

昆虫形态学成像应用及数据处理

报告人：李德娥

单位：中国科学院动物研究所

报告时间：2013.11.22

报告内容

1. 三维成像技术与昆虫形态研究

1.1. 化石研究

1.2. 动态生理过程研究

1.3. 形态解剖结构研究

- 1.3.1. 基于骨骼与肌肉性状的系统发育研究
- 1.3.2. 外生殖器多样性与进化研究
- 1.3.3. 内部系统形态与进化研究

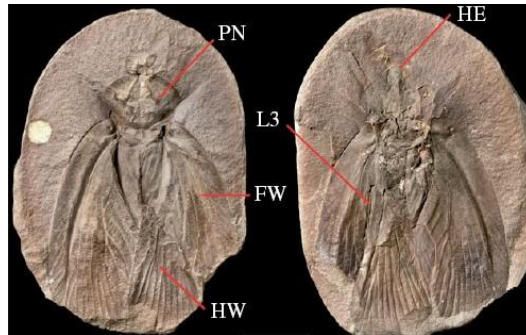
2. 三维成像软件Amira的应用

1. 三维成像技术与昆虫形态研究

1.1. 化石研究

化石是指保存在岩层中地质历史时期的古生物遗体和生物生活遗迹。对生物的起源与进化具有重要的意义。

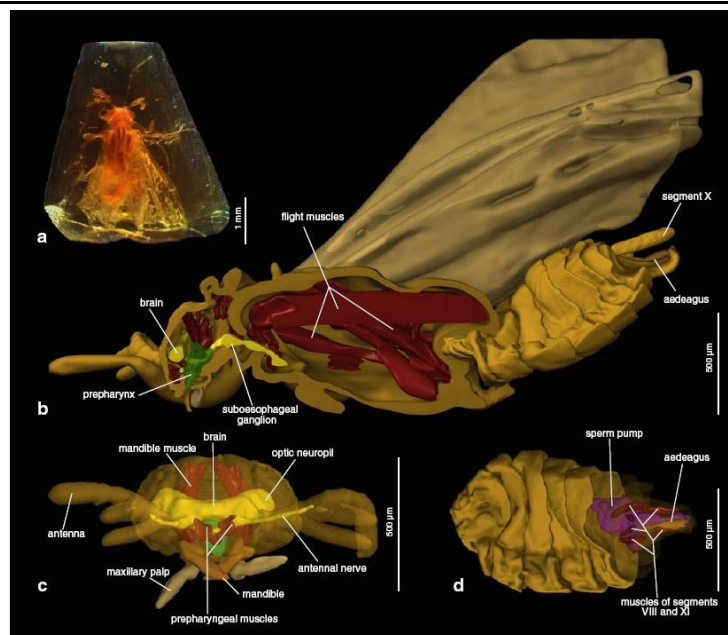
利用CT技术能够无损获得化石样品三维信息，不仅实现了化石结构的三维观察，珍贵的化石样品也得到了完整保存。



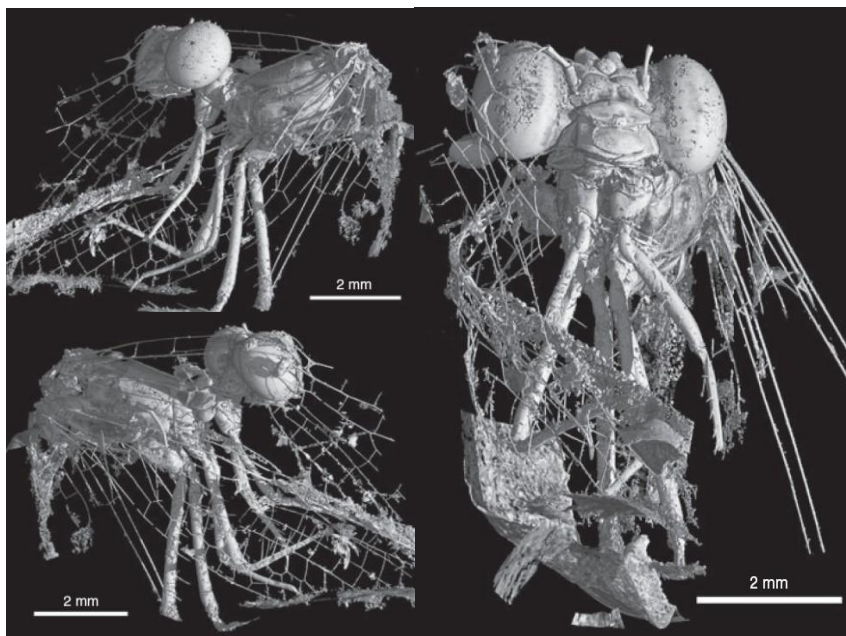
昆虫化石除了石质化石还有琥珀化石。地质历史时期松属植物树脂滴落包埋昆虫，经过一定的化学变化后形成昆虫琥珀化石，能够完整保存昆虫的内外部形态结构，无损观察其内外部结构对昆虫的起源与进化具有重要的意义。

42亿年前捻翅目昆虫化石三维结构

基于同步辐射CT技术，第一个昆虫琥珀化石三维结构重构

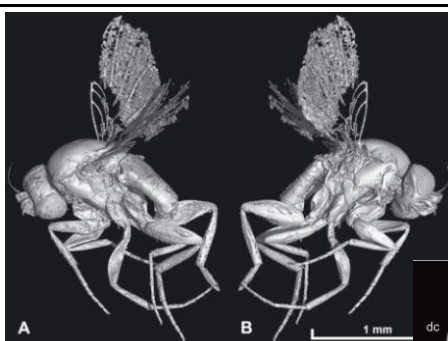


Pohl et al., 2010



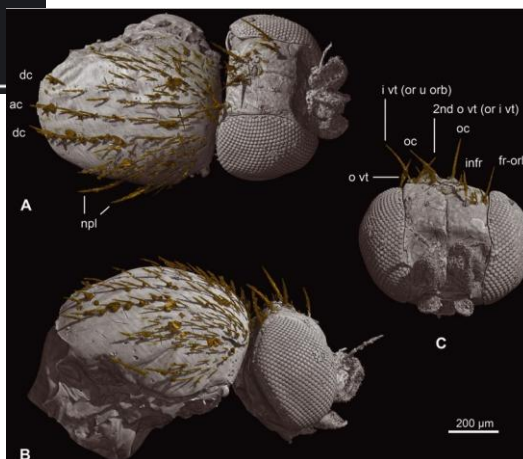
白垩纪蜻蜓化石的三维结构，最早的蜻蜓琥珀化石。

Lak et al., 2009



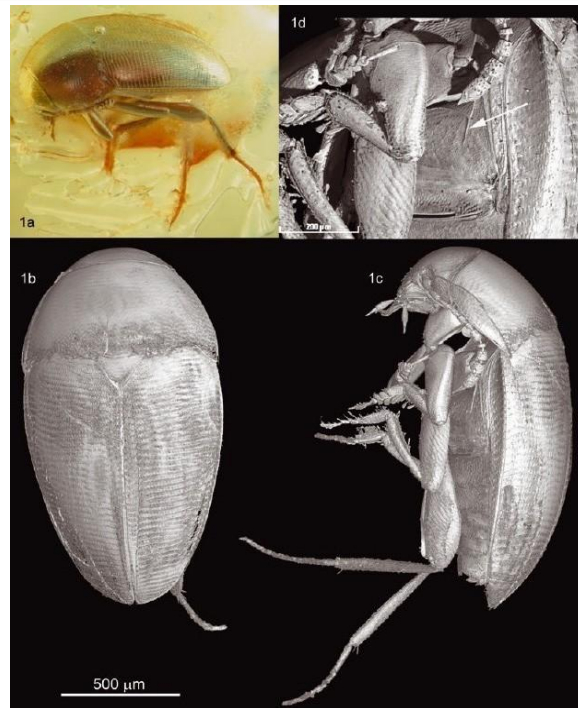
白垩纪苍蝇琥珀化石
三维结构

Solórzano et al., 2011



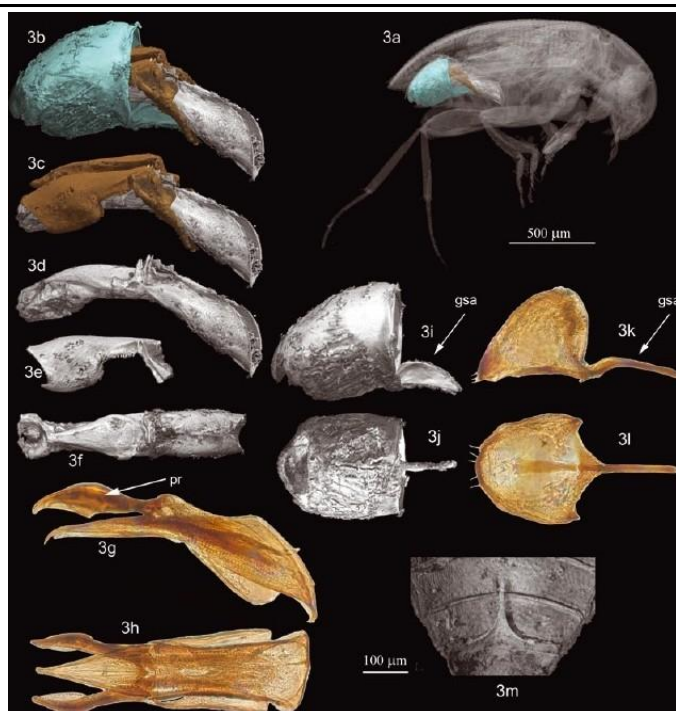
甲虫琥珀化石 三维结构

Perreau and Tafforeau, 2011



甲虫化石与 现生甲虫 三维结构 对比

Perreau and Tafforeau, 2011



1.2. 动态生理过程研究

基于同步辐射光源的X射线成像技术具有曝光时间短，穿透力强等特性，能够对活体样品进行实时观测，把我们对昆虫的理解从标本推进到活体过程。

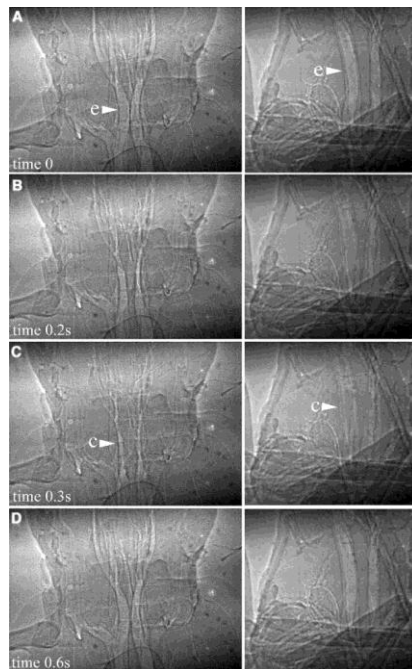
基于同步辐射光源的X射线相位衬度成像技术最早在昆虫活体研究中的应用是昆虫气管的呼吸运动研究。

昆虫利用气管系统进行气体交换，传统认为昆虫通过扩散，内外气压差等进行气体交换，这一研究发现有的昆虫类群的气管就像动物的肺一样能够自主膨大与收缩。颠覆了传统观念。

伴随这一研究的出现，涌现出大量基于同步辐射相位传播成像技术的昆虫气管系统研究，并推动了昆虫呼吸过程的研究。

Westneat et al., 2003

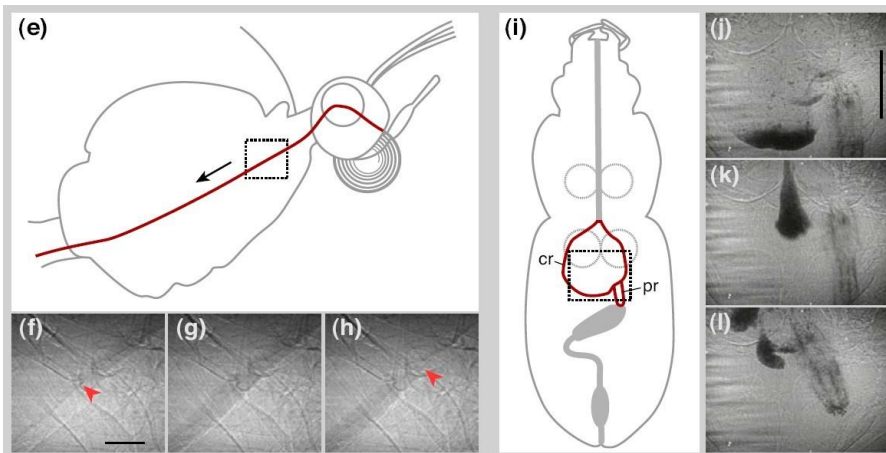
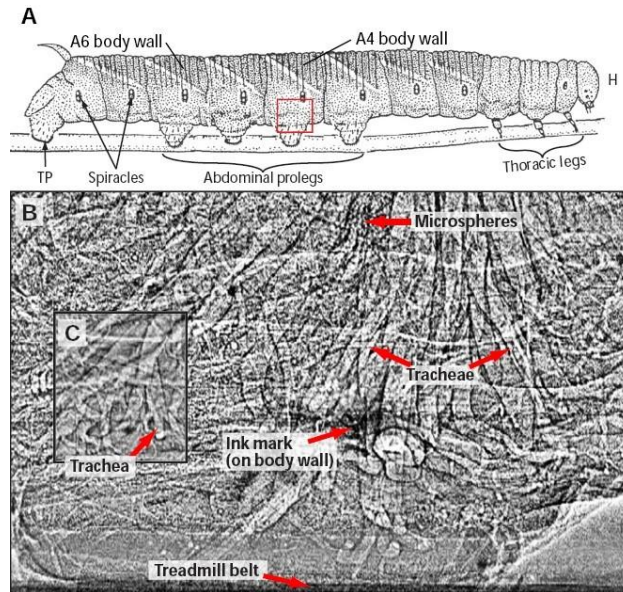
westneat.mov



观察昆虫爬行过程中体内组织与器官等的运动，发现运动过程中消化道等内脏的运动先于体壁等其他结构。

Simon et al., 2012

[simon.mov](#)



[socha-butterfly.mov](#)

用加碘糖水喂养蝴蝶，观察其取食过程。 Socha et al., 2007

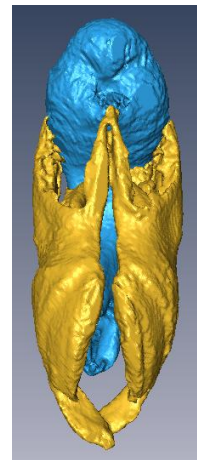
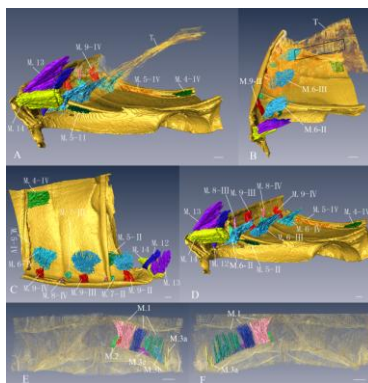
[socha-beetle.mov](#)

镉粉溶液浸泡的小昆虫喂养步甲，观察其取食过程。 Socha et al., 2007

1.3.形态解剖结构研究

各形态解剖结构的进化速度：

内部系统 < 骨骼肌肉 < 外生殖器



1.3.1. 基于骨骼与肌肉性状的系统发育研究

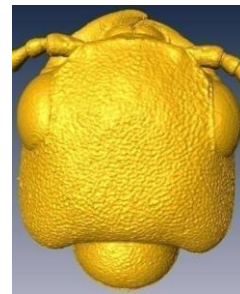
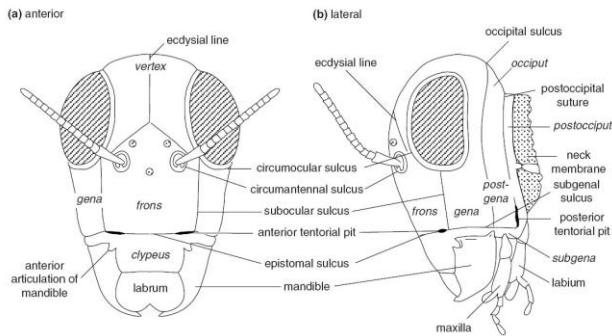
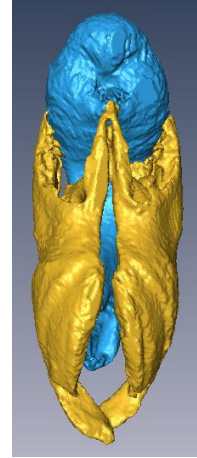
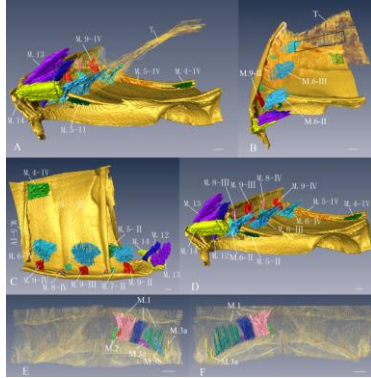
内部系统

<

骨骼肌肉

<

外生殖器

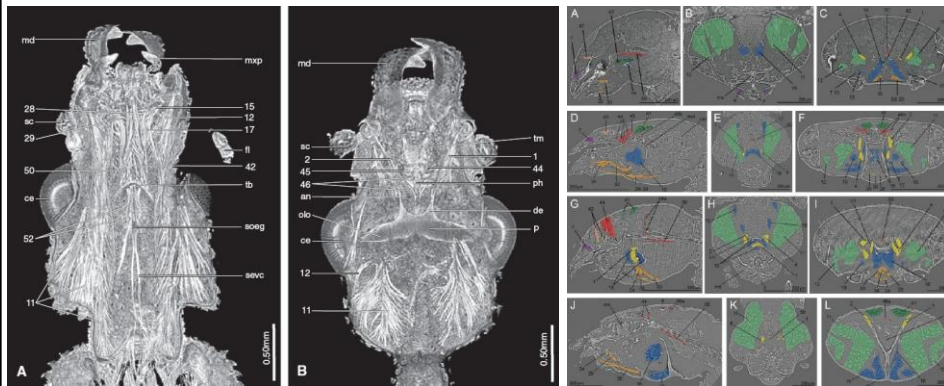


Chapman, 2012

传统基于形态特征的系统进化研究主要基于外部形态特征。

昆虫具有外骨骼结构，在发育过程中具有不同程度的愈合或退化，通过内骨骼、肌肉的着生等研究能更精确划分不同的结构，仅对外部形态结构的观察具有一定的不可靠性。

因此利用三维成像技术获得的内骨骼及肌肉等特征对于昆虫的起源与进化以及基于形态特征的系统发育研究具有重要的意义。
并逐步运用到原鞘亚目 (Archostemata)、鞘翅目 (Coleoptera)等类群系统进化研究中。

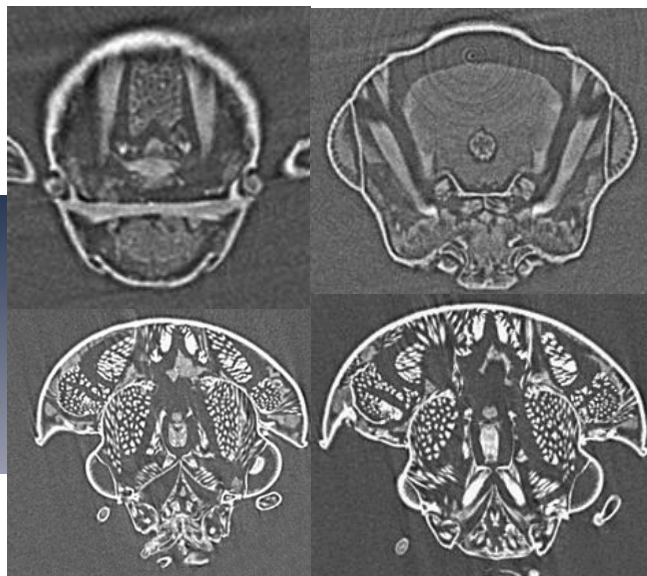
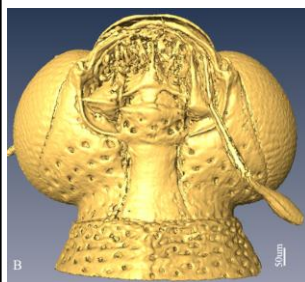


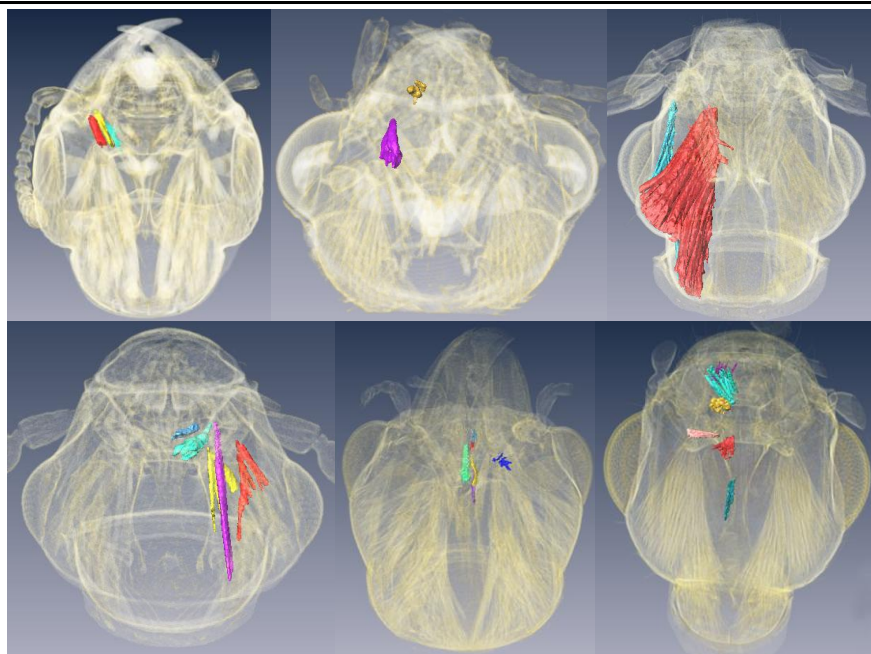
Beutel et al., 2007

Weide and Betz, 2009

隐翅虫形态系统发育研究

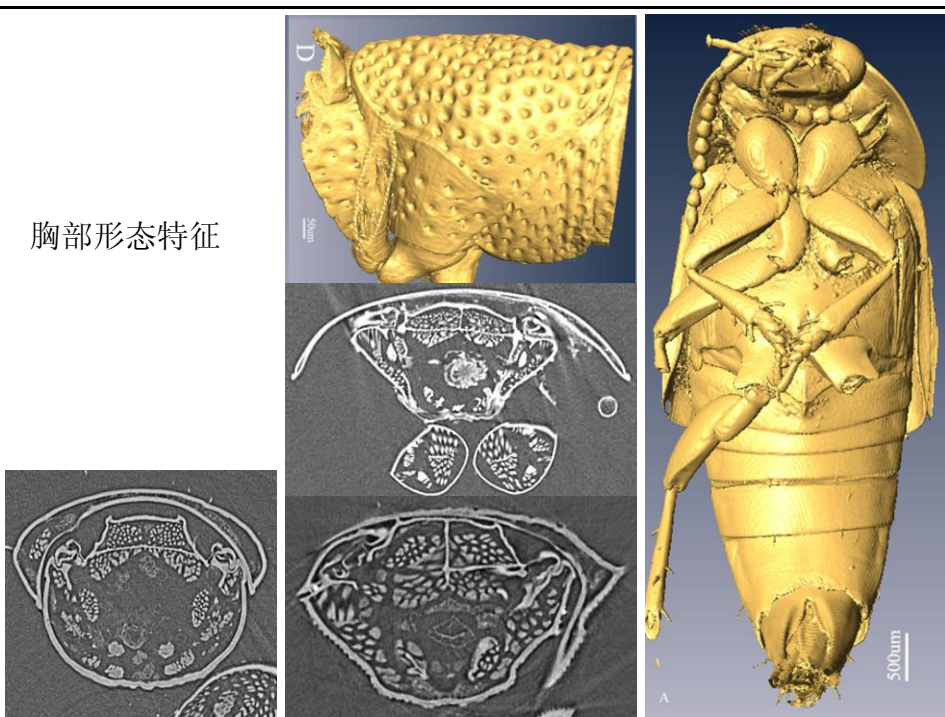
头部骨骼及肌肉特征



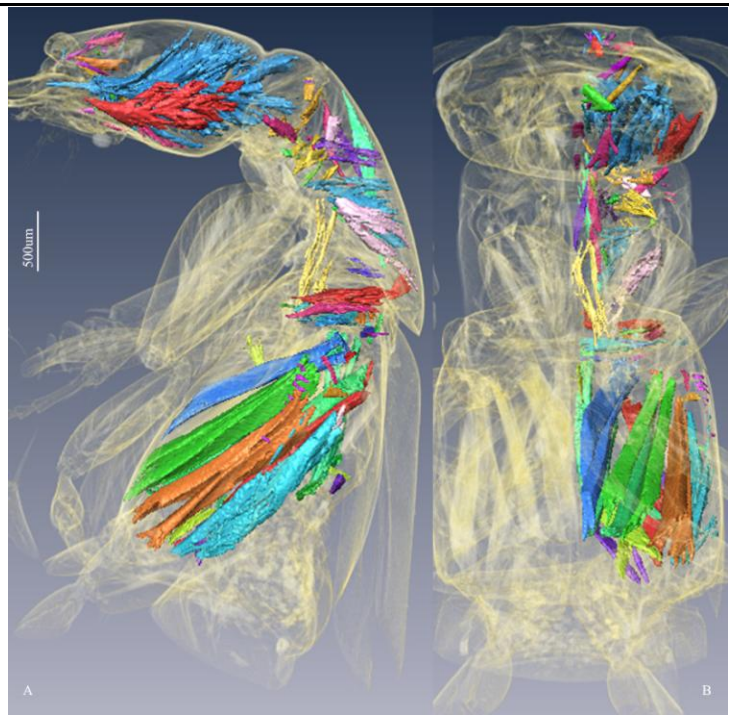


控制触角及口器运动的肌肉

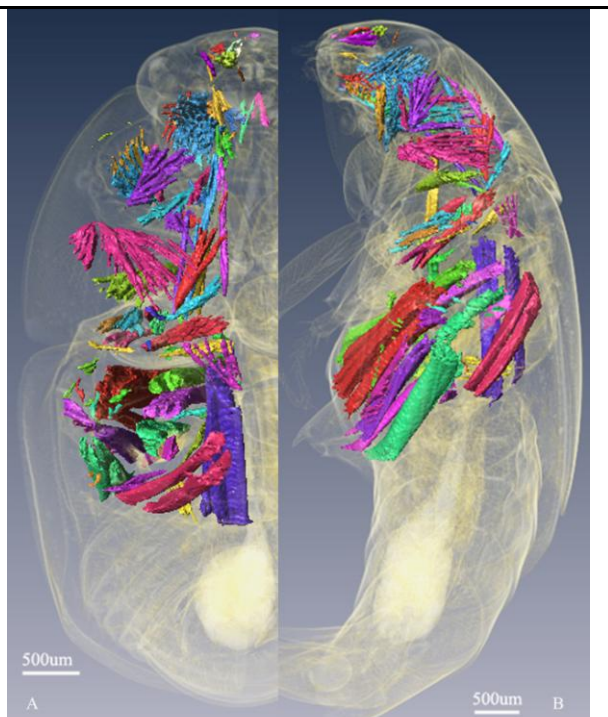
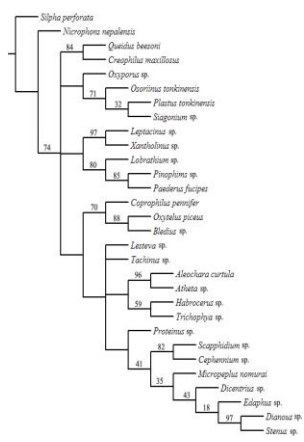
胸部形态特征



大隐翅虫头、
胸部肌肉性
状示意图。

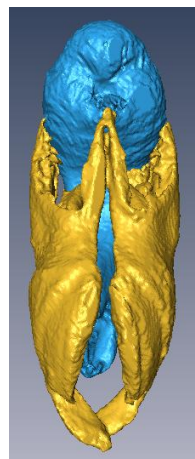
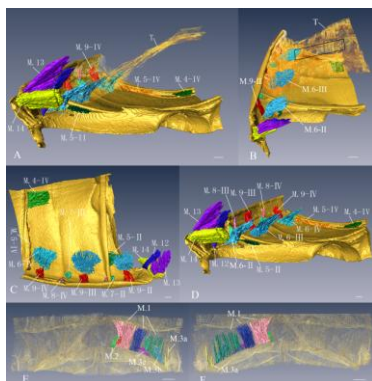


尖腹隐翅虫头胸
部肌肉性状示
意图



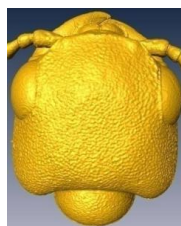
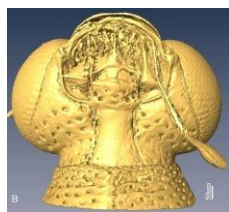
1.3.2. 外生殖器多样性与进化研究

内部系统 < 骨骼肌肉 < 外生殖器



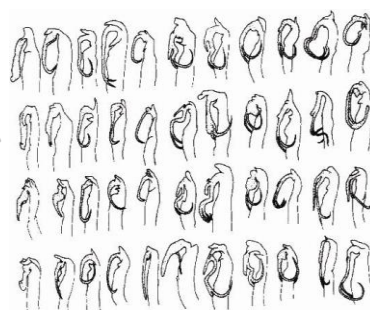
昆虫外生殖器结构通常具有较高的多样性及变异速度。

生殖结构的多样性

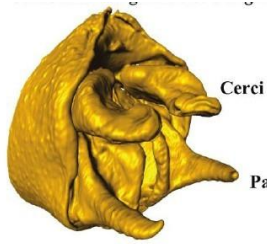


与生殖无关的结构
(如复眼等结构)

多样性
↑
变异速度

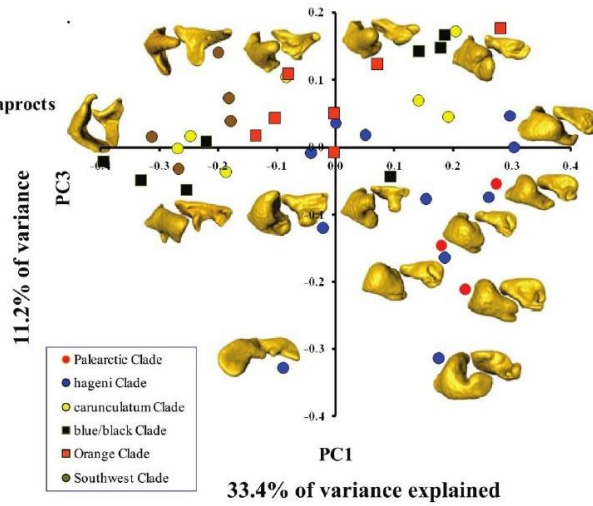


外生殖器结构及与生殖相关结构
(如交配过程中具有抱握功能的附肢等结构)



利用基于实验室光源的X射线成像技术，对蜻蛉与交配有关的结构进行了三维结构重构与研究。

发现这些结构是间断式进化的，从而对相关进化假说进行了解释与验证。



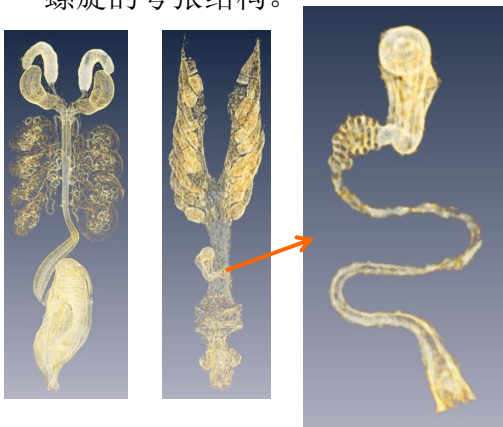
McPeck et al., 2008

春前角隐翅虫生殖进化研究

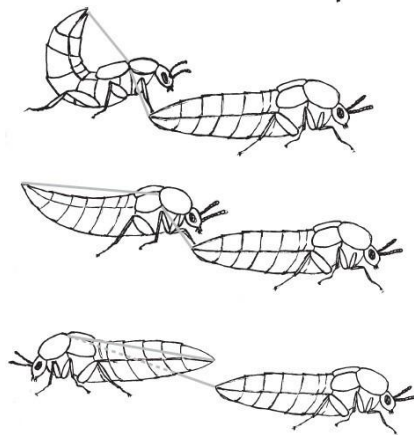
很多动物外观具有夸张结构，如孔雀的羽毛，麋鹿的角等，这些结构通常与交配前行为有关。



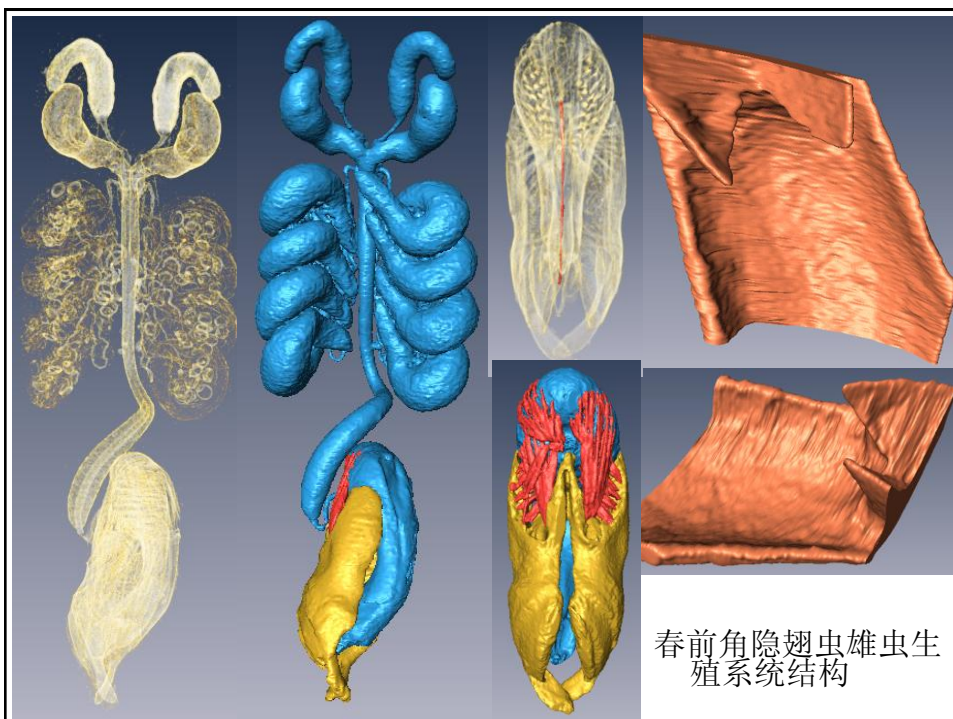
昆虫的生殖结构变异从简单到复杂，也具有类似夸张的结构。前角隐翅虫雌虫生殖结构的受精囊管通常形成较长或螺旋的夸张结构。



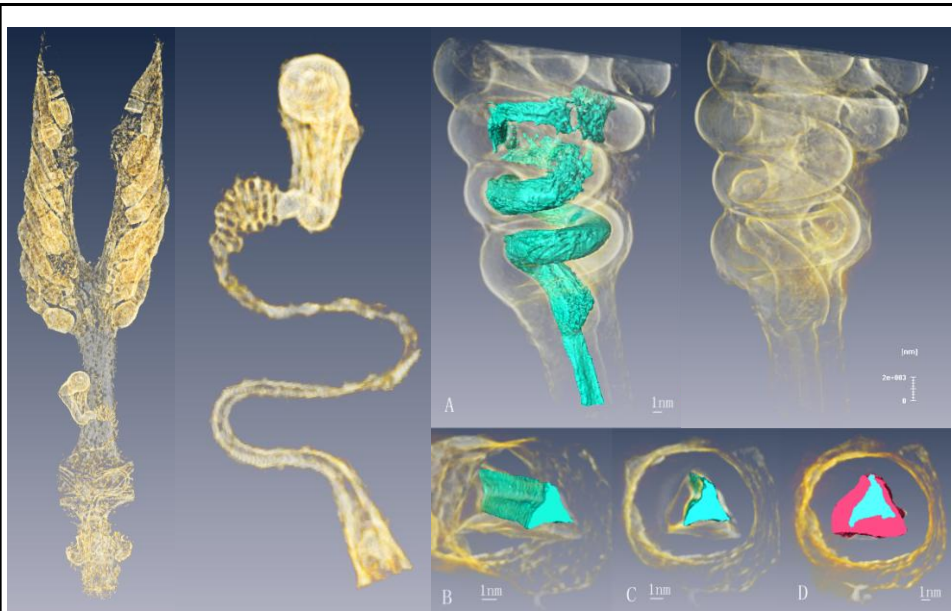
受精囊管的长度通常与雄虫插入器官鞭毛具有一定的相关性，隐翅虫是多交配制度昆虫，交配过程中放置精胞或精子至更接近受精囊的位置。螺旋夸张结构的变异机理尚不明确。



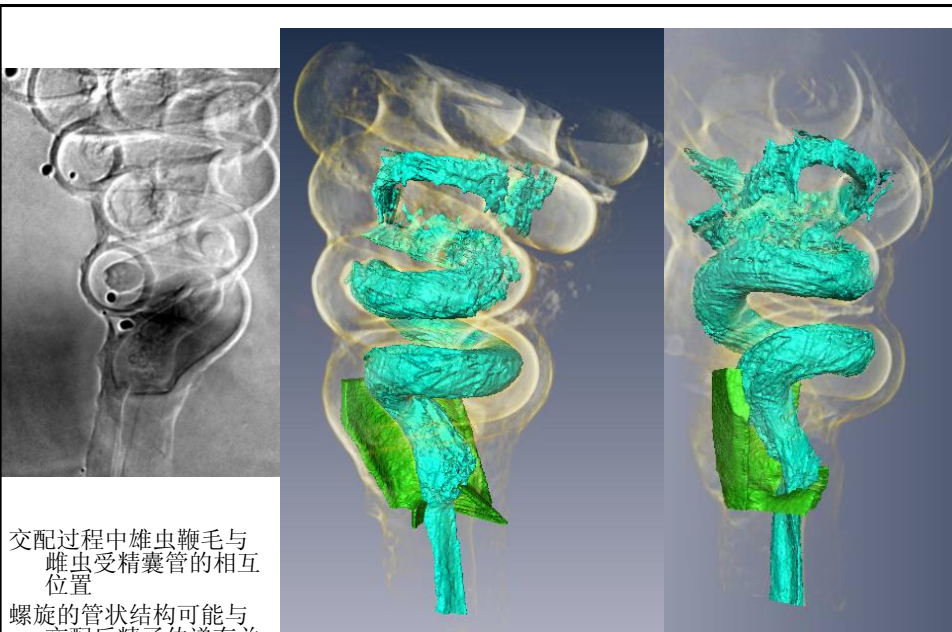
本研究选择春前角隐翅虫为代表 (*Aleochara verna*)，重构了雌雄生殖系统的微米及纳米结构，研究前角隐翅虫螺旋夸张结构的功能与进化。



春前角隐翅虫雄虫生殖系统结构



春前角隐翅虫雌性生殖系统结构

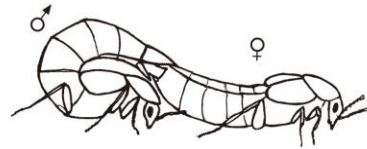


交配过程中雄虫鞭毛与雌虫受精囊管的相互位置
螺旋的管状结构可能与交配后精子传递有关系

昆虫外生殖器结构主要用来完成交配及精子传递过程。

昆虫交配与精子传递过程研究对昆虫外生殖器的多样性与变异性具有非常重要的意义。

昆虫的交配及精子传递等过程是瞬间变化的，且要长时间活体观察研究，传统研究方法很难准确进行。通过液氮固定，显微CT成像等一系列操作，最大限度地实现了昆虫生殖过程的观察研究。

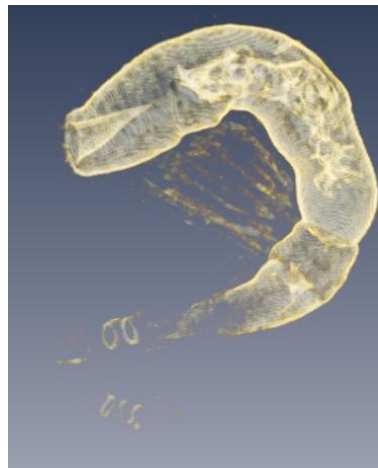


领前角隐翅虫交配与精子传递机制研究

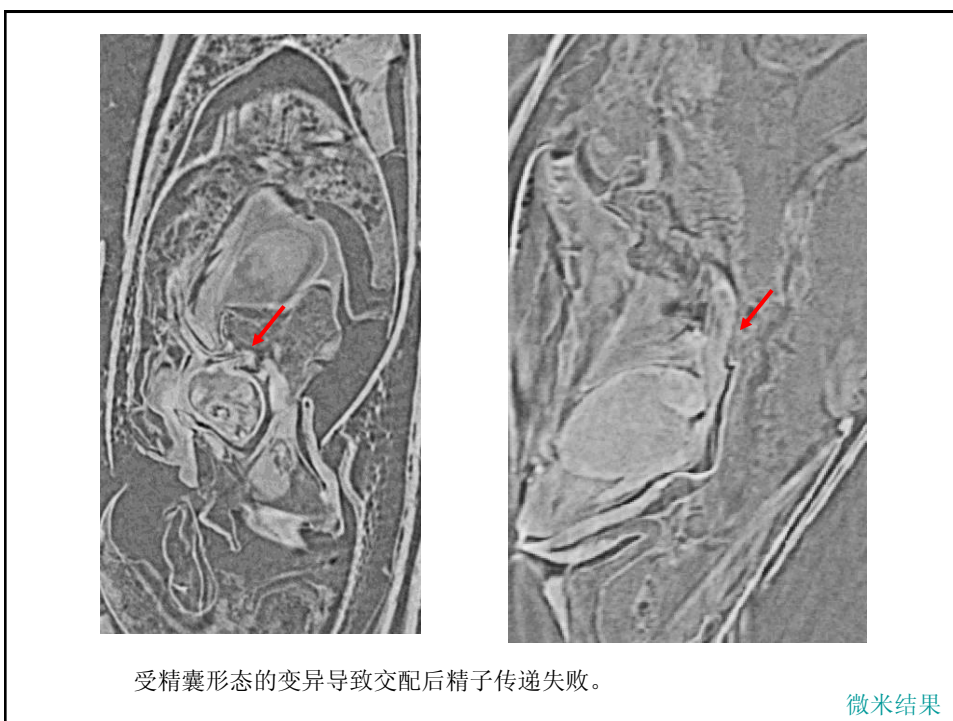
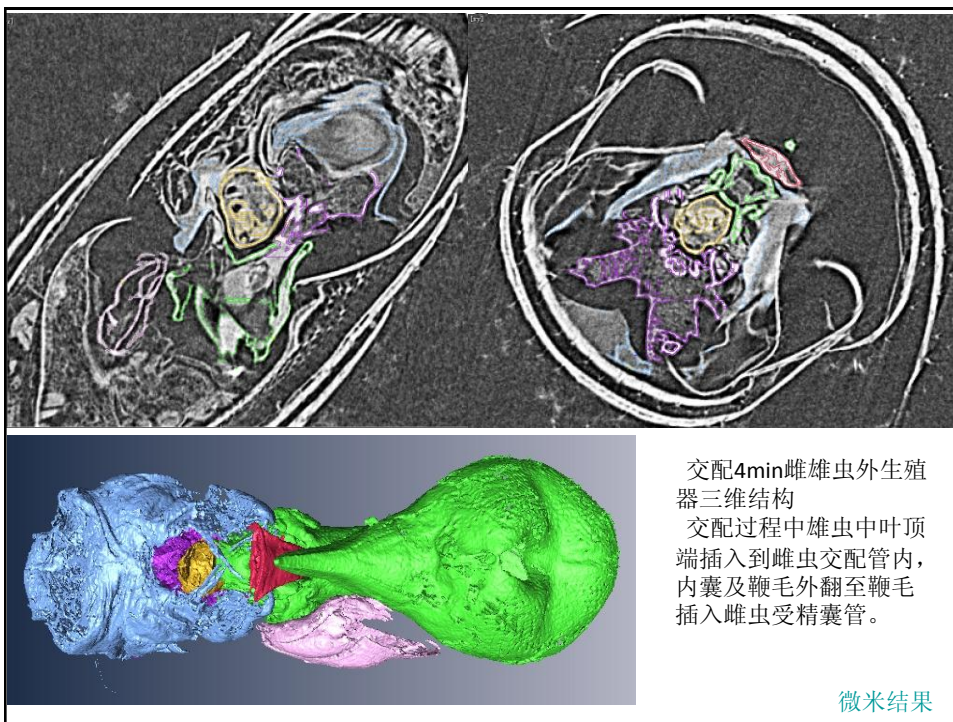
雄虫外生殖器



雌虫受精囊



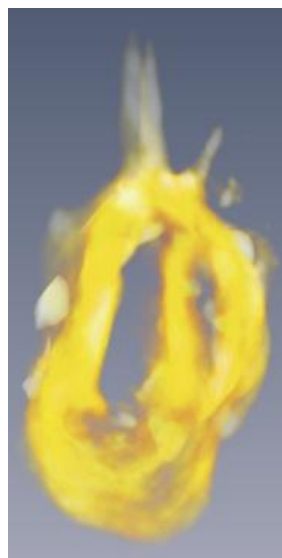
微米结果



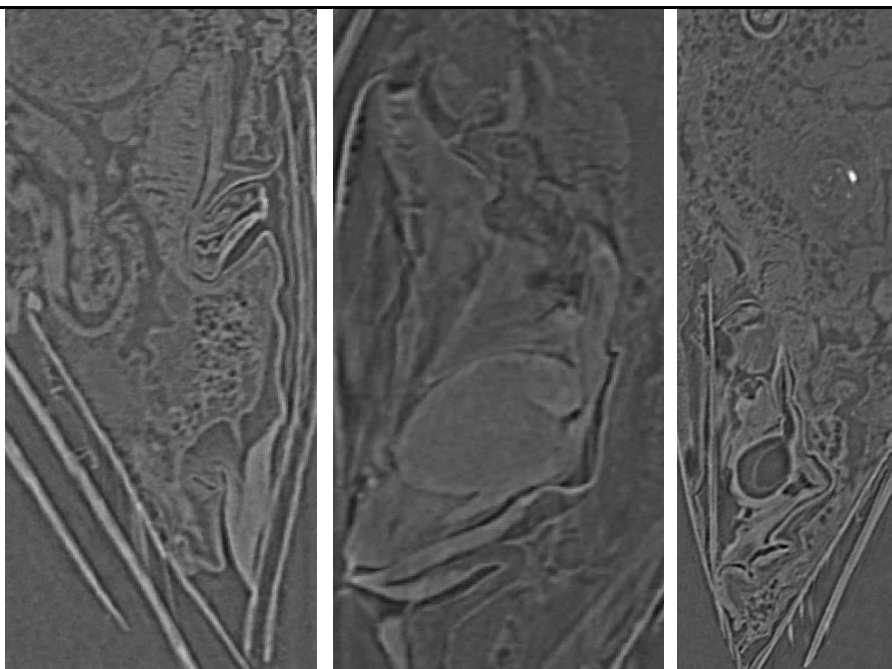
鞭毛纳米级形态
结构

环形结构--引导精
胞延伸管至受
精囊管的作用

刺状结构--移走
其他雄虫受精
囊管



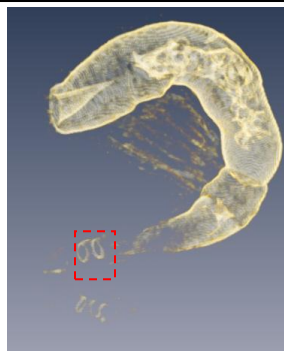
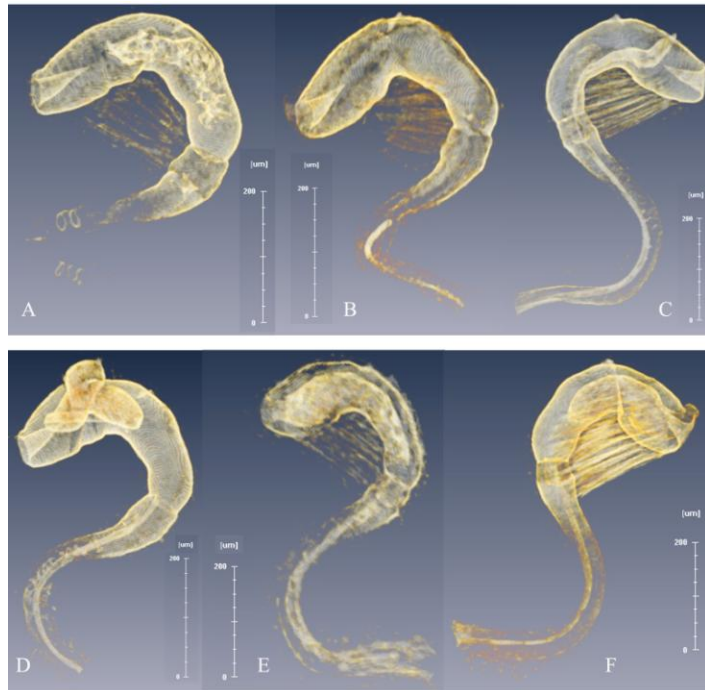
纳米结果



• 领前角隐翅虫雌性外生殖器纵切图

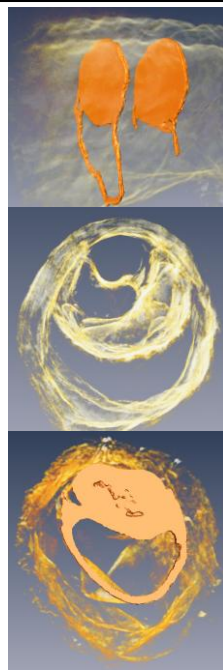
❖ 领前角隐翅虫受精囊的三维结构重构研究发现，领前角隐翅虫受精囊的前囊顶端未完全闭合，在前囊大小齿中央顶部留有窄的缝隙。

领前角隐翅虫交配前及交配后不同时期雌虫受精囊三维结构图

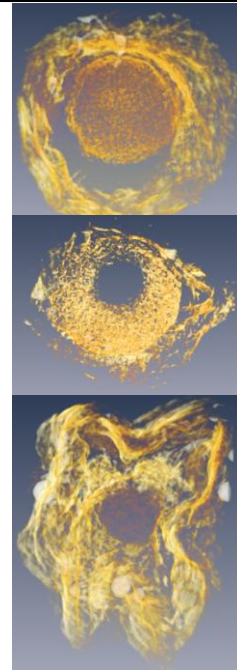


延伸管从受精囊管向受精囊传递过程

利用微米CT及纳米CT研究领前角隐翅虫精子传递过程发现：1、雄虫通过延伸管的变化完成精子传递。2、第二次交配雄虫能够把前一雄虫精子排出雌虫受精囊。深入揭示了前角隐翅虫精子传递机制，并支持精子竞争假说。



第一次交配后延伸管变化



第二次交配后延伸管变化

1.3.3.内部系统形态与进化研究

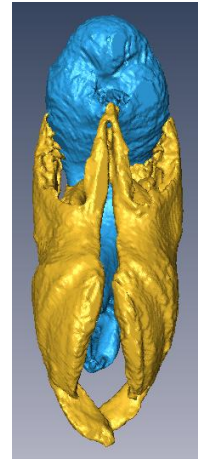
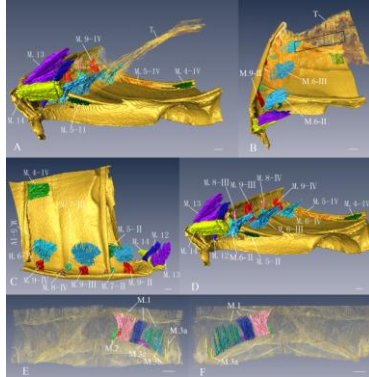
内部系统

<

骨骼肌肉

<

外生殖器

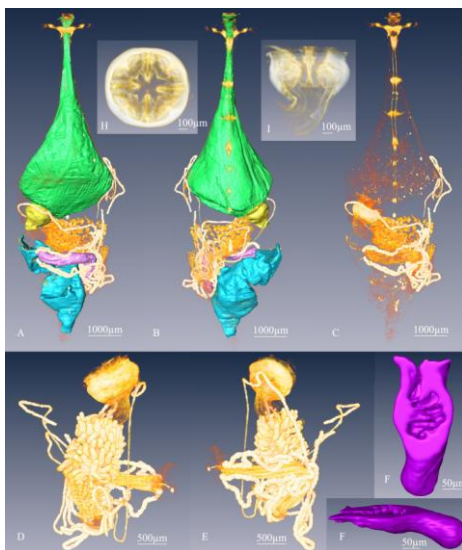


两栖甲内部系统三维形态结构

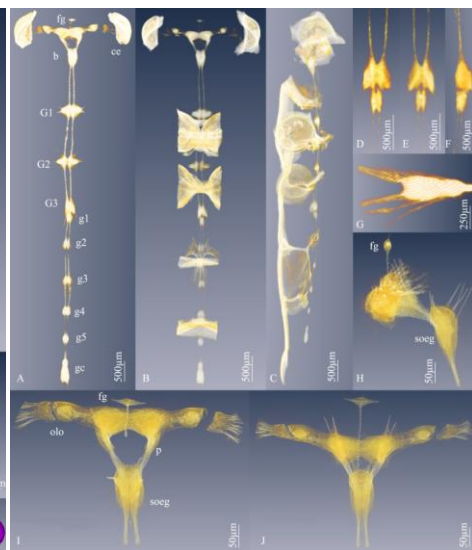
两栖甲隶属于鞘翅目肉食亚目，是孑遗物种，水陆两栖昆虫，全世界只有五种，分布在中国和北美洲。对昆虫的进化及动物地理区系的研究均具有重要的意义。传统方法对内部结构的观察不能保存此物种标本的完整性。

本研究组以大卫两栖甲为代表，利用微米CT技术，研究其消化、神经、分泌及雌雄生殖等内部系统的三维形态，并进行了三维结构重构。

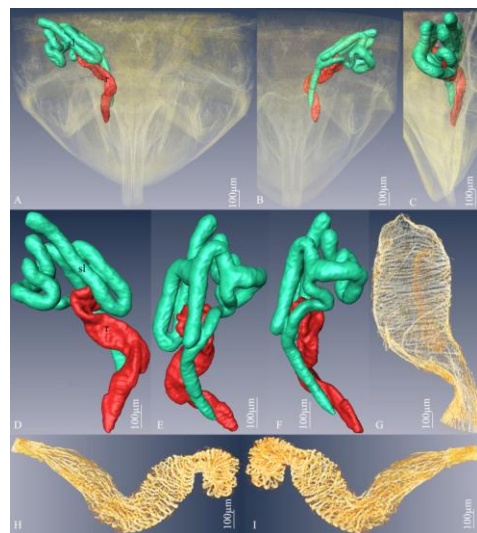




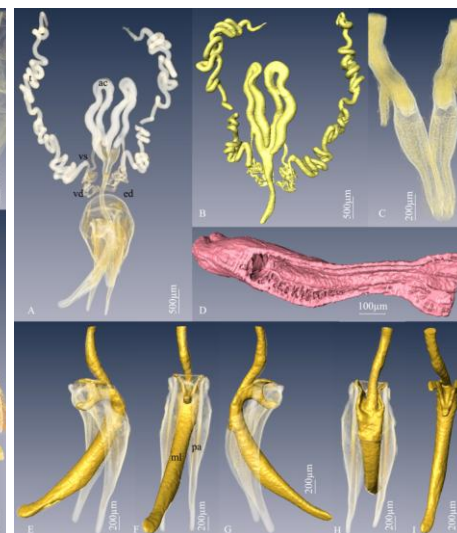
消化系统



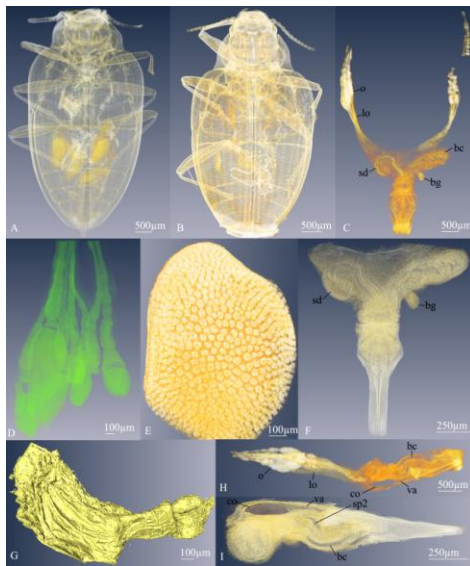
神经系统



臀腺



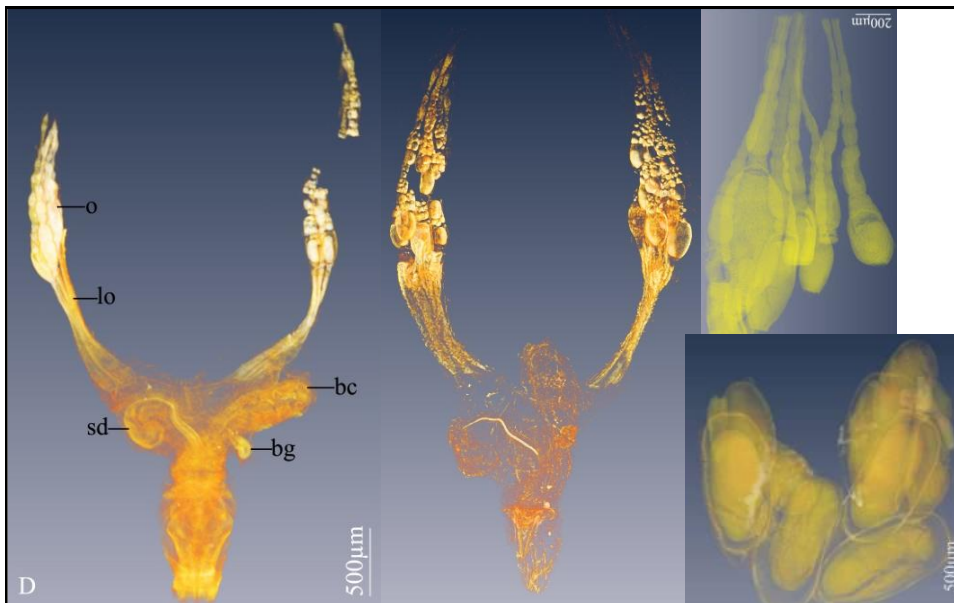
雄性生殖系统



雌性生殖系统



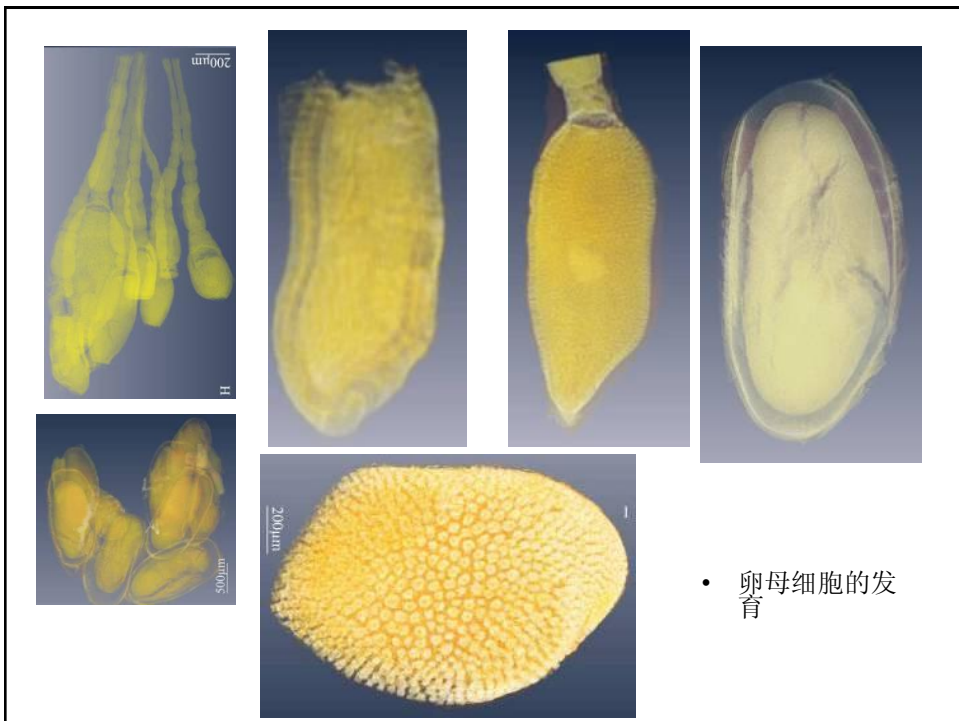
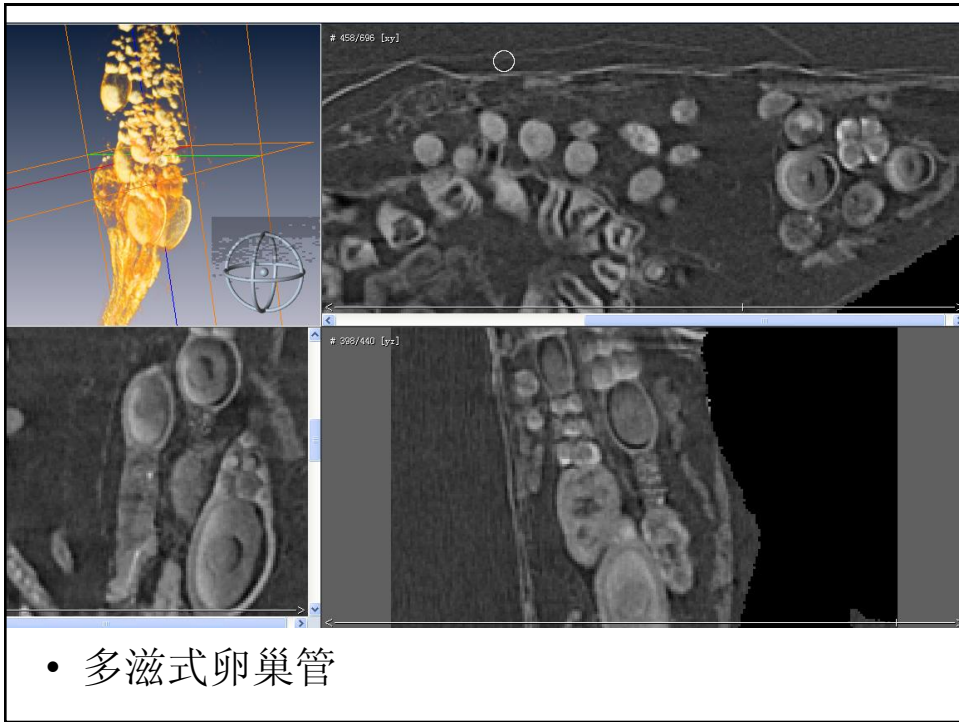
交配前后雌性外生殖系统对比

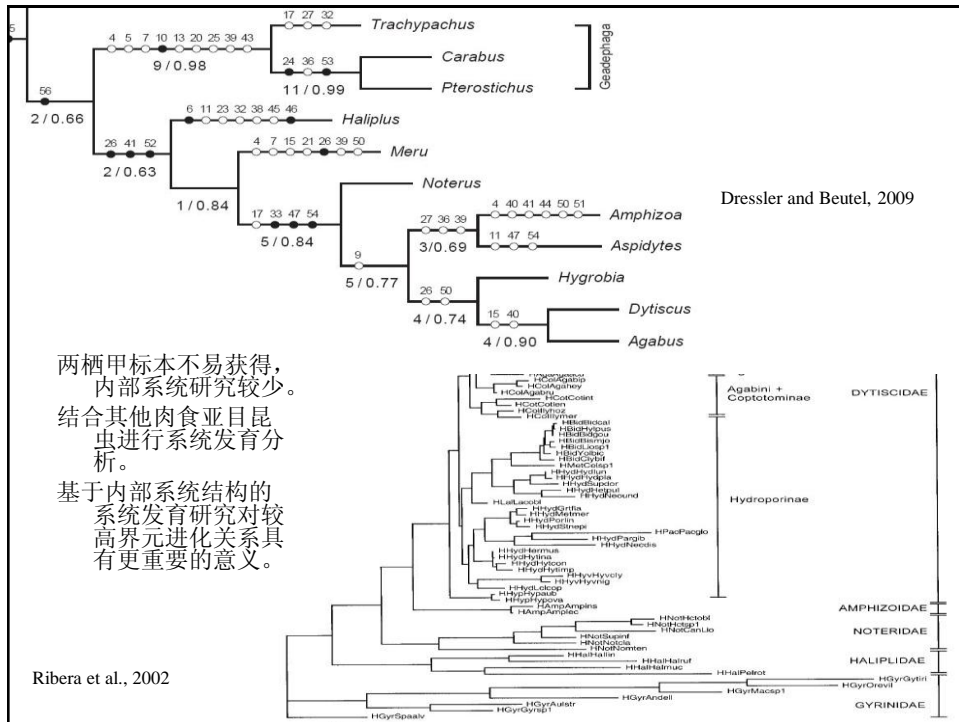


❖ 雌性生殖系统卵母细胞未发育时期三维结构

❖ 雌性生殖系统卵母细胞发育中期三维结构

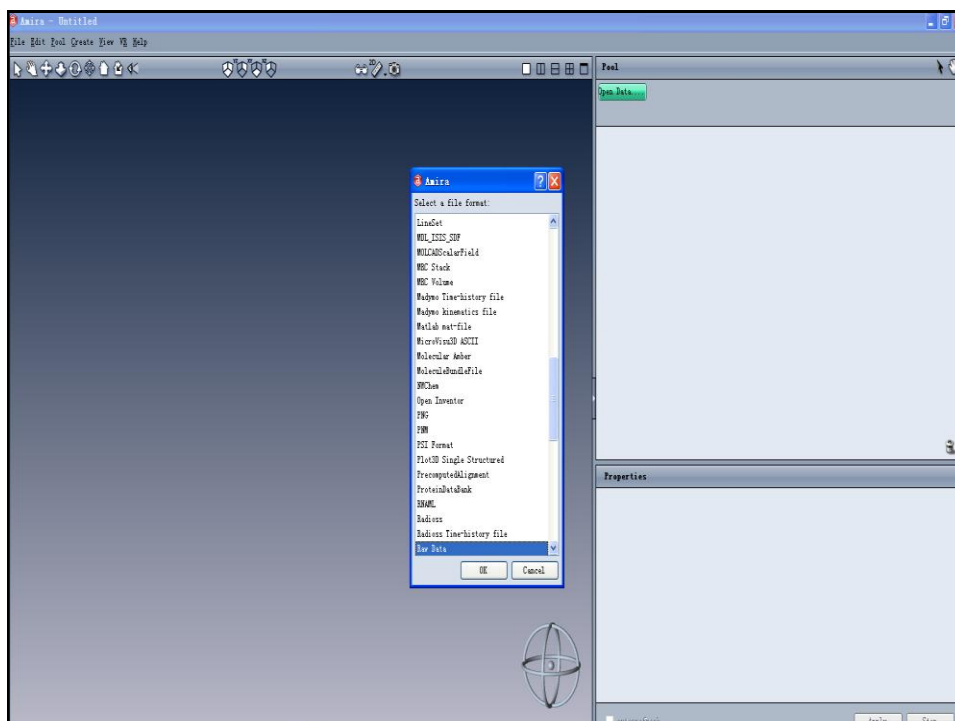
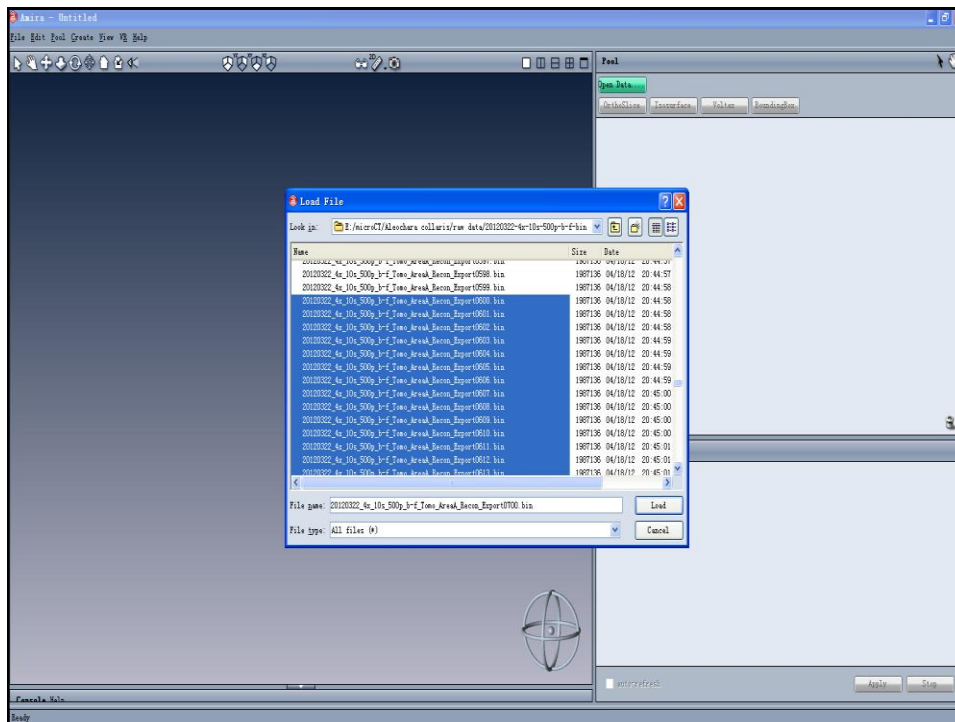
❖ 雌性生殖系统卵母细胞发育近成熟时期三维结构

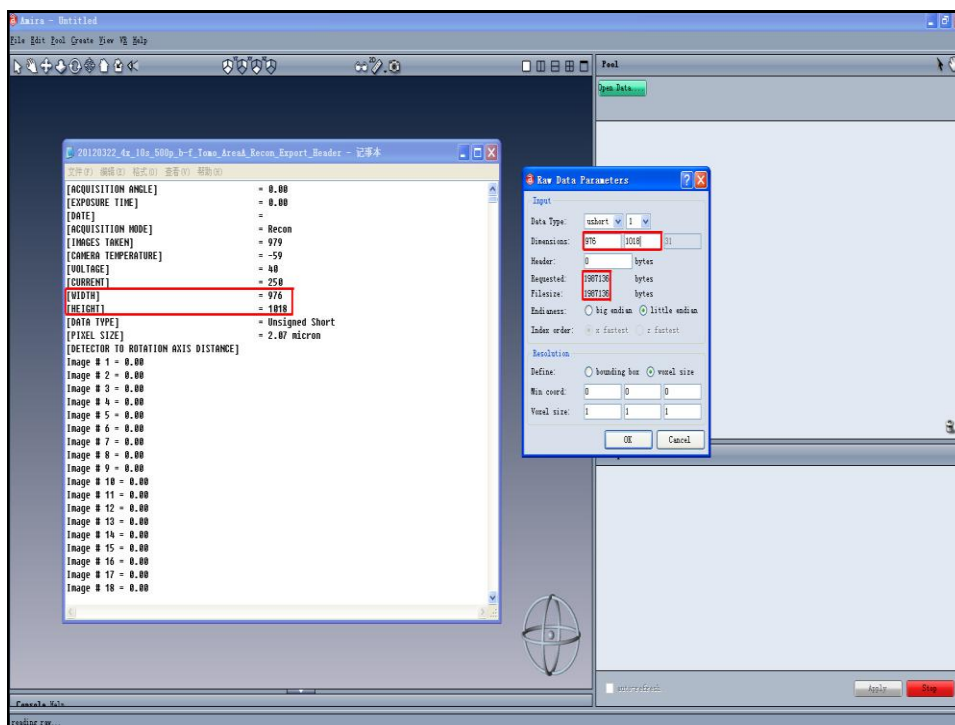
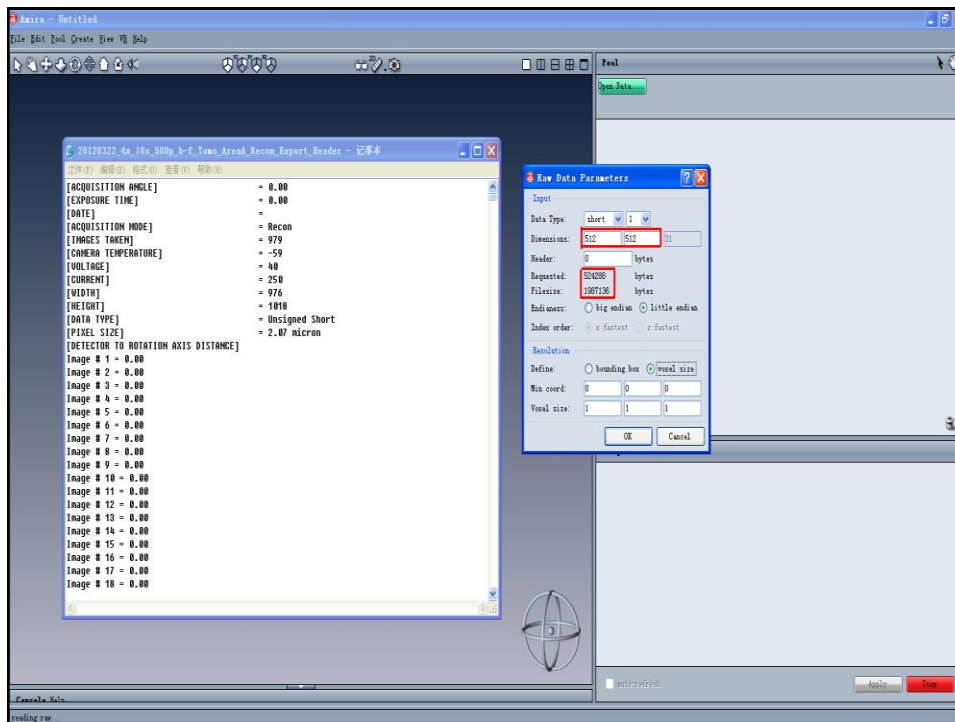


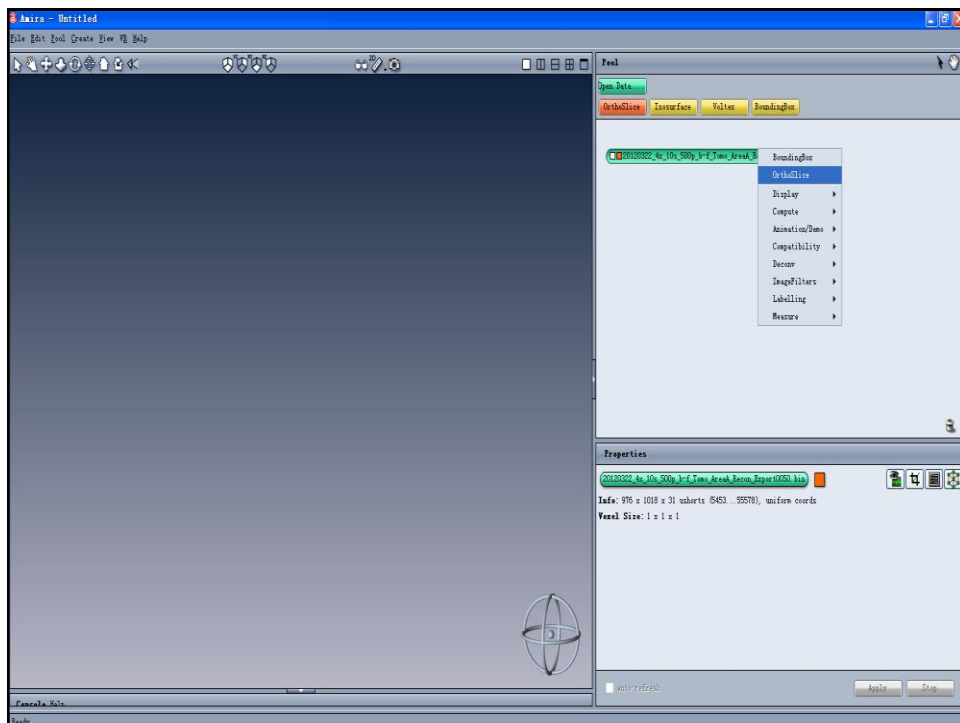
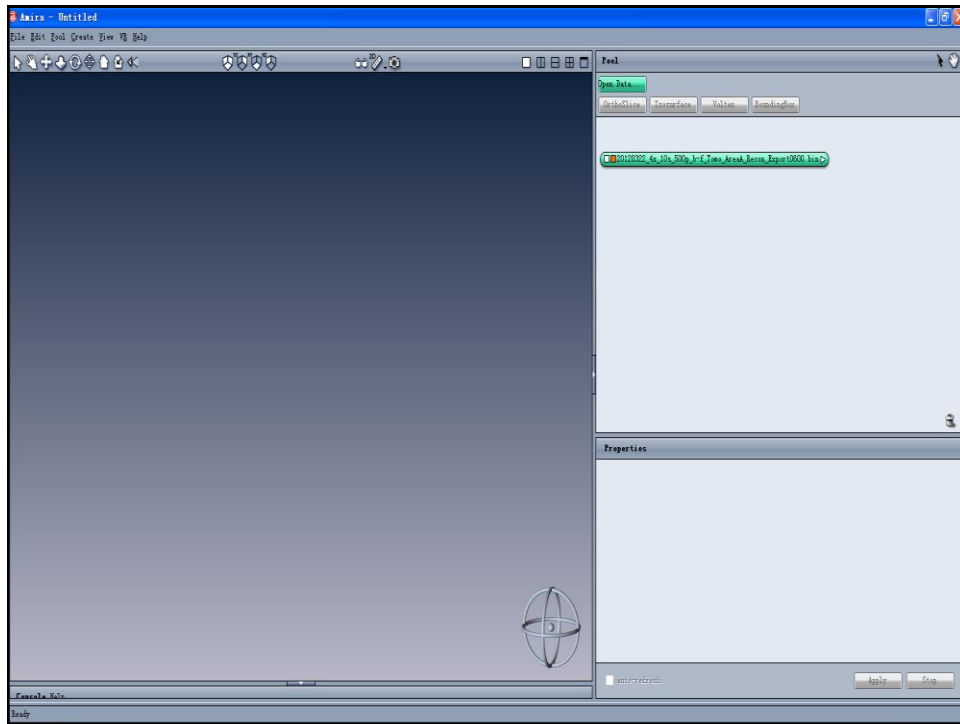


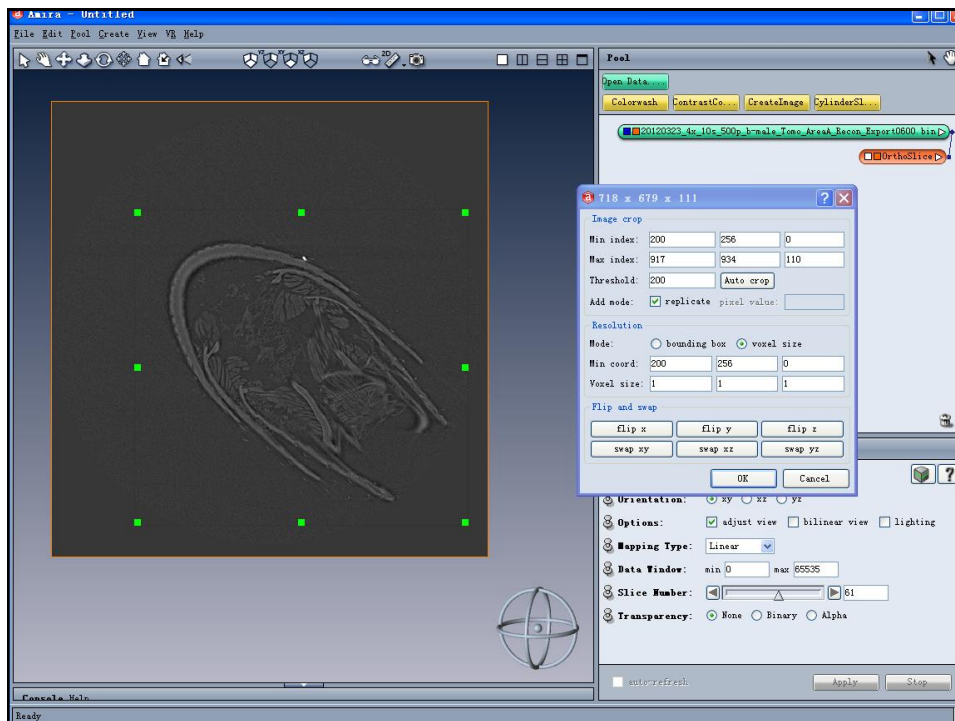
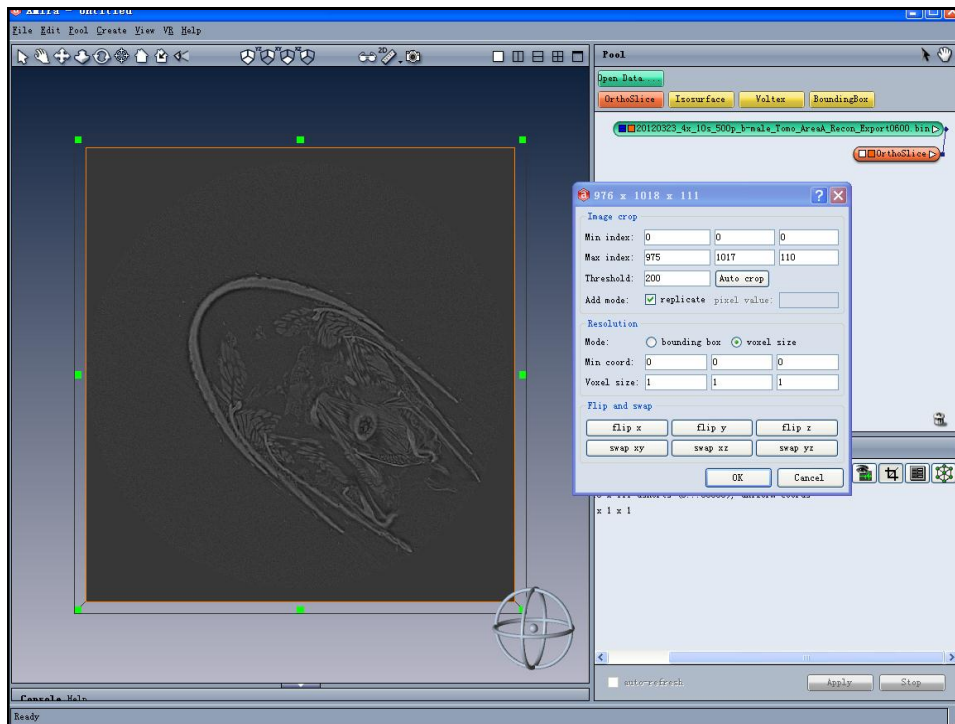
2. 三维成像软件Amira的应用

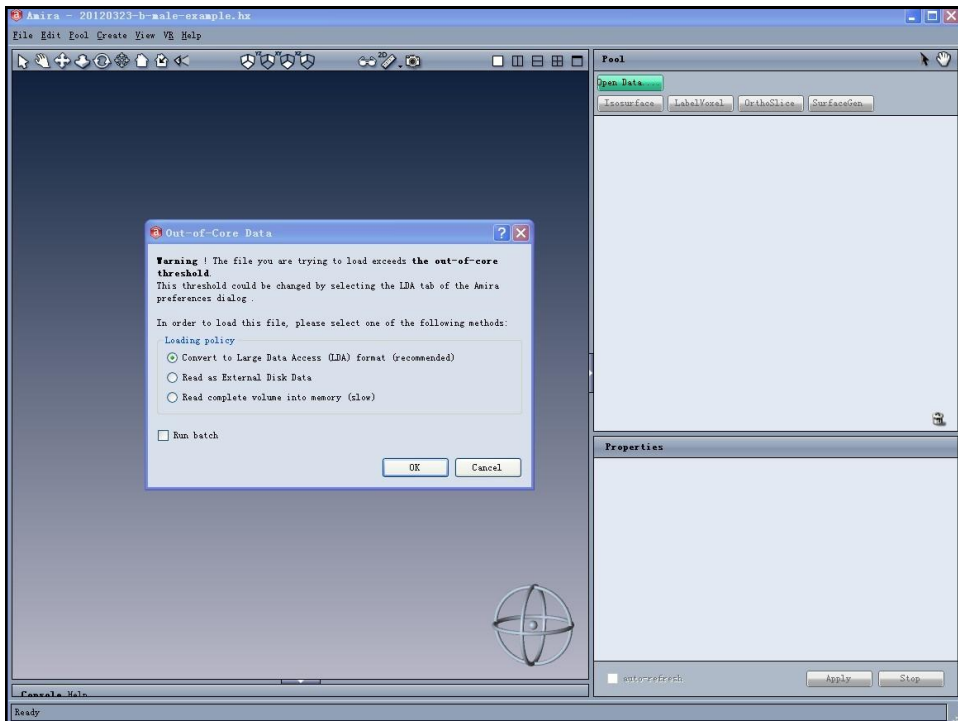
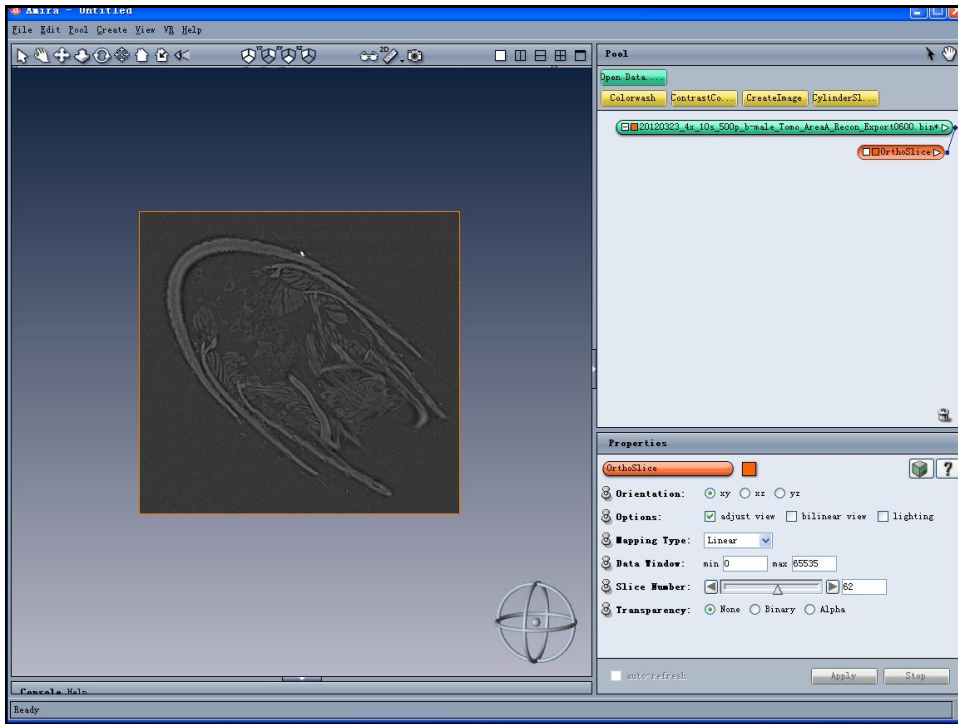
2.1. 导入数据

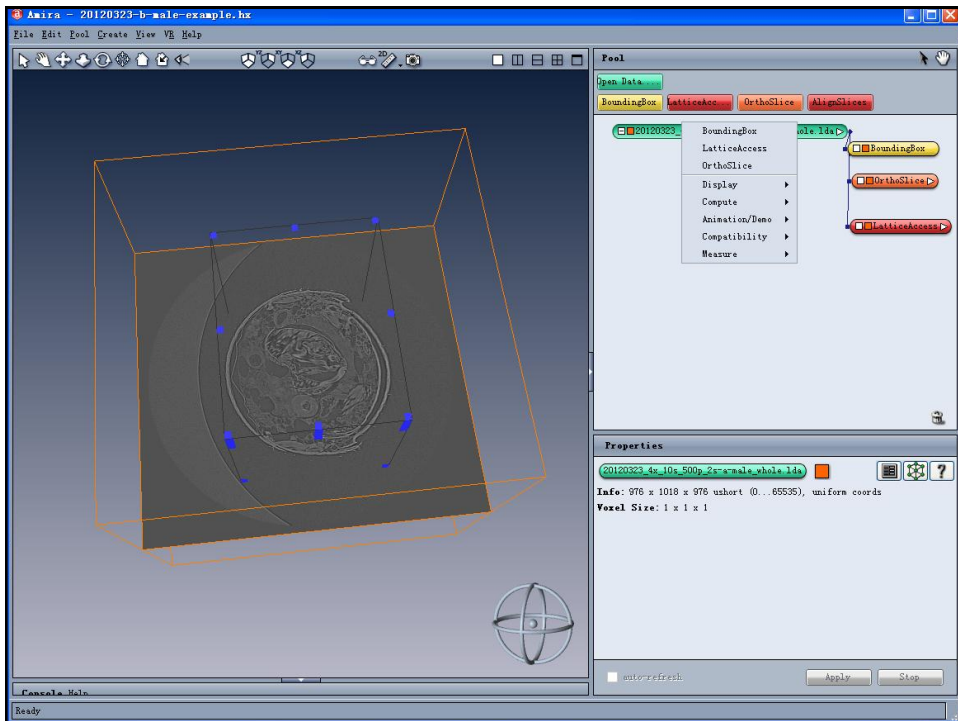
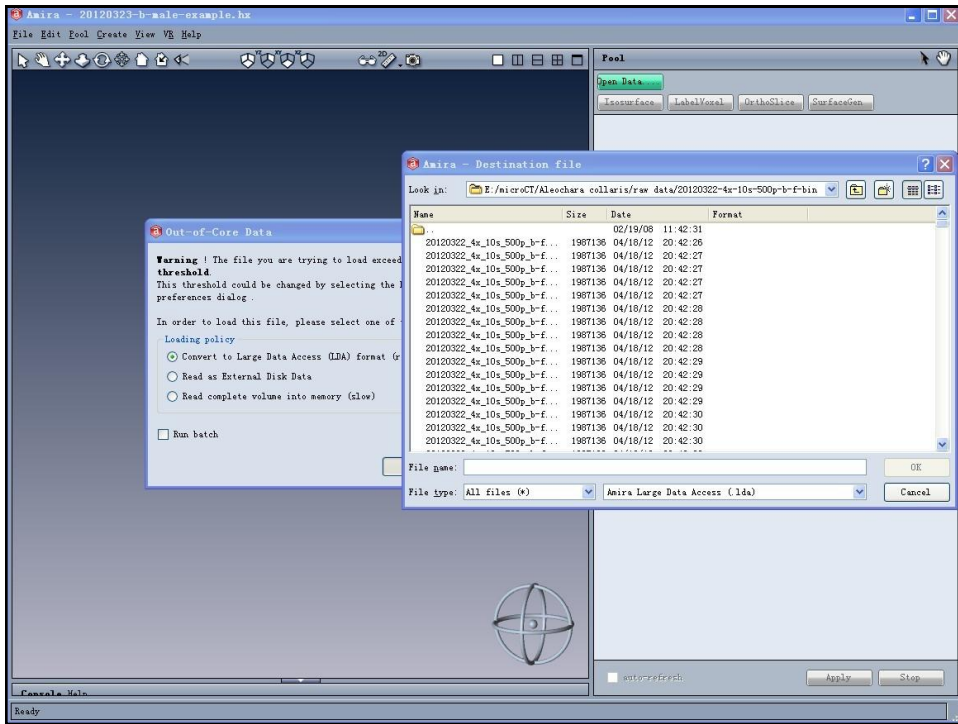


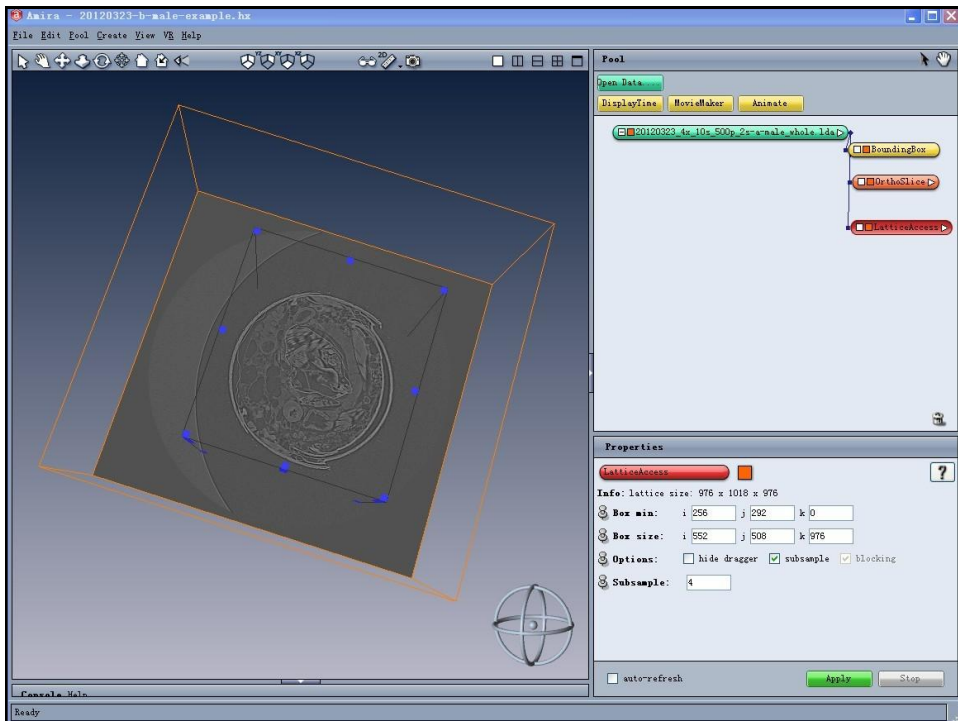
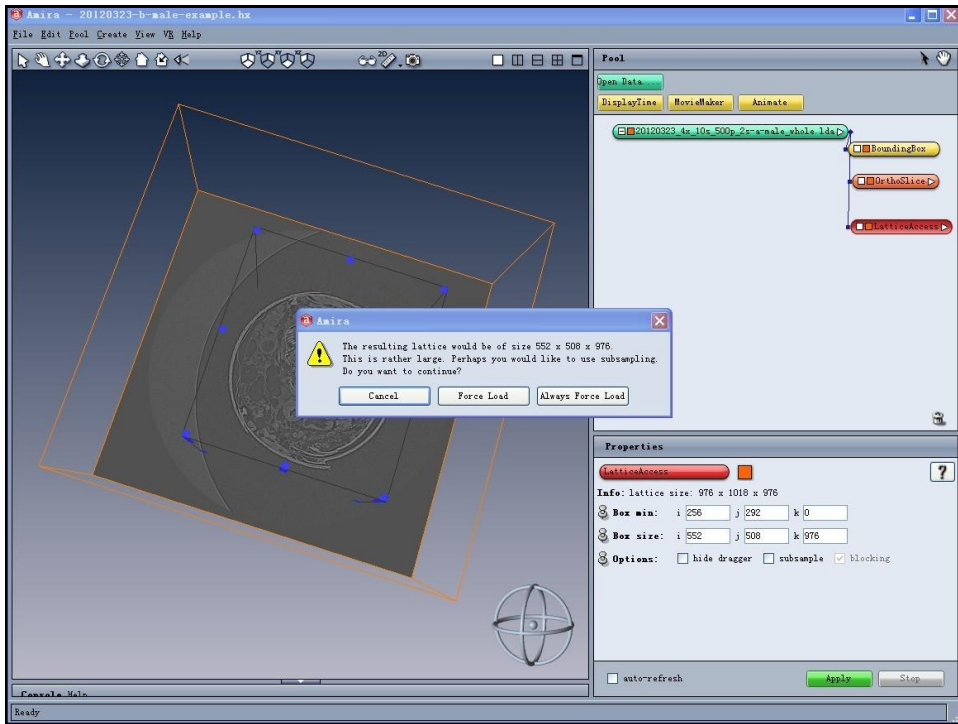




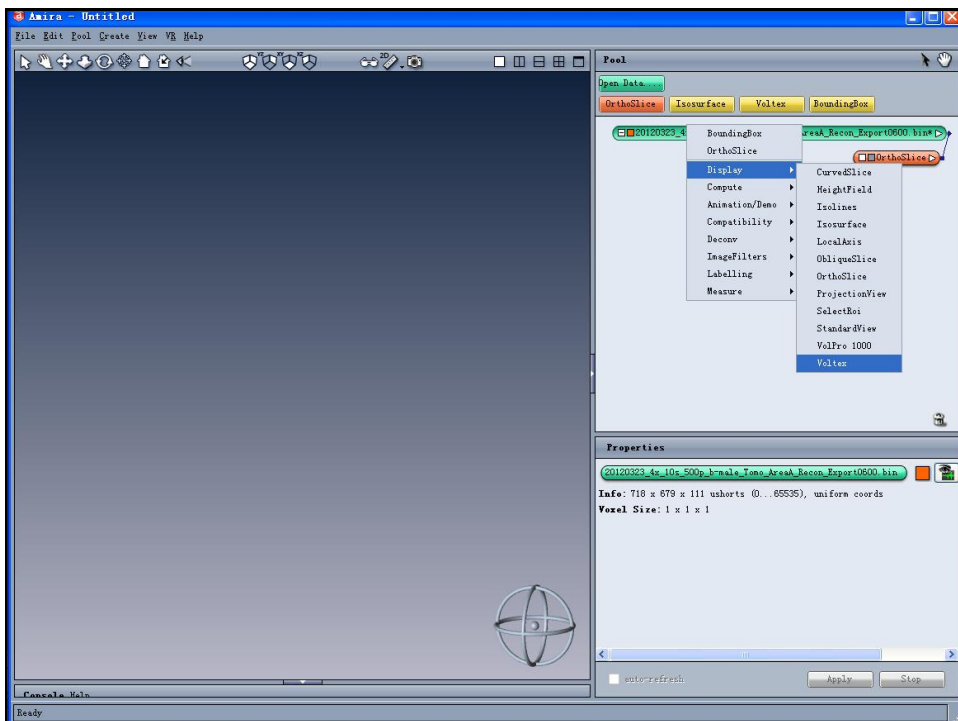


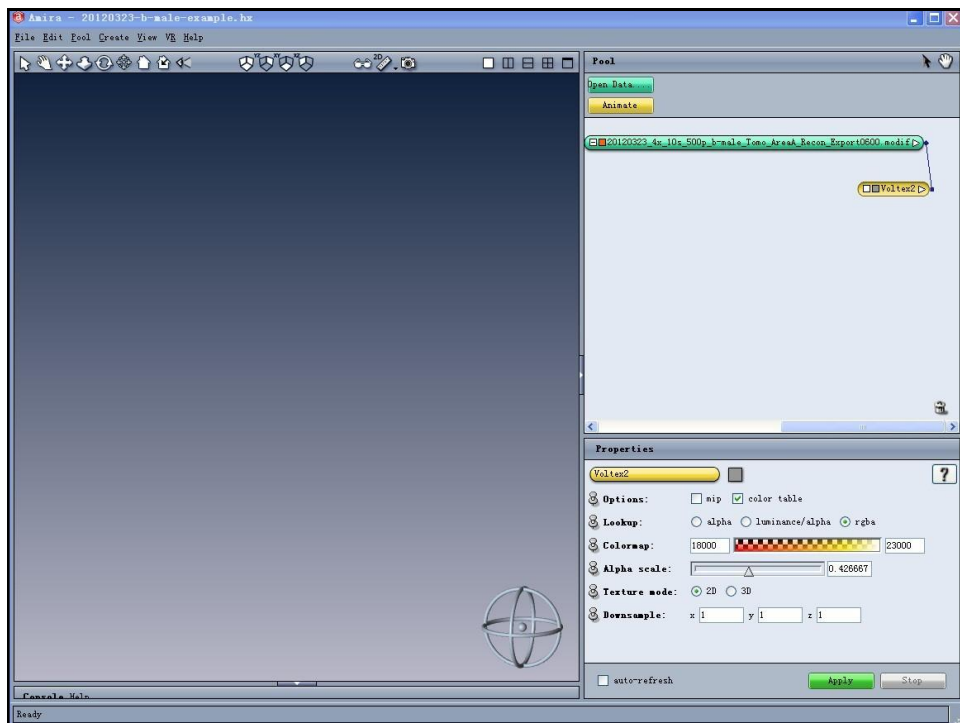
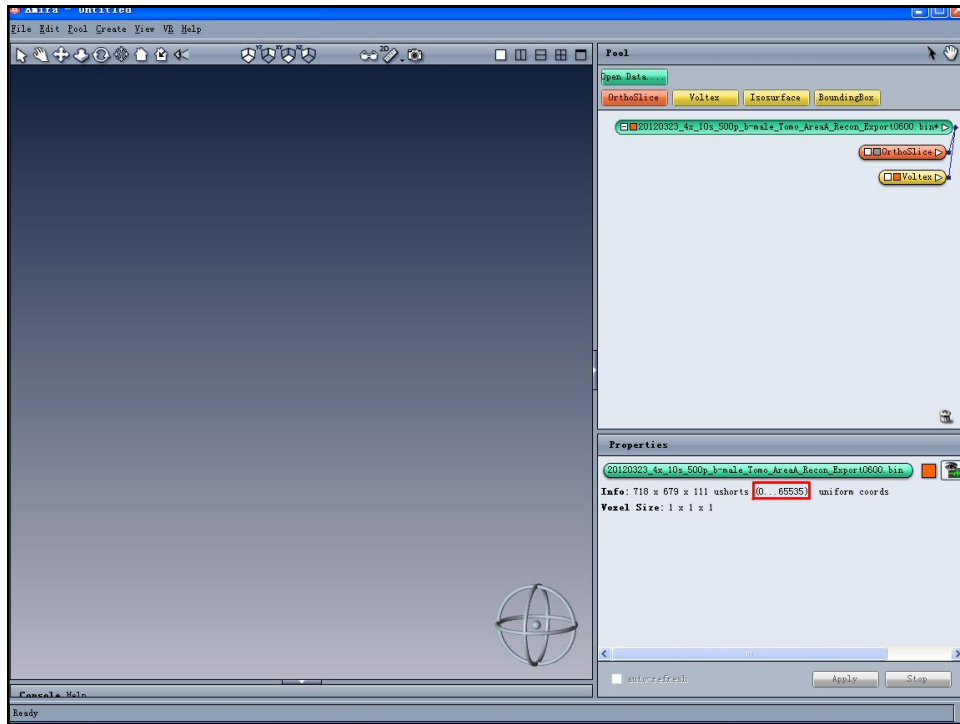


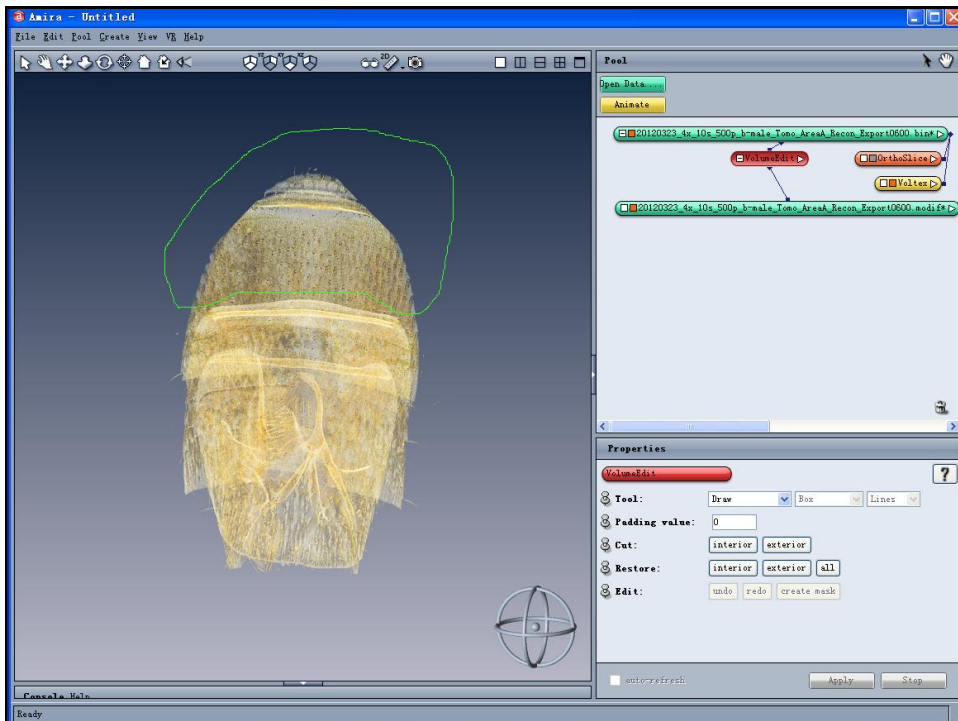
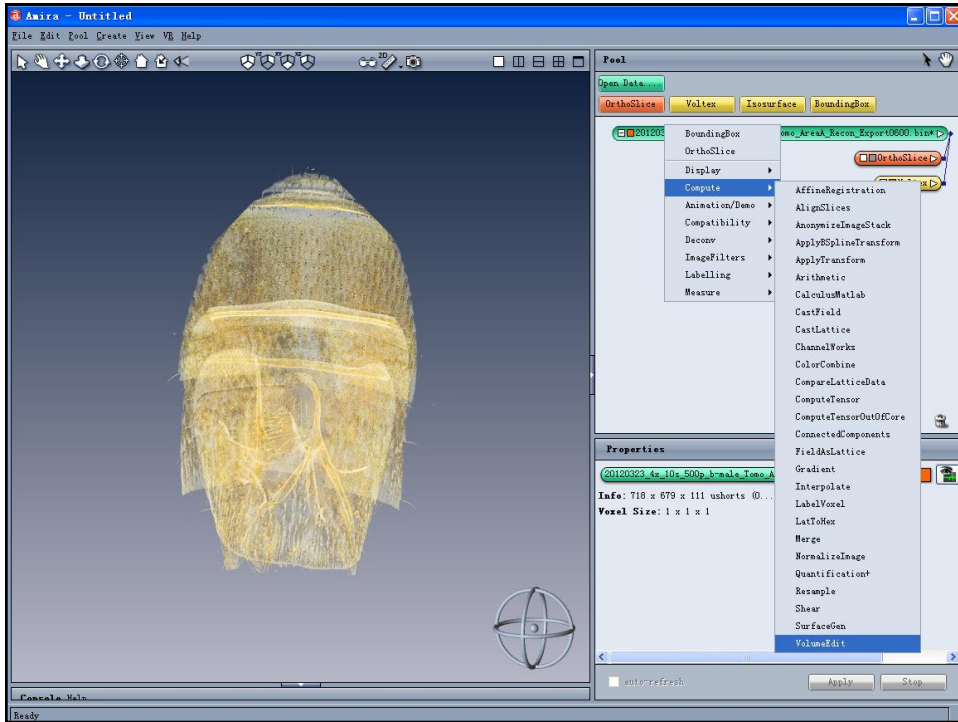


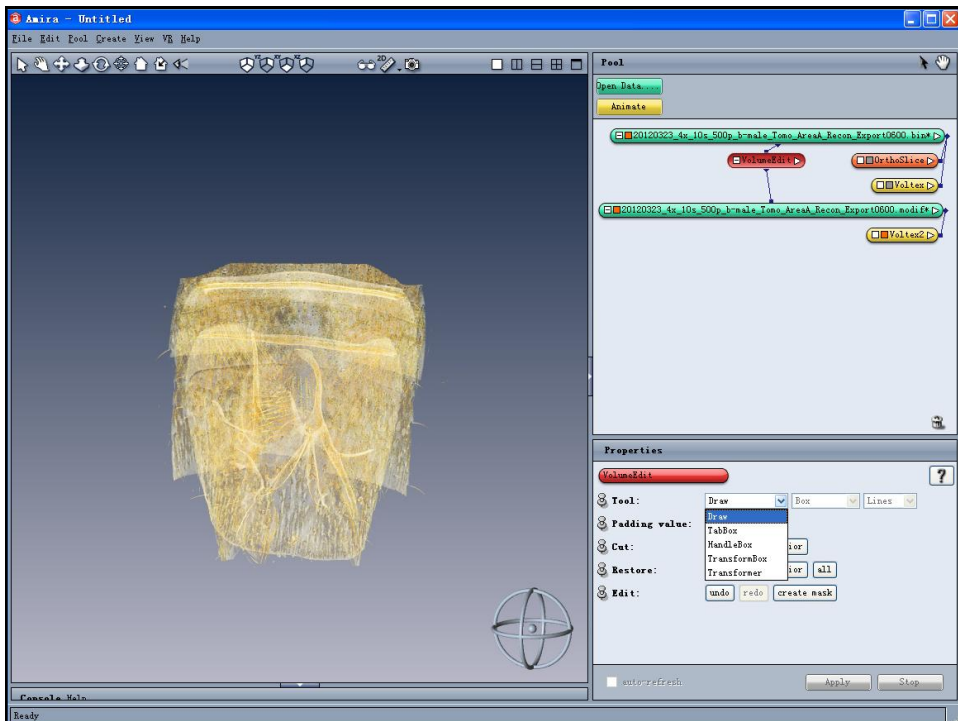
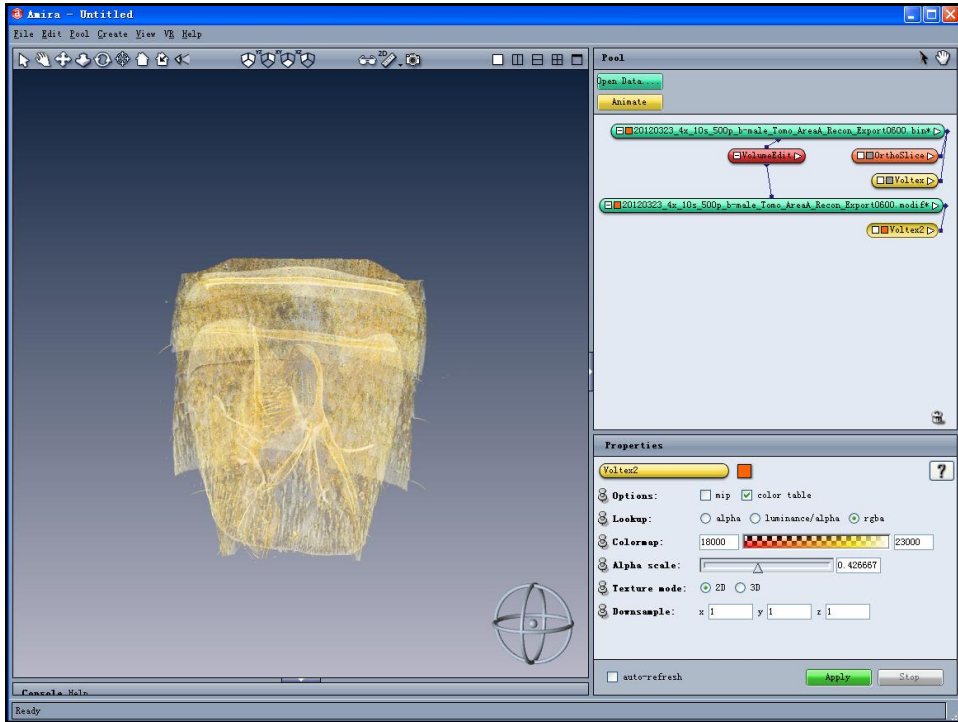


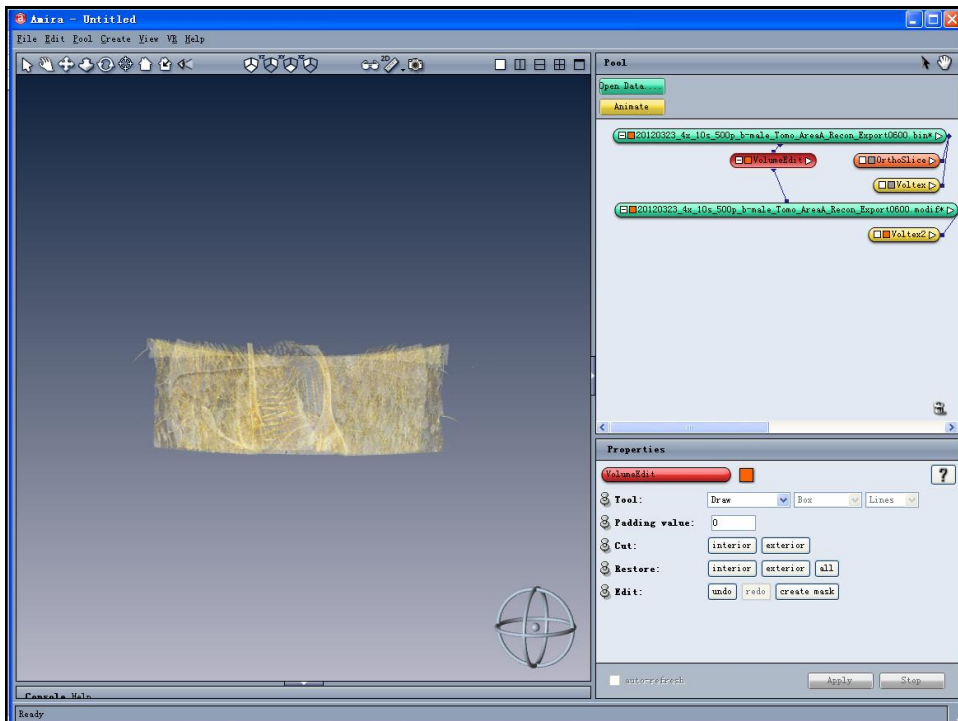
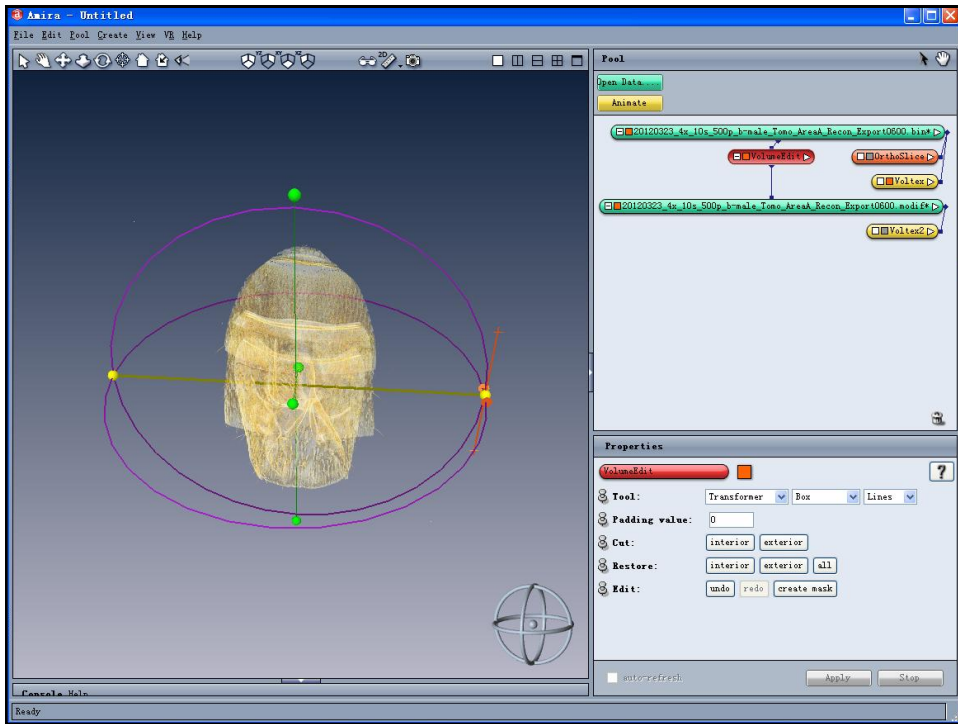
2.2. 三维观察

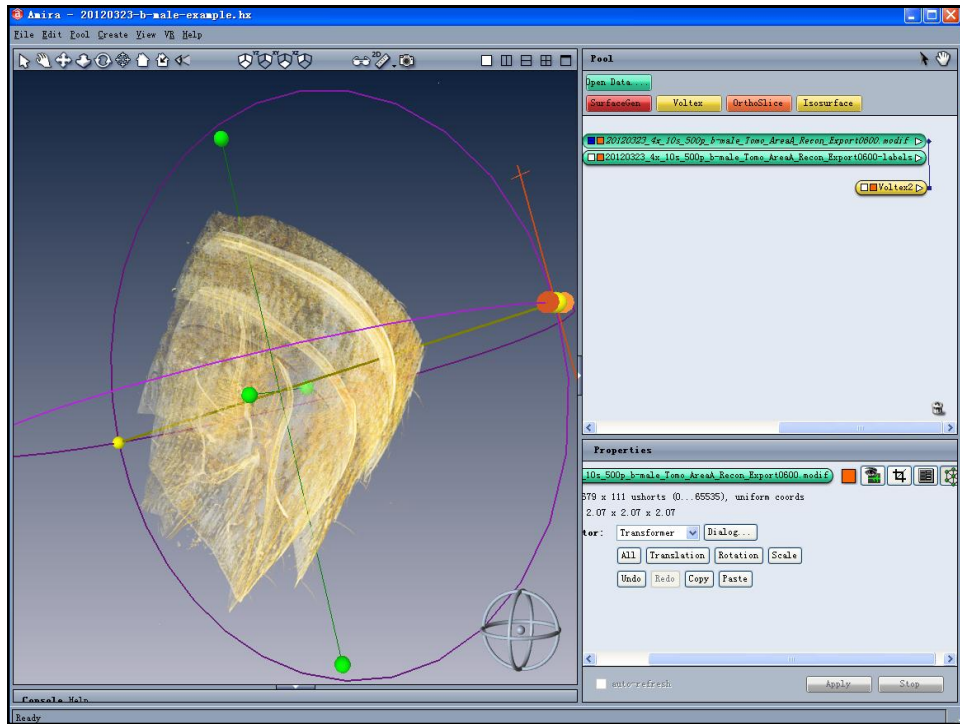




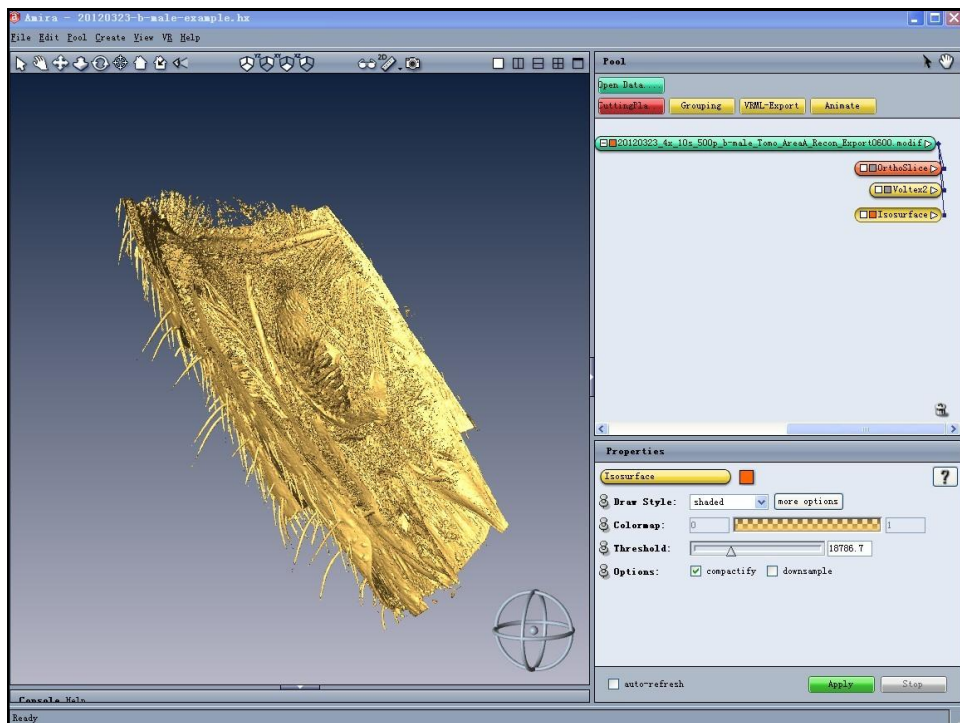
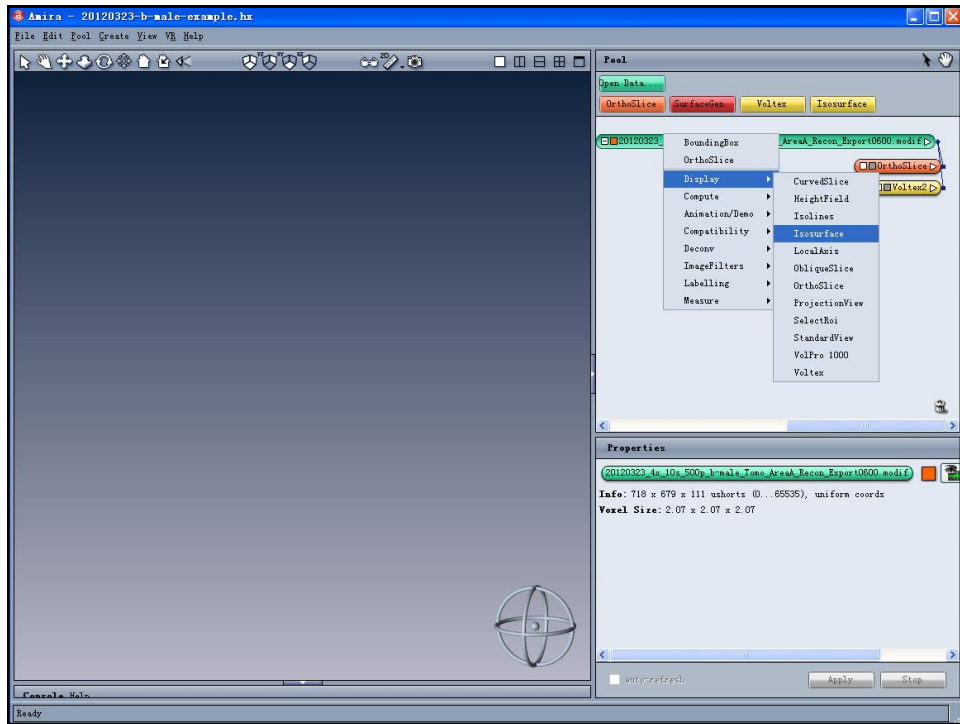


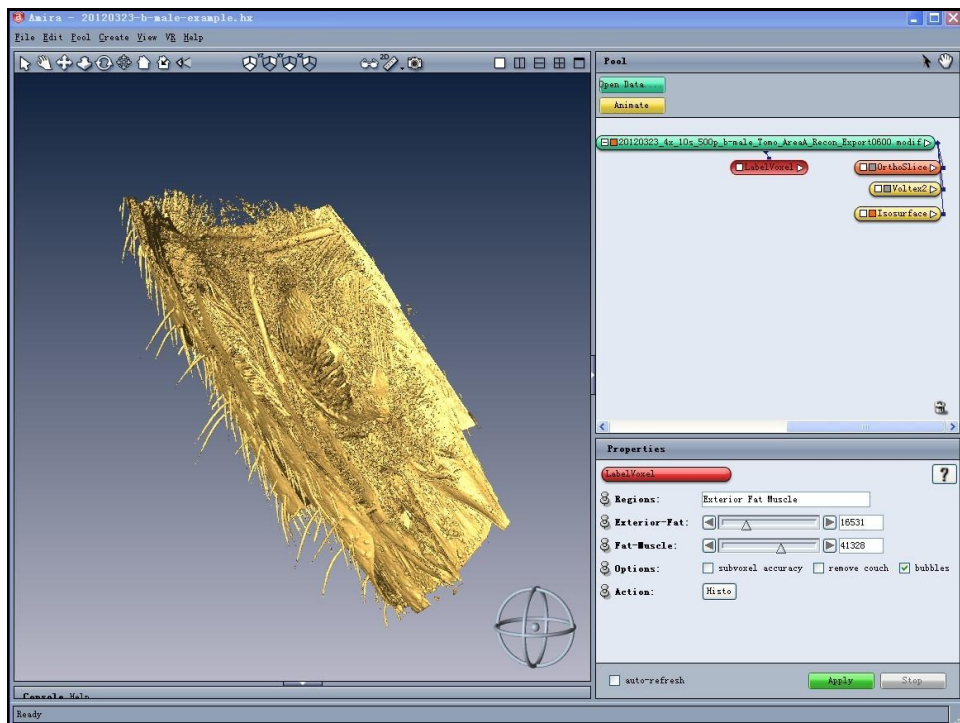
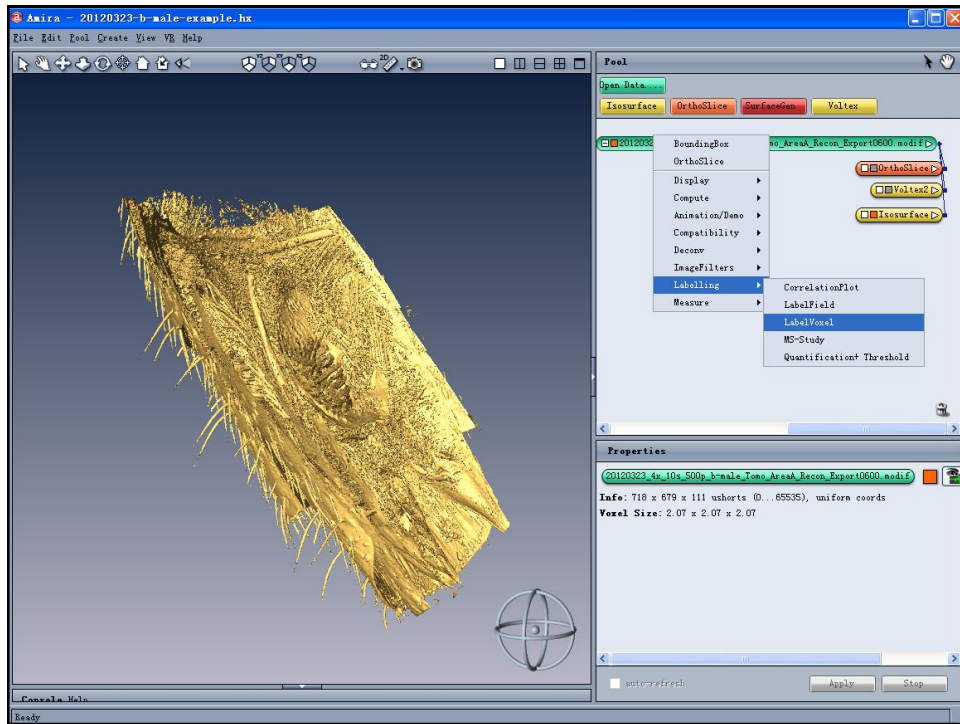


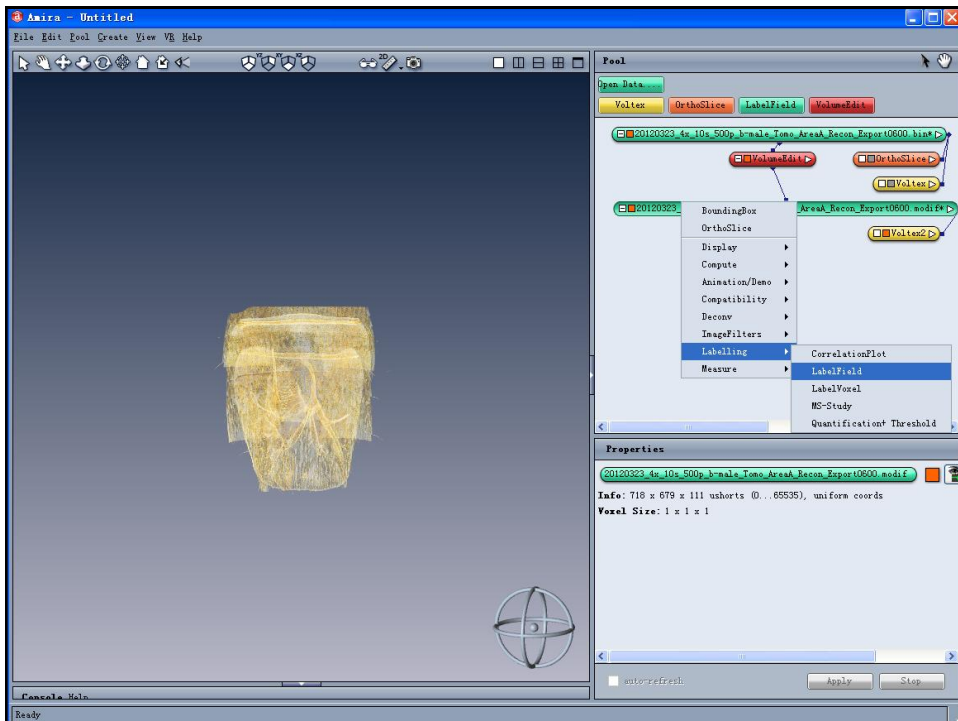
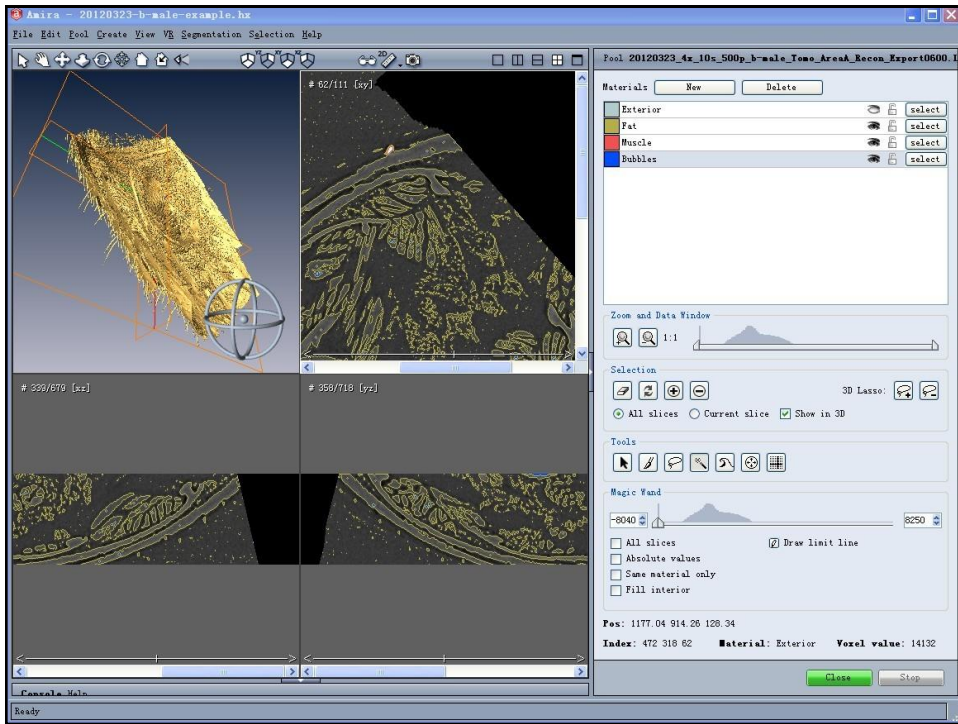


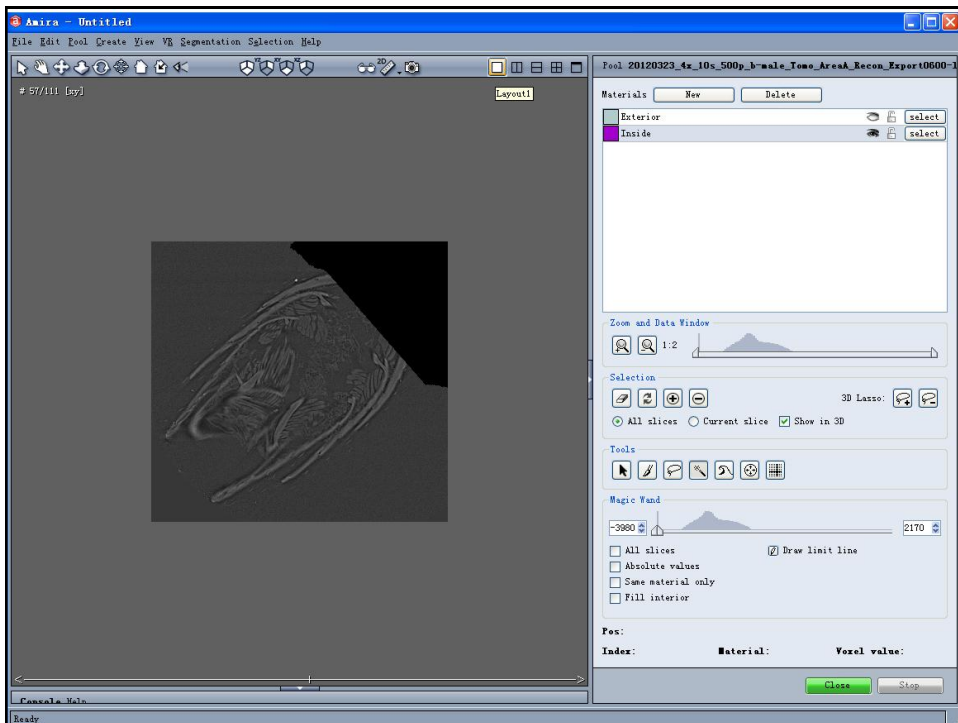
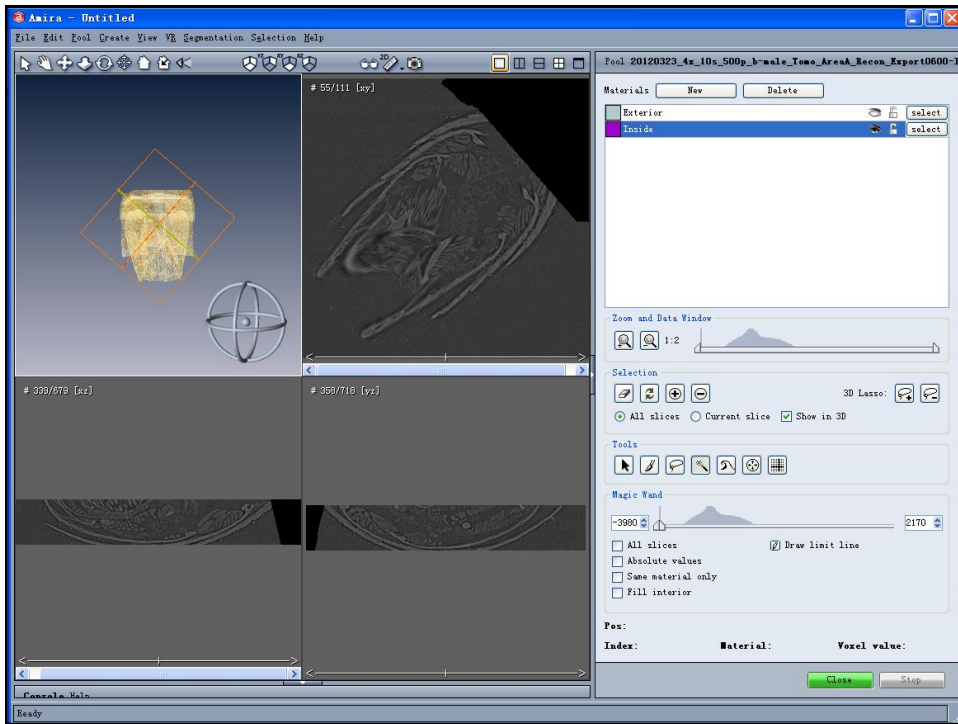


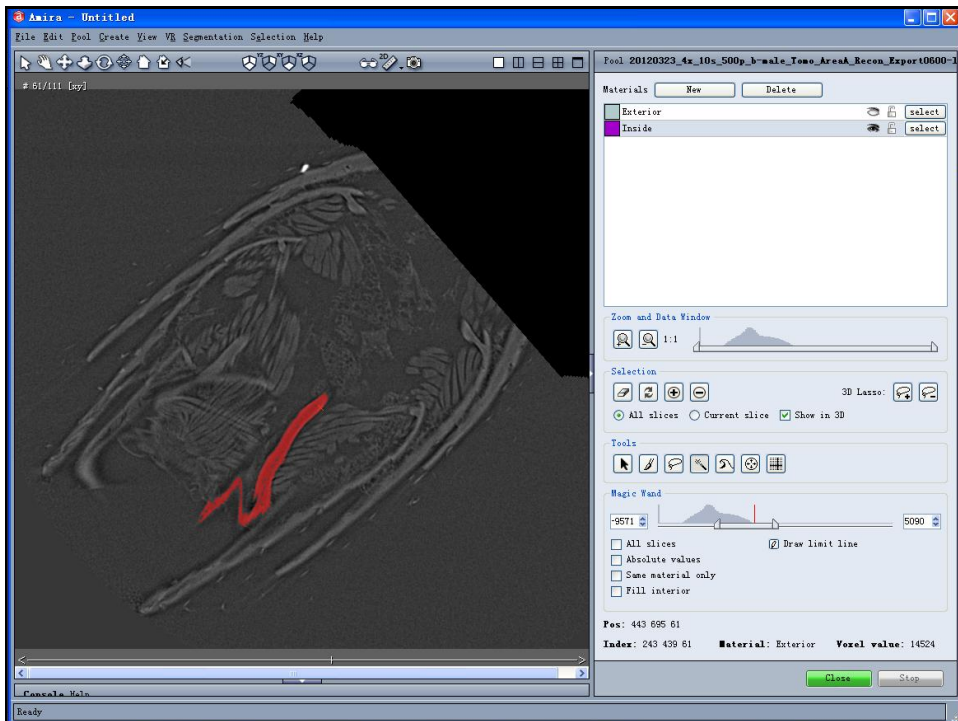
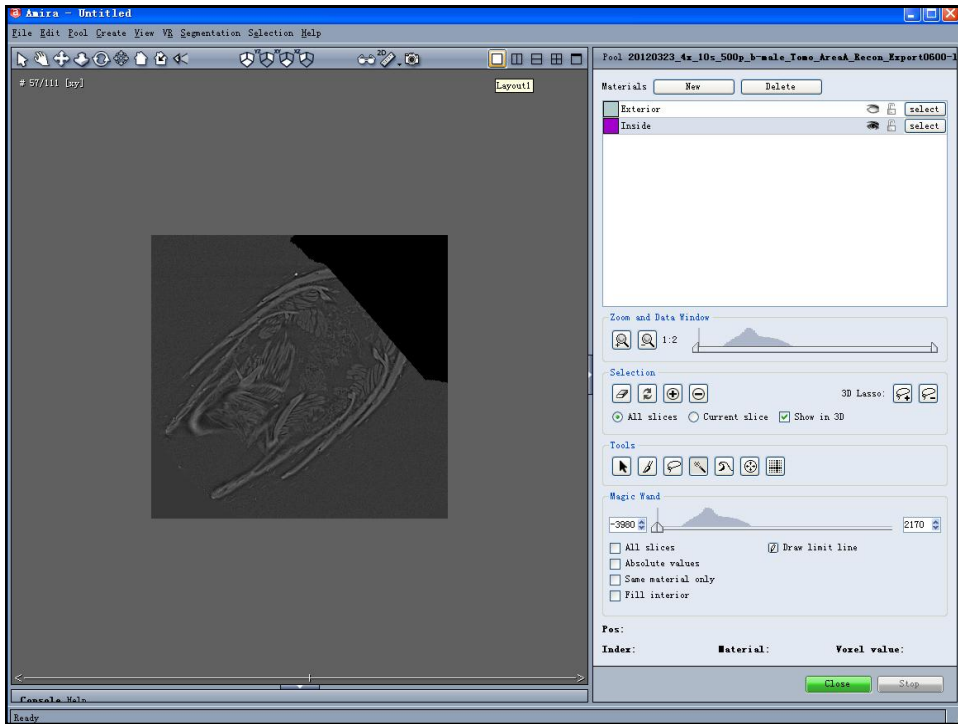
2.3.表面重构

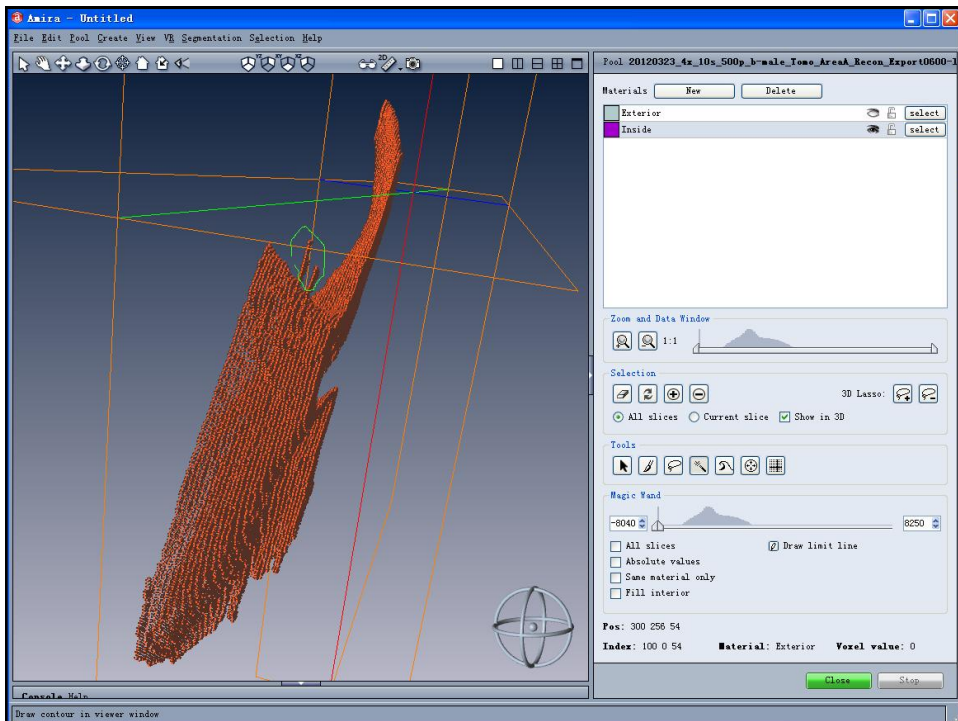
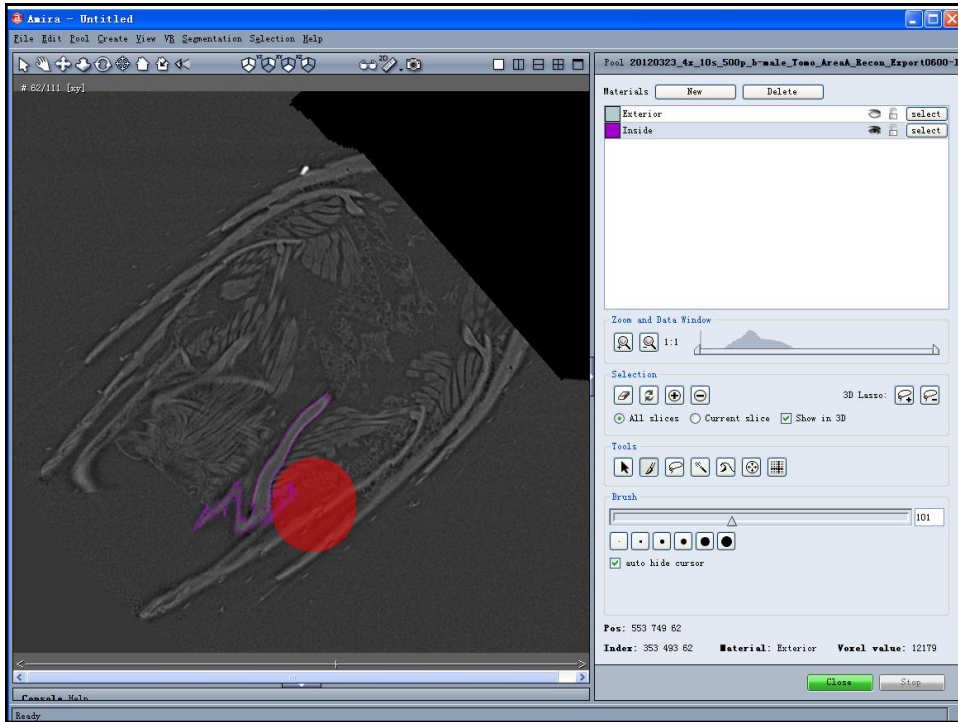


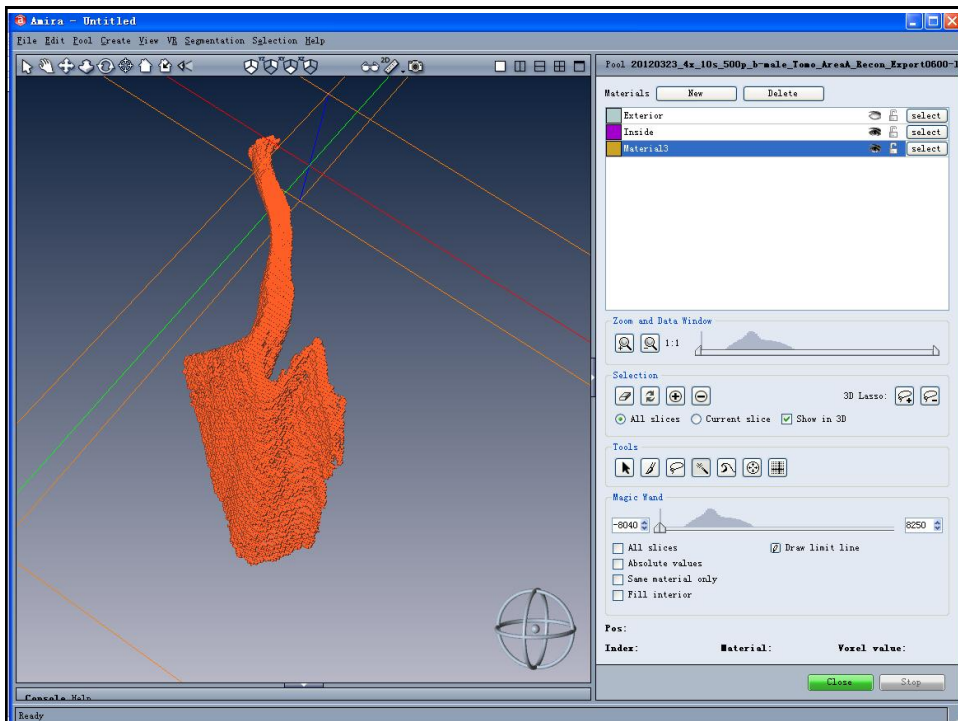
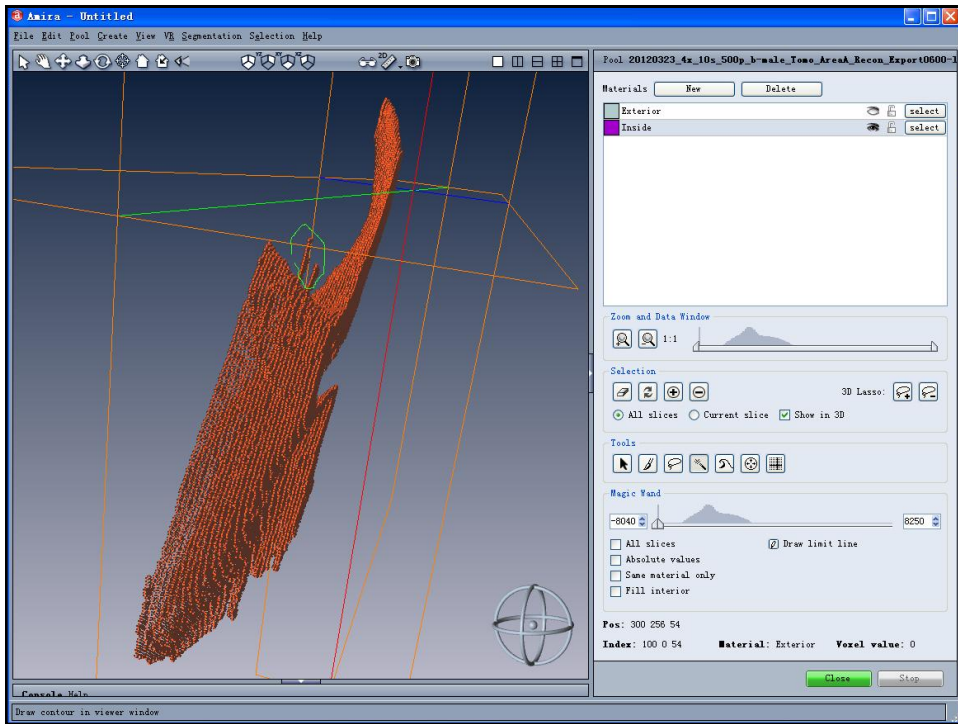


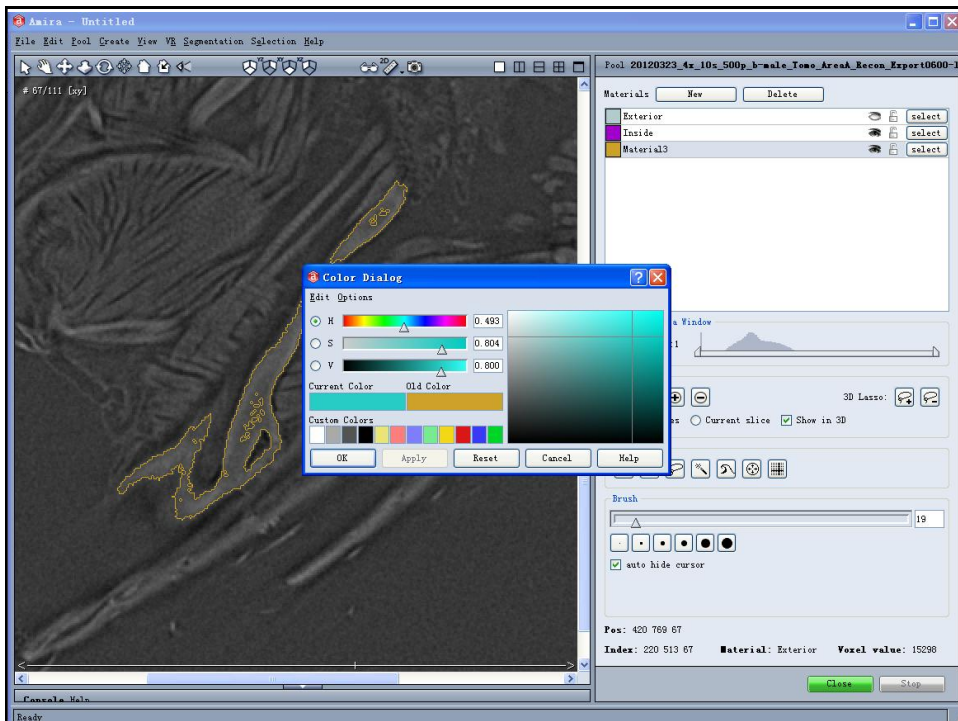
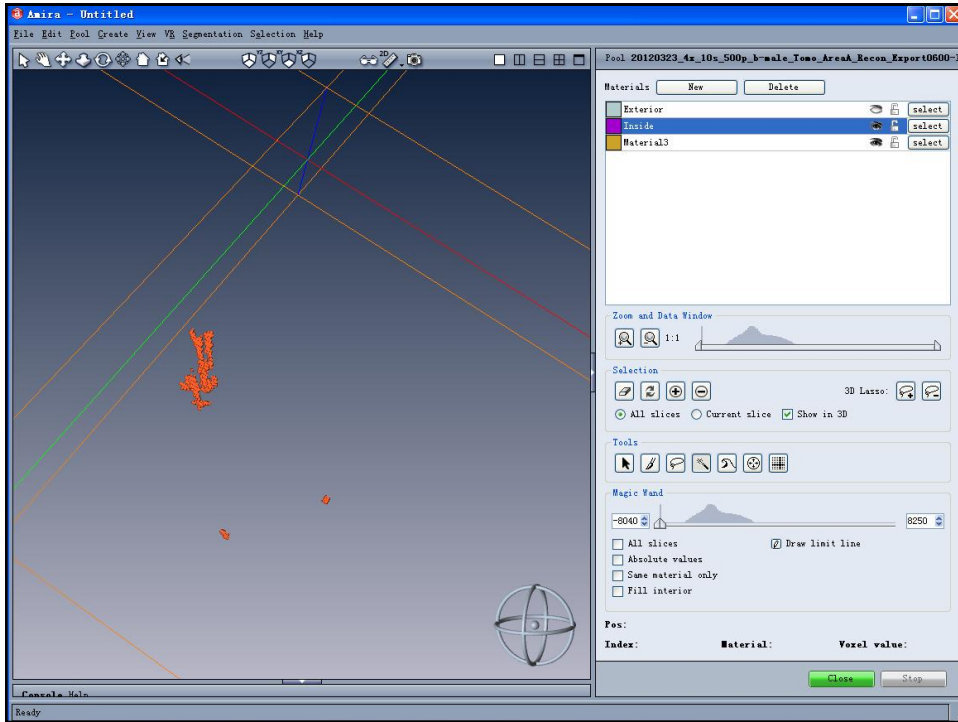


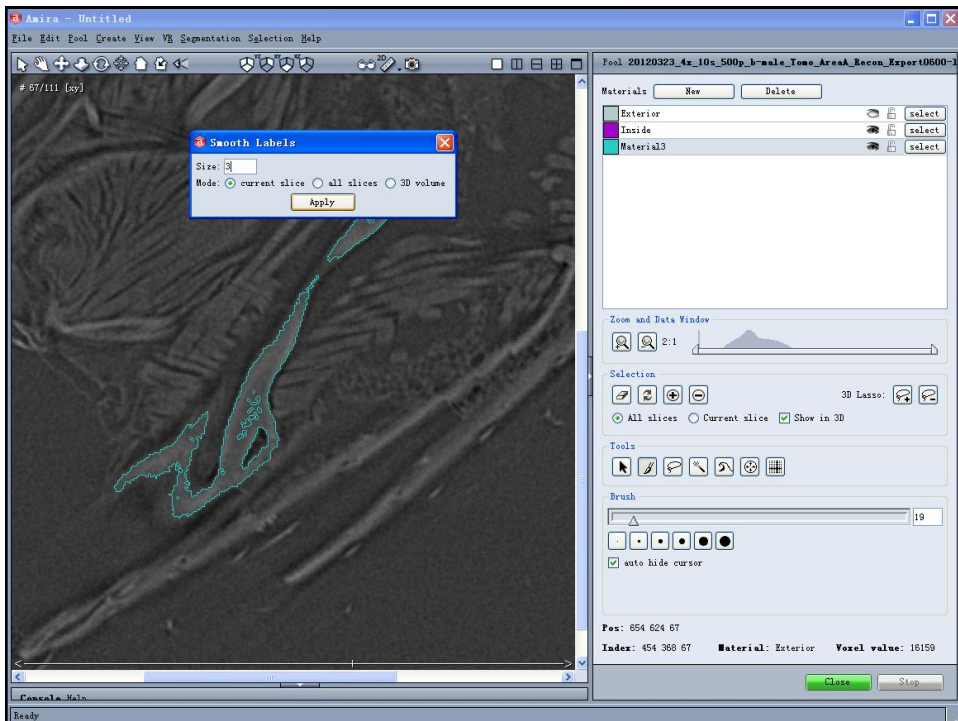
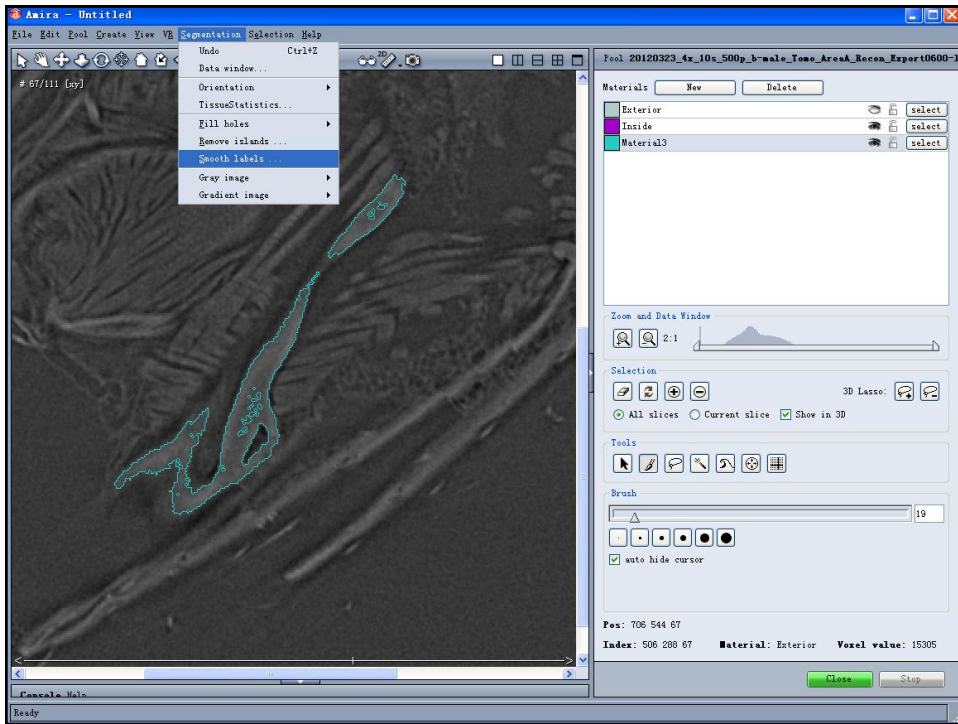


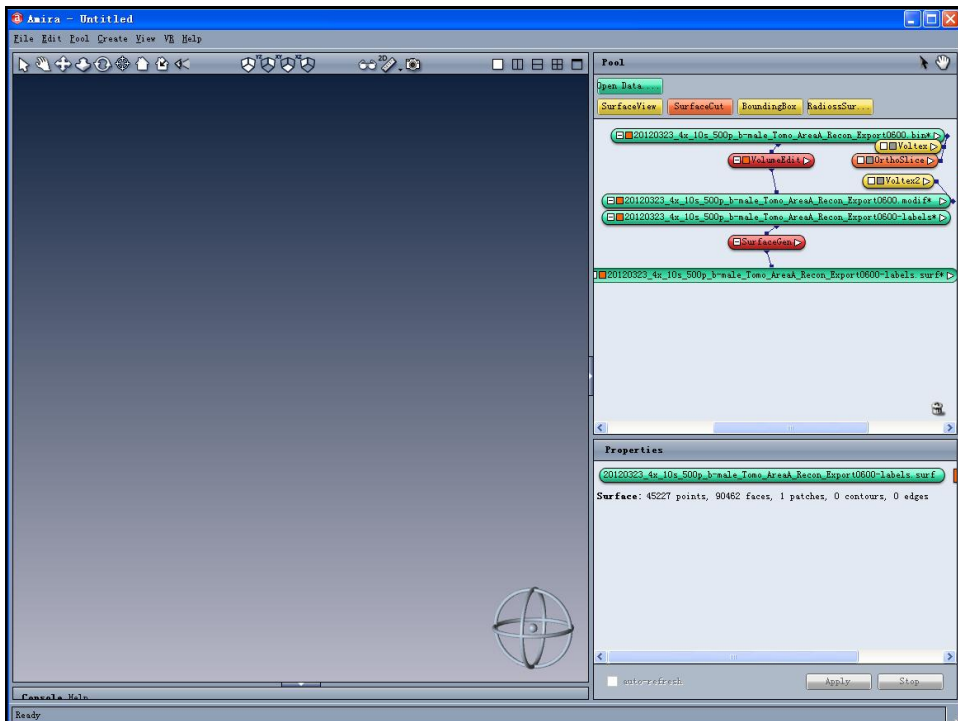
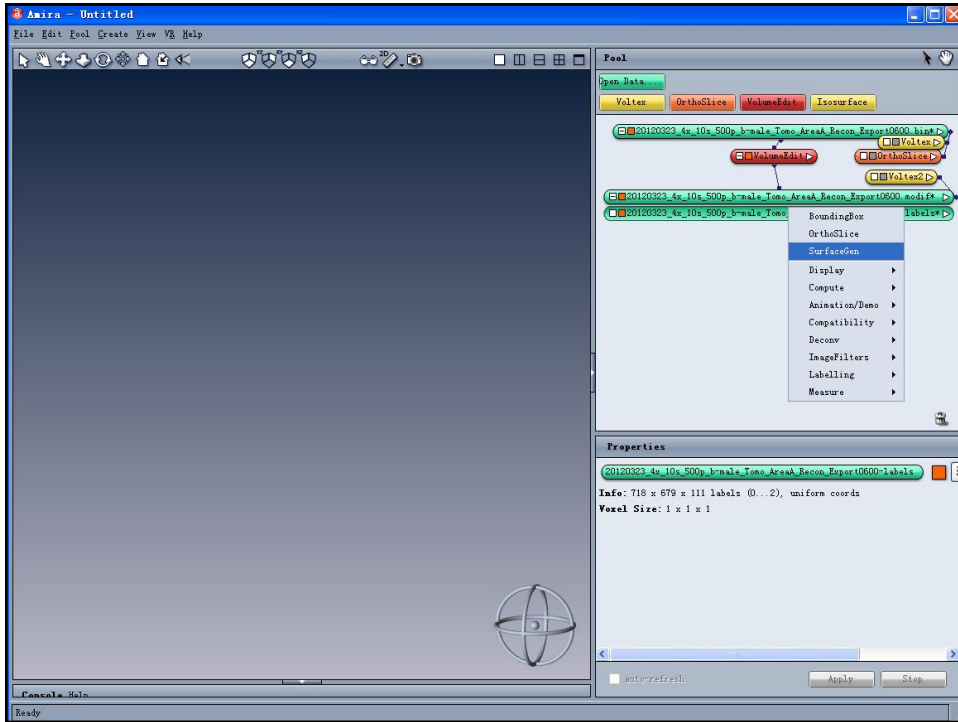


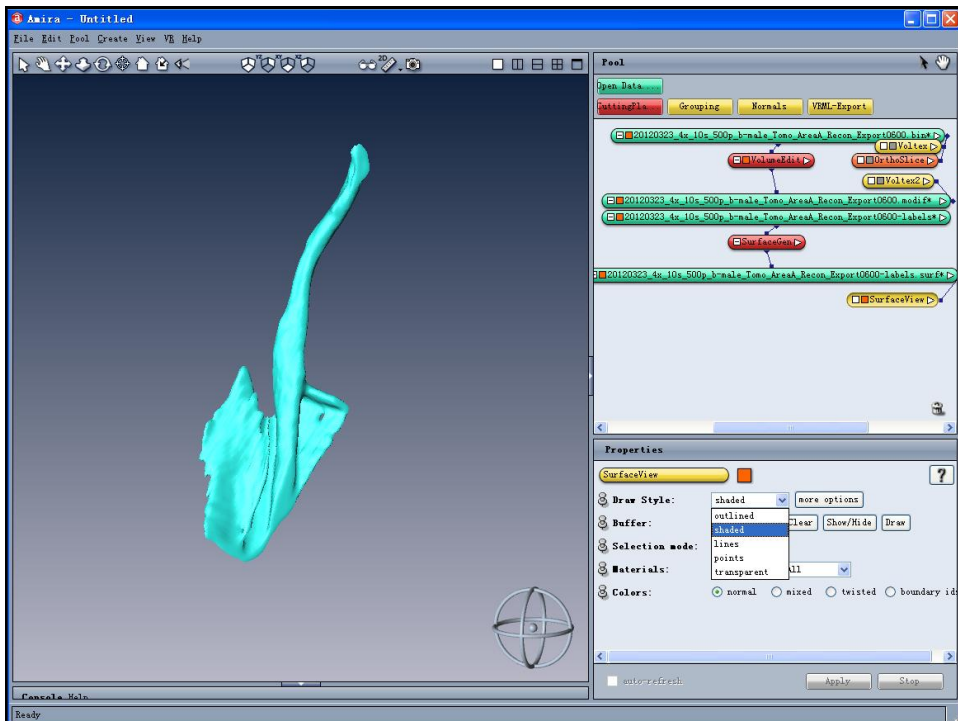
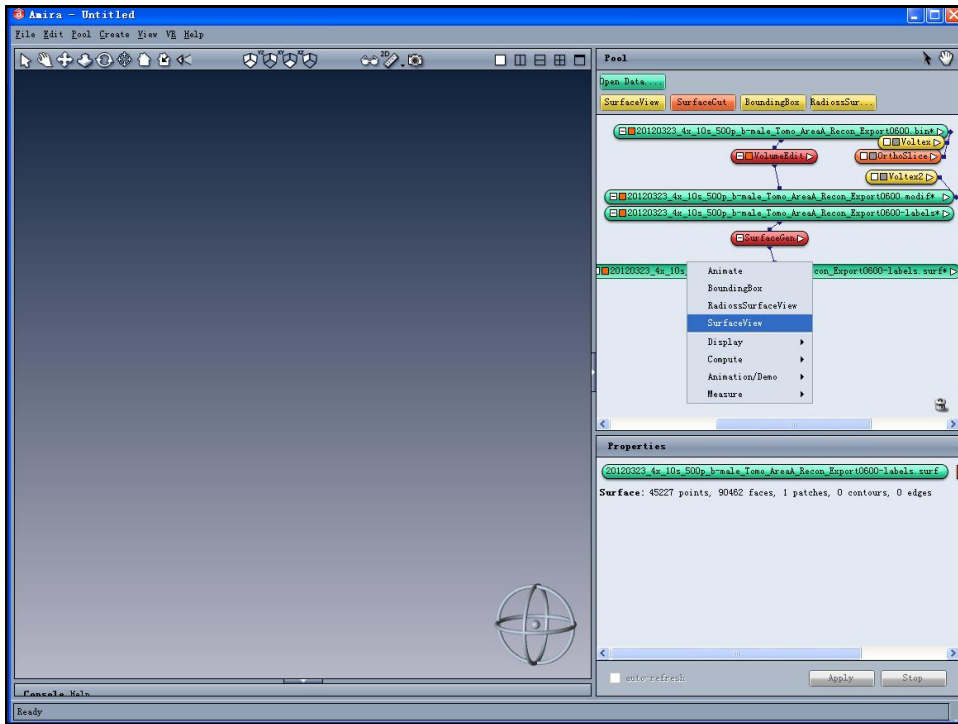




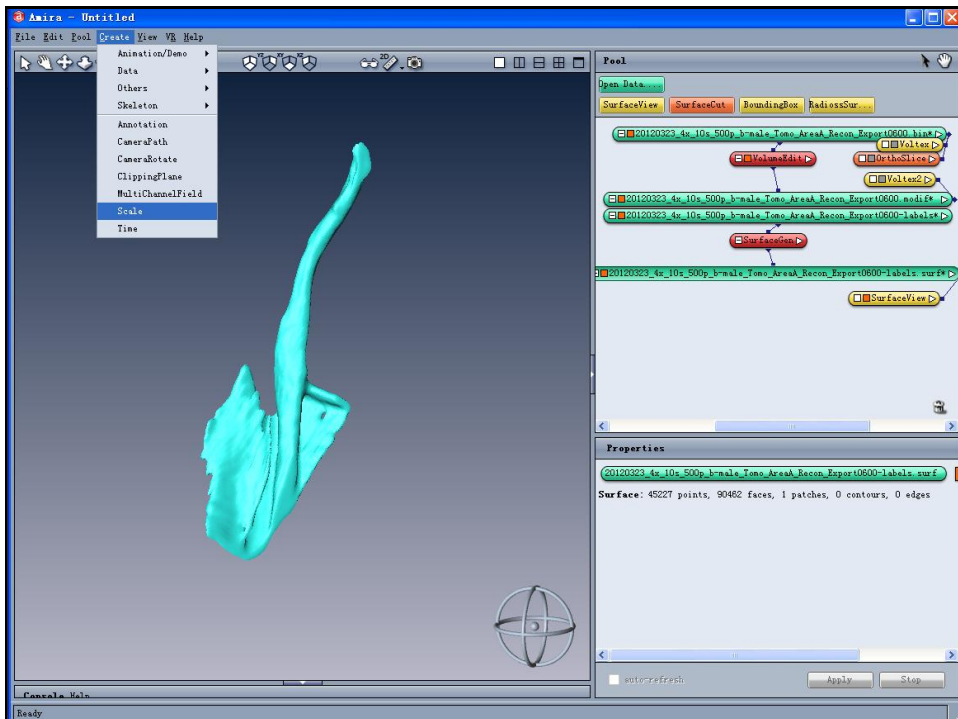


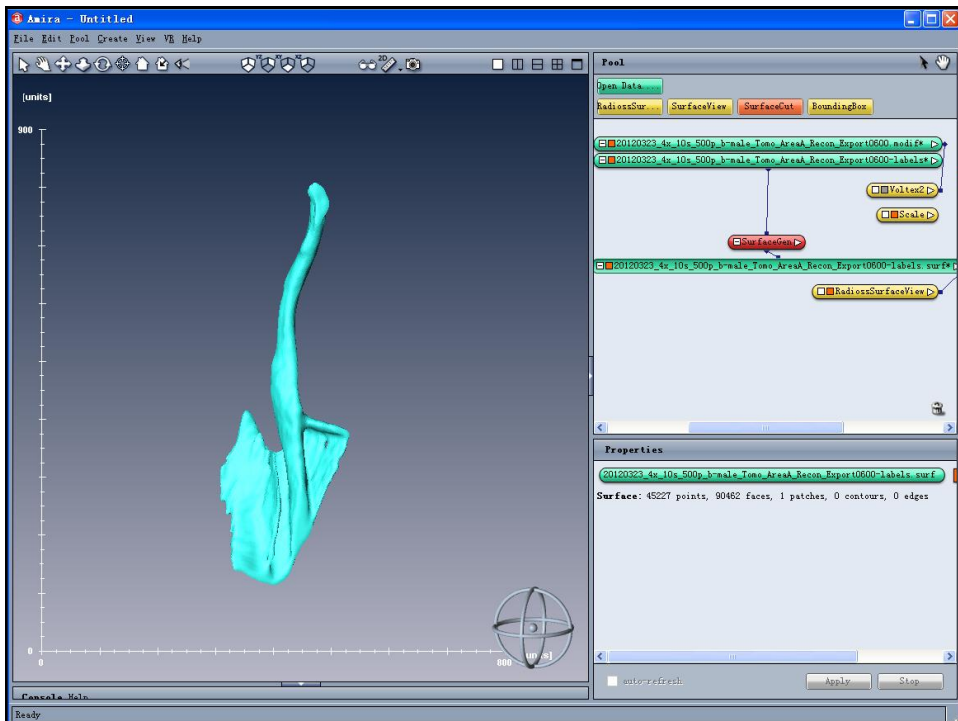
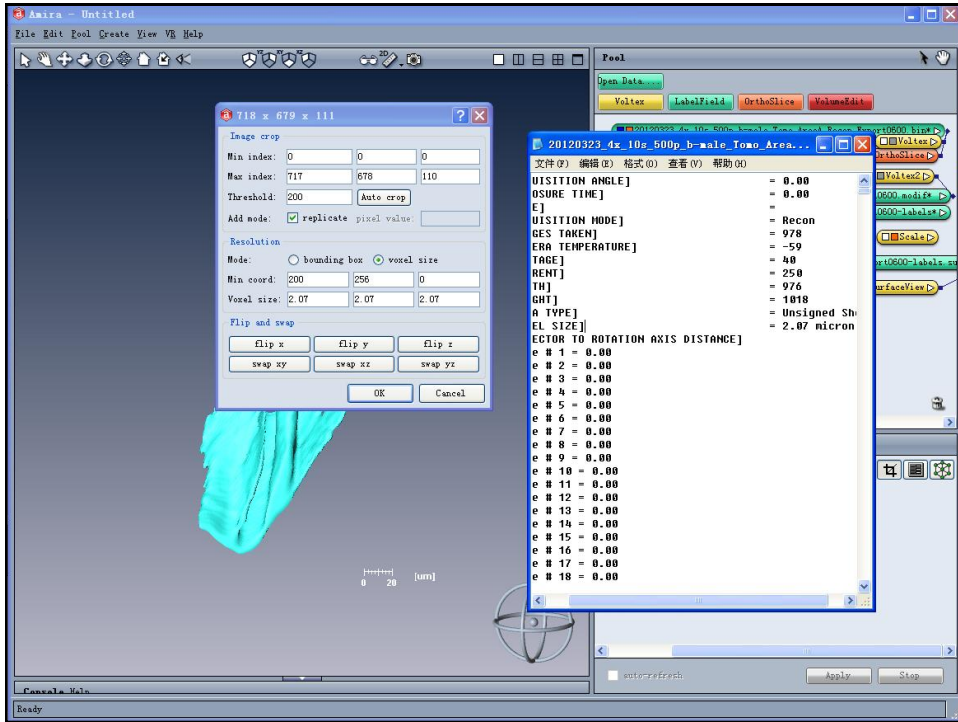


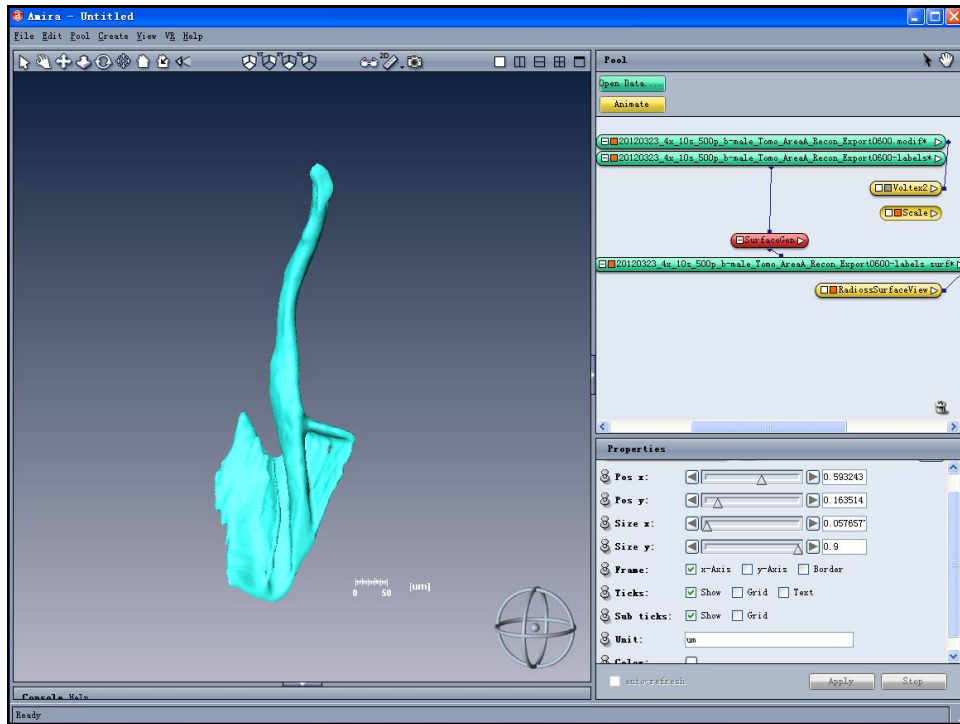




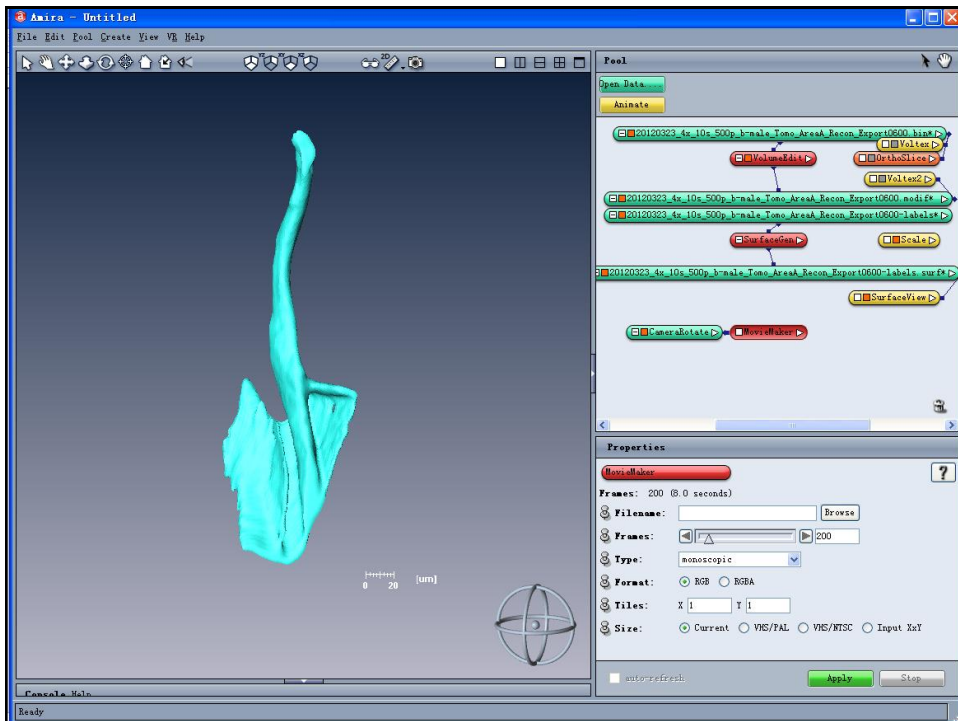
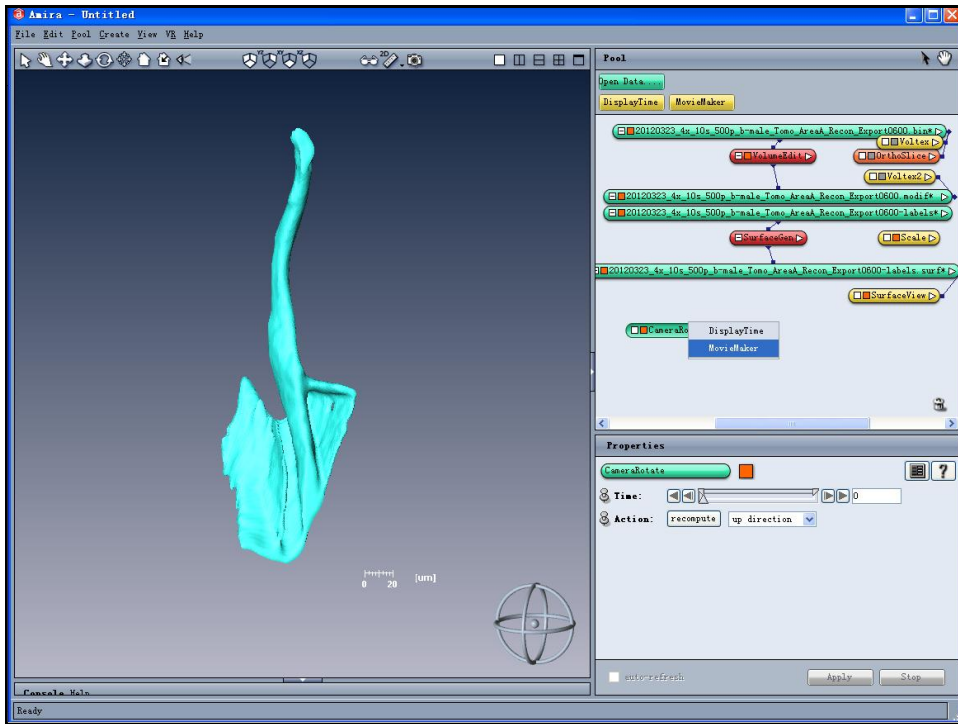
2.4.比例尺

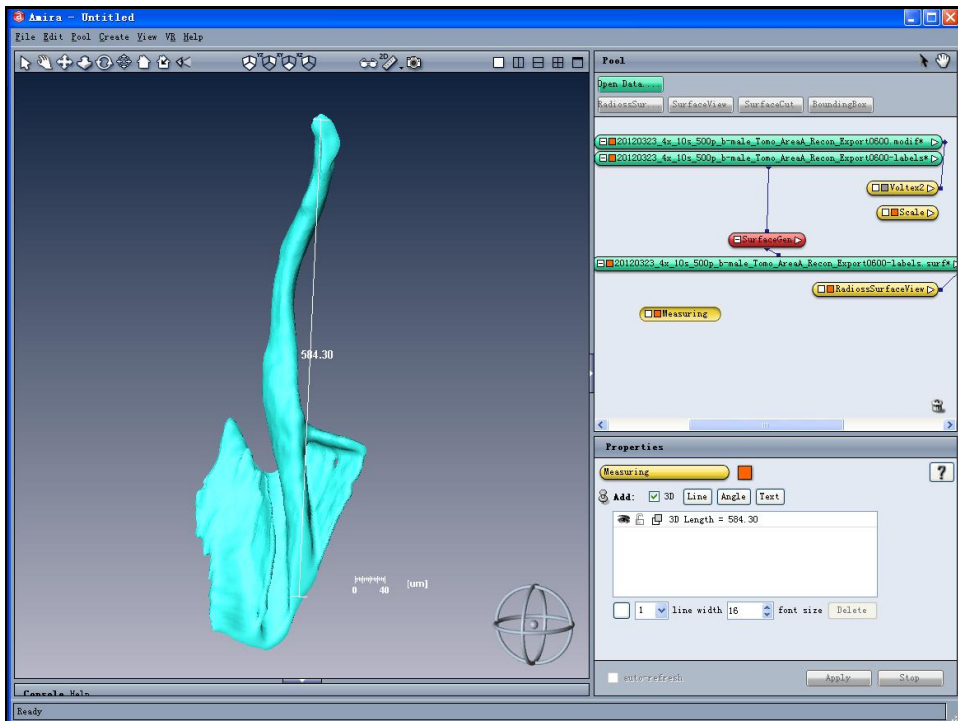
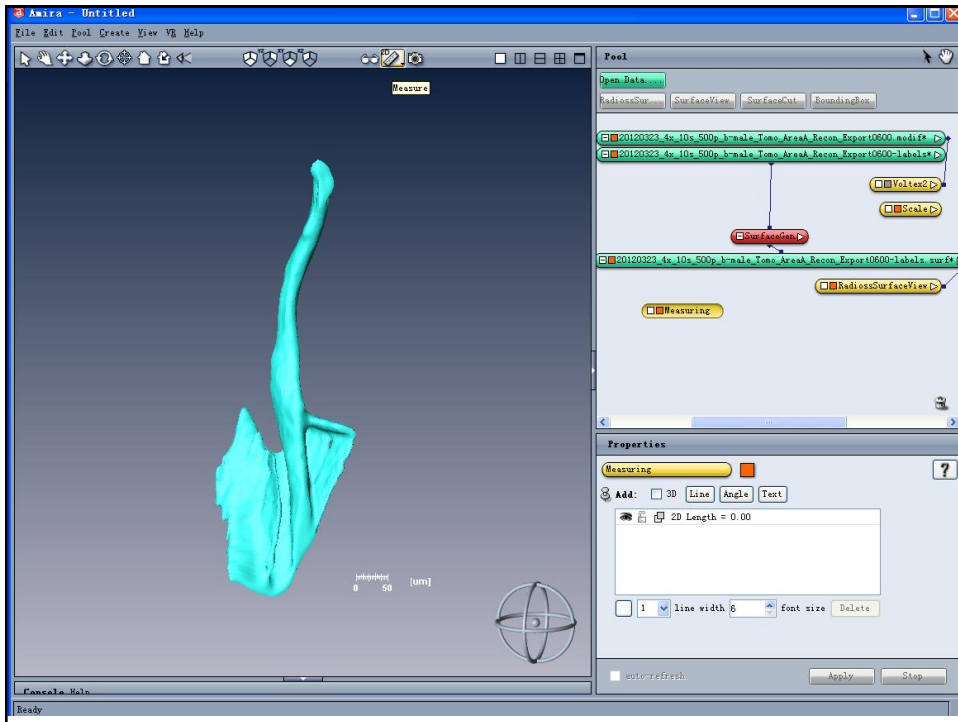


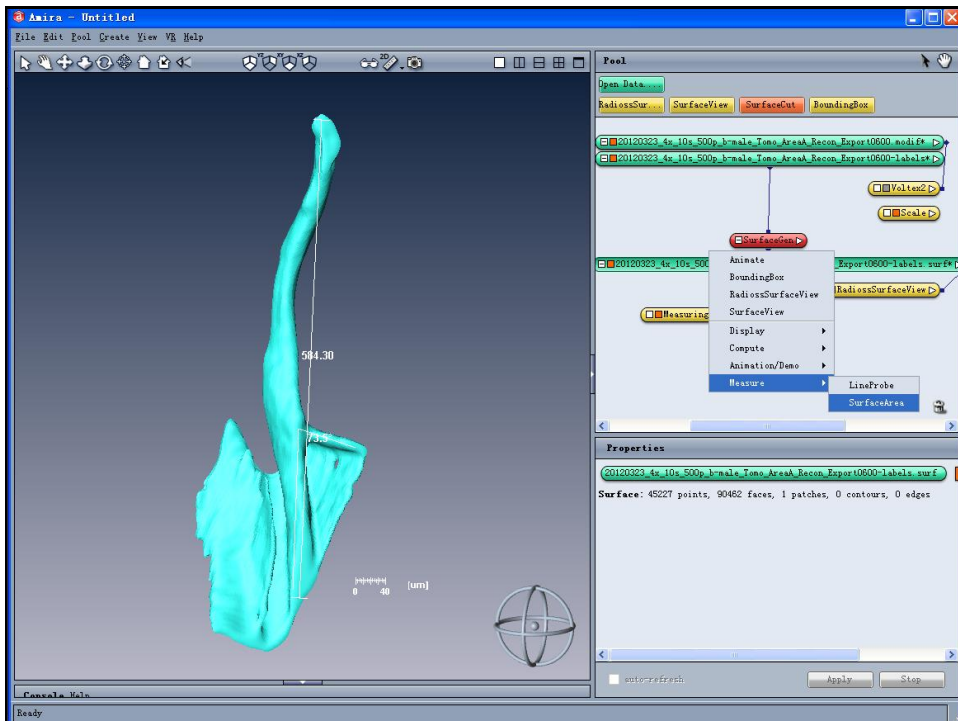
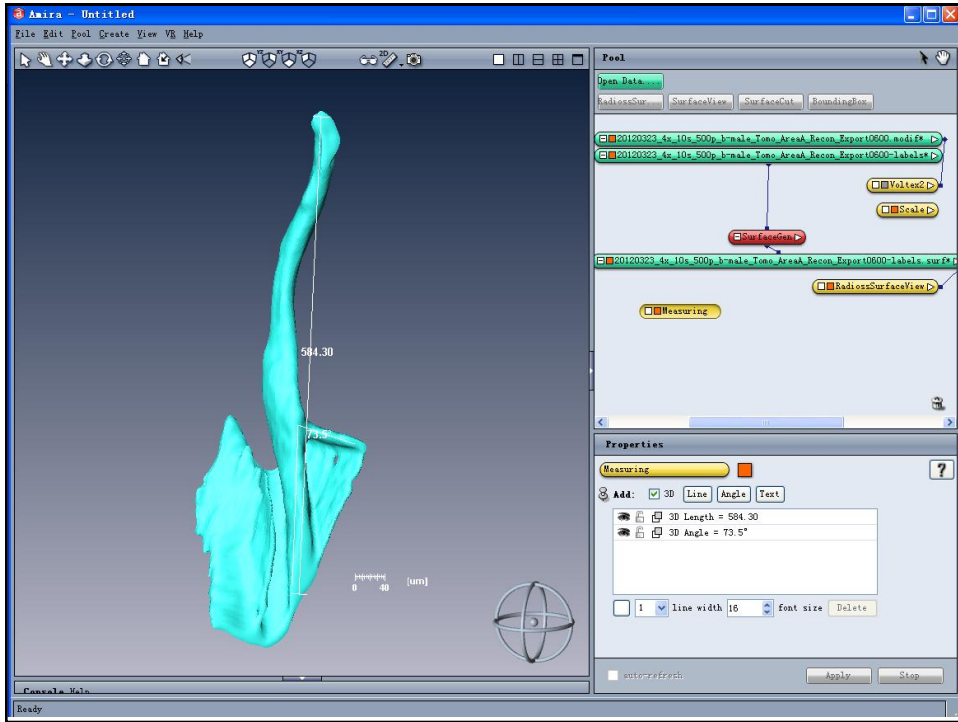


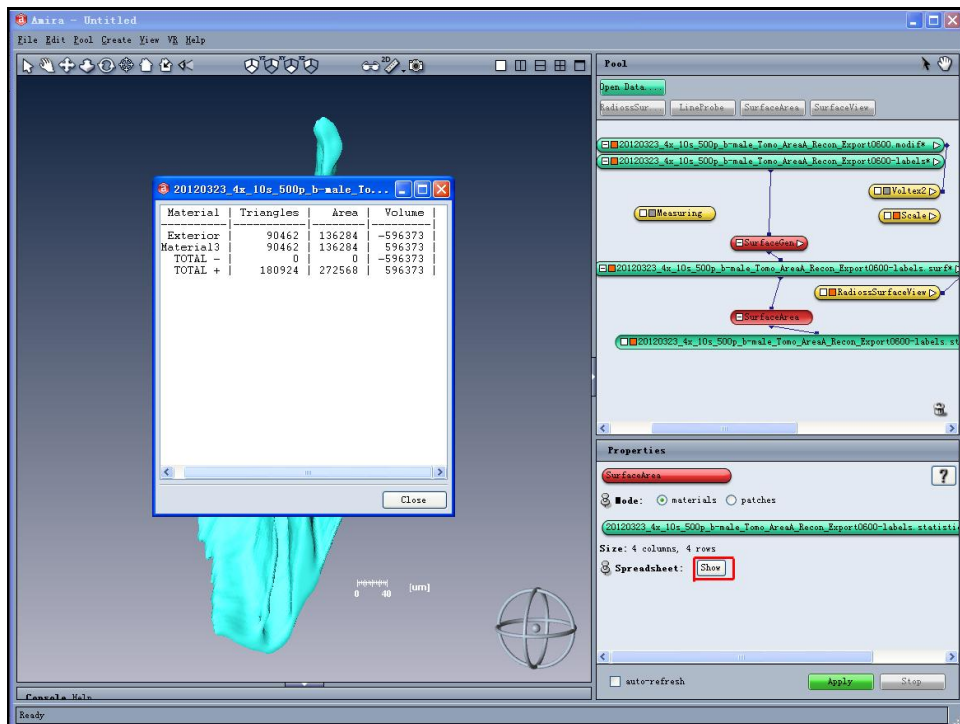


2.5. 动画制作

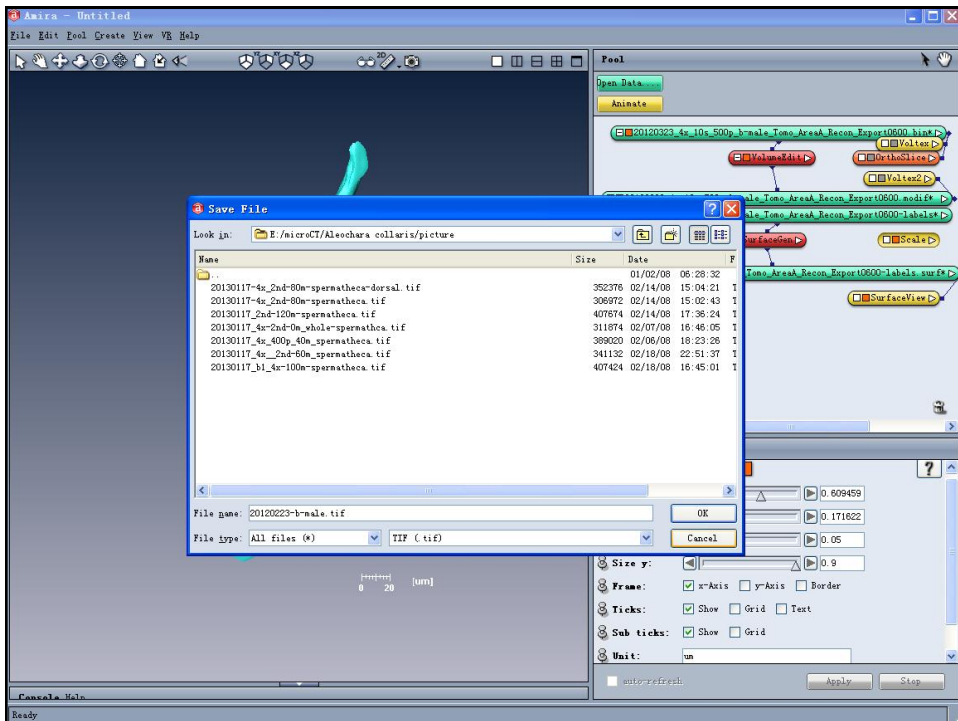
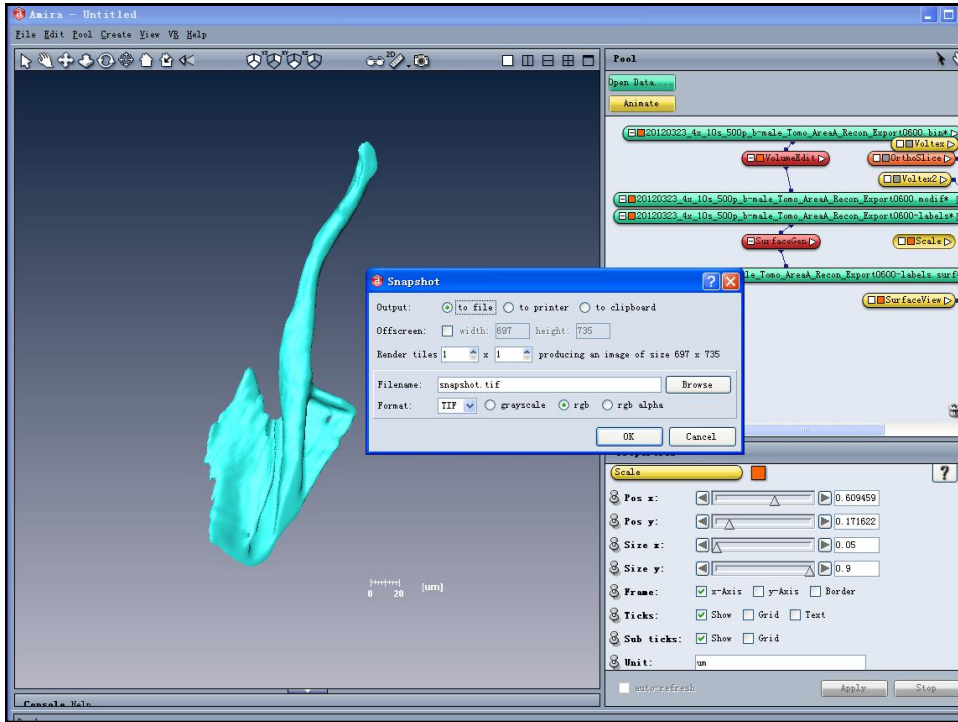


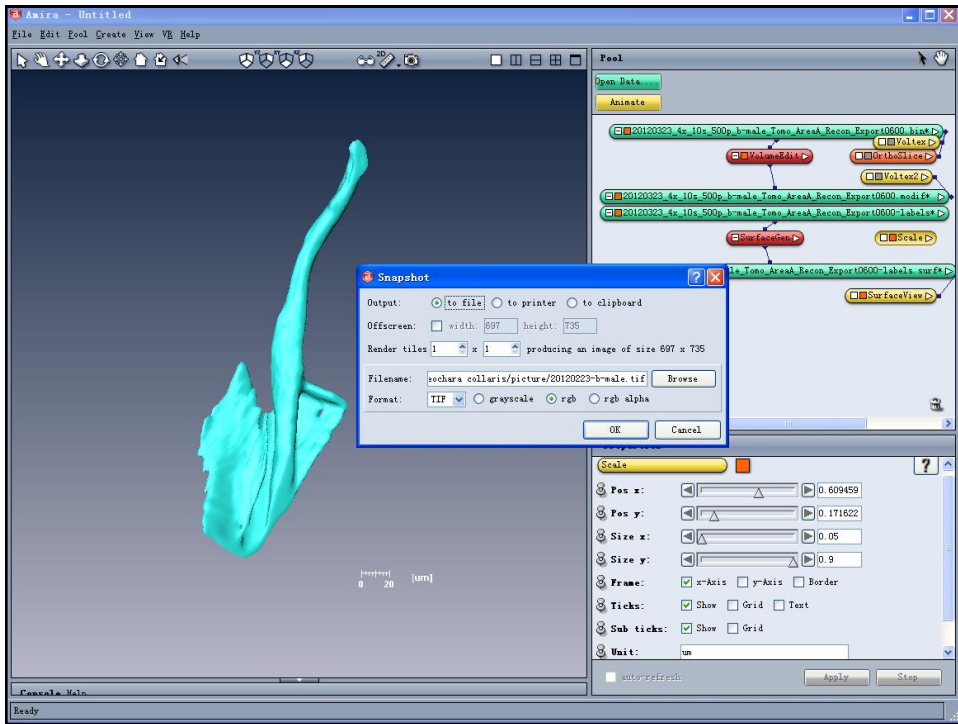




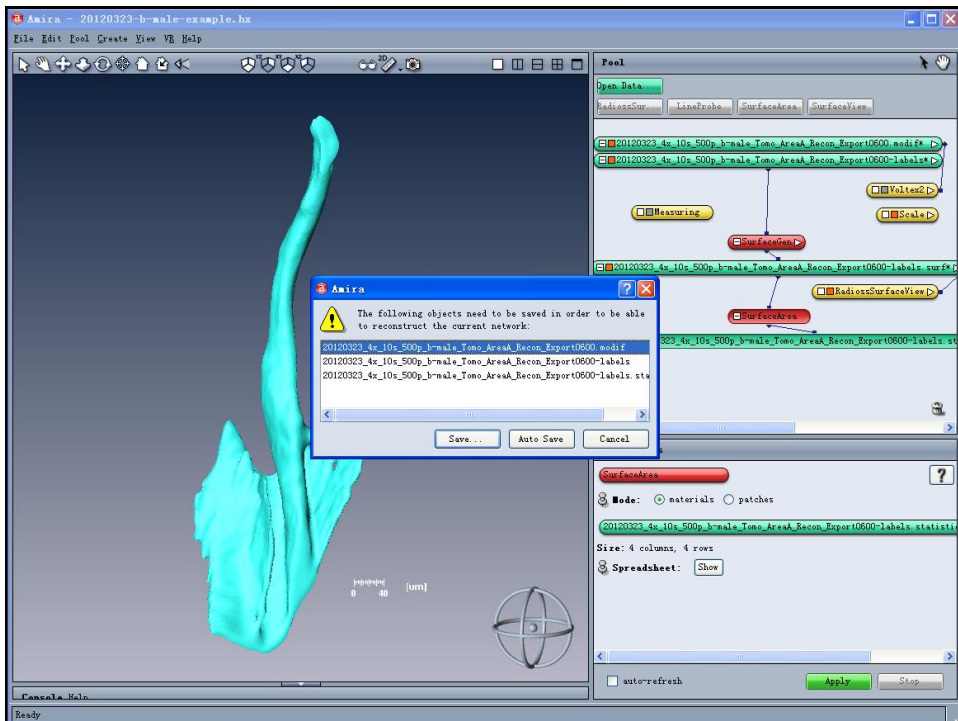
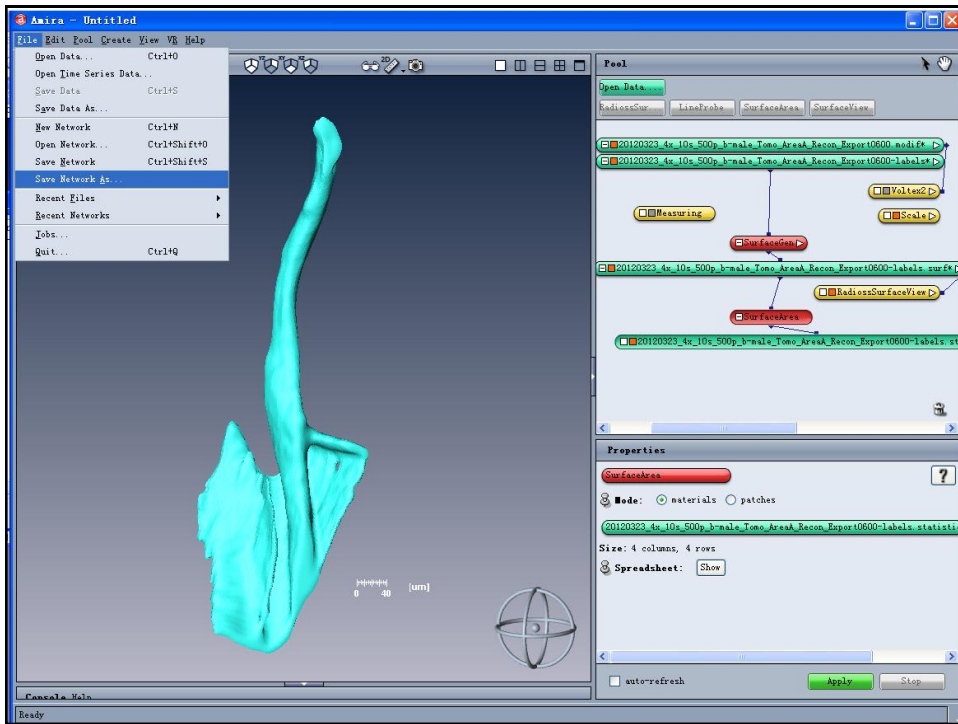


2.7.截图





2.8. 数据保存



谢谢大家!