900年）：从多种沉积物中分离并发现形态不同的植硅体，并建立了最早的植硅体分类系统。
- 植物学研究阶段（约1900-1936年）：除植硅体的产生、形态和分类外，开展了对现代植物中植硅体含量的定量研究，提出了植物细胞中植硅体的沉积机制
- 植硅体的形态与分类：表土已鉴定的植硅体形态约260类，其中禾本科植硅体约100类，蕨类、木本和其他被子植物植硅体约50类，其余约100类植硅体的亲缘植物仍在研究中。常见的类型约40类

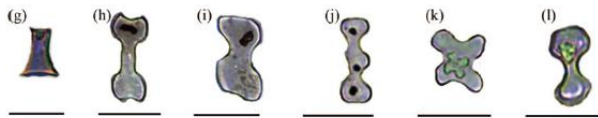
---

## 植硅体研究简史

- 生态学研究阶段（1955-约1975年）：对植硅体的物理和化学特性、在植物体中的作用以及其形成和溶解特性进行研究，分离、鉴定和定量化技术也得到了发展。

- 地质学及考古研究阶段（约 1975 年至今）：自 20 世纪 70 年代，西方考古学家正式开始应用植硅体恢复遗址的古生态环境、研究农业的起源和扩散等问题。80 年代以后，植硅体分析在古环境研究
- 地质学、农学等领域得到广泛的应用。

## 2.1 草本植物



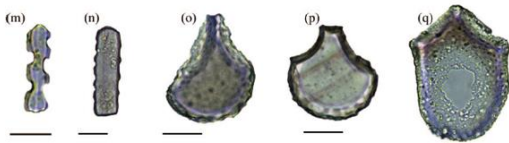
- g: 塔型(Tower)
- h、i: 哑铃型(Dumbbell)
- j: 多铃型(Polylobate)
- k: 十字型(Cross)
- l: 针茅哑铃型(*Stipa*-type, 针茅属),

## 2.1 草本植物



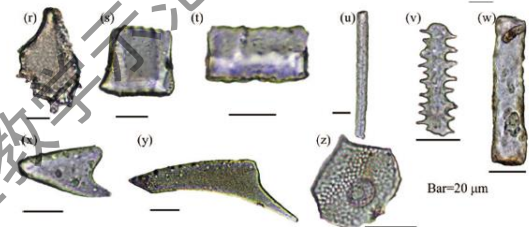
- g: 塔型(Tower)
- h、i: 哑铃型(Dumbbell)
- j: 多铃型(Polylobate)
- k: 十字型(Cross)
- l: 针茅哑铃型(*Stipa*-type, 针茅属),

## 2.1 草本植物



- m: 齿型(Wavy-trapezoid, 早熟禾亚科)
- n: 弱齿型(Wavy-narrow-trapezoid, 早熟禾亚科)
- o: 普通扇型(Fan without flange)
- p: 水稻扇型(Rice bulliforms, 水稻)
- q: 芦苇扇型、盾型(Fan-reed, 芦苇)

## 2.1 草本植物



- r: 竹扇型(Fan-bamb, 竹亚科)
- s: 方型(Square)
- t: 长方形(Rectangle)
- u: 光滑棒型(Smooth-elongate)
- v: 突起/刺棒型(Sinuate-elongate)
- w: 草本板棒状(Board-elongate)
- x、y: 尖型(Point)
- z: 多边帽型/莎草科形态(Sedge types)

「第一张图

e: 平顶帽型

f: 尖顶帽型」

「水稻扇型柄部一定是有一定宽度的；在扇柄和扇面的交界处，有一定凸起，这是普通扇型所没有的；相对于其他扇型而言，水稻扇型的扇面更圆润，打得更开，且在边缘有一定的疤痕（鱼鳞状纹饰）；因为水稻扇型的植硅体是有一定厚度的，所以边缘的“鱼鳞”也有好几层」

「芦苇扇型-只在芦苇中有。如果土壤中发现大量芦苇扇型植硅体，说明有可能有水塘分布」

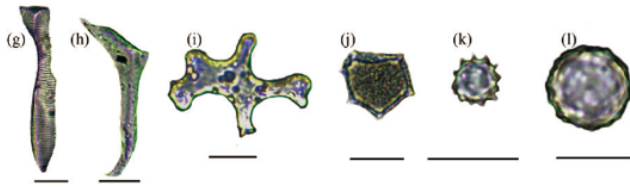
「齿型的刺很温和，而刺棒型是炸毛的状态」

「尖型：有长条形的嘴，身体有的长有的短」

「黑点-“硅质颗粒”，是植硅体形成过程中自带的」

## 2.2 木本、蕨类植物

### 2.2 木本、蕨类植物



- g: 具螺旋纹纺锤体(Spiral-spindle, 阔叶木本类植物)
- h: “Y”型(阔叶木本类植物)
- i: 边缘弯曲的多边形板状(Abbreviatedstellate, 阔叶木本类植物)
- j: 普通多边形板状(Polygonal plate, 阔叶木本类植物)
- k: 刺球型(Palmae types, 棕榈)
- l: 瘤球型/粒球型(Globulargranulate, 阔叶木本类植物)

「除了 k 刺球型，其他不要求掌握」

「k 刺球型：树干中是淀粉，可以作为植物，东南亚常见」

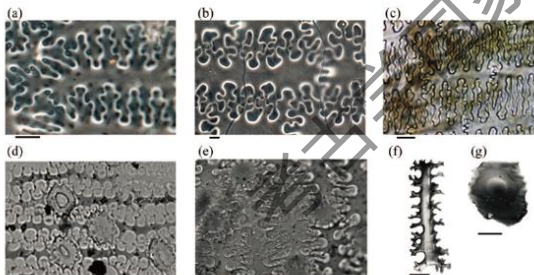
「导管型：纹路在主体上而不向外延伸」

中国阔叶树植硅体类型

中国西南蕨类植物植硅体类型

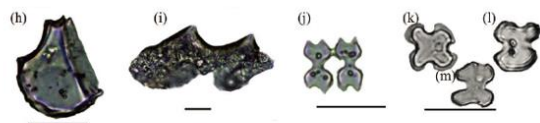
## 2.3 农作物

### 2.3 农作物



- (a) 黍3级稃片η型
- (b) 粟的3级稃片Ω型
- (c) 稗3级稃片β型
- (d, e) 麦类苞片植硅体形态
- (f) 小麦苞片树枝状
- (g) 小麦叶片组织乳突

### 2.3 农作物



- (h) 水稻扇型
- (i) 水稻双峰型
- (j) 水稻并排哑铃型
- (k)-(m) 玉米十字型(Maize cross)

「都是特征型植硅体，即都是一对一」

「(a) (b) 多为片状、很薄——川西北、青藏的材料需要加以关注」

「(c) 稗-荒年时是备用的农作物」

「粟是小米；黍是大黄米——中国北方的本土作物」

「水稻有 3 种特征型植硅体；」

水稻扇型和哑铃型多来自于水稻叶片；

双峰型则是来源于水稻颖壳；双峰型很多时候不止两个峰；下面的不规整」

「除了有并排哑铃型之外，还有竖排哑铃型；

竖排哑铃型一般来自粟、黍」

「竖排哑铃型中间是断开的，而多铃型则是连起来的」

「粟、黍和水稻是本土农作物；

考古学国家级实验教学示范中心

## 3. 植硅体的应用与研究

### 3.1 现代植物中的植硅体研究

#### 3.1.1 植硅体的形成与植物的生长和遗传

- 由于现代植物植硅形态和大小等特征受控于植物细胞及细胞间隙的形态和大小，通常与细胞形态一致，而细胞及细胞间隙的发育是由植物生理机制及周围环境决定的，因此植硅体的形成受基因和环境共同控制。
- **短细胞**对于硅在其内腔的沉积主要是通过**基因**控制的，因此外界因素对其影响很小。
- 与之相反，像表皮**长细胞**之类的细胞中缺乏这种基因控制，因此，这些细胞内硅的沉积主要受**外界因素**，比如当地环境、水的多少等影响。
- **温度**
  - 中国松嫩草原羊草 (*Leymus chinensis*) 研究案例：
  - 羊草植硅体的种类和含量对**温度**和土壤氮的改变响应明显。例如：**帽型**植硅体的含量随着温度升高而上升，**帽型**植硅体中**尖顶帽型**和**平顶帽型**的含量随着**温度**增加而增加，**刺帽型**含量则下降。（介冬梅等，环境科学，2010）
- **湿度、降水**
  - 禾本科草本植物**哑铃型**植硅体案例：
  - 其形态、大小与环境因子（**湿度**）有密切的联系，典型的湿生草本植物**哑铃型**植硅体的柄较短，而旱生的草本植物产生的**哑铃型**植物体柄部较长。
  - 如果这种现象能够发现于更多种类或更多环境条件下生长的植物，植硅体（**哑铃型**）的大小有可能反映植物生境的干湿状况。（Lu et al., Diversity and Distribution, 2003）
- **CO<sub>2</sub> 浓度**
  - 其能够促进植物的同化作用，改变植物对水分的利用效率，影响植物生长过程中植硅体的沉积。
  - 中国松嫩草原羊草 (*Leymus chinensis*) 研究案例：
  - 其浓度升高，能提高羊草植硅体的产量；**刺棒型**、**平顶帽型**、**刺帽型**和**尖型**植硅体的含量下降，而**角状棒型**、**光滑棒型**和**尖顶帽型**植硅体的含量上升。（葛勇等，科学通报，2010）
- **土壤状况**
  - 中国松嫩草原羊草 (*Laymus chinensis*) 研究案例：
  - 不同 pH 生境的羊草叶片中所含主要的植硅体类型相同，但同种形态的植硅体的百分含量明显不同，随着环境中 pE 值的增加，羊草**弱齿型**、**尖型**数量有增加的趋势，植硅体含量有减少的趋势。（介冬梅等，环境科学，2010）

## 3.2 现代表土中的植硅体研究

### 3.2.1 植硅体的形态、组合与现代植被的关系

- 通过对不同表土植硅体类型（含组合）的分析，发现不同植被土壤中具有特征明确的植硅体形态或组合，这些类型和组合常被用于区分地表不同植被类型，如高草与矮草草地、C3/C4 草地、水生/中生/旱生草本植被、不同种类森林等。

- 研究思路：

- 现代地表植被类型数据调查及对应的植硅体形态、组合分析
- 定量分析：建立特定的分析指数、主成分分析、判别分析
- 建立判别标准：评估表土植硅体组合与地表植被类型间的关系

- 常用的分析指数

Ic 指数用以计算沉积物中 C3 和 C4 植物的相对比重

$IC = (\text{帽型} + \text{型}) / (\text{帽型} + \text{十字型} + \text{齿型} + \text{鞍型} + \text{哑铃型})$

D/P° 指数用以表示树木覆盖

$D/P^\circ = (\text{粒球型} + \text{哑铃型} + \text{十字型} + \text{鞍型} + \text{帽型} + \text{齿型})$

Iph(干旱指数) = 鞍型 / (鞍型 + 十字型 + 哑铃型)

这方面研究为古环境演变的定量化分析提供了依据

### 3.2.2 植硅体在堆积中的迁移

- 在生物扰动和水的下渗作用下，植硅体会出现明显的向下移动，且因土壤或沉积物的类型不同而不同。
- 模拟实验表明，沙质沉积物中植硅体在低频和高频灌溉条件下，5 个月分别向下运移  $2.7 \pm 1.6$  和  $3.7 \pm 0.2$  mm，存在明显的运移/迁移现象，在沙质和淤泥质自然土壤中一年内可以分别向下运移  $3.99 \pm 1.21$  和  $3.86 \pm 0.56$  cm，且受植硅体大小的影响。
- 剧烈的生物扰动可以使土壤中的植硅体发生大幅度的运移。
- (Fishkis et al., 2009, 2010)

[运移：早期植硅体中可能会有晚期的植硅体

多种复杂原因造成异常值——不纠结某一个样品的数量，而是注重于变化趋势]

## 3.3 植硅体碳的相关研究

- 植硅体在形成过程中会封闭植物体内的多种元素，C 即是其中之一。
- 因为植物有机质是光合作用的产物，所以植硅体内的放射性碳也被认为可以代表植物生长时段外界大气二氧化碳的放射性碳水平。

---

### 3.3.1 植硅体碳的测年

- 碳 14 测年
- 植硅体测年的利与弊
  - 利：补充了测年材料的不足，如年代较早的堆积、较纯净的堆积
  - 弊：其他测年方法的冲击，比如利用炭化遗存进行测年
    - 目前 AMS 测试所需的纯的植硅体量还比较大 (>200mg)，自然地层中的钻孔样品难以满足其需要
    - “老碳”效应与堆积混乱导致的偏差
      - 「植硅体中的碳有两种来源，一种是大气中的二氧化碳，另一种是土壤中的老碳；土壤中的老碳会造成植硅体测年偏早；沉积后的搬运、混杂又会造成植硅体测年偏晚」

---

### 3.3.2 植硅体碳封存与碳排放

- 植硅体碳可长时间封存于土壤中，并且植硅体封存的碳相对含量随时间增加或者土壤深度增加而增加。
- 植硅体碳同样是土壤有机碳的重要构成 (0.72-9.26%，而土壤有机碳占土壤总碳 95%以上，占陆地碳库约 2/3，是大气碳库的 2 倍。
- 全球竹林每年会通过植硅体长期封存  $15.6 \times 10^9 \text{ t CO}_2$ ，有研究认为如果全球  $4.1 \times 10^9 \text{ hm}^2$  的潜在耕地都选择种竹子(或与竹子有相当植硅体碳封存潜力的作物)，按照中等的植硅体碳封存速率 ( $10.36 \text{ t CO}_2/\text{hm}^2/\text{年}$ )，全球植硅体碳封存量将达到每年  $1.5 \times 10^9 \text{ t CO}_2$ 。这一碳封存速率将有效的减少全球  $\text{CO}_2$ 排放量，其占当前增加大气  $\text{CO}_2$ ，排放量的 11%。

## 3.4 植硅体分析在考古学研究中的应用

- 注意事项
  - 1. 植硅体分析仅仅是一种分析方法，虽其有独特之处，但它不是万能的，用它时不可“独善其身”
    - 「植硅体的鉴定是一对多的，因此缺乏独特性的对应」
  - 2. 植硅体分析仅仅是一种分析方法，相关的研究需置于一定的科学问题、研究背景之下
  - 3. 和其他指标一样，进行植硅体分析也要经历一个过程：
    - 现代样品分析→考古借鉴与应用尝试→解决考古学问题，或考古发现→现代样品验证→解决考古学问题

---

### 3.4.1 植硅体分析在稻作农业研究中的应用

前言：当前稻作农业研究现状

1. 野生稻 (*Oryza rufipogon*) 和驯化稻 (*O. sativa*) 的判定

「古人类是如何把野生的“杂草”驯化成可以集中、定时开花结果的植物；

傅稻镰的研究开启了对水稻穗轴的研究；

中国科学院吕厚远开启了水稻扇形植硅体的研究」

## 2. 稻田的判定与水稻生境分析

「如果没有手段，我们就无法确定“干净的土”究竟是生土还是农田土；

“每克土样中有 5000 个水稻扇型植硅体作为判断稻田的标准”——靳桂云等：《山东胶州赵家庄遗址 4000 年前稻田的植硅体证据》

“稻田土”是一种非自然形成的土壤，有其特殊的物理化学性质」

「判断了稻田与否后，需要判断是水田还是旱田→关系到古代人们的资源分配利用情况（人力资源、社会结构）」

## 3. 长江下游地区的水稻驯化过程，及环境等因素对其的影响

「关心在水稻驯化过程中的人为因素；

多种方法共同分析」

## 4. 长江中游地区的水稻利用过程的案例积累

「尚处于积累阶段，还没有开始进行宏观的讨论；

目前能够说清楚稻作农业的起源的区域只有长江下游」

## 5. 稻作农业的传播

「东传：长江下游-山东半岛-日本列岛、韩国

南传：从长江下游直接南下经过台湾，散播到中南半岛亚洲和南部岛屿；从长江下游向南，经过今天的贵州、广西一带，再到中南半岛亚洲和南部岛屿；

西传 1：从长江下游北上，绕过喜马拉雅山——缺环很多，缺乏路途中的证据

西传 2：长江中游-四川、云南-缅甸、泰国-印度」

### (1) 稻作农业向北方的传播

「在稻作农业向北传播的同时，粟作农业也在向南传播，两者的发生几乎同时。以至于在今天的秦岭淮河一线，出现农业奇观，即粟、稻混作农业。

大汶口、仰韶文化的大规模南下和良渚文化的北上；

史前稻作农业分布北界：不过黄河，在今天的河南的北部、山西、山东的北部」

### (2) 稻作农业向南方的传播

「目前成都平原稻作农业的来源还说不清楚：

路线 1：长江中游-三峡-四川——在陶器上体现的很明显，但是在植物考古中尚未确定

路线 2：长江中游-北上-经河南入汉中-汉中入川；

粟作农业南传的路线，同时也是马家窑文化南传的路线：甘青-成都平原-云贵-东南亚——证据比较充分」

「稻作农业南传路线：

长江中游-江西-东南沿海——证据比较充分

湖南湖北-贵州、广西-南亚；」

### • 稻作农业向外传播的动力



Why Rice Farmers Don't Sail: Coastal Subsistence Traditions and Maritime Trends in Early China

## 6. 稻作农业研究的其他方向

「农业和人是一体的，不能够只把农业看作“种植”，还关系到人力资源分配/分工」

- 生态位视角下的稻作农业-淡水湿地生产体系的构建及其发展：以田螺山遗址为例

「季节性原因使得人们需要在稻作农业和采集行为之间做出选择（水稻、菱角等植物的此消彼长）；」

- 稻作农业社会组织
- 水稻驯化过程中对基因、生态位的选择

「关注植物的某些功能性基因；

水稻在漫长的生长过程中受到的基因的控制，野生稻和驯化稻的基因差异」

- 古代水稻种植对全国变暖、土地利用的影响
- 其他地区稻作农业的研究：如南亚、东南亚、南美、非洲

「中国是粳稻的起源中心：距今 4500 前后，中国完成了粳稻的驯化；

印度是籼稻的起源中心：距今 4500 前后，印度尚未完成先到的驯化，当中国的粳稻传播至印度时，粳稻与籼稻杂交，最终形成了今天的籼稻；

中国：南籼北粳——籼稻是如何从印度传回中国，并且取代粳稻，成为南方最主要的农作物，这一过程尚未明晰」

- 非洲：非洲栽培稻、光稃稻

## 4. 植硅体学习过程

- (1) 文献梳理：
  - 现代植物植硅体研究现状（了解）：农作物
  - 植硅体分析在考古学应用的现状（熟悉）：做综述
- (2) 研究区域或遗址背景材料的把握：考古发掘背景、生计模式研究成果、发现研究空缺→确定研究方向
- (3) 样品采集，并进入实验室分析
- (4) 数据分析与讨论

# 1. 水稻遗存的判定

科 禾本科

亚科 稻亚科

属 稻属

种 驯化稻 (*Oryza sativa*)、野生稻 (*O. rufipogon*)

亚种 粳稻 (*O. sativa* subsp. *japonica*)

籼稻 (*O. sativa* subsp. *indica*)

品种? 旱稻、水稻

- 研究史与研究顺序的倒置

「最早关注稻作农业起源的不是考古学家，而是农学家；

在最早的判别中，忽略了对野生稻和驯化稻的判别，直接讨论粳稻和籼稻」

以往研究/农史：粳稻/籼稻

当前研究/考古学：野生稻/驯化稻、旱稻/水稻

研究思路：以今鉴古，由现代已知性状判定古代遗存的性状

## 1.1 野生稻/驯化稻的区分

- “驯化”，的英文表达为 *domesticate* (动词) / *domestication* (名词)，指生物在进化过程中某些性状的改变
- “栽培”的英文表达为 *cultivate* (动词) / *cultivation* (名词)，指人类的动作与行为，意同“种植”
- 在中文文献中，很多学者用“栽培”一词表达的却是“驯化”一词所表达的含义，这里统一采用“驯化”一词



驯化稻  
植株挺拔  
被动落粒  
籽粒饱满



野生稻  
植株匍匐  
自动落粒  
籽粒瘦长

- 「直立：增加种植密度」

---

### 1.1.1 稻米粒型

- 赵志军、顾海滨(2009)：湖南地区考古遗址

长 (GL)、宽 (GW)、厚 (GT)、胚区长 (EL)、胚区宽 (EW)

$$Y_{野} = -144.775 + 26.282GL + 23.353GW + 12.641GT + 18.836EL + 20.871EW$$

$$Y_{栽} = -174.142 + 24.323GL + 24.559GW + 16.525GT + 31.057EL + 29.542EW$$

$Y_{栽} > Y_{野}$  者为驯化稻,  $Y_{栽} = Y_{野}$  者属性不清,  $Y_{栽} < Y_{野}$  者为野生稻

- 张文绪、向安强

(1) 将炭化稻米复原为稻谷的尺寸

稻米长乘以 1.5225, 粒宽乘以 1.3004, 粒厚乘以 1.1858

(2) 将复原后的尺寸带入判别函数, 值较大者为其属性

$$f_{野} = -175.3 + 48.8362 \times 1 - 3.9591X_2$$

$$f_{粳} = -131.086 + 39.816X_1 - 2.4795X_2$$

$$f_{籼} = -96.5161 + 32.2803X_1 - 1.5615X_2$$

$X_1$  为稻谷长

$X_2$  为稻谷重,

$$\times 2 = 3.6238 \times 1/8 (\text{长} \times \text{宽} \times \text{厚}) \text{ 或 } 0.865129 \times 3/4 \times 7 \times 118 (\text{长} \times \text{宽} \times \text{厚})$$

(3) 将一批数据进行综合分析, 以判定整个群体的属性倾向

- 对已有判别标准的反思

「分析方法具有不确定性, 这种不确定性来源于野生稻和驯化稻的粒型本身就是有重合的」

- 驯化稻和野生稻及其近缘种的粒型的重合
- 考察稻米粒型的变化过程; 长: 逐渐变短; 宽、厚: 变化不大

「真正能够用于判断稻米粒型的因素只有“长”;

但凡能够在基础数据中区分出来的, 就不要做过多的统计」

---

### 1.1.2 稻谷的落粒性和水稻小穗轴

「稻米是否能够自动落粒?」

- 控制落粒性的基因为 sh4 和 qSH1
- 长江下游地区的研究表明, 随着时间的推移, 驯化型小穗轴的比例不断增加, 显示水稻驯化不断加深的趋势, 但也显示出水稻驯化的区域差异

---

### 1.1.3 水稻扇型植硅体: 主要来自叶片

- 鱼鳞状纹饰就是泡状细胞底部受到无色细胞挤压产生的

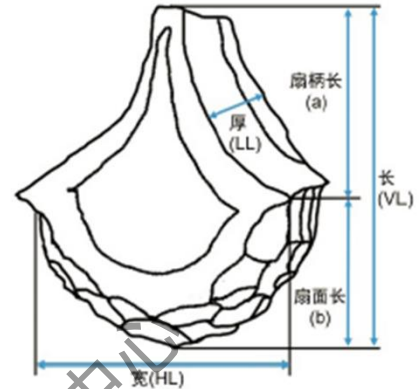
(1) 鱼鳞状纹饰

- 定量描述: 吕厚远等(2002)通过对7种野生稻和6种驯化稻扇型植硅体的比研究发现驯化稻扇型植硅体鱼鳞状纹饰的数量在8到14之间, 而野生稻的大多数少于9, 而且扇型植硅体鱼鳞状纹饰等于或大于, 被认为是驯化稻的标志

- 定性描述：FujiNara（藤原宏志）等（1976）最早认识到弧化稻和野生稻扇型植硅体前缘的鱼鳞状纹饰有所不同，即野生稻扇型植硅体前缘纹饰大而不规则，驯化稻前缘纹饰为龟甲状
- 定量分析：鱼鳞状纹饰>9个（驯化型）的水稻扇型植硅体的比例
- 郇秀佳等（2020）对63个样品开展了分析，区域遍及南方主要省份
- 从现代样品分析的角度，证明了用驯化型扇型的比例可以区分野生稻和驯化稻群体
- 遗留问题：如何区分驯化的早稻和野生稻

(2) 水稻扇型植硅体的形态：除厚外，常用4个指标

- 秦岭等 2006
- 选择了以马家浜文化为时间节点 6000BP 前后
- 对已有的水稻扇型植硅体长、宽梳理后发现，长江下游地区者随着驯化程度的加深，长、宽逐渐变大
- 



#### 1.1.4 水稻双峰型植硅体：主要来自颖壳

#### 1.1.5 水稻哑铃型植硅体

- 目前，对于其的研究很少
- 形态测量数据无法区分野生稻和驯化稻
- 

### 1.2 粳稻和籼稻的区分

「作区分的前提：水稻已经完成驯化」

- 粳稻和籼稻的起源：基因学以及植物考古大数据研究表明，前者起源于长江中下游，并于 4500BP 传播至南亚，与南亚正在驯化过程中的野生稻杂交后，形成籼稻
- 籼稻形成后，经东南亚传播至我国，并经过我国古代先民的培育和发展，形成了当今我国“南籼北粳”的格局。
- 新石器时代及其以前：以判定野生稻、驯化稻为主
- 青铜时代及其以后：以判定粳稻、籼稻为主要研究目标，并尝试重建我国籼稻分布格局的形成过程，其中我国西南地区应是重点关注的区域

#### 1.2.1 稻米粒型

- 长宽比
  - 游修龄（2003）：粳稻一般小于 2，约为 1.6-2.3，籼稻的一般大于 2，约为 2.3-5
  - 王象坤（1996）：<2.3 的属于粳稻，2.3-2.5 的属于中间类型，>2.5 的属于籼稻
- 顾海滨（2007）：应用于城头山遗址

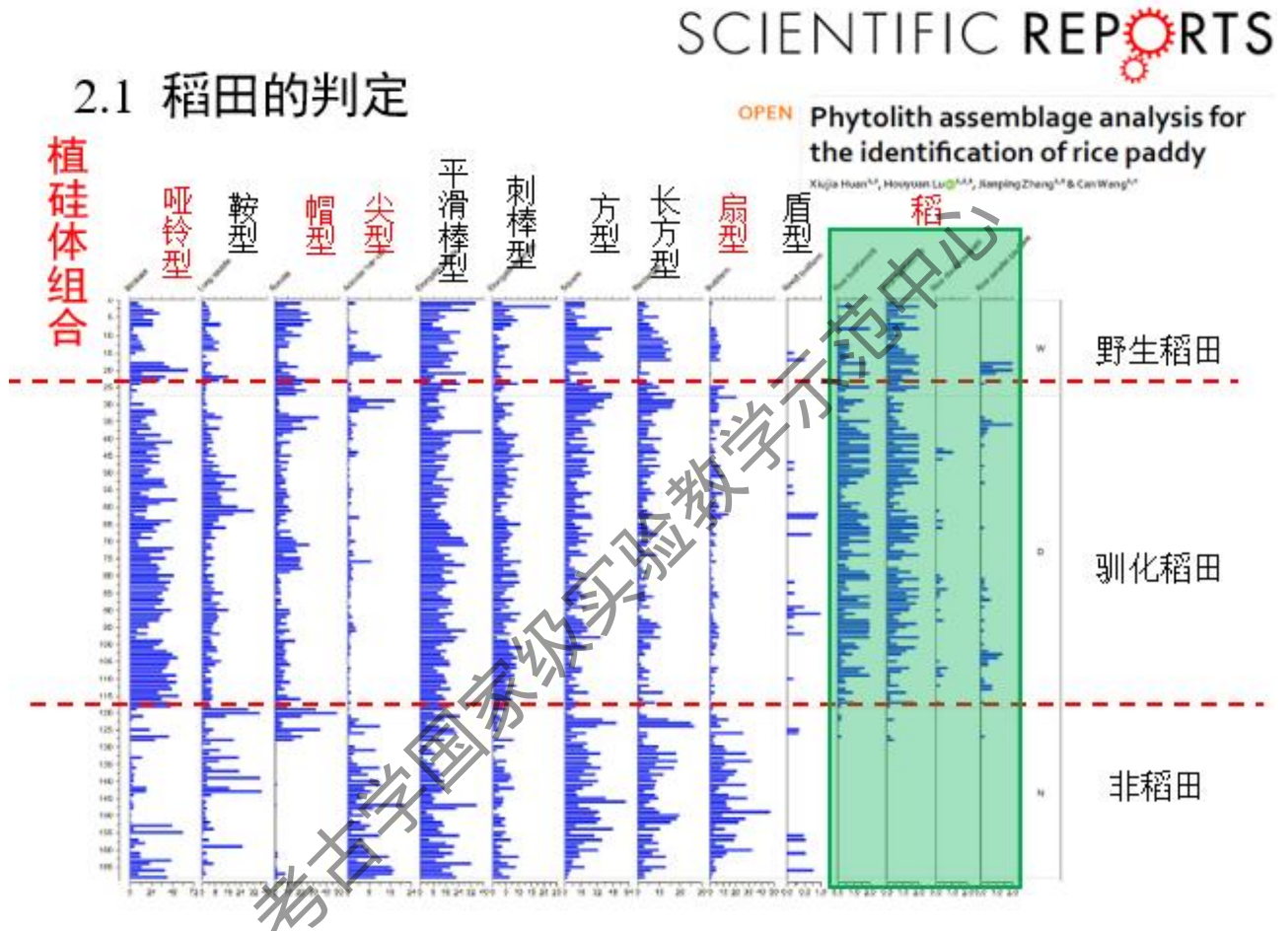
### 1.2.3 水稻扇型植硅体

- 王才林等
- 唐玲花

## 2. 稻田的判定和水稻生境分析

### 2.1 稻田的判定

- Phytolith assemblage analysis for the identification of rice paddy



- 植硅体密度：水稻扇型植硅体>5000 粒/g

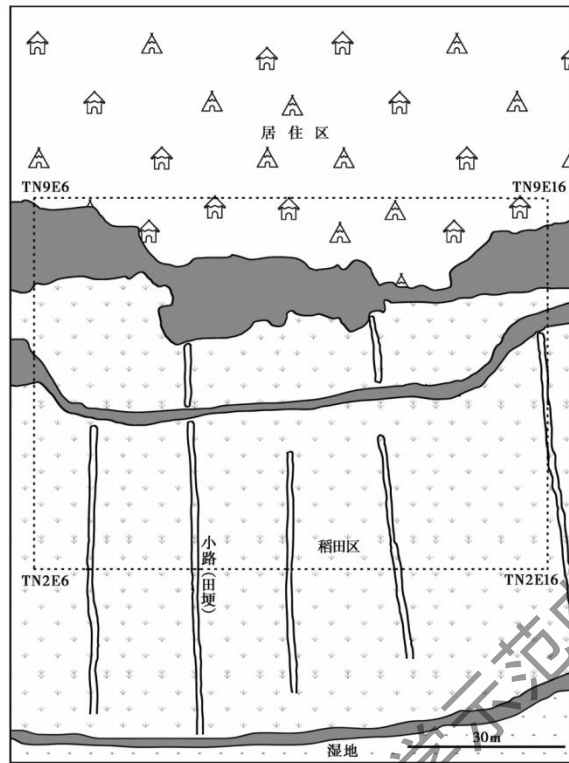


图2 茅山遗址良渚文化晚期青稻田示意图

## 2.2 植硅体组合与稻田生境

- 「固定型：受到基因影响较大；
- 敏感型：受到环境影响较大；
- 哑铃型：偏旱、少水环境之中」

### 2.2 植硅体组合与稻田生境

Fixed 固定型	Sensitive 敏感型
Dry or fixed, passive (short grass cells)	Wet or sensitive, active (long grass cells and stomata)
Rondel 帽型	Long smooth 平滑棒型
Round rondel (Stipa type)	Long sinuate 齿型
Saddle 鞍型	Long polyhedral 块状
Bilobate 哑铃型	Long echinate 刺状棒型
Scooped bilobate 横排哑铃型	Stomata 气孔
Square bilobate (Setaria type)	
Cross 十字型	
Collapsed saddle	
$S:F = \frac{\text{平滑棒型} + \text{刺状棒型} + \text{齿型} + \text{块状}}{\text{帽型} + \text{鞍型} + \text{哑铃型} + \text{横排哑铃型} + \text{十字型}}$	

- 旱稻、水稻植株中植硅体组合差异的探索

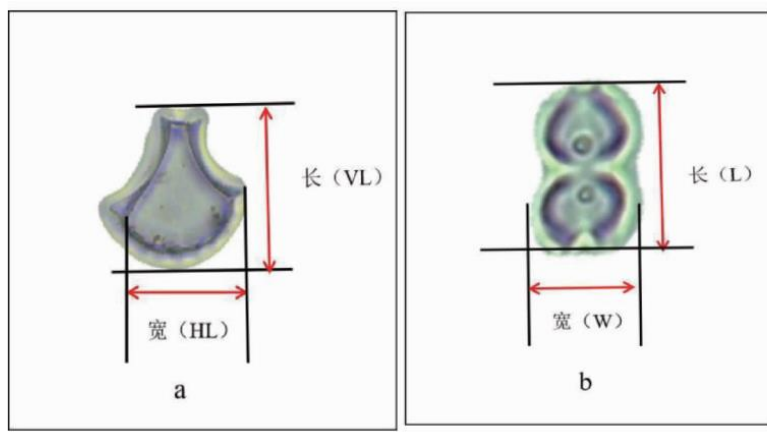


表 2 水稻和旱稻叶扇型植硅体长宽测量值( $\mu\text{m}$ )

Table 2 The length and width of bulliform phytolith in leaves of paddy and upland rices ( $\mu\text{m}$ )

样品	长(VL)				宽(HL)			
	最大值	最小值	平均值	标准差	最大值	最小值	平均值	标准差
水稻叶	62.5	26.8	43.6	7.5	57.0	32.6	43.4	6.3
旱稻叶	28.8	5.3	11.8	6.5	27.1	7.9	15.2	5.6

表 3 水稻叶和旱稻叶哑铃型植硅体长宽测量值( $\mu\text{m}$ )

Table 3 The length and width of bilobate phytolith in leaves of paddy and upland rices ( $\mu\text{m}$ )

样品	长(L)				宽(W)			
	最大值	最小值	平均值	标准差	最大值	最小值	平均值	标准差
水稻叶	21.1	9.8	13.1	1.9	10.9	3.9	7.2	1.5
旱稻叶	12.0	5.7	8.8	1.7	10.5	4.4	7.0	1.4

### 3. 长江中下游地区的水稻驯化进程

- 两个关键时间节点——6000BP、5000BP
- 判别指标

#### • 稻米粒型

- 长：总体较复杂，下降→稳定  
「崧泽文化以后，稻米粒型趋于稳定」
- 宽：有一定增大的趋势

#### • 小穗轴

- 6000 年以前，驯化速率很慢；6000 年前后有一个快速增长的过程，杭州湾以北的环太湖流域，驯化比例基本达到 100%

#### • 驯化型水稻扇型植硅体的比例

- 6000 年前后，基本达到现代驯化稻的水平

- 水稻扇型植硅体的长宽
  - 水稻扇型植硅体的长、宽随着驯化程度加深而增大
  - 6000BP：增大的过程中
  - 5000BP：形态固定

## • 长江下游地区水稻驯化过程

- 10000-7000BP：尝试期，各指标的变化有快有慢
- 7000-5000BP：加速期，各指标均快速增长，

6000BP 稻田的出现加速了水稻驯化的进程，如小穗轴所示「出现了新的农业景观」

- 5000BP 或略早：固定期，各指标的形态均稳定

## • 长江中下游地区水稻驯化进程的对比

- 小穗轴：中游地区的起点非常高
- 水稻扇型植硅体：6000BP 后，两者基本一致
- 问题 1: 两个分析指标显示的不一致，哪一个更接近真相？
- 问题 2: 小穗轴分析结果是否真实反映了两地驯化模式的不同

## 4. 稻作农业的传播

- 植物考古常规研究思路

(1) 水稻遗存发现的梳理 测年数据

(2) 时空定位

(3) 描点连线

(4) 讨论传播过程

- 已有研究的延伸：“雁过留声”
  - 稻作农业向东南地区的传播：以南山遗址为例

### 1. 前言与科学问题

「考古学中一定要用校正后的数据」

### 2. 植硅体分析结果

「第一期和第二期，水稻的形态是没有变化的」

### 4. 相关问题讨论

(1) 南山遗址水稻遗存的性质与持续利用

- 陶器面貌：第二期继承了第一期的传统，且二者之间不存在时间的缺环
- 植硅体浓度：第一期第 22 层开始，水稻植硅体的浓度一直保持较高水平，未长时间的断裂
- 水稻扇型植硅体：形态稳定的驯化稻群体
- 水稻种子和植硅体：本地种植
- 5000-4000 BP，南山遗址先民持续发展本地的稻作农业

(2) 福建地区先秦稻粟混合农业发展过程

表 1 中国南方和中南半岛的主要稻粟遗存及其年代<sup>a)</sup>

区域	遗址	稻遗存年代(Cal a BP)	粟遗存年代(Cal a BP)	文献	
中南半岛	Nong Nor	陶片中稻壳3442-3000 <sup>a)</sup>	N/A	Hodges等, 1993	
	Nou Pa Wai	公元前一千纪	4417-4158 <sup>a)</sup>		
	Nou Mak Lu	公元前一千纪	公元前两千纪	Weber等, 2010	
	Ni Kham Haeng	2756-2492 <sup>a)</sup>	公元前两千纪		
	Ban Non Wat	2746-2459 <sup>a)</sup>	N/A	Higham和Higham, 2009	
	Non Nok Tha	3445-3071 <sup>a)</sup>	N/A	Hodges等, 1991	
	Loe Giang	陶片中稻壳4000-3300	N/A	Barron等, 2017	
	An Son	陶片中稻壳4250-3150	N/A	Bellwood等, 2011; Barron等, 2017	
	Rach Nai	3555-3265 <sup>a)</sup>		Castillo等, 2018	
	Khao Sam Kaeo	2400-2000 <sup>a)</sup>		Castillo等, 2016	
四川盆地	刘家寨	N/A	5500-4700	李映福, 2014; 四川省文物考古研究院等, 2012	
	哈依	N/A	5500-4700	阿坝藏族羌族自治州文物管理所等, 2010	
	普盘山	N/A	5300-4600	赵志军和陈刚, 2011	
	桂源桥	4510-4230 <sup>a)</sup>	4850-4550 <sup>a)</sup>	洪玉和万斌, 2015	
	宝墩	4790-4432 <sup>a)</sup>	共存	d'Alpoim Guedes等, 2013	
	龙王庙	4800-4500 <sup>a)</sup>	共存	闫雪等, 2013; 四川省文物考古研究院等, 2011	
	横栏山	4470-4120 <sup>a)</sup>	共存		
	范塘	4160-3960 <sup>a)</sup>	4100-3970 <sup>a)</sup>	成都文物考古研究所等, 2016b	
	坂家堡	N/A	4842-4644 <sup>a)</sup>	成都文物考古研究所等, 2016a	
	白丰村	4574-4424 <sup>a)</sup>	4818-4823 <sup>a)</sup>	Manichou等, 2018	
云南高原	大墩子	4130-3928 <sup>a)</sup>	4144-3860 <sup>a)</sup>	金和天等, 2014	
	海门口	3693-3571 <sup>a)</sup>	3968-3706 <sup>a)</sup>	倪锐, 2013	
	鸡公山	3444-3219 <sup>a)</sup>	N/A	贵州省文物考古研究所等, 2006a	
	吴家大坪	3471-3166 <sup>a)</sup>	N/A	贵州省文物考古研究所等, 2006b	
	石佛洞	3358-3066 <sup>a)</sup>	共存	云南省文物考古研究所等, 2010	
	石砣洞	2724-2384 <sup>a)</sup>	共存	Zhang等, 2017	
	感纳岩	3839-3596 <sup>a)</sup>	共存	广西壮族自治区文物工作队和那坡县博物馆, 2003	
	晚塘	4500	N/A	广西壮族自治区文物工作队和贵源县文物管理所, 2004; 吴强和侯晓程, 2009	
	西广	茶岭	4526-4418 <sup>a)</sup>	N/A	夏春梅等, 2019
		老院	4690-4246 <sup>a)</sup>	N/A	Yang等, 2018
石塘		4348-4091 <sup>a)</sup>	N/A	Yang等, 2016	
南山		4974-4846 <sup>a)</sup>	共存	Yang等, 2018	
闽台	葫芦山	3842-3649 <sup>a)</sup>	共存	Ge等, 2019	
	黄瓜山	3980-3846 <sup>a)</sup>	共存		
	屏风山	3826-3632 <sup>a)</sup>	共存	Deng等, 2018a	
	南关里东	5000-4300	5000-4300	Tsang等, 2017	
	鹿寮桥	植硅体4200-4000	N/A	Deng等, 2018b	

a) 该年代为稻、粟遗存直接测年数据; N/A, 该遗址未发现此类作物遗存; 共存, 该遗址粟类作物与稻有共存关系, 年代应当同时; \*, 粟作和稻作的年代是一致的



# 植硅体分析在旱作农业研究中的应用

## 1. 认识和区分粟和黍

禾本科 Gramineae

黍亚科 Panicoideae

黍属 Panicum

黍 *Panicum miliaceum*

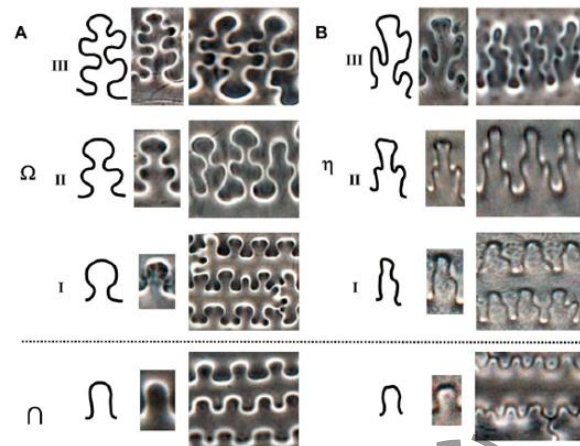
禾本科 Gramineae

黍亚科 Panicoideae

狗尾草属 *Setaria*

粟 *Selerria italica*

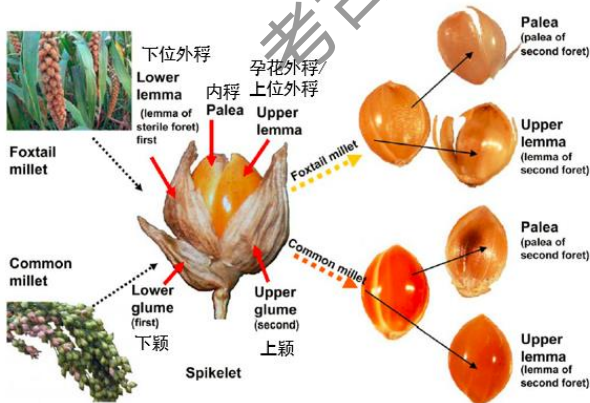
孕花外稃和内稃表皮长细胞壁：粟为Ω型，黍为η型



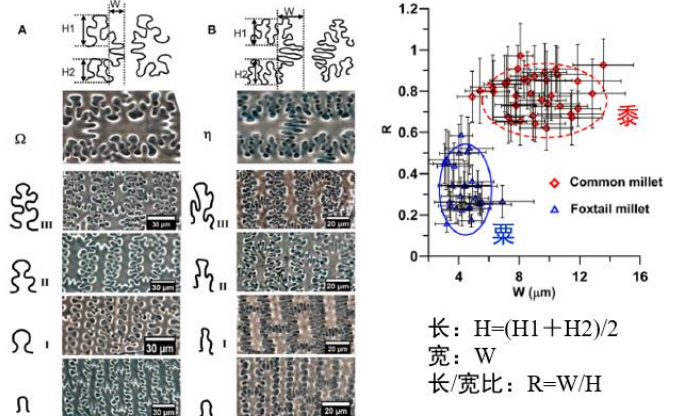
### 1.1 粟和黍的区分

1. 颖片和下位外稃中粟为十字型，黍为哑铃型；
2. 粟发育特有的乳头状突起；
3. 孕花外稃和内稃表皮长细胞壁：粟为Ω型，黍为η型。  
 「只有发现了III级的状态才能够确切地确认是粟/黍，其他形式的都有存疑；越靠近中央，级别越高」
4. 孕花外稃和内稃表皮长细胞末端：粟为交叉波纹型（短）黍为交叉指型（长）；
5. 粟的孕花外稃和内稃表皮长细胞表面特有脊线雕纹

粟、黍籽粒结构

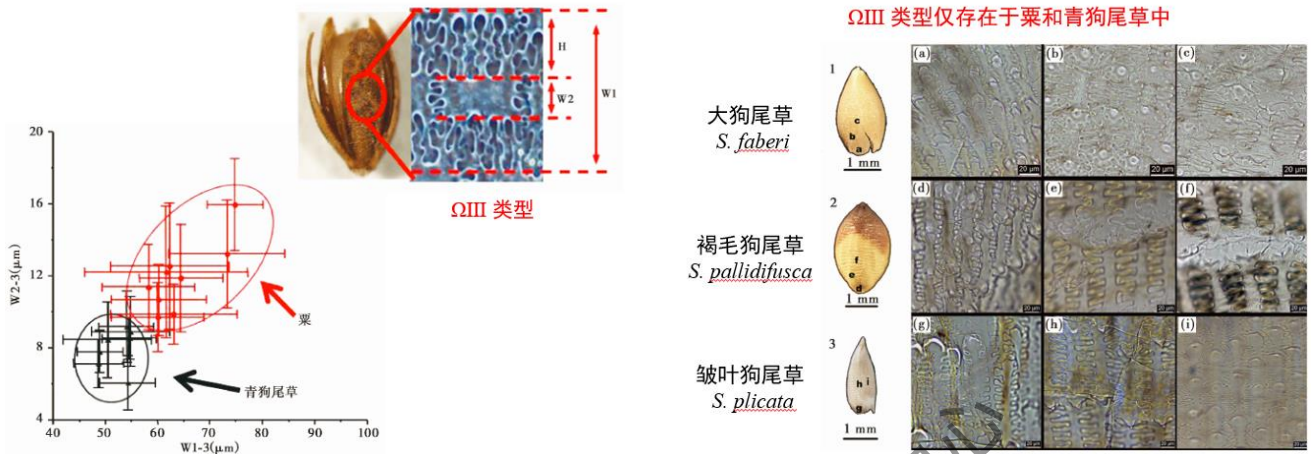


孕花外稃和内稃表皮长细胞末端：粟为交叉波纹型（短），黍为交叉指型（长）



## 1.2 粟和（青）狗尾巴草的区分

- 不同属的植物细胞形态差异明显，而同属植物植硅体形态则存在一定程度的相似性，尤其是野生种和驯化种之间高度相似。因此，粟和青狗尾草之间的区分需要借助一定测量指标



- 「唯一的区别是 $\Omega$  III级在尺寸上不一样」
- $\Omega$  III类型仅存在于粟和青狗尾草中

## 1.3 黍和野黍（退化品种）的区分

- 种子在驯化过程中增大，种子趋于饱满，长宽比值逐渐减小，同时稃片的宽度随之增加，导致稃片内细胞形态改变，表皮长细胞分化更为剧烈，产生了更多的 $\eta$  III类型

「每个稃片中，含量不一样：黍多，野黍少」

- 性状演化与驯化过程的探索：以植硅体为中心

「狗尾草是如何一步步变为粟的？」

1. 没有材料
2. 没有找到合适的方法
3. 相对于水稻而言，粟黍的籽粒一般都比较小
4. 粟黍体内的油脂会炸开，观察到的种子都是变形后的状态——从粟黍的粒型上做突破很难」

「是否能够从植硅体的角度解决旱作农业的问题？」

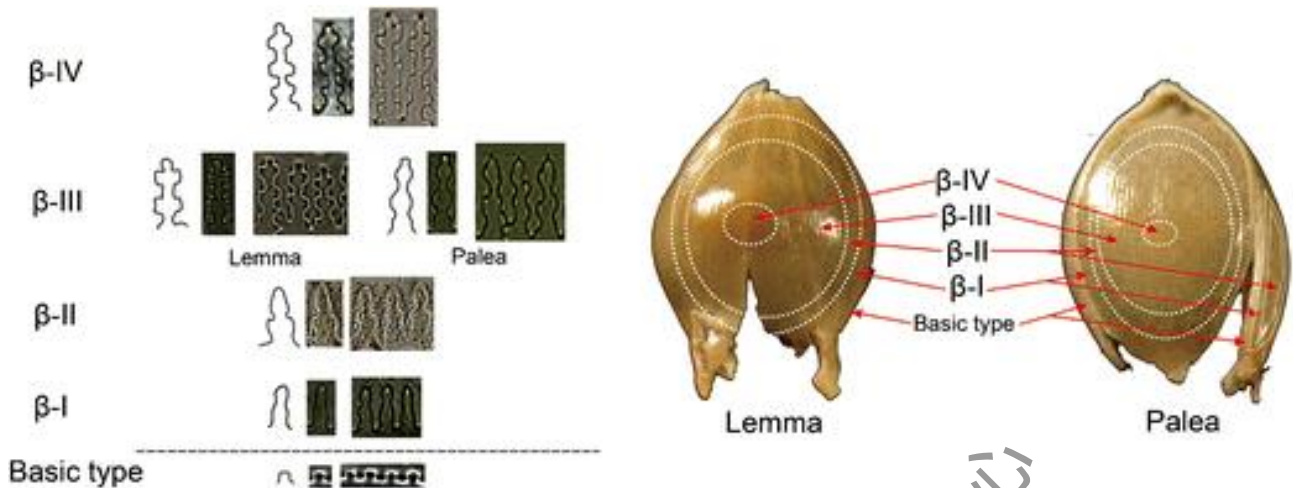
效仿水稻扇型植硅体的统计」

- 研究方向：
  - 定性分析：黍III级所占比例长程变化趋势
  - 定量分析：粟III级宽度的长程变化趋势

## 1.4 粟、黍、稗属的区分

「在南方，稗的作用很大」

- Phytolith analysis for the identification of barnyard millet (*Echinochloa* sp.) and its implications



- Yong Ge, Houyuan Lu, Jianping Zhang, Can Wang, Keyang He & Xiujia Huan

## 1.5 其他研究

- 哑铃型植硅体多来自于叶片，且在黍亚科中普遍存在——竖排哑铃型的区别——但是研究尚停留在实验室阶段

## 2 旱作农业体系研究

### 2.1 粟、黍种植的探索

- 《稳定同位素食谱分析视角下的考古中国》

「C 和 N 所能够解决的问题：植物的种植和人的食谱」

- C 同位素： $\delta^{13}C = \left( \frac{^{13}C^{12}C \text{ 样品}}{^{13}C^{12}C \text{ 标准 PDB-1}} - 1 \right) \times 1000\%$

- C3 植物的  $\delta^{13}C$  的值与可利用水分呈负相关

- C4 植物的  $\delta^{13}C$  的值与可利用水分呈正相关

「C4 植物：粟、黍、玉米及其近缘植物，其他植物都是 C3 植物；

可利用水分：降水、灌溉，在北方，灌溉的数量远大于降水」

- N 同位素： $\delta^{15}N = \left( \frac{^{15}N^{14}N \text{ 年谱}}{^{15}N^{14}N \text{ 后理公-D}} - 1 \right) \times 1000\%$

- $\delta^{15}N$  的值与施有机肥的程度呈正相关

- $\delta^{15}N$  的值与施化肥的程度呈负相关

- 需要注意的问题：

- (1) 不同植物、同一植物的不同部位的 CN 含量是不一样的

- (2) 植物体内 C/N 含量的影响因素众多，降水、温度、CO<sub>2</sub> 浓度等。所以，在对古代遗存进行分析时尽量在一个固定时空范围内进行，以更好地控制“变量”

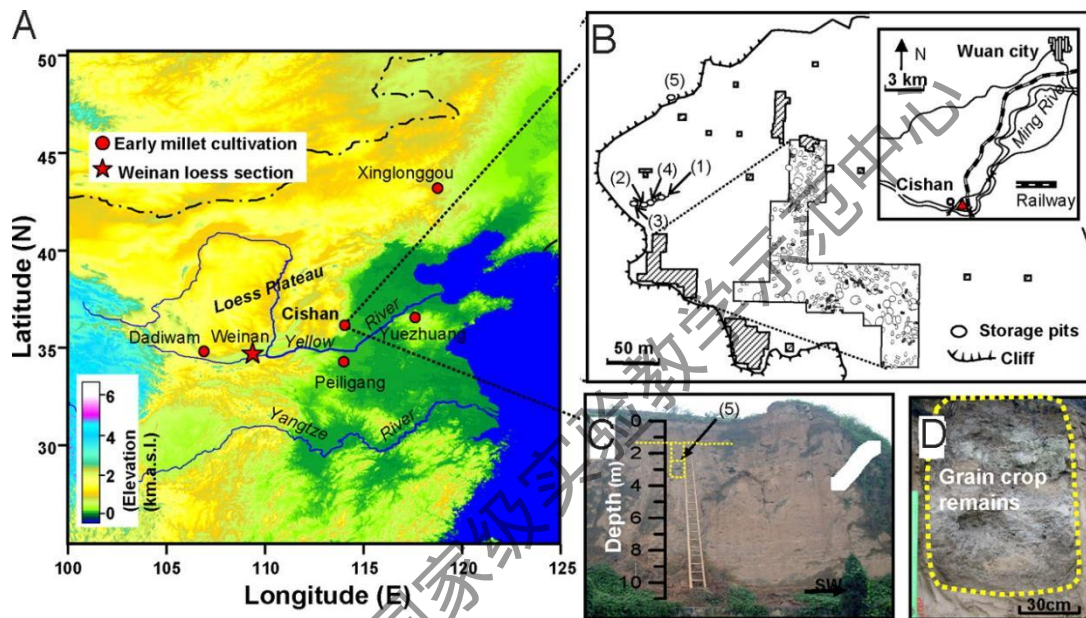
- (3) 谨慎选择现代对比样品
- Millet manuring as a driving force for the Late Neolithic agricultural expansion of north China

## 2.2 旱作农业结构的讨论

- 研究趋势：多种分析方法相结合

### 2.2.1 旱作农业最早年代的争议——早于距今 8000 年

- Earliest domestication of common millet (*Panicum miliaceum*) in East Asia extended to 10,000 years ago

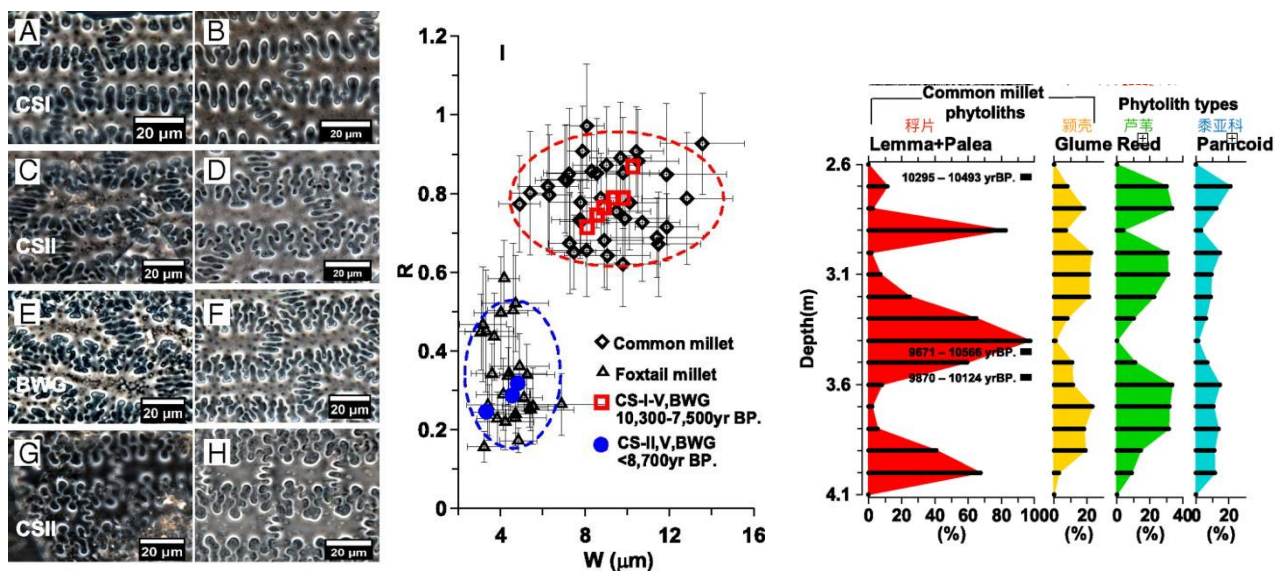


- 磁山遗址：粮食窖穴
  - 「根据剖面取样后，发现植硅体非常纯净；
  - 发现植硅体基本上是粟和黍」

- 指示着特殊的储存方式：茎秆和种子相间分布
- 「发现红色和其它颜色的数量呈现此消彼长的关系；测年数据出现疑问：8000BP? 10000BP? 」

#### • C、N 稳定同位素分析原理与应用

- C: 完全以 C3 为食的  $\delta^{13}\text{C}$  为  $-21.5\%$ ，完全以 C4 为食的  $\delta^{13}\text{C}$  为  $-7.5\%$
- N: 随着食物链的延长而不断富集，每上升一个营养级， $\delta^{15}\text{N}$  增加  $3\%-5\%$
- C3: 稻、麦；C4: 粟、黍、玉米
- 早期旱作农业的稳定同位素证据：甘肃大地湾遗址
  - 大地湾遗址猪、狗的骨骼 C 同位素偏向 C4



- 一期：7900-7200BP 的狗；二期：6500-4900BP

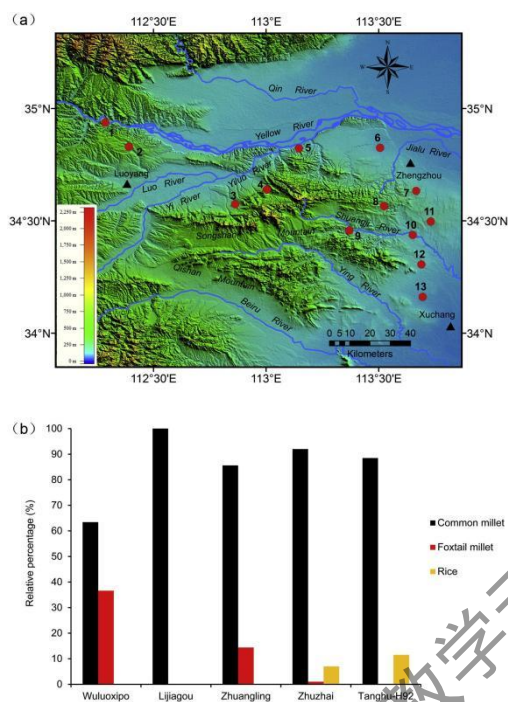
「侧面说明在大地湾一期的时候已经出现了粟和黍」

- 早期旱作农业的新焦点：河北张家口尚义四台遗址 “2022 年度十大考古新发现”
  - 第 1 期：10400-10000BP，发现 6 座半地穴式房址，出土打制石器、磨制石器、细石叶石器、陶器等，出于新旧石器过渡时期，而且已经出现了定居、陶器等新石器时代文化特征
  - 第 2 期：9200-9000BP，发现 4 座半地穴式房址，房址内主要出土陶器残片。石器主要为研磨器（磨盘、磨棒）
  - 第 3 期：7600-7400BP，发现 17 座半地穴式房址
    - 房址地面上多留有陶器、石器、骨器等遗物。净选样品中发现了数量较多的橡子皮壳
    - 大量的石磨盘、磨棒等加工类工具和石铲等翻土类，并发现有碳化的粟与黍，微遗存（淀粉粒）分析也说明了驯化粟、黍的存在，表明 7600 年前后，该地的古人已经开始了驯化农业
    - 新石器的特征逐步显现，驯化粟、黍是否有更早的源头

「驯化是一个过程而不是一个瞬间；」

## 2.2.2 小区域内的农业结构差异

- *The spatial pattern of farming and factors influencing it during the Peiligang culture period in the middle Yellow River valley, China*



- 植硅体数量相对百分比混作：平原；旱作；山地

## 2.2.3 农作物结构的历史变化：以黄河中下游为例

表 3 郑州地区考古样品中农作物植硅体数量统计

Table 3 Quantitative statistics of crop phytoliths from archaeological samples in Zhengzhou area

考古样品	裴李岗文化				仰韶文化中晚期										
	塢罗西坡	李家沟	庄岭	朱寨	马沟	北李庄	庄岭	沙石嘴	朱寨	袁村	颍阳	马鞍河	菜园沟	大河村	
黍稷壳 η 型	7	2	376	448	187	14	39	78	592	344	519	754	375	421	
粟稷壳 Ω 型	4	0	63	4	46	28	13	9	261	12	109	635	42	328	
水稻双峰型	0	0	0	29	0	0	0	0	115	1	202	190	59	55	
并排哑铃型	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	1	0	0	0	
水稻扇型	0	0	0	3	0	0	0	0	15	1	5	2	3	3	

- 《全新世中期郑州地区古代农业的时空变化及影响因素》
- 仰韶时代前后，粟的地位提升，是否超越了黍？
  - 问题：
    - (1) 粟、黍种子和植硅体数量之间如何换算？
    - (2) 黍素的植硅体、大遗存的保存机制有何差异？

「粟更耐高温——依据种子评估旱作农业的时候，把黍低估了」

- 龙山时代：粟超越黍的趋势仍在继续
  - 以黄土高原北部为例
  - 黍更耐旱，但产量较低
- *Millet manuring as a driving force for the Late Neolithic agriculture expansion of north China*

## 2.2.4 余论：稳定同位素在旱作农业传播、食谱构成的应用

- 应用方法：在 C3 植物群体的大背景下，寻找 C4 植物的踪迹
  - 向西：最远至欧洲腹地
  - 向北：最远至贝加尔湖畔
  - 在旱作农业为主的大背景下，黄河流域的食谱里面添加了 C3 植物（小麦？水稻？）
- 粟黍的传播对周边地区文化与社会的影响



## 3 植硅体分析在古环境重建中的应用

### 3.1 地学研究前沿

- 《近 70 年来中国自然地理与生存环境基础研究的重要进展与展望》
  - 中国气候及气候变化
    - 季风气候及变化
      - 新仙女木事件 (YG)、8.2ka 事件、全新世大暖期 (LGM)、4.2ka 事件
        - 「“事件”一般较短；
        - “期”一般较长」
        - 「新仙女木事件：气温骤降，与农业起源、新旧石器时代过渡有关；
        - 8.2ka 事件：气温骤降；
        - LGM：中国新石器时代最繁荣的时期
        - 4.2ka 事件：大洪水」
  - 西风气候及变化
    - 雅鲁藏布江-来自印度洋的西南季风
    - 伊犁地区-来自大西洋的西风
  - 中国全新世温度变化
  - 树木年轮与中国近 2000 年来年分辨率气候变化
    - 原理：每年春夏和秋冬各生长一宽一窄的年轮，在降水和温度较好的年份，生长地快，故年轮较快，反之，则年轮较窄
    - 树轮指标与气候要素关系
    - 干旱半干旱过渡区：温度和降水 P
    - 青藏高原：生长季温度  $T_g$ ；东部：冬季温度  $T_w$
  - 过去人-地相互作用
    - 新石器时代与农业文明
    - 史前人类定居青藏高原
      - *Agriculture facilitated permanent human occupation of the Tibetan Plateau after 3600 B.P.*
      - 史前人类探索、适应和定居青藏高原的历程及其阶段性讨论
      - 拓殖高原、永久定居、麦作传入：对当前青藏高原史前考古重大争论的回应
      - 青藏高原粟作本地化与永久定居
    - 欧亚大陆史前时代东西文化交流
  - 青藏高原古环境
    - 陈发虎-中国科学院青藏高原研究所
    - 赵艳-中国科学院地理科学与资源研究所
    - 董广辉



- 安成邦
- 赵晓燕
- 东北地区
  - 介冬梅
- 植硅体、孢粉、古气候、环境考古
  - 吕厚远
- 华南地区
  - 郑卓
- 长江中下游地区
  - 郑洪波
- 石笋的古环境重建
  - 程海
- 长江流域的环境考古
  - 朱诚
- 过去 2000 年的气候变化（物候）
  - 郑景云
  - 方修琦

「大米市价；

桃花开放的时间」

- 新石器相关
  - 顾延生-中国地质大学-武汉地区慈竹叶植硅体记录及环境意义
  - 王张华-华东师范大学-宁波姚江平原新石器遗址记录的全新世中期水涝灾害及古人类响应与适应对策

「地质地貌与城市发展建设；

中国比较大的城市都处于河流三角洲」

- 夏正楷
  - 自然地理：气候（温度、降水）、植被、地貌
  - 河流地貌演化容易对遗址所处位置等产生重要影响
  - 复原了二里头遗址古城兴盛期间河流的变化（《二里头》P1255）
- 王辉-中国社会科学院考古研究所
  - 王辉，张海，张家富，方燕明：《河南省禹州瓦店遗址的河流地貌演化及相关问题》
  - 王辉：《双洎河中上游地区新石器时代的聚落分布变化与自然环境关系初探》
  - 王辉：《试论遗址地貌的后生变化》

## 2. 植硅体与古环境重建

### 2.1 定性分析

- 通过对表土样内的植硅体组合和现代气候的对比

- 扇型、方型、长方型、长鞍型等植硅体代表暖湿气候环境
- 帽型、齿型、尖型等植硅体在寒冷干旱区域比重较高
- $I_w$  (温暖指数) = (扇型+方型+长方型) / (帽型+齿型+尖型)
- $I_{ph}$  (干旱指数) = 鞍型 (鞍型+十字型+哑铃型)
- 干湿比值 (S:F ratio) = 敏感型植硅体/稳定型植硅体
- $S:F$  = (平滑棒型+刺状棒型+齿型+块状) / (帽型+鞍型+哑铃型+横排哑铃型+十字型)
- 王伟铭, 虞子冶, 杨浩: 《江西星子县第四纪红土层的植硅石和孢粉研究及意义》, 《微体古生物学报》1997 年第 01 期
- 植硅体与孢粉研究的互补性

### 2.1.1 定性和半定量分析——植被和气候综合分析

- 吕厚远, 刘东生, 吴乃琴, 韩家, 郭正堂: 《末次间冰期以来黄土高原南部植被演替的植物硅酸体记录》, 《第四纪研究》1999 年第 04 期

## 2.2 定量分析的探索: 年均温、年均降水

- CCA 相关性分析
- 表土植硅体组合与年均温、年降水有很强的相关性
- 哈因里奇事件 Heinrich event: 气候突变事件, 降水和温度的骤降

[H 事件: 十万年以来多次的干旱、降温事件]

## 3. 案例: 古环境重建视角下的良渚文明衰落原因研究

### Collapse of the Liangzhu and other Neolithic cultures in the lower Yangtze region in response to climate change

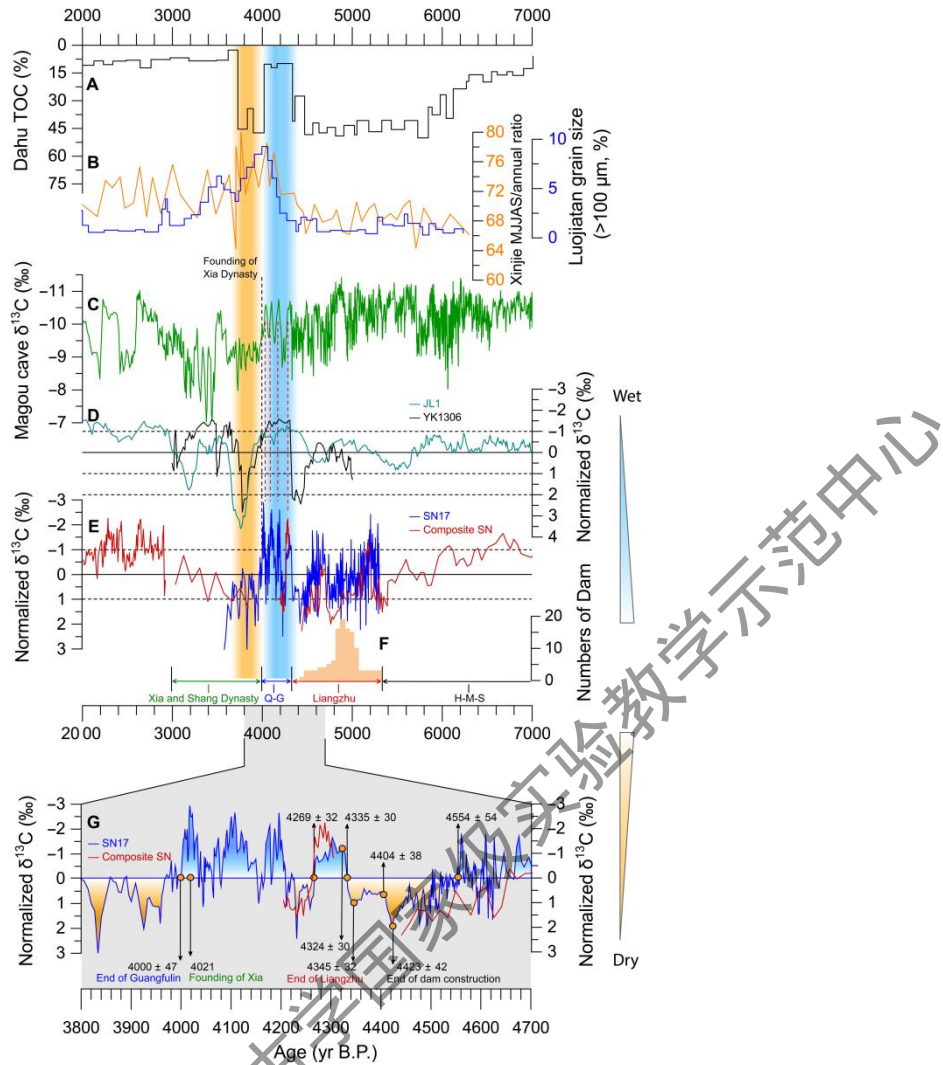
HAIWEI ZHANG , HAI CHENG , ASHISH SINHA , CHRISTOPH SPÖTL , YANJUN CAI , BIN LIU, GAYATRI KATHAYAT , HANYING LI , YE TIAN , [...], AND R. LAWRENCE EDWARDS  [+11 authors](#) [Authors Info & Affiliations](#)

SCIENCE ADVANCES • 24 Nov 2021 • Vol 7, Issue 48 • DOI: 10.1126/sciadv.abi9275

### 3.1 宏观视角下古环境变化对良渚文明衰落的影响

- 江西省神农宫和九龙洞洞穴多支石笋进行高精度的铀系定年和高分辨率的……
  - 神农宫和九龙洞石笋的 C、O 同位素分析
  - 两者与降水呈正相关
  - 12000、8200、3800BP 均有明显的干旱记录, 此与以往研究类似
  - 将石笋记录同其他自然沉积记录进行对比分析, 证实了前者复原的可靠性
  - 尤其是 4000BP 前后的气候异常

- 【演绎】4300 BP 极端干旱后的极端洪涝事件可能首先对良渚古人的生存造成了重大冲击，而后长江下游持续湿润的气候使得太湖平原-杭州湾北部大范围低洼地区被淹，不再适合水稻种植，迫使在洪灾中存活的良渚人也放弃了良渚古城及其周边住址，最终导致良渚文化衰亡。



### 3.2 微观视角下古环境变化对良渚文明衰落的影响

#### 长江三角洲良渚文化衰亡的多指标环境证据

贺可洋<sup>1</sup> 吕厚远<sup>1,2,3,4</sup> 孙国平<sup>5</sup> 姬翔<sup>5</sup> 王永磊<sup>5</sup> 闫凯凯<sup>5</sup> 左昕昕<sup>6</sup> 张健平<sup>1,2,3</sup> 刘斌<sup>5</sup> 王宁远<sup>5</sup>

1. 中国科学院地质与地球物理研究所新生代地质与环境重点实验室 2. 中国科学院地球科学研究院 3. 中国科学院青藏高原地球科学卓越创新中心 4. 中国科学院大学地球与行星科学学院  
5. 浙江省文物考古研究所 6. 福建师范大学湿润亚热带山地生态国家重点实验室培育基地

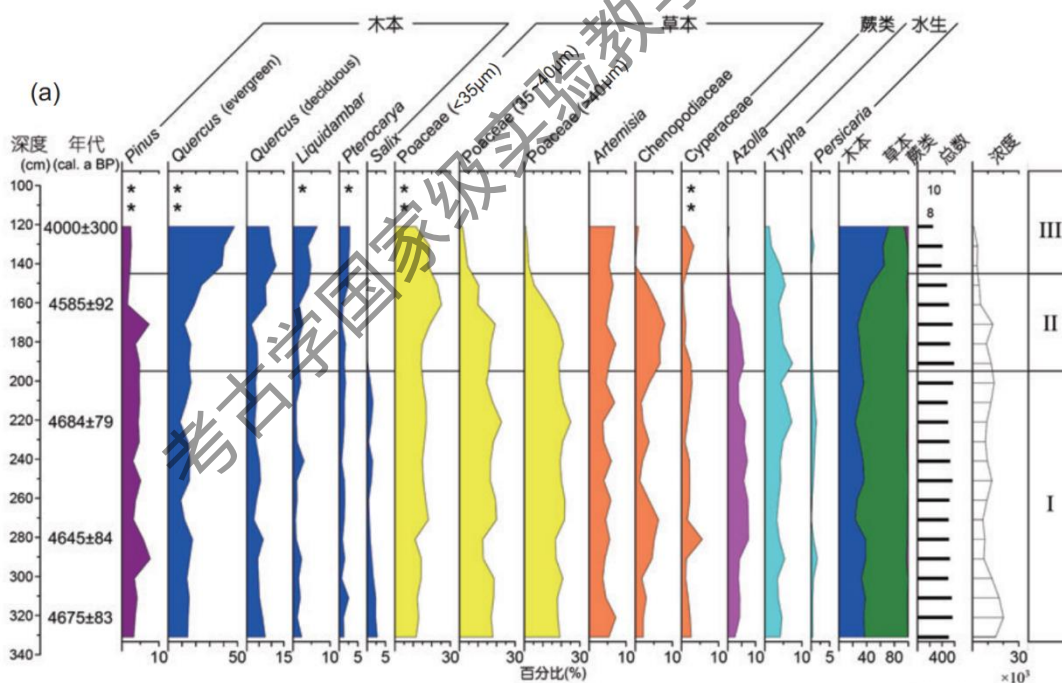
- 广泛叠压在良渚遗址文化层上的黄色粉砂土沉积
- 钟家港

表 1 良渚古城遗址剖面AMS <sup>14</sup>C和OSL测年<sup>a)</sup>

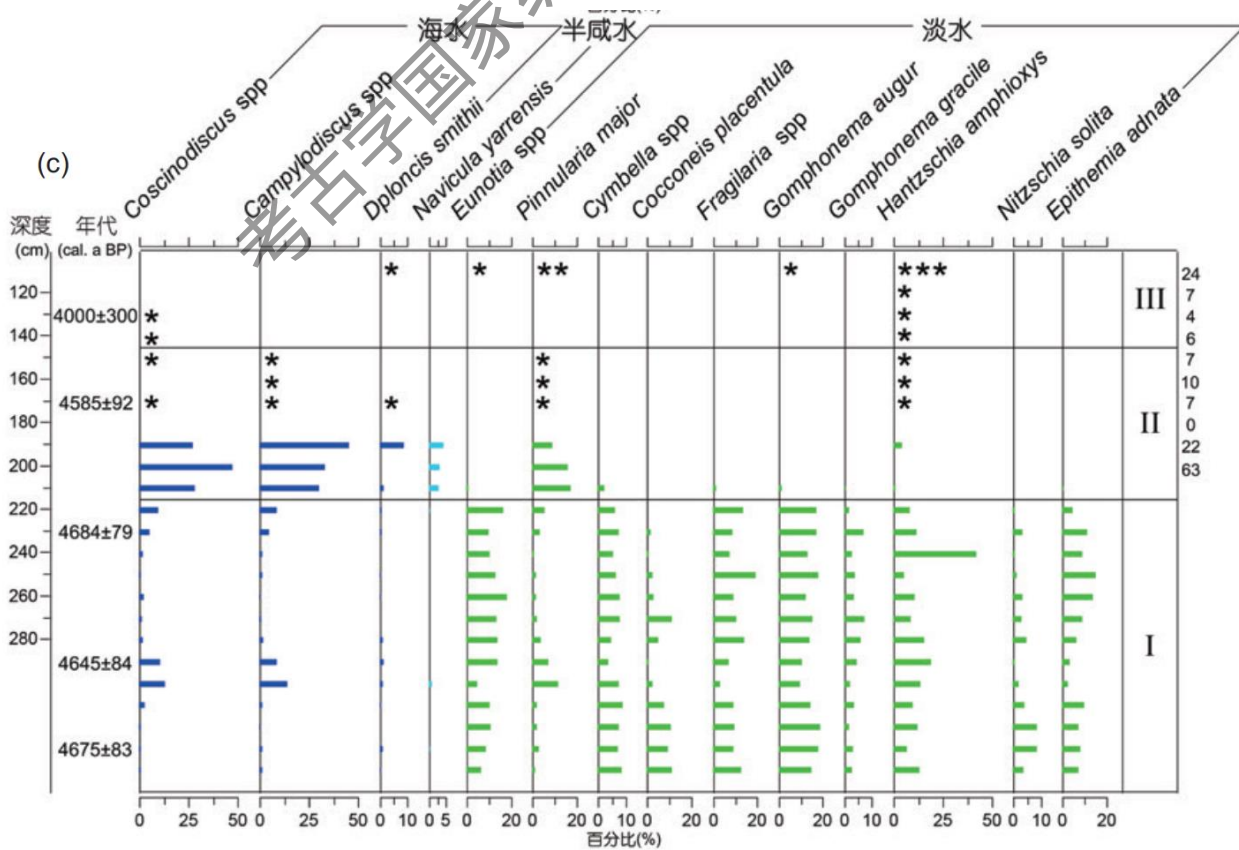
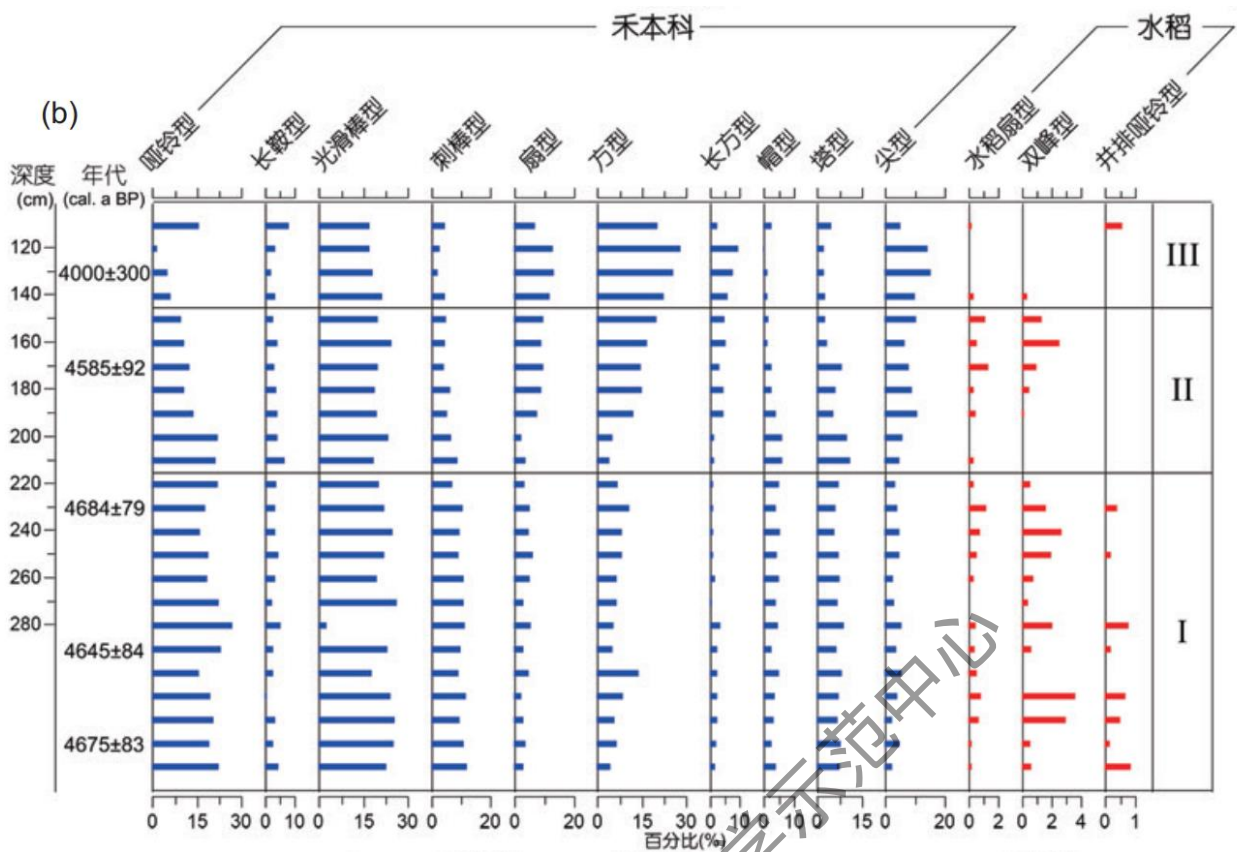
样品编号	深度(cm)	测年材料	层位	传统 <sup>14</sup> C年代(a BP)	校准 <sup>14</sup> C年代 2σ(cal a BP)	中值及误差(cal a BP)
LZ-SZ1*	161	炭屑	5a	4090±25	4801~4449	4585±92
LZ-SZ2*	217	炭屑	6	4140±30	4824~4533	4684±79
LZ-SZ3*	281	炭屑	6	4120±20	4812~4529	4645±84
LZ-SZ4*	320	竹子	7	4130±30	4820~4530	4675±83
LZ-SC1*	155	炭屑	4	4080±20	4795~4446	4562±83
LZ-SZ5**	120	块状样	4	N/A	N/A	4000±300
LZ-SC2**	70	块状样	3b	N/A	N/A	3900±200
LZ-SC3**	130	块状样	3b	N/A	N/A	3600±200

a) \*, AMS <sup>14</sup>C测年; \*\*, OSL测年

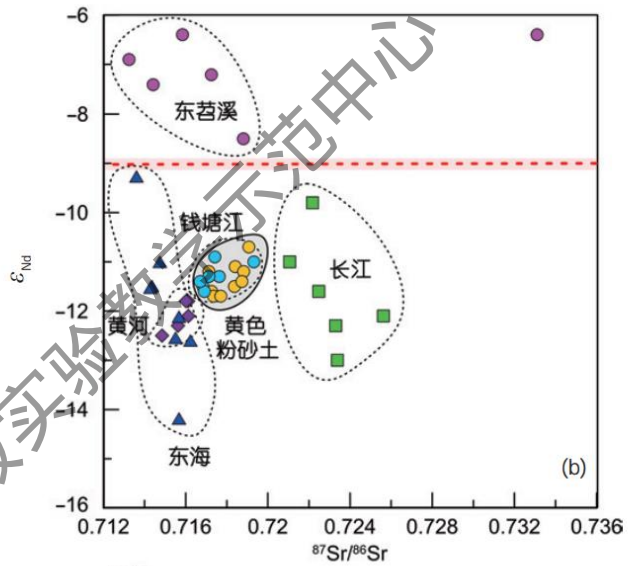
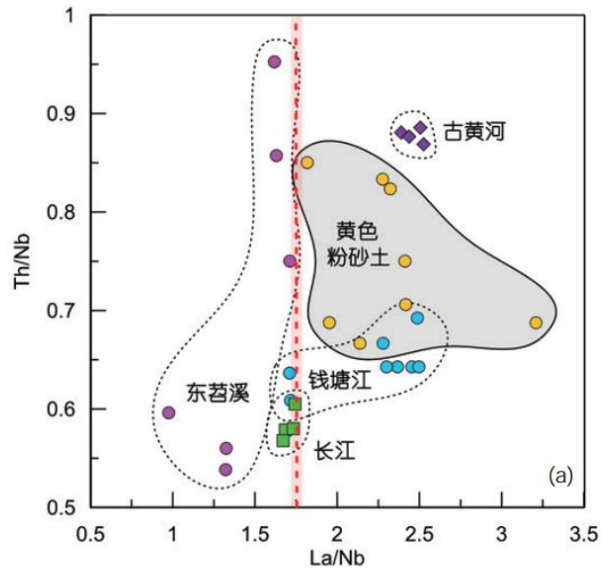
- 黄色粉砂土沉积的年代：OSL 代范围为 4300~3400cal a BP
- 结合已有系统的测年说明，良渚文化在约 4300cal a BP 就已经衰落，早于 4.2ka 事件
- 孢粉：多见于木本
- 植硅体：多见于草本



• 硅藻：  
水生环境



- 结论：持续数百年经洋流和海水搬运的黄色粉砂土沉积，土壤贫瘠且高盐碱，破坏了稻作农业生产基础，最终导致了良渚古城的废弃和良渚文化的衰亡。
- 小结：良渚文明衰落原因的争论
  - 程海：干旱后的洪涝
  - 吕厚远：海水倒灌
  - 赵辉：社会管理体系的崩溃
  - ? 在外因的推动下，加速了内因的转化

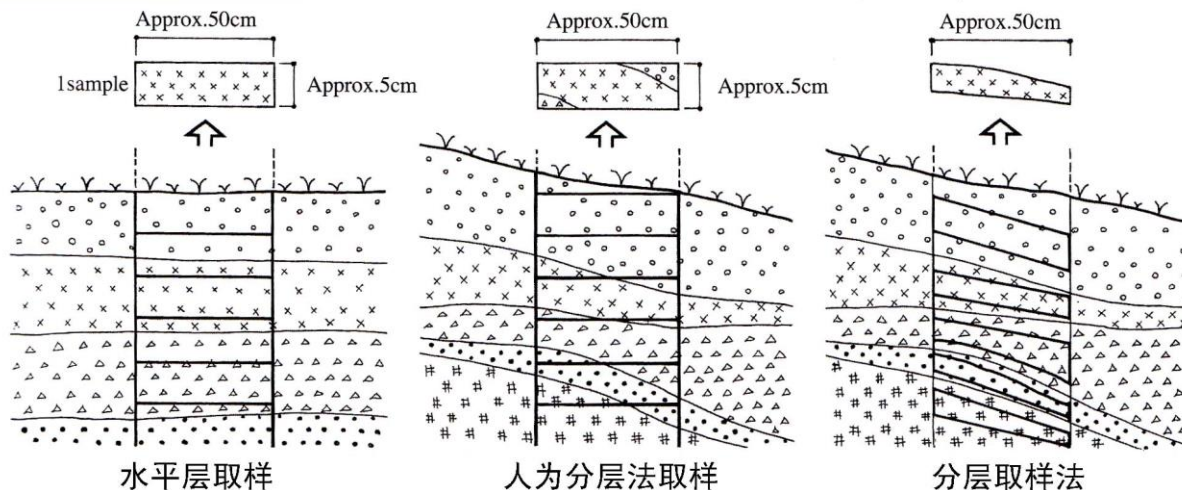


图例

- 黄色粉砂土    ● 钱塘江    ● 东苕溪
- ◆ 黄河        ■ 长江        ▲ 东海

考古学国家级实验示范中心

# 植硅体样品的采集



- 剖面取样：田野调查、其他单位合作
  - 水平层取样-从下往上采集
    - 记录考古地层、距地表的深度；
    - 每隔 5-10cm 采一个样
    - 不能够跨地层采样
  - 土壤微形态-需要跨层采样——与植硅体相反
- 钻孔取样：稻田调查
- 石刀、蚌器表面残留物采样
  - 一般情况：表面清洗样品、使用面样品[刃部]、非使用面样品[背部]
  - 注意提取对比样品：库房内尘土、石器出土时周围的土样
    - 植硅体、淀粉粒分析
  - 取样过程中避免交叉污染
- 期末作业
  -

## 期末作业

### 论文：评述一篇植硅体研究文献

- 不少于3000字，图文并茂
- 截止时间：6月14日（周三）中午12:00
- 提交纸质版，加封面
  
- 简述论文主要内容：不超过500字，不能抄摘要
- 评价文章：对优缺点的评述做到有理有据
- 包括但不限于：论文立意（科学问题是否紧跟前沿）、论文框架、图表与正文的配合度、参考文献的引用是否合理等等

考古学国家级实验教学示范中心



考古学国家级实验教学示范中心