

# 利用 X 射线相衬显微研究野山参的特征结构<sup>\*</sup>

薛艳玲<sup>1)3)</sup> 肖体乔<sup>1)</sup> 吴立宏<sup>2)</sup> 陈 灿<sup>1)3)</sup> 郭荣怡<sup>1)3)</sup>  
杜国浩<sup>1)</sup> 谢红兰<sup>1)</sup> 邓 彪<sup>1)</sup> 任玉琦<sup>1)3)</sup> 徐洪杰<sup>1)†</sup>

1) (中国科学院上海应用物理研究所, 上海 201800)

2) (上海中药标准化研究中心, 上海 201203)

3) (中国科学院研究生院, 北京 100049)

(2009 年 10 月 10 日收到; 2009 年 11 月 13 日收到修改稿)

利用 X 射线的空间相干特性, 可实现低 Z 介质内部结构的高衬度成像. 人参主要由碳、氢、氧、氮等轻元素组成, 原则上可以利用相衬成像来实现其特征结构的无损成像. 由于具有更高的相干通量, 利用第三代同步辐射光源成像可获得更高的时间和空间分辨, 可用于研究更高分辨的人参特征显微结构. 本文利用新建成的上海光源, 较为系统地研究了野山参的显微特征结构. 作为比较, 给出了相应的园参特征结构, 并与野山参进行了比对、分析. 发现了一种未曾报道过的结构, 这很可能是一个新的人参特征结构. 研究表明, X 射线相衬显微有望成为野山参鉴定的一种新的手段.

**关键词:** X 射线相衬显微, 同步辐射, 显微鉴定, 人参特征结构

**PACC:** 4230, 0785, 2920L, 8170J

## 1. 引 言

野山参是五加科人参属植物 (*Panax ginseng* C. A. Meyer) 的根. 由于其系野生, 成长缓慢, 加之采挖过度, 因此目前国内的野山参资源已近于绝迹, 为国家一类保护植物. 园参或林下参则为商品人参药材的主要来源. 由于人们传统认为野山参的药用价值高于栽培的园参或林下参, 于是在民间有以后者冒充前者以牟取暴利的现象. 因此, 人参的鉴别仍然是一项艰巨的任务.

中药的传统“四大鉴别法”, 分别是来源鉴别、性状鉴别、显微鉴别和理化鉴别. 前两种方法都是针对于完整药材, 而且需要很丰富的经验, 主观性较强; 相比之下, 后两种更具有客观性和科学性, 但其样品制备难度大、过程繁琐, 耗材量大. 而野山参资源稀少价格昂贵, 用理化鉴别和传统的显微鉴别法专属性不强. 因此, 目前对于野山参的鉴别, 仍然以最原始的来源和性状鉴别为主, 相关的文献也以野山参的性状描述居多<sup>[1-3]</sup>. 显微鉴别或理化鉴别

的研究, 则相对较少<sup>[4,5]</sup>. 甚至连《中国药典》和国家标准委颁布的《野山参分等质量》也是对野山参的五形感官特征上进行了相关的描述<sup>[6]</sup>.

鉴于上述情况, 如果能够利用 X 射线特有的强穿透能力, 实现野山参等珍贵药材的无损成像, 对于中药材鉴别领域将具有十分重要的意义. 自从 1895 年伦琴发现 X 射线以来, 对于 X 射线方法和应用的研究越来越多<sup>[7-10]</sup>. 但是传统的 X 射线吸收成像技术, 由于轻元素样品的吸收衬度比较差, 几乎无法对中药材实现其显微结构的成像. 上个世纪末发展起来的 X 射线相位衬度成像 (X-ray phase contrast imaging, XPCI) 技术则克服了传统 X 射线吸收成像的不足, 利用相干 X 射线照射到样品引起的折射率的差异, 能够对生物软组织等低 Z 样品成像, 理论上可以实现对中药材的无损显微成像. 肖体乔课题组在 XPCI 方法方面已经开展了大量的理论和实验研究<sup>[11,12]</sup>, 利用 X 射线相衬显微法 (X-ray phase contrast microscopy, XPCM), 已完成了一些普通中药材显微特征结构的成像研究, 证实了该方法的可行性<sup>[13]</sup>, 并对西洋参和高丽白参的显微特征结

<sup>\*</sup> 国家重点基础研究发展计划 (批准号: 2010CB834301), 中国科学院对外合作重点项目 (批准号: GJHZ09058), 国家自然科学基金 (批准号: 10805071, 10705020), 上海市科委基础研究重点项目 (批准号: 08JC1411900) 资助的课题.

<sup>†</sup> 通讯联系人. E-mail: xuhj@sinap.ac.cn

构进行了详细的实验分析,为二者的鉴别提供了重要的参考<sup>[14]</sup>.但是,上述实验都是基于实验室微聚焦 X 射线管光源开展的,由于微聚焦管的低通量和低亮度等原因,得到的 XPCM 图像的分辨率比较低,加之 X 射线胶片作为探测器,在显定影的过程中也容易引入干扰,使分辨率进一步降低,直接影响到显微鉴定的精度.

本文利用第三代同步辐射装置——上海光源,采用 XPCM 方法,对野山参的特征结构进行实验研究.作为对比,也将对园参的部分特征显微结构进行成像实验,并与野山参的特征结构进行比较、分析.

## 2. 原理和方法

### 2.1. 实验原理

X 射线位相衬度成像就是利用 X 射线的相位变化来得到样品内部的结构信息<sup>[15,16]</sup>.其实现方法有很多,例如,干涉仪法、衍射增强法、同轴轮廓法等.上海光源 X 射线成像及生物医学应用光束线站(BL13W1)利用最简单的方法——同轴轮廓成像(X-ray in-line outline imaging, XIOI)方法实现位相衬度成像.

使用平行光束和锥形光束都可以实现同轴轮廓成像,只是成像光路稍有区别,其成像机理相似.同轴轮廓成像的机理可由菲涅耳衍射来描述,对于纯位相物体和点光源(锥形光成像)的情形,在文献

[14]中已有说明,实验室微聚焦 X 射线管光源属于此类.

平行光束成像机理与锥形光束类似,同步辐射的准平行光成像可以用平行光成像的机理来解释.对于弱吸收和弱位相样品,像的强度分布可以近似为<sup>[17]</sup>

$$I(x, y, z) \approx 1 + 2\varphi(\xi, \eta) * F^{-1}(\sin \chi) - 2\mu(\xi, \eta) * F^{-1}(\cos \chi),$$

上式给出了像的强度分布与透射 X 射线的位相变化和振幅变化的对应关系.其中 \* 表示二维卷积运算,  $\chi = \pi\lambda z(u^2 + v^2)$  (这里  $\lambda$  代表入射光波长,  $z$  为物面和像面的有效距离,  $u, v$  为频域坐标),  $F^{-1}$  表示反傅里叶变换,  $\varphi(\xi, \eta) = 2\pi\delta T(\xi, \eta)/\lambda$ ,  $\mu(\xi, \eta) = 2\pi\beta T(\xi, \eta)/\lambda$ , 这里  $T(\xi, \eta)$  为样品的厚度分布函数,  $\delta, \beta$  分别代表样品的复折射率  $n = 1 - \delta - i\beta$  中的位相衬度和吸收衬度的因子.  $\sin \chi$  和  $\cos \chi$  分别被定义为位相强度和吸收强度的衬度传递函数(contrast transfer function, CTF)<sup>[16]</sup>, 它能够在一定程度上显示出光子能量、空间频率和物像距离之间的关系,可以用来理论上粗略估计成像中衬度的变化规律.如根据已知样品的材料组成和感兴趣的细节结构的大致尺度,可以计算选择合适的光子能量和相应的成像距离等.

### 2.2. 实验装置

本文实验是在上海光源 X 射线成像及生物医学应用光束线站(BL13W1)进行. BL13W1(如图 1 所示)是上海光源光束线一期建设的 7 条线站之

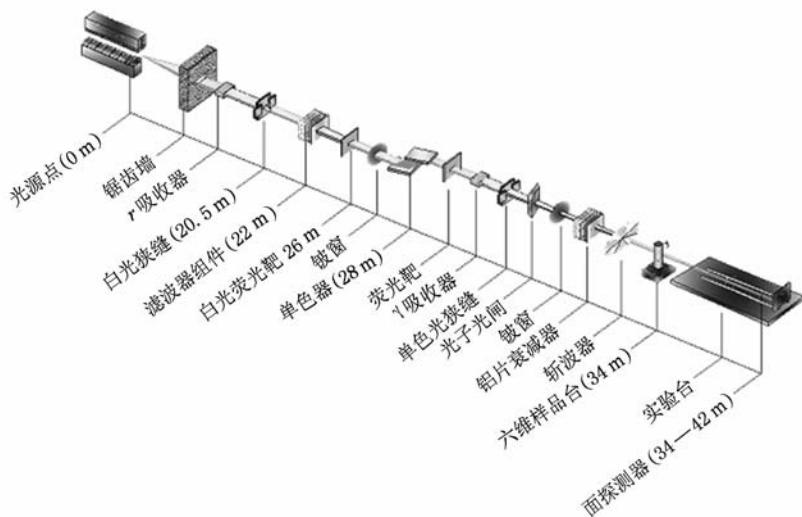


图 1 X 射线成像及生物医学应用光束线站(BL13W1)光路示意图

一,它采用 Wiggler 光源,光学设计非常简单,关键部件为间接液氮冷却双晶单色器.光子能量可调范围在 8—72.5 keV,能量分辨率( $\Delta E/E$ )为  $3 \times 10^{-3}$ .最大束斑尺寸为 48 mm(H)  $\times$  5 mm(V),光子通量密度  $2.30 \times 10^{10}$  phs  $\cdot$  s $^{-1}$   $\cdot$  mm $^{-2}$  @ 20 keV.根据具体实验的要求,可通过白光狭缝和单色光狭缝来调节束斑尺寸.

光源点到样品台原点的距离为 34 m,探测器前后可调距离为 8 m,可通过精密导轨调节(精确到  $\mu\text{m}$ ).光在前端区的最大发散度为  $1.5 \times 0.2$  mrad $^2$ ,距离光源发光点 34 m 处的光束可基本看作准平行光,具有很好的空间相干性.实验采用六维样品台,实验棚屋的样品台以及探测器等设备均采用大理石隔震平台,以避免或减轻实验中震动造成的影响.配有多种分辨率的数字探测器,最好分辨率可达 1  $\mu\text{m}$ (每个像素代表 0.5  $\mu\text{m}$ ).另外还有 X 射线胶片探测器,分辨率可达 0.3—0.8  $\mu\text{m}$ .

### 2.3. 探测器及成像参量选择

实验中采用 HAMAMATSU ORCA II -BT-1024G 型高分辨 CCD,配合 AA50 型 X 光转换装置.该探测器为气冷式,操作简单方便,可以实现两种不同分辨率,分别是 4.5  $\mu\text{m}$ (每个像素代表 2.25  $\mu\text{m}$ )和 1  $\mu\text{m}$ (每个像素代表 0.5  $\mu\text{m}$ ).本文的 XPCM 实验均采用最高分辨的模式进行.

影响相衬成像质量的因素有很多,除了光源类型和探测器的分辨率之外,光子能量、光源到样品(本线站光源点到样品台的距离已确定,约 34 m)以及样品到探测器的距离,还有样品本身的厚度、特征尺寸大小等都将对成像的质量有很大的影响.对于人参的实验,本文经过理论估算以及实验优化,选择的实验参量分别为光子能量 15 keV,束流 100 mA,样品到探测器的距离 70 mm,曝光时间分别为 10, 15, 20 s 不等.

### 2.4. 样品制备

本文的实验样品分别是五等野山参、七等野山参各一支,购自上海医药嘉定大药房(总店)北京仁和堂药店专柜,其产地均为吉林(长白山).园参四支,购自上海医药嘉定大药房(总店)上海雷允上专柜,产自辽宁.每支人参选取其主根的中间 3/5 部分作为实验样品.

实验中采用徒手切片法,每支人参分别制得约

0.2—1 mm 厚的横切片和纵切片数十个,用透明胶带封存后,无需任何特殊处理,直接进行 X 射线相衬显微成像.另外,还用玛瑙研钵制作了几个粉末样品,研细的粉末也只是用透明胶粘封,不需要做任何处理,直接成像观察.其中横切片是指对相应人参样品,垂直于根的纵轴方向所作的切片,纵切片是通过或靠近根的中心垂直于根的半径方向所作的切片.

## 3. 结果与分析

利用同步辐射 X 射线相衬显微方法(SR-XPCM),结合根类中药材——人参显微鉴定的特征结构,本文拟通过横切片、纵切片以及粉末等多角度多形式,以突出显微鉴别的特征结构为宗旨,将主要列举对野山参鉴别意义重大且显微鉴别中出现频率较高的特征结构的 XPCM 结果,如木质部导管、草酸钙簇晶和淀粉粒等细胞后含物、木栓层细胞等.为了与野山参进行对比分析,本文也将对园参进行相应的显微特征结构的成像实验,并对最后的实验结果进行分析概括.

### 3.1. 导管

输导组织是植物体内输送水分、无机盐和营养物质的组织.人参中主要用于显微特征鉴定的输导组织是导管.导管根据导管细胞壁增厚时所形成的纹理或者纹孔的不同,可分为环纹、螺纹、梯纹、网纹和孔纹五种,其手绘图结构如图 2 所示<sup>[18]</sup>.

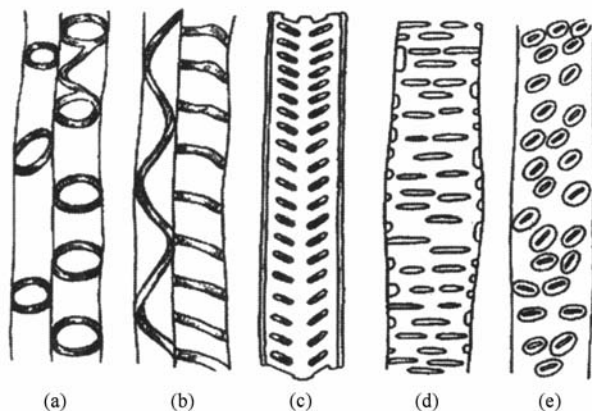


图 2 导管的类型 (a) 环纹导管; (b) 螺纹导管; (c) 梯纹导管; (d) 网纹导管; (e) 孔纹导管

在本实验中用到的七等野山参,经实验发现其导管多数是螺纹导管结构,如图 3(b) 中所示导管均

为螺旋导管,其直径约为 39  $\mu\text{m}$ . 园参中主要也是螺旋导管(如图 3(a)所示),大小在 38  $\mu\text{m}$  左右.

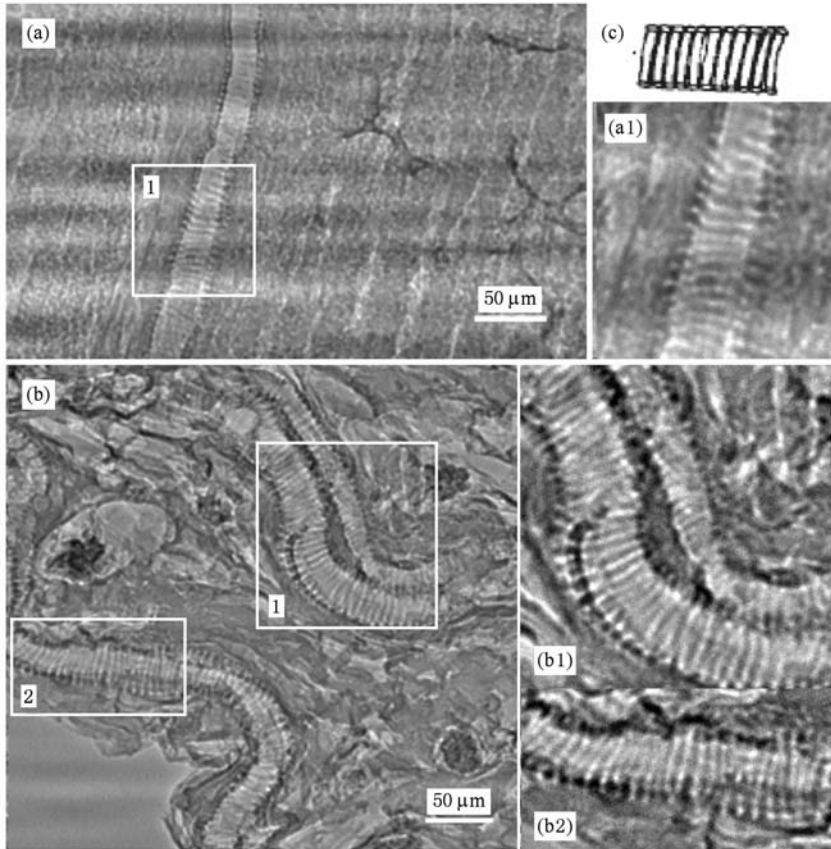


图 3 纵切片中螺旋导管结构的 XPCM 图 (a) 园参, (a1) 是(a)图框 1 中导管的 2 倍放大图; (b) 七等野山参, (b1, b2) 分别是 b 图框 1, 2 中导管的 2 倍放大图; (c) 螺旋导管手绘图

在七等野山参和园参中,实验结果显示除了螺旋导管外,也分布有少量的网纹导管. 图 4 给出的即是在园参粉末 XPCM 图中得到的网纹导管结构,其直径约 52  $\mu\text{m}$ . 同是园参的导管,螺旋导管和网纹导

管的直径大小差异明显,这是因为螺旋导管一般存在于幼嫩器官中,一般较小,而网纹导管则多存在于成熟器官或器官的成熟部分中,所以一般较大.

五等野山参与七等野山参和园参不同,从实验

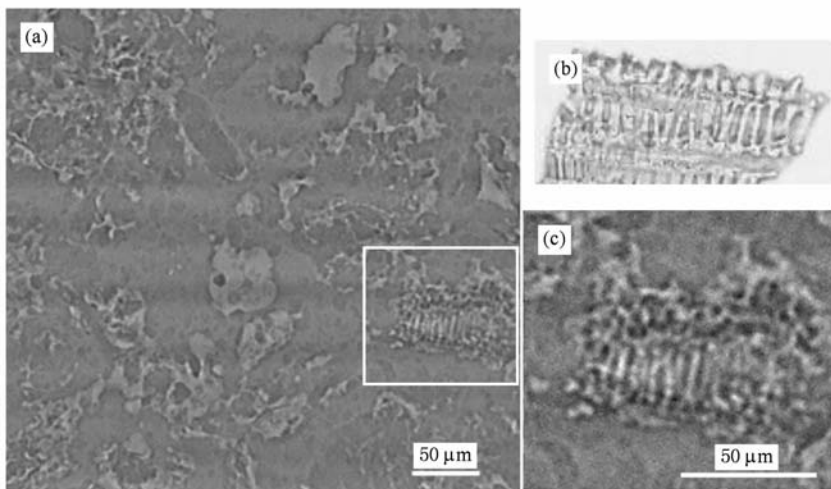


图 4 网纹导管 (a) 园参粉末的 XPCM 图; (b) 经染色处理的光学显微镜下网纹导管结构图<sup>[19]</sup>; (c) (a) 图框中网纹导管的放大图

得到的 XPCM 图来看,五等野山参中的导管类型主要是网纹导管,直径约  $58\ \mu\text{m}$ ,如图 5 中所示(其中框 1 内为网纹导管,框 2 中上侧主要为网纹导管,下侧主要为螺纹导管).少有螺纹和梯纹导管存在,如

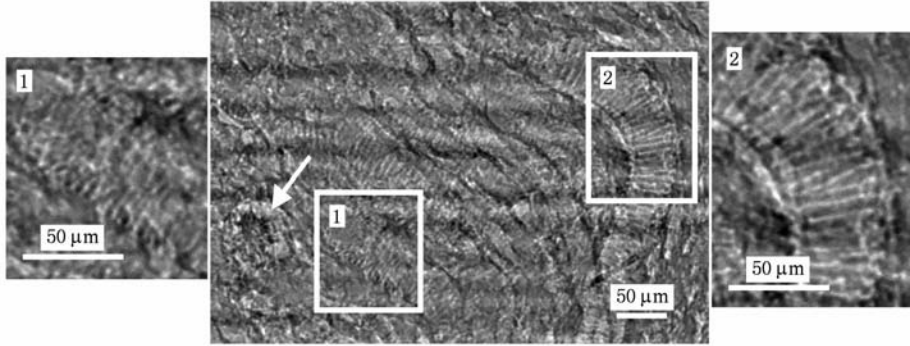


图 5 五等野山参纵切片的 XPCM 图 (1,2) 分别是原图中相应部分的放大

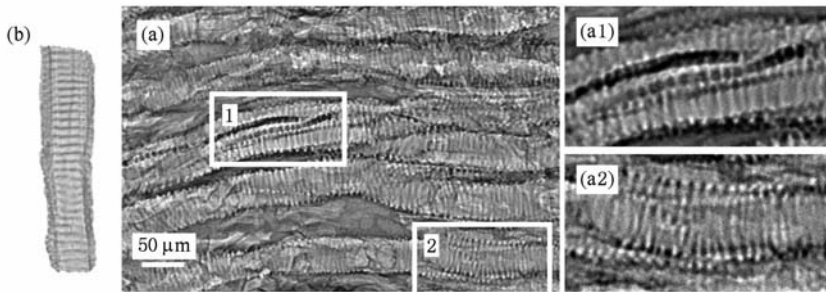


图 6 五等野山参纵切片的 XPCM 图 (a) 多种导管结构, (a1) (a) 图框 1 中梯纹导管的 2 倍放大图, (a2) 框 2 中导管的 2 倍放大图(其中左侧主要是网纹,右侧部分主要是螺纹); (b) 经染色的梯纹导管在显微镜下的显微结构图<sup>[19]</sup>

以上实验结果可以发现:七等野山参和园参的导管多数为幼嫩较小的螺纹导管,成熟的网纹导管稀少;而五等野山参中则多是成熟较大的网纹导管和梯纹导管.这说明五等野山参较七等野山参和园参生长时间相对较长,更接近成年人参.从图中还可以看出,园参中的导管较少,七等野山参次之,五等野山参中的导管数最多,导管分布的密度也最大,这一点在已有的资料中没有研究总结.综合以

上结果,导管的类型、分布密度和数量有明显的区别,有可能作为鉴别人参等级的标准.

### 3.2. 草酸钙簇晶

草酸钙簇晶的形状有很多种,但都是大同小异,其不同主要体现在簇晶以及簇晶晶瓣的大小、多少和尖锐程度的区别,如图 7 所示<sup>[20]</sup>.

文献[21]报道野山参的草酸钙簇晶棱角多平

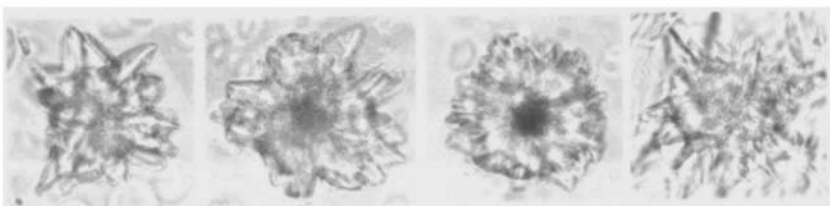


图 7 草酸钙簇晶的几种主要的结构形状

钝,本文作者并不完全同意其观点,而是认为要视野山参的年龄来定.本文研究发现五等野山参中的簇晶大多数都是尖锐的,只有少数平钝.如图 8 中星状的结构就是五等野山参中的草酸钙簇晶,从图中可以看出,簇晶棱角较多,且大都是尖锐的,簇晶的大小(直径)分布约从 13—72  $\mu\text{m}$  不等,有的甚至达到近百微米,但大多数分布在 40—50  $\mu\text{m}$  左右.

当然,在五等野山参中除了这种晶瓣较尖锐的簇晶,也存在少数晶瓣比较平钝的结构,如图 9 中显示的簇晶结构.另外,还发现存在如图 9 中方框内的一种结构:在一个簇晶中部分晶瓣尖锐、部分晶瓣平钝.从图 8,9 对比可以看出,晶瓣尖锐的草酸钙簇晶相对晶瓣比较平钝的簇晶,其大小也存在差异,晶瓣尖锐的簇晶相对较大,而平钝的簇晶直径则相对较小.

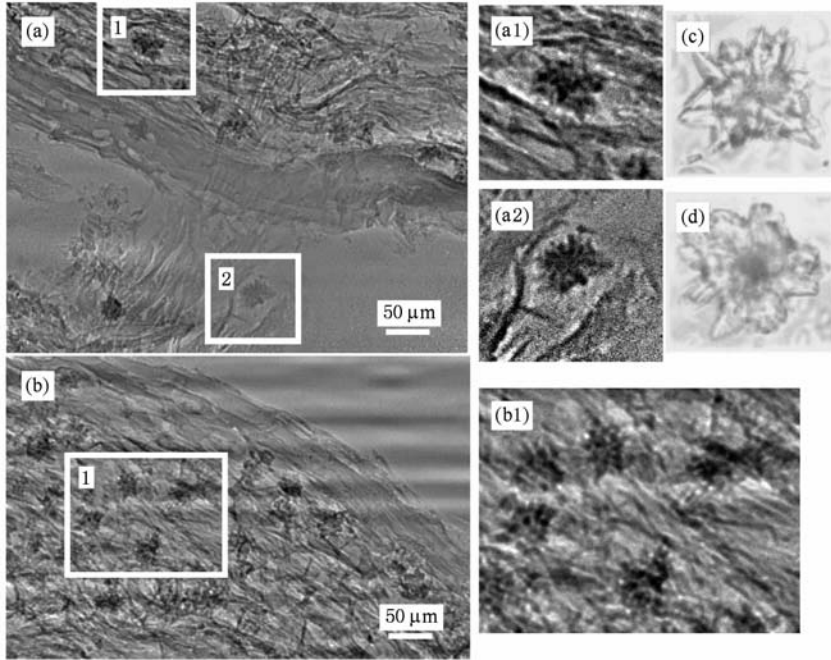


图 8 五等野山参草酸钙簇晶的 XPCM 图 (a1,a2)分别是(a)图中相应部分的 2 倍放大;(b1)是图(b)框 1 的 2 倍放大;(c,d)分别是显微镜下草酸钙簇晶的彩色结构图

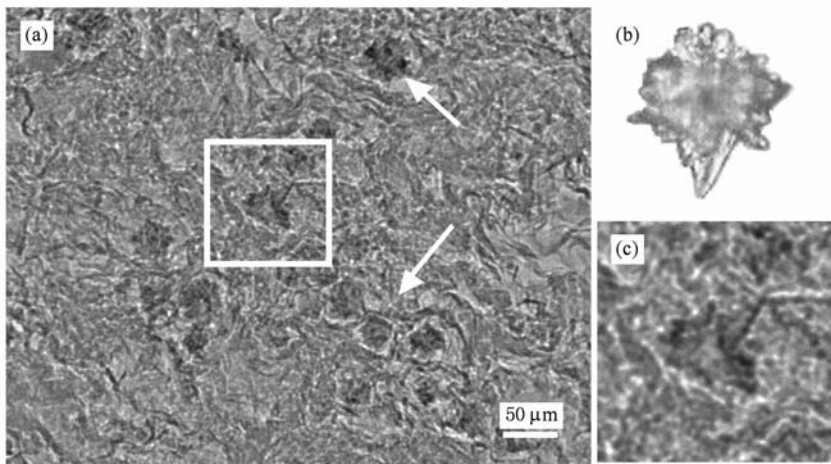


图 9 五等野山参草酸钙簇晶 (a)XPCM 图;(b)簇晶的彩色显微结构图<sup>[19]</sup>;(c)(a)框中簇晶的 2 倍放大图

实验发现,在七等野山参和园参中,情况恰好相反,较大的尖锐簇晶比较少,如图 10 白框中的簇晶结构,较平钝的簇晶反而多,如图 11,12. 从图 11,12 中可以很容易看出,无论是从横切片(图 11(a),(b))还是从纵切片(图 11(c),(d))来看,大多数的簇晶晶瓣是平钝的,有的晶瓣棱角甚至不明显. 而且这些簇晶的大小一般都在 10—30  $\mu\text{m}$  左右,较大的约只有 45  $\mu\text{m}$ .

在园参的 XPCM 图中(图 12)也发现了一个部分平钝、部分尖锐的簇晶结构,说明这种结构并不是只存在于某一种人参中,可能是所有人参中都存在的一种簇晶结构,也可能是仅在某几种人参中存在. 本文作者认为这种结构可能不是一种独立稳定的簇晶结构,很可能是簇晶成长过程中的一种过渡结构.

以上的实验结果,可以看出,五等野山参的簇晶比七等野山参和园参的簇晶要大,棱角增多,且尖锐程度大. 这与文献中不同生长年龄人参中草酸钙簇晶的描述相吻合<sup>[22]</sup>. 因此作者认为草酸钙簇晶

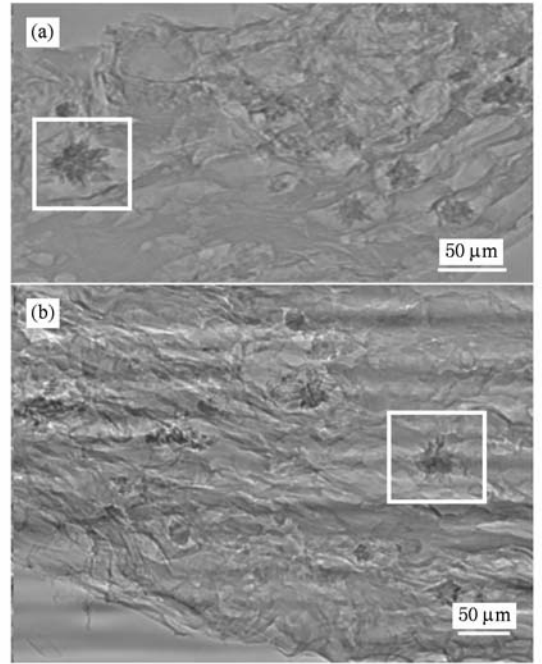


图 10 七等野山参(a)和园参(b)横切片中草酸钙簇晶的 XPCM 图

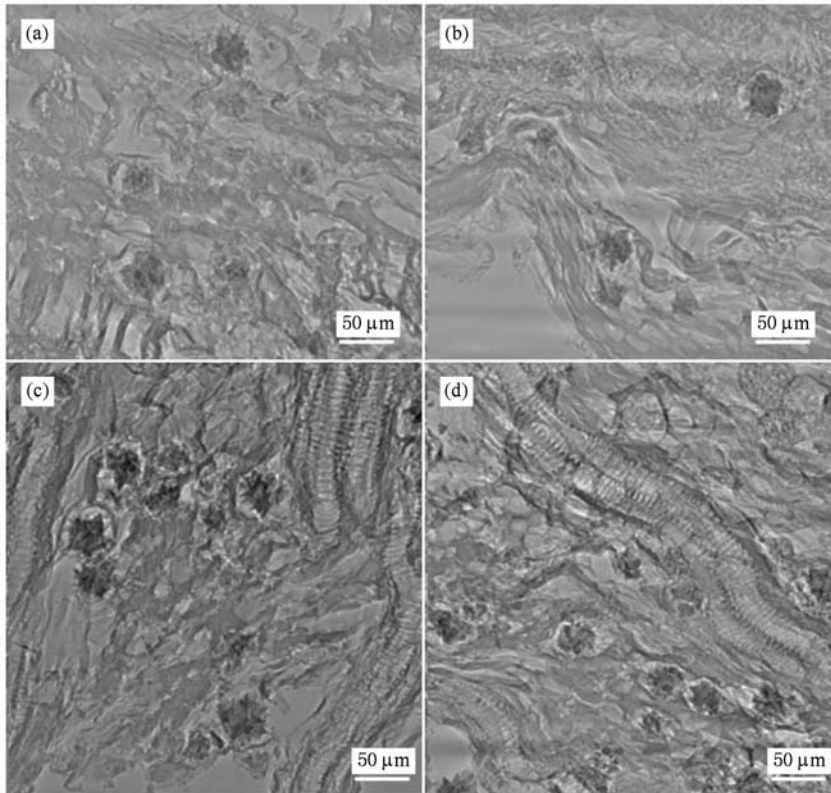


图 11 七等野山参中草酸钙簇晶的 XPCM 图 (a),(b)横切片;(c),(d)纵切片

的成长不仅是一个由小到大的过程,同时也是簇晶晶瓣增多、棱角由平钝到尖锐的一个过程. 这可以

用于人参年龄和人参质量鉴定的一个重要特征.

综合导管和草酸钙簇晶的 XPCM 图,由五等野



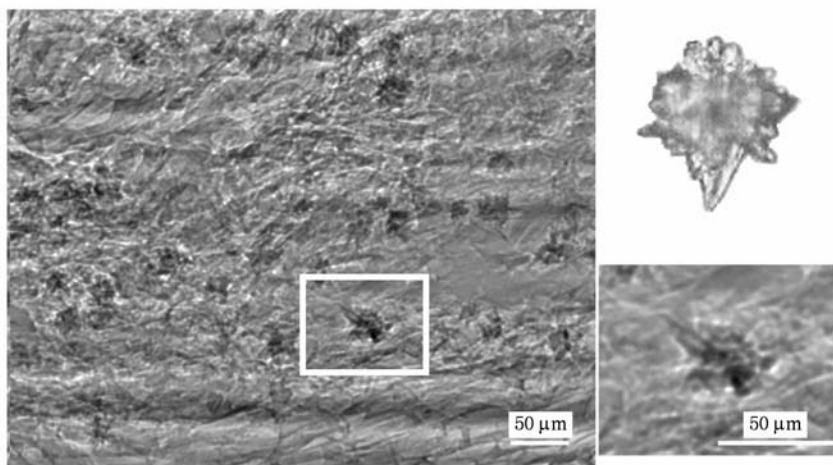


图 12 园参横切片中草酸钙簇晶的 XPCM 图及簇晶的彩色显微结构图

山参和七等野山参、园参的比较可以看出,簇晶和导管都是人参年龄、质量鉴别的重要依据,而且本实验仅通过五等野山参和七等野山参各一支就能得到与已有文献中的描述吻合甚好的结果,说明 XPCM 方法用于人参等中药材的鉴别,不仅简便易行,而且有着重复性好、准确性高等优点。

### 3.3. 淀粉粒

传统的粉末显微鉴别方法已发现:人参中淀粉粒<sup>[23]</sup>极多,单粒类圆形,直径 2—19  $\mu\text{m}$ ,脐点点状、人字状、裂缝状或三岔状,层纹不明显;复粒大小不一,主要由 2—6 粉粒组成。但是传统方法制样繁琐,而基于 X 射线微聚焦管的 XPCI 方法则由于分辨率的限制,无法得到淀粉粒的任何结构。本文利用 SR-XPCM,不仅看到了淀粉粒,而且还能得到单粒淀粉粒的清晰显微结构。如图 13 所示为园参纵切片中的淀粉粒分布,其薄壁细胞几乎都被淀粉粒等后含物充满。其中白框内有两个很明显的复粒结构,分别由 2 个和 8 个分粒组成(如图 13(b)中的箭头 1,2 所指)。图 13(c)是人参淀粉粒的手绘图。图 14 是对园参粉末成像得到的 XPCM 图,其 1,2 框中的结构即是单粒淀粉粒的 XPCM 结构。从右侧的放大图甚至可以清楚的看到该淀粉粒的点状和裂缝状的脐点结构。

而五等野山参中的淀粉粒较少,结构相对较小,多数为单粒,少有复粒淀粉粒存在,且由两分粒组成的居多(如图 15(a)中的箭头所示即为一两分粒组成的复粒淀粉粒),很难发现有更多粒的复粒淀粉粒。其粉末的结果显示也是如此(如图 15(b),

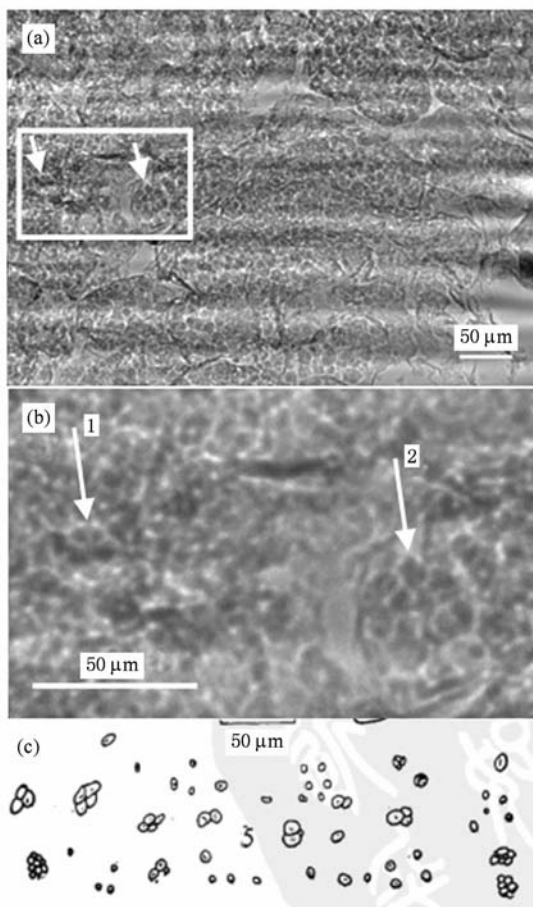


图 13 淀粉粒结构图 (a)园参纵切片 XPCM 图;(b)(a)图框中相应部分的放大图(其中箭头 1,2 所指分别是由 2 和 8 个分粒组成的复粒淀粉粒);(c)粉末淀粉粒手绘图<sup>[24]</sup>

箭头所指亦是由两个分粒组成的复粒淀粉粒)。

在七等野山参中,从切片(如文后图 19(a)中箭头所示)和粉末(图 16)的结果来看,情况基本与五



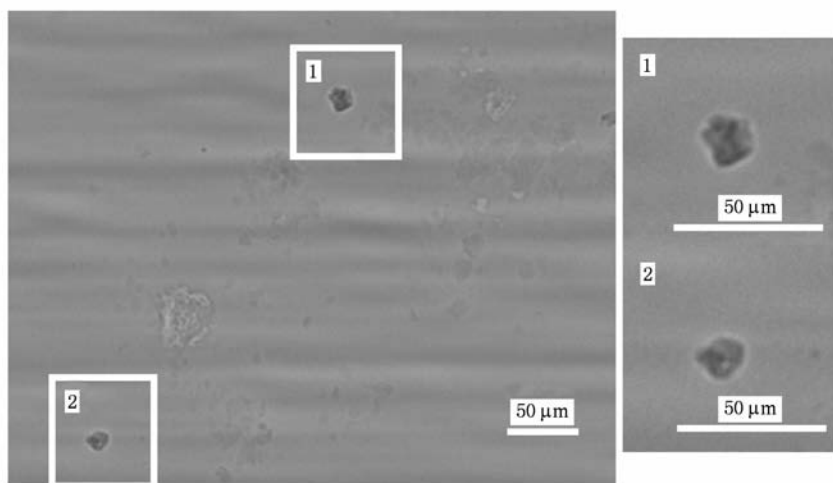


图 14 园参粉末中单粒淀粉粒的 XPCM 图(1,2 图分别为左图相应部分的放大图)

等野山参类似,绝大多数为单粒淀粉粒,而且单粒的结构比较小,在存在的少数复粒中,其分粒数量又比较少.图 16 中的箭头所指即是七等野山参的复粒淀粉粒结构.

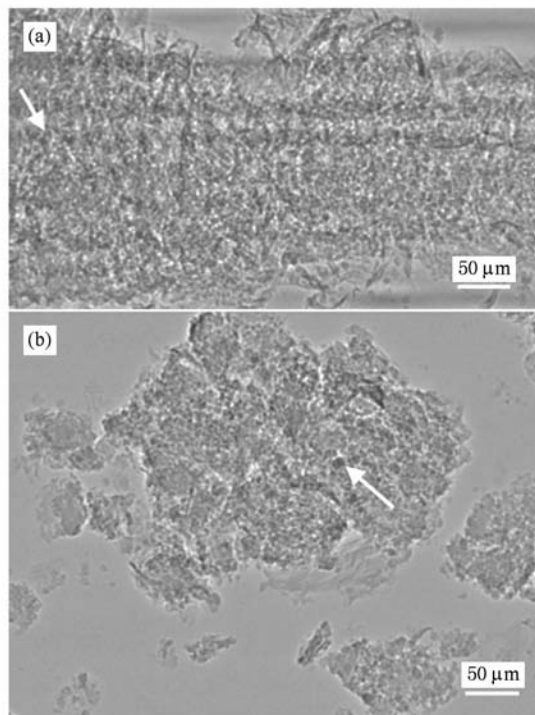


图 15 五等野山参淀粉粒的 XPCM 图 (a)横切片;(b)粉末

综合野山参和园参的淀粉粒结构,可以看出,野山参中的淀粉粒分布较少,且绝大多数为单粒,形态也不规则,脐点结构不明显.园参中淀粉粒众多,单粒类圆形,点状和裂缝状脐点明显,复粒易见,主要由 2—8 个粉粒组成.

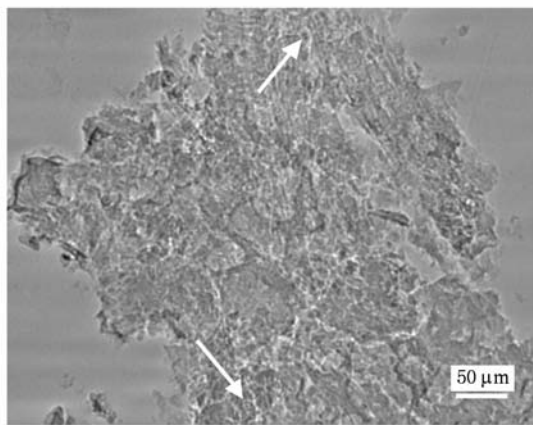


图 16 七等野山参粉末中淀粉粒的 XPCM 图

### 3.4. 木栓层及木栓内层结构

人参的木栓层和韧皮部中也有部分结构可以用于人参鉴别的特征结构,但由于有些结构的区别不太明显,在此对于这部分的对比也就不再详述.但是本文还是给出木栓层和木栓内层部分特征结构的 XPCM 图与相应手绘图的比较.

人参研究的文献[22]中提到,木栓层是根部结构的最外层,由 3—8 层整齐紧密的木栓细胞组成,木栓细胞类长方形或长方形.栓内层则主要由 2—6 层长圆形、类长方形或不规则形细胞组成.如图 17 (a)所示即是园参的木栓层和木栓内层结构,木栓层主要是由规则的长方形木栓细胞组成.图 17(b)是人参木栓细胞结构的手绘图.木栓层是根部的最外层结构,易发生脱落,尤其是干燥的根,经过切片处理很容易使得木栓层脱落.所以图 17(c)中的最

外层结构是五等野山参的栓内层结构(其木栓层已发生脱落剥离),主要是由不规则的细胞组成,而园

参的栓内层则主要由较规则的类长方形细胞组成(图 17(a)所示).

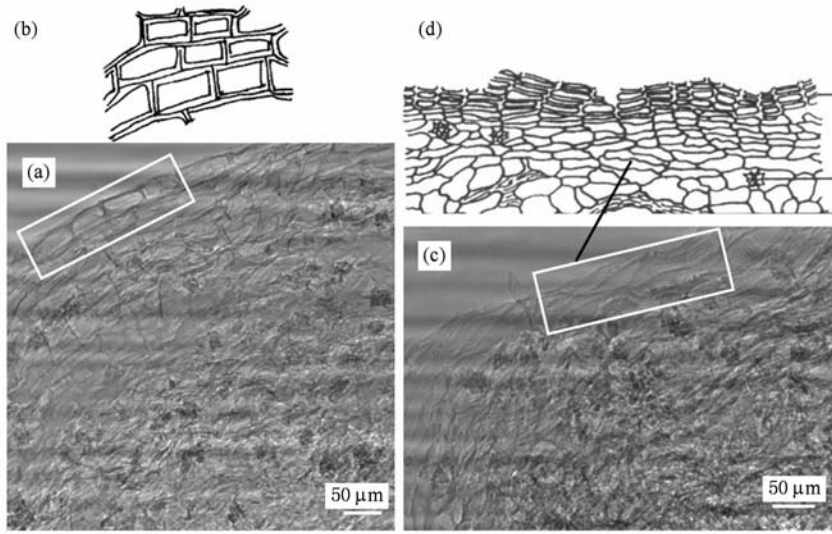


图 17 木栓层及栓内层细胞结构 (a)园参的 XPCM 图; (b)木栓细胞手绘图; (c)五等野山参栓内层细胞结构的 XPCM 图; (d)木栓层及栓内层细胞手绘图

### 3.5. 一种可能的特征结构

如图 18,白框中所示是排列整齐的类六边形薄壁细胞结构,但是与之并排的箭头所指的立体状结构则不那么好确定,因为相关文献中未见报道有此结构.

在进一步对野山参的实验中,也发现了这种类似的立体结构.下面两幅图是七等野山参横切片的 XPCM 图,从中可以看出,这种立体状结构内部还有结构,例如图 19(a)框中的立体状结构中包含一个近似六边形的结构,像是即将形成的薄壁细胞.另外,图 19(a)中的箭头所指的两处的多个立体状结构中几乎都是充满着淀粉粒,图 19(b)框中所示的立体状结构中包含有一个簇晶,而簇晶和淀粉粒都

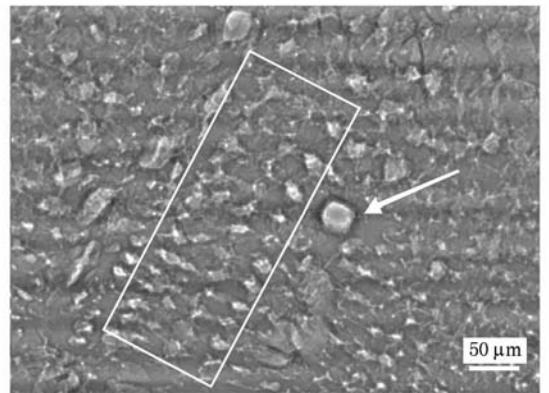


图 18 园参横切片结构的 XPCM 图

存在于薄壁细胞中.因此,这种立体状结构可能是薄壁细胞形成前的一种中间过渡结构.

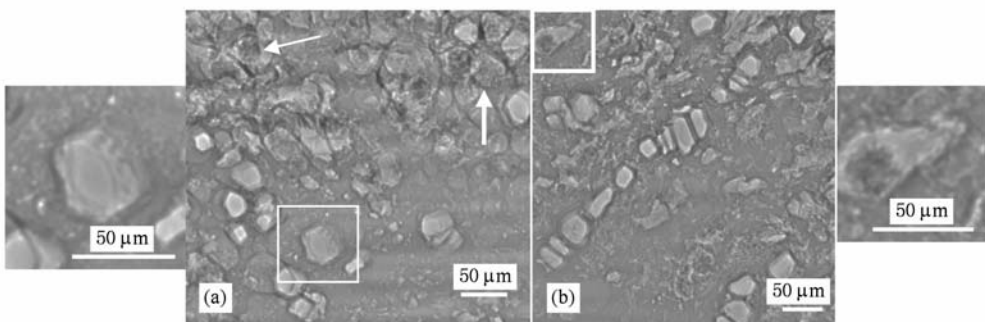


图 19 七等野山参横切片的 XPCM 图(左右两侧分别是图 a,b 框中部分的放大)

在五等野山参中,也存在这种结构,但是从数量来看,比七等野山参和园参中要少的多.而且在形态上也有差别,五等野山参中的这种结构不像园参和七等野山参中的那么饱满,而是显得“干瘪”,比七等野山参中的结构更加接近于薄壁细胞的结构,如前文图 5,9 中的箭头所指.而且,五等野山参中这种“干瘪”结构内的簇晶晶瓣大都比较平钝,结合上述簇晶的生长规律,也可以进一步说明这可能是一种正在成长中的结构.

由于目前对于中药材的所有显微鉴别手段,都需要加入某些溶剂来实现特定结构的观察,而这些溶剂可能正好对于这种立体状结构的中间体是破坏性的,所以以目前的传统显微鉴别手段,无法得到这种结构.

SR-XPCM 实验结果表明,这种结构在园参和七等野山参中比较饱满,在五等野山参中的则比较“干瘪”.相同人参不同年龄相比(七等比五等的生长年龄要小),在七等野山参中的存在数量明显比五等野山参中要多,作者认为这是因为五等野山参比七等野山参生长年龄大,更接近于成熟,所以其中的细胞基本都是成熟细胞,未成熟的过渡结构自然就少.基于上述原因,这种未知结构可能是人参中的一种新的特征显微结构.

## 4. 结 论

本文利用第三代同步辐射装置,采用 X 射线相衬成像方法,较为系统地研究了野山参的特征显微结构.与传统显微鉴别方法相比,该方法简便易行,且准确性高重复性好,免去了传统方法制备样品时对样品和时间的大量损耗,实现了对贵重中药材低成本的无损显微鉴别;与微聚焦管光源相比,由于同步辐射光源具有更高的时间和空间分辨,而且成像直接采用高分辨 CCD,免去了使用胶片成像引入的各种干扰,得到了更清晰、更细小的特征显微结构,使得该方法的分辨率和衬度都有显著提高,能够得到更细微组织的特征结构,以便满足人参等中药材中更细小特征结构的显微鉴定需要.对野山参和园参的部分特征组织结构进行了对比分析,为其显微鉴定提供了方法和结果的重要参考.由于该方法的无损特性,还发现了未见报道过的一种结构,有可能是人参中一种新的特征结构.

本文的特征结构限于人参切片的二维成像.目前 X 射线相衬 CT 技术已经发展到了一个较高的水平,利用该方法有可能实现人参等中药材内部特征结构的原位三维显微成像.该方法无需进行切片处理,有望实现野山参等名贵中药材的无损显微鉴定,这将是我們下一步的研究方向.

- [1] Sun S S, Wang Y J, Liu B L, Wang L S, Ren G D, Ren Q S 1997 *Ren Shen Yanjiu* **3** 7 (in Chinese) [孙三省、王雅君、刘宝玲、王利生、任国栋、任乔森 1997 人参研究 **3** 7]
- [2] Li S Y, Wang S 2008 *Asia-Pacific Traditional Medicine* **4** 37 (in Chinese) [李世洋、王 爽 2008 亚太传统医药 **4** 37]
- [3] Wang H M, Chen L, Wu R J 1999 *Ren Shen Yanjiu* **11** 27 (in Chinese) [王寒民、陈 力、吴汝杰 1999 人参研究 **11** 27]
- [4] Liu B L, Bi P X, Wang L S, Sun S S, Zhang N P, Xiao Y X 2000 *Chin. Pharm. J.* **35** 153 (in Chinese) [刘宝玲、毕培曦、王利生、孙三省、张南平、肖新月 2000 中国药学杂志 **35** 153]
- [5] Qin J H, Leung F C, Fung Y S, Zhu D R, Lin B C 2005 *Anal. Bioanal. Chem.* **381** 812
- [6] Zhong W T, Wu X Z, Yu Z J, Jin J R 2006 *Ren Shen Yanjiu* **2** 14 (in Chinese) [仲伟同、吴信子、于振江、金精日 2006 人参研究 **2** 14]
- [7] Wang K G, Wang L, Niu H B 2009 *Chin. Phys. B* **18** 1807
- [8] Song Z Y, Yang Z H, Shao J X, Cui Y, Zhang H Q, Ruan F F, Du J, Gao Z M, Yu D Y, Chen X M, Cai X H 2009 *Chin. Phys. B* **18** 1443
- [9] Li Y H, Meng F L, Liu C S, Zheng W T, Wang Y M 2009 *Acta Phys. Sin.* **58** 2742 (in Chinese) [李永华、孟繁玲、刘常升、

郑伟涛、王煜明 2009 物理学报 **58** 2742]

- [10] Xie H L, Hu W, Luo H X, Du G H, Deng B, Chen R C, Xue Y L, Shi S M, Xiao T Q 2008 *Acta Phys. Sin.* **57** 7044 (in Chinese) [谢红兰、胡 雯、罗红心、杜国浩、邓 彪、陈荣昌、薛艳玲、师绍猛、肖体乔 2008 物理学报 **57** 7044]
- [11] Liu L X, Du G H, Hu W, Xie H L, Xiao T Q 2007 *Acta Phys. Sin.* **56** 4556 (in Chinese) [刘丽想、杜国浩、胡 雯、谢红兰、肖体乔 2007 物理学报 **56** 4556]
- [12] Shi S M, Chen R C, Xue Y L, Ren Y Q, Du G H, Deng B, Xie H L, Xiao T Q 2008 *Acta Phys. Sin.* **57** 6319 (in Chinese) [师绍猛、陈荣昌、薛艳玲、任玉琦、杜国浩、邓 彪、谢红兰、肖体乔 2008 物理学报 **57** 6319]
- [13] Wei X, Xiao T Q, Liu L X, Du G H, Chen M, Luo Y Y, Xu H J 2005 *Phys. Med. Biol.* **50** 4277
- [14] Xue Y L, Xiao T Q, Du G H, Liu L X, Hu W, Xu H J, 2008 *Acta Opt. Sin.* **28** 1828 (in Chinese) [薛艳玲、肖体乔、杜国浩、刘丽想、胡 雯、徐洪杰 2008 光学学报 **28** 1828]
- [15] Snigirev A, Snigireva I, Kohn V, Kuznetsov S, Schelokov I 1995 *Rev. Sci. Instrum.* **66** 5486
- [16] Pogany A, Gao D, Wilkins S W 1997 *Rev. Sci. Instrum.* **68** 2774

- [17] Liu L X 2007 *Ph. D. Thesis* (Shanghai: Shanghai Institute of Applied Physics, Chinese Academy of Sciences) (in Chinese) [刘丽想 2007 博士学位论文 上海: 中国科学院上海应用物理研究所]
- [18] Zheng H C, Cai S Q 2003 *Pharmaceutical Botany and Pharmacognosy* (4th edition) (Beijing: People's Medical Publishing House) p27 (in Chinese) [郑汉臣、蔡少青 2003 药用植物学与生药学(第四版)(北京: 人民卫生出版社) 第 27 页]
- [19] Zhao Z Z 2005 *An Illustrated Microscopic Identification of Chinese Materia Medica* (Shenyang: Liaoning Science and Technology Publishing House) p191, 218
- [20] Wen R L 2002 *Chromatic Illustrated handbook about Microscopic Structures of Chinese Materia Medica* (Vol. 1) (1st edition) (Beijing: Chinese medical science and technology press) p30 (in Chinese) [文瑞良 2002 中药材显微彩色图鉴(第一版)(第 1 版)(北京: 中国医药科技出版社) 第 30 页]
- [21] Tong S H, Han F Q 2000 *Lishizhen Medicine and Materia Medica Research* **11** 522 (in Chinese) [童树洪、韩芬琴 2000 时珍国医国药 **11** 522]
- [22] Wang B X 1991 *Research Progresses of Ginsengs* (Tianjin: Tianjin Science and Technology Press) p1—3 (in Chinese) [王本祥 1991 人参研究进展(天津: 天津科学技术出版社) 第 1—3 页]
- [23] Xu G J 1986 *Powder Microscopic Identification of Chinese Material Medica* (1st edition) (Beijing: People's Medical Publishing House) p14 (in Chinese) [徐国钧 1986 中药材粉末显微鉴定(第一版)(北京: 人民卫生出版社) 第 14 页]
- [24] Zhao W D 1991 *The Powder Illustrated handbook of common Chinese Medicinal Materials* (1st edition) (Beijing: People's Medical Publishing House) p7 (in Chinese) [赵达文 1991 常用中药材组织粉末图解(第一版)(北京: 人民卫生出版社) 第 7 页]

## Investigation of characteristic microstructures of wild ginseng by X-ray phase contrast microscopy\*

Xue Yan-Ling<sup>1)3)</sup> Xiao Ti-Qiao<sup>1)</sup> Wu Li-Hong<sup>2)</sup> Chen Can<sup>1)3)</sup> Guo Rong-Yi<sup>1)3)</sup> Du Guo-Hao<sup>1)</sup>  
Xie Hong-Lan<sup>1)</sup> Deng Biao<sup>1)</sup> Ren Yu-Qi<sup>1)3)</sup> Xu Hong-Jie<sup>1)†</sup>

1) (Shanghai Institute of Applied Physics, Chinese Academy of Sciences, Shanghai 201800, China)

2) (Shanghai R and D Centre for Standardization of Chinese Medicines, Shanghai 201203, China)

3) (Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

(Received 10 October 2009; revised manuscript received 13 November 2009)

### Abstract

X-ray phase contrast microscopy (XPCM) achieves the high contrast imaging of low electron density materials with the spatial coherence peculiarity of X-rays. Considering that ginsengs are mainly composed of C, H, O, N and other low-Z elements, XPCM is an ideal tool to nondestructively investigate the characteristic microstructures of ginsengs in principle. Owing to the higher fluxes and luminance of the third generation of synchrotron radiation facility, it can present clearer and finer microstructures of ginsengs with better spatial and temporal resolutions. In this paper, the characteristic microstructures of wild ginseng were investigated systemically by XPCM at Shanghai Synchrotron Radiation Facility (SSRF). For comparison, the characteristic structures of cultivated ginseng are also studied correspondingly. Moreover, a kind of new microstructure is found in young ginsengs, which is possibly a new characteristic structure of ginsengs. The results demonstrates that XPCM is a promising new method of identifying wild ginseng.

**Keywords:** x-ray phase contrast microscopy, synchrotron radiation, microscopic identification, characteristic microstructures of ginseng

**PACC:** 4230, 0785, 2920L, 8170J

\* Project supported by the State Key Development Program for Basic Research of China (Grant No. 2010CB834301), the External Cooperation Program of the Chinese Academy of Sciences (Grant No. GJHZ09058), the National Natural Science Foundation of China (Grant Nos. 10805071, 10705020), and the Key Program for Basic Research of the Science and Technology Committee of Shanghai, China (Grant No. 08JC1411900).

† Corresponding author. E-mail: xuhj@sinap.ac.cn