

# 高光谱数据处理软件操作手册

V1.0

# 目 录

<b>第一章 安装与配置要求</b>	<b>2</b>
软件安装	2
配置要求	2
<b>第二章 文件格式</b>	<b>3</b>
文件格式	3
打开与保存	4
<b>第三章 数据显示操作</b>	<b>6</b>
文件管理	6
图层管理	6
彩色显示	7
DN 值	7
光谱曲线	8
<b>第四章 数据预处理</b>	<b>10</b>
数据裁剪	10
数据翻转与旋转	11
暗背景扣除	11
均匀性校正	12
降噪滤波	14
<b>第五章 UAV 无人机载高光谱</b>	<b>16</b>
航带裁剪	16
数据拼接	18
<b>第六章 分类与计算</b>	<b>21</b>
定义样本	21
监督分类	22
反射率计算	23
植被指数	25
指数计算	31
波段运算	32
<b>第六章 水质反演</b>	<b>34</b>
反演流程	34
多参数水质反演	35
Raste Color Slices 颜色渲染	35

## 第一章 安装与配置要求

### 软件安装

高光谱数据处理软件安装包，共有三个安装包

- 1、微软运行环境，打开安装即可。
- 2、英伟达显卡加速驱动，该程序可在英伟达官网下载或更新

[CUDA Toolkit 12.1 Downloads | NVIDIA Developer](#)

3、数据处理软件安装包，安装完成后打开一次，会提示授权失败，在软件安装的根目录下找到“`lisensekey.lrc`”文件，将此文件发与我公司人员，我们将给予授权激活文件 `lisense.lrc`，放在软件根目录下即可使用。

### 配置要求

最低配置：CPU:i5, 内存:8GB, 硬盘：256GB, 2GB 以上共享显存。


推荐配置：CPU:i7, 内存：16GB, 硬盘：512GB, 2GB 以上独立显存。


注意：不支持 Windows32 位操作系统。没有独立显卡、或 AMD 显卡、未装 CUDA 显卡加速驱动的电脑也能使用，处理数据时将使用内存运算

## 第二章 文件格式

### 文件格式

高光谱数据文件格式使用的是 **ENVI** 通用栅格数据格式，包含一个简单的二进制文件和一个相关的同名 **ASCII**（文本）的头文件（文件后缀名为 **hdr**），使用我们设备采集的文件，文件会按照时间进行命名。如下图

 20221008201434.hdr

 20221008201434.spe

#### 1、头文件

头文件用于读取高光谱图像数据文件的信息，通常前期采集数据时同步保存。头文件里提供了图像尺寸、数据格式及其他相关信息。可使用文本编辑器修改头文件（不推荐使用），采集时异常断电导致头文件缺失时，可按文件信息，手动创建头文件。

#### 2、数据文件

高光谱数据文件都会储存为二进制字节流，通常以 **BSQ**(band sequential)，**BIP**(band interleaved by pixel) 或者 **BIL**(band interleaved by line) 的格式进行储存，数据文件的后缀名可以任意设置，甚至可以不设置。

##### 1) BSQ

**BSQ** 是先将图像同一波段的数据逐行存储，再以相同的方式储存下一波段的数据。

##### 2) BIP

**BIP** 格式存储的数据，将按顺序存储第一个像素的所有波段，接着存储第二个像素的所有波段，依次交叉存取，直到所有像素都存储完为止。

##### 3) BIL

**BIL** 格式是介于上面两种格式之间的一种折中的存储格式，也是目前高光谱设备采集默认格式，数据处理软件推荐使用此格式，以 **BIL** 格式存储的图像，先存储第一个波段的第一行，接着是第二个波段的第一行，然后第三个波段第一行，依次交叉存取，直到所有波段都存储完为止。

## 打开与保存

### 1、文件打开

#### 1) 高光谱数据

在主界面左上角，文件→open 选择数据打开



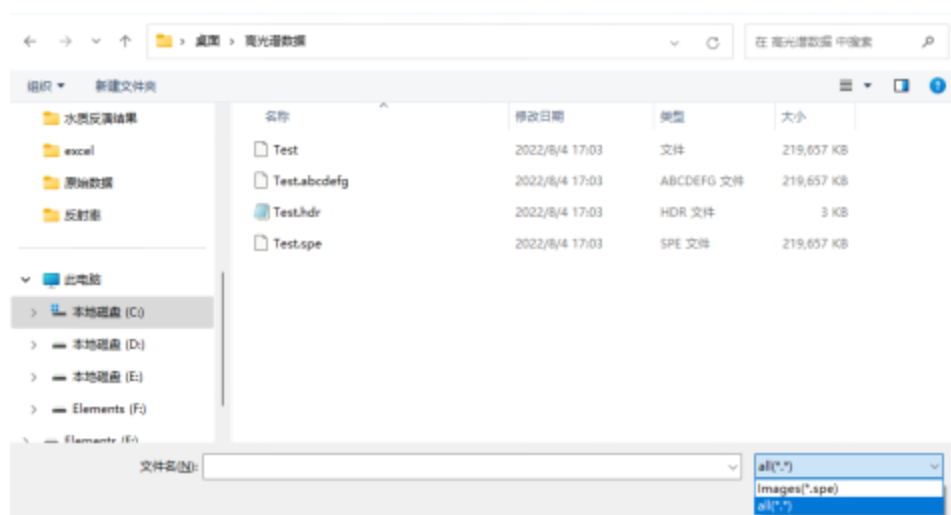
点击左上角第一个图标打开



点击左上角第二个图标文件管理→点击打开图标



软件默认筛选显示.spe 后缀文件，但是前文提到，高光谱数据格式与后缀无关，后缀名可任意设置，甚至不设置，所以可在右下角 **Images** 下拉列表选择 **All**，即可显示所有文件，同文件夹内含有 **hdr** 头文件即可打开



#### 2) 头文件

**hdr** 头文件使用文本编辑器即可打开，如 **Windows** 记事本，文件格式在 **interleave** 一行中，例如下图为 **bil** 格式数据

```
Testhdr - 记事本
文件 编辑 查看

ENVI
description = {
  file imported into ENVI.}
samples = 480
lines = 781
bands = 300
header offset = 0
file type = ENVI standard
data type = 12
interleave = btl
sensor type = unknown
byte order = 0
x start = 0
y start = 0
default bands = [112,62,35]
wavelength units = Nanometers
wavelength = {
394.33,396.87,399.2,401.53,403.86,406.18,408.5,410.82,413.13,415.44,417.75,420.05,422.35,424.64,426.94,429.23,
431.51,433.8,436.08,438.35,440.63,442.9,445.17,447.44,449.7,451.96,
454.22,456.47,458.73,460.98,463.22,465.47,467.71,469.95,472.19,474.42,476.65,478.88,481.11,483.33,485.56,487.7
8,489.99,492.21,494.42,496.64,498.84,501.05,503.26,505.46,507.66,
509.86,512.06,514.25,516.45,518.64,520.83,523.02,525.2,527.38,529.57,531.75,533.92,536.1,538.28,540.45,542.62,
544.79,546.96,549.13,551.3,553.46,555.62,557.78,559.94,562.1
564.26,566.42,568.57,570.72,572.88,575.03,577.18,579.32,581.47,583.62,585.76,587.9,590.05,592.19,594.33,596.47
598.6,600.74,602.88,605.01,607.15,609.28,611.41,613.54,615.67,
617.8,619.93,622.06,624.18,626.31,628.43,630.56,632.68,634.8,636.92,639.05,641.17,643.29,645.4,647.52,649.64,6
51.76,653.87,655.99,658.1,660.22,662.33,664.44,666.56,668.67,
670.78,672.89,675.0,677.11,679.22,681.33,683.44,685.55,687.66,689.76,691.87,693.98,696.08,698.19,700.29,702.4,70
4.5,706.6,708.71,710.81,712.92,715.03,717.12,719.22,721.32,
723.42,725.52,727.62,729.72,731.82,733.92,736.02,738.12,740.22,742.32,744.42,746.52,748.61,750.71,752.81,754.9
1,757.0,759.1,761.19,763.29,765.39,767.48,769.58,771.67,773.77,
775.86,777.96,780.05,782.15,784.24,786.33,788.43,790.52,792.61,794.7,796.8,798.89,800.98,803.07,805.17,807.26,
809.35,811.44,813.53,815.62,817.71,819.8,821.89,823.98,826.07,
828.16,830.25,832.33,834.42,836.51,838.6,840.69,842.77,844.86,846.95,849.03,851.12,853.2,855.29,857.37,859.46,
861.54,863.63,865.71,867.79,869.87,871.96,874.04,876.12,878.2,
880.28,882.36,884.44,886.52,888.6,890.68,892.76,894.83,896.91,898.99,901.06,903.14,905.21,907.29,909.36,911.43
913.51,915.58,917.65,919.72,921.79,923.86,925.93,928.0,930.06,
932.13,934.19,936.26,938.32,940.39,942.45,944.51,946.57,948.63,950.69,952.75,954.81,956.87,958.92,960.98,963.0
3,965.08,967.13,969.19,971.23,973.28,975.33,977.38,979.42,981.47,
983.51,985.55,987.59,989.63,991.67,993.71,995.75,997.78,999.81,1001.8,1003.9,1005.9,1007.9,1010.0,1012.0,1014.0,1016
,1018.1,1020.1,1022.1,1024.1,1026.1,1028.1,1030.1}
```

## 2、文件保存

### 1) 图像输出

在左边图像管理界面右键文件名→选择 **chip to file**→导出 JPG、PNG 图像，可以导出整个文件的预览图像。


在中间图像上右键 **Export**→**Export** 菜单，可将当前视图的图像保存为 PNG、TIF、JPG、SVG 等图像格式，相当于截屏。

### 2) 处理得到结果

软件中使用处理工具计算后的结果都是 ENVI 通用格式，即头文件+据文件，如反射率计算、裁剪翻转、降噪滤波等工具，由于数据量较大，每进行一步操作将保存一份处理后的数据。

## 第三章 数据显示操作

### 文件管理

要打开文件管理面板，点击工具栏上的  图标，左上角按钮依次为打开、关闭选中、关闭所有、展开所有、折叠所有。需要关闭文件时，只能在这个文件管理界面关闭，在左侧图层管理界面关闭时，只是关闭文件显示，并没有关闭文件。



### 图层管理

一般普通照片使用 **Photoshop** 等软件处理时，会基于图层修改，而高光谱数据成像显示时，也是类似图层逻辑，位于上方图层的数据会覆盖下层数据进行显示，一份数据可以使用文件管理工具，加载多个图层。



## 彩色显示

通常情况下，可见光照片显示是由 RGB 三个通道合成的彩色图，而我公司出厂的设备采集的高光谱数据含有 300 个波段（通道），选择任意三个波段对应 RGB 通道可合成一张彩色图像，因此有  $A_{300}^3=26,730,600$  种组合显示图像，软件打开数据是默认显示的图层，是由 640（R）、532（G）、473（B）三个波段合成的彩色图，这三个波段附近合成的显示图像跟人眼看到的普通照片色彩相近。

遇到显示异常时，可在文件管理界面，按上述三个 RGB 波段加载图层显示，也可修改头文件中下面这行

```
default bands = {x,y,z}
```

缺失时可整行添加，这一行的 xyz 值，分别对应 640（R）、532（G）、473（B）三个波段在 300 个波段中的位置，图层管理界面或者文件管理界面都能查询到，修改后再打开数据，就可以按默认显示图像。

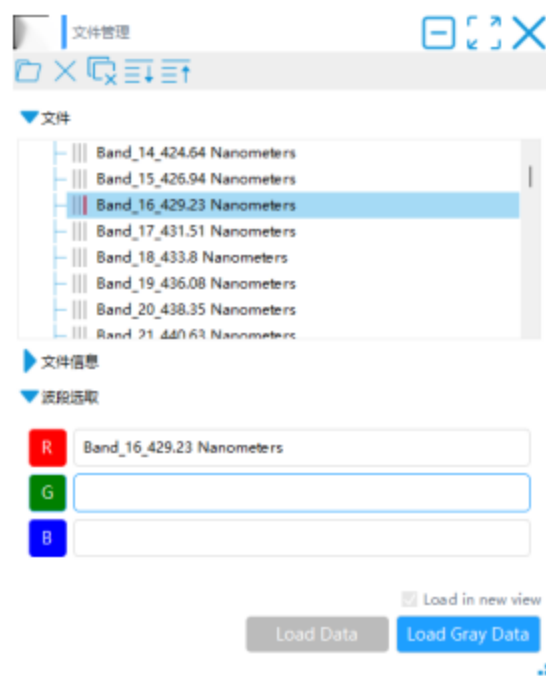
## DN 值

在 RGB 颜色系统下，普通照片三个通道的每个通道，都是一张黑白的灰度图，每个像素点都对应三个亮度值，通常亮度值的范围是 0-255，总共能组合出 1678 万（ $256^3$ ）种色彩。

而高光谱 300 个波段，同样每个波段都是一张包含亮度信息的灰度图，每个通道中的每个像素同样对应一个亮度值，这个亮度值是相机内部传感器获取到的




辐射值，在高光谱数据中，我们通常称之为 DN 值。而 DN 值的范围与相机传感器有关，一般范围为 0-4095。在文件管理界面，可以选择单波段，点击右下角 Load Gray Data 加载单通道灰度图。

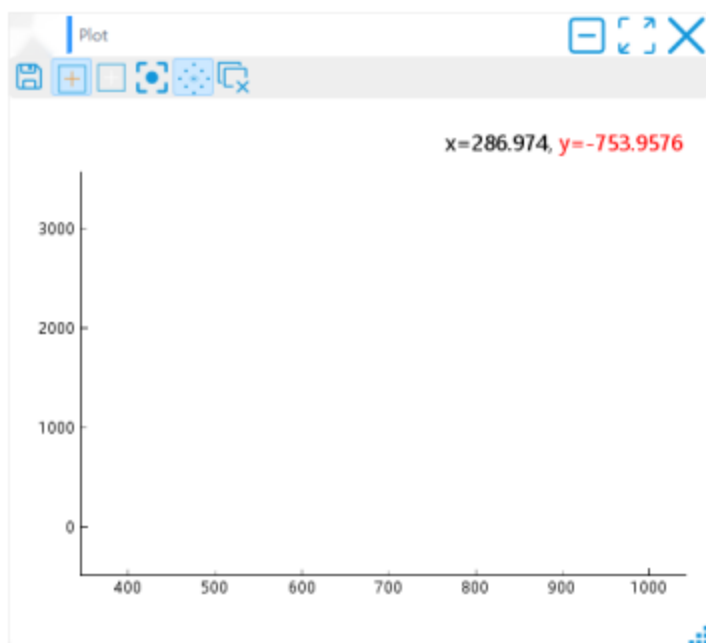


因此，可以看出，相较于普通高清照片，高光谱成像的数据量几何级增长，在这么多数据中提取信息、解析信息也是目前高光谱行业的难点与热点。

## 光谱曲线

对于图像中一个像素来说，相较于普通高清照片的三个灰度值，高光谱数据含有 300 个 DN 值，将 400-1000nm 中 300 个通道的波段值作为横轴，DN 值为纵轴，300 个散点连成一根曲线。光学参数随波长变化的曲线通常称为光谱曲线，所以高光谱数据图像中，每一个像素点都含有一根光谱曲线。

软件中点击左上角  spectral curve 按钮，在主窗口图像显示界面点击任意像素，即可显示曲线



按钮

功能



**Save**

保存窗口中的所有曲线到一个 excel 表格中



**Show tag**

在图像上显示取样位置



**unshow tag**

在图像上隐藏取样位置



**single point**

获取单点曲线



**mutil point**

获取多点曲线




**clean all**

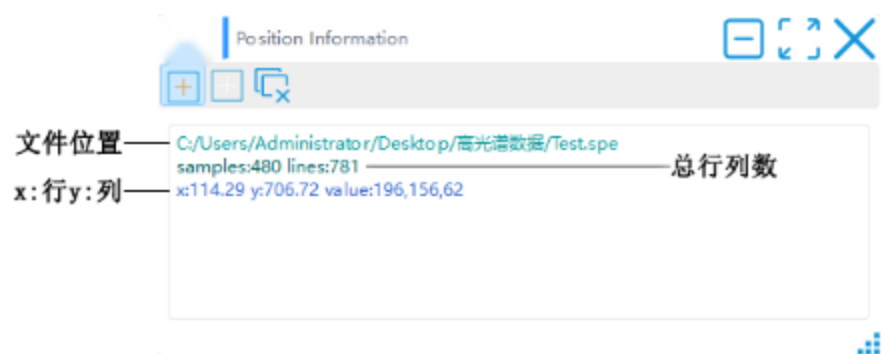
清楚所有曲线

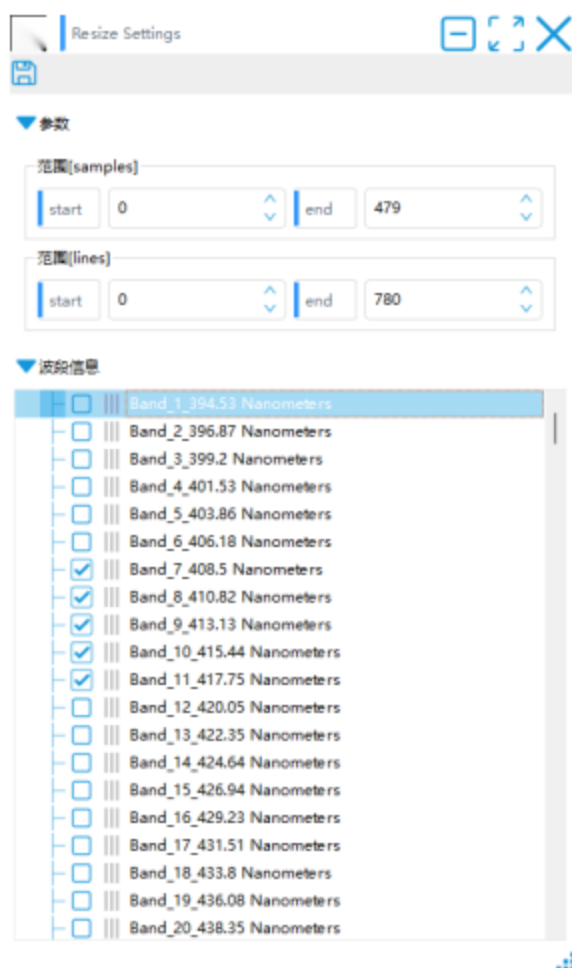
## 第四章 数据预处理

### 数据裁剪

高光谱数据裁剪目的是将研究之外的区域去除，在光谱维和空间维都能进行裁剪，在光谱维上，300 个波段可选择任意需要的波段进行裁剪，下方波段信息前方的方框中勾选。


在空间维上，目前只支持规则矩形裁剪，这个矩形范围是通过行（**samples**）范围与列（**lines**）范围确定。行列坐标信息在左上角工具栏  查看，然后输入进裁剪界面导出数据即可。






## 数据翻转与旋转

### 1、数据翻转

在右边工具箱中，点击  数据翻转 加号，三种翻转模式可选，前两个上下与左右翻转为镜像翻转，第三个工具是上下左右同时翻转，相当于将数据旋转  $180^\circ$ ，双击要使用的工具，在弹出的窗口中双击数据，选择保存位置与文件名，保存后的数据即是翻转后数据。

### 2、数据旋转

旋转功能支持手动输入任意角度进行选择，操作类似，双击工具箱中数据旋转，双击需要旋转的数据，在弹出窗口右边点加号展开，旋转框中输入角度，左上角  保存导出旋转后的数据。

## 暗背景扣除


在光谱测量中，原始数据的杂光称为暗噪声，通常是因系统内暗电流产生，

一般在光学系统使用前，先采集暗噪声，再用测得的数据减去暗噪声数据。我公司的采集设备出厂前，已内置暗背景扣除功能，一般情况不需要这步处理

如果遇到采集环境非常暗，待测物 DN 值非常低（800 以下），或者设备盖上镜头盖，暗背景的 DN 值超过 50，此时可在后期对数据进行暗背景扣除。一般不推荐在这种环境中测量光谱数据。



具体操作如下：

前期采集时盖上镜头盖→采集 3-5 秒暗背景数据→取下镜头盖正常采集→数据处理软件打开暗背景与正常数据→双击右侧工具箱暗背景扣除工具→在弹出窗口中上方选择原始数据，下方选择暗背景数据→点击  按钮保存导出。



## 均匀性校正

相机成像时，四角会出现发暗的情况，这种现象叫四角失光，在摄影中叫暗角，这是正常的。因为越靠近镜头成像的边缘部位的，进光量越少。暗角对于任何使用光学镜头的设备都不可避免，高清相机一般通过机内校正与后期校正两种，

机内校正中的阴影补偿就是校正暗角的，相机拍出的 **jpg** 文件就是补偿后的文件，**raw** 文件是未校正的原始文件，后期在 **photoshop** 或者 **lightroom** 等图像软件结合相机与镜头配置文件进行镜头校正。

高光谱成像目前没有成熟技术在采集时进行机内校正，只能靠后期在数据处理中进行均匀性校正，与暗背景扣除类似，均匀性校正需要采集积分球数据，最好是与正常采集时积分时间等参数设置相同。

打开积分球与实测数据，双击右侧工具箱均匀性校正工具，在弹出窗口上面选择实测数据，下面选择积分球数据，匀光范围根据相机横向宽度，默认 **480**，

点击   保存导出。



校正后效果如下



## 降噪滤波

### 空间降噪

双击右侧工具箱降噪→空间降噪，打开  
内置五种滤波算法



*Box blur*

快速均值滤波

<i>Mean blur</i>	均值滤波
<i>Gaussian blur</i>	高斯滤波
<i>Median blur</i>	中值滤波
<i>Bilateral filter</i>	双边滤波

空间降噪中的五种算法处理数据后，对数据的图像质量有影响，在图像空间维上会变模糊，但是速度较下面的光谱降噪快很多，所以一般在时间紧，要快速得到预览结果时使用。

五种算法按顺序从上到下效果依次变好，相应电脑处理时间也越长，一般按默认设置使用 **mean blur** 均值滤波。

### 光谱降噪

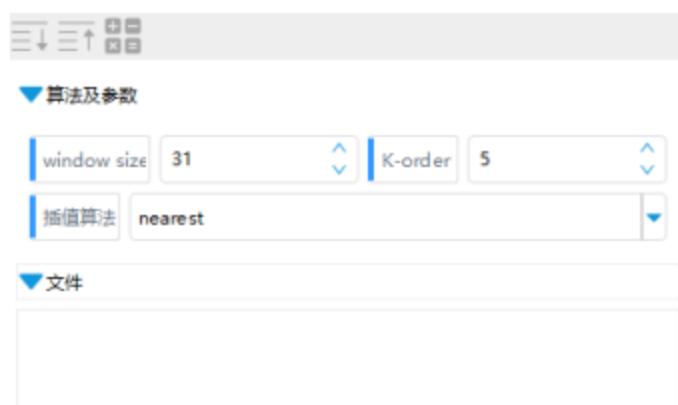
软件中光谱降噪使用的是基于 **Savitzky-Golay**（SG）平滑的插值方法

(SG-Inter) 对光谱进行变换，从而达到滤波效果。

Savitzky-Golay (SG) 平滑最初由 Savitzky 和 Golay 于 1964 年提出，发表于 *Analytical Chemistry* 杂志。之后被广泛地运用于数据流平滑除噪，是一种在时域内基于局域多项式最小二乘法拟合的滤波方法。

插值是离散函数逼近的重要方法，根据函数在已知有限点处的取值，利用插值方法能够估算出函数在其他未知点处的近似值。软件内置五种插值算法 Nearest、Zero、Slinear、Quadratic、Cubic。

工具共有三个参数设置，window size 是 SG 平滑的窗口大小，K-order 是多项式次数，下面一栏就是邻近、零、线性、二次方、立方五种处理算法选中，一般按默认参数设置即可。如下图设置，表示以 31 大小的窗口在光谱上移动，求得窗口内光谱数据的 5 阶多项式并求导，把光谱中 SG 平滑点的最邻近光谱波长点值带入到函数中求得插值，把插值变换融合到数据数据处理过程中，保留原始光谱的变化趋势。



☰ ↓ ↑ ☲ ☳ ☴ ☵

▼ 算法及参数

window size 31 K-order 5

插值算法 nearest

▼ 文件



## 第五章 UAV 无人机载高光谱

### 航带裁剪

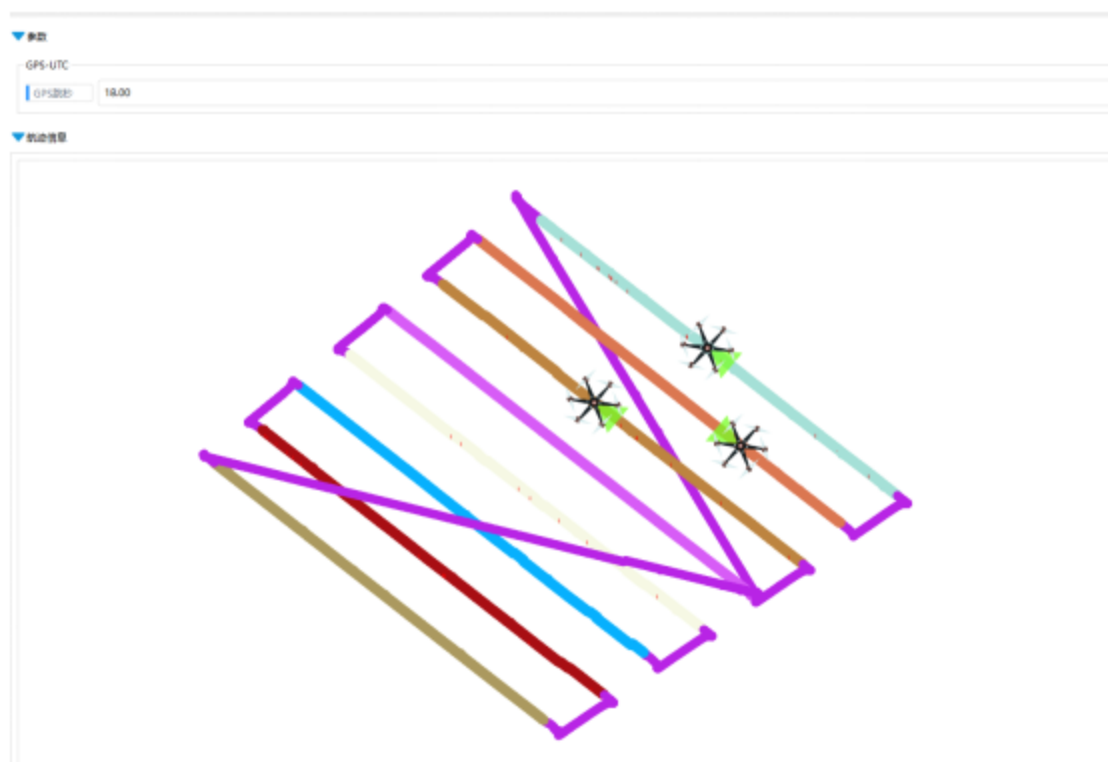
无人机载高光谱成像系统采集的数据与实验室稍有区别，除了二进制的高光谱数据文件与头文件，还有三个 **gps** 的数据文件。同文件夹下含有同名 **gps** 文件时，可在软件内读取飞行轨迹信息。

因地球自转不断变缓，世界时的秒长会越来越长，而 **GPS** 时间系统是由原子钟得到的恒定值，为了协调，国际采取润秒的方式进行调整，跳秒是记录润秒次数，自 2017 年 1 月 1 日至今（2023 年）**GPS** 跳秒为 18，所以软件按默认 18 设置即可。

时间	1980-01-01 - 1981-07-01	1981-07-01 - 1982-07-01	1982-07-01 - 1983-07-01	1983-07-01 - 1985-07-01	1985-07-01 - 1988-01-01	1988-01-01 - 1990-01-01	1990-01-01 - 1991-01-01	1991-01-01 - 1992-07-01	1992-07-01 - 1993-07-01	1993-07-01 - 1994-07-01
跳秒	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
时间	1994-07-01 - 1996-01-01	1996-01-01 - 1997-07-01	1997-07-01 - 1999-01-01	1999-01-01 - 2006-01-01	2006-01-01 - 2009-01-01	2009-01-01 - 2012-07-01	2012-07-01 - 2015-07-01	2015-07-01 - 2017-01-01	2017-01-01 - 2023-??-??	
跳秒	10	11	12	13	14	15	16	17	18	

在右侧工具箱点击加号展开 **UAV** 航带裁剪，双击裁剪，在弹出窗口中双击数据，在 **Reszie (UAV)** 界面中点击加载轨迹。


在下方航迹信息中，选择需要的 **GPS** 轨迹，由于每 **GPS** 信息与高光谱数据每一行都一一对应，所以裁剪时高光谱数据也同步裁剪完。大疆、海康等无人机在航线飞行时普遍都是掉头飞行，所以相邻航带间的数据需要旋转  $180^\circ$  才能拼接，如下图，飞行 8 条航带，那么其中 1、3、5、7 航带与 2、4、6、8 航带方向相反，所以在裁剪时需要同时将奇数行或者偶数行翻转  $180^\circ$ 。

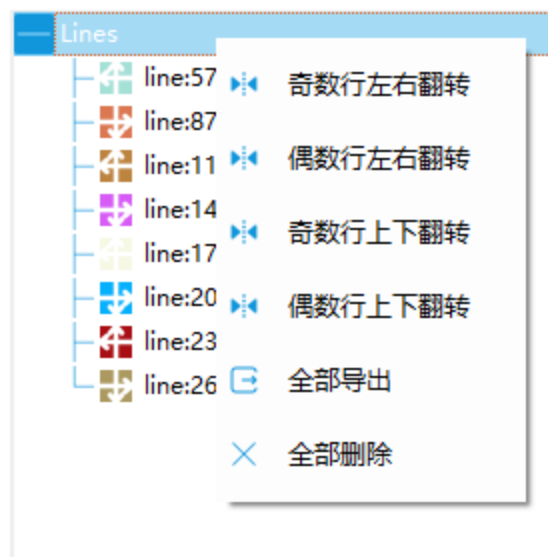


在 Reszie (UAV) 界面右侧 Lines 上右键，奇数行或者偶数行，上下左右各




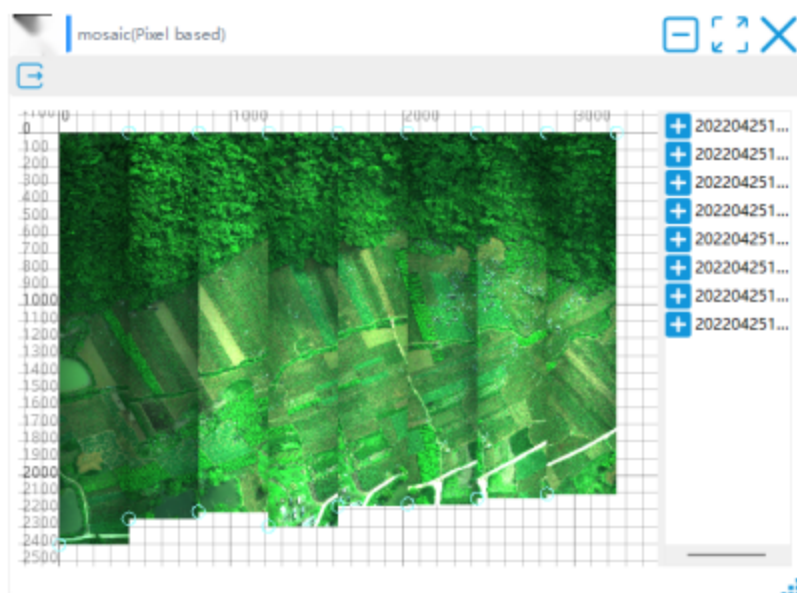
翻转一次，观察航带前方的小图标，相邻两条直接方向相反时翻转才算完

成，右键选择全部导出或者在本窗口左上角  按钮全部导出，




## 数据拼接

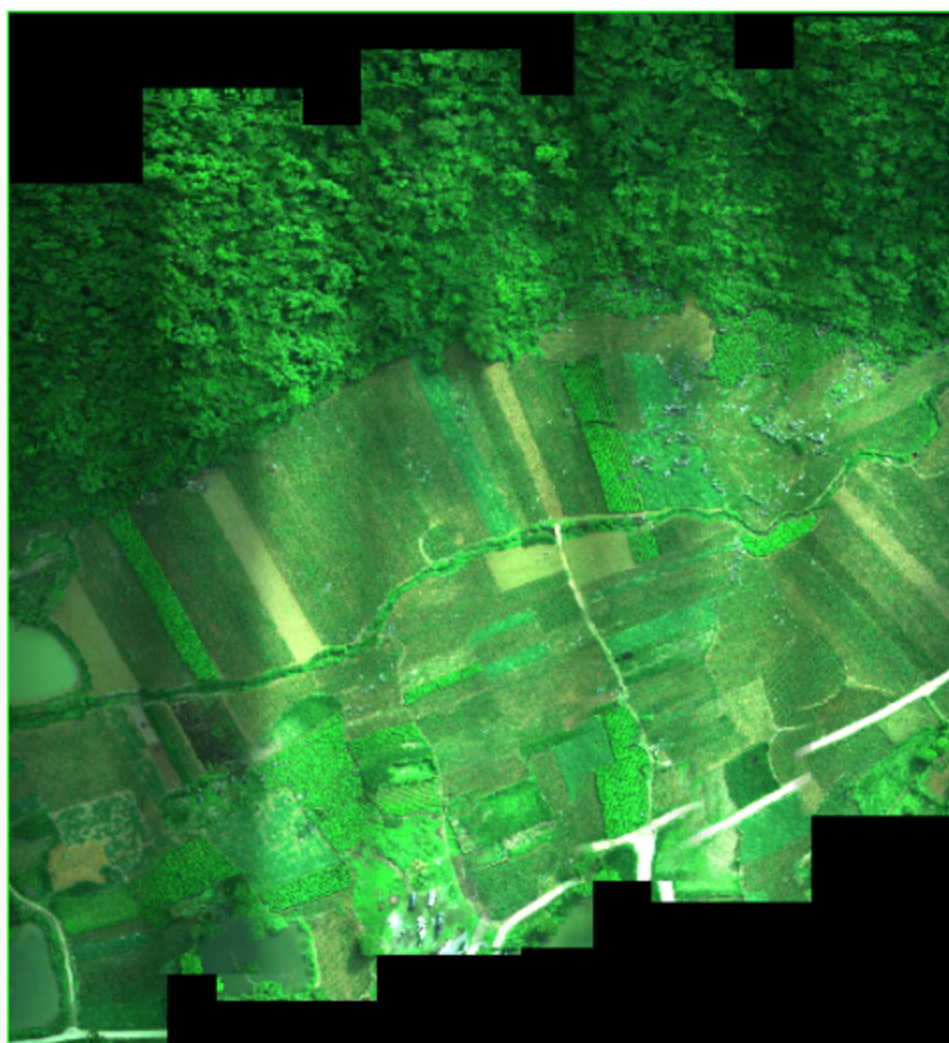
目前软件只支持基于像素手动拼接，打开裁剪好的数据，在右侧工具箱中数据拼接→拼接(Pixel)→在任意一条数据上右键选择全部→点击按钮进入拼接界面



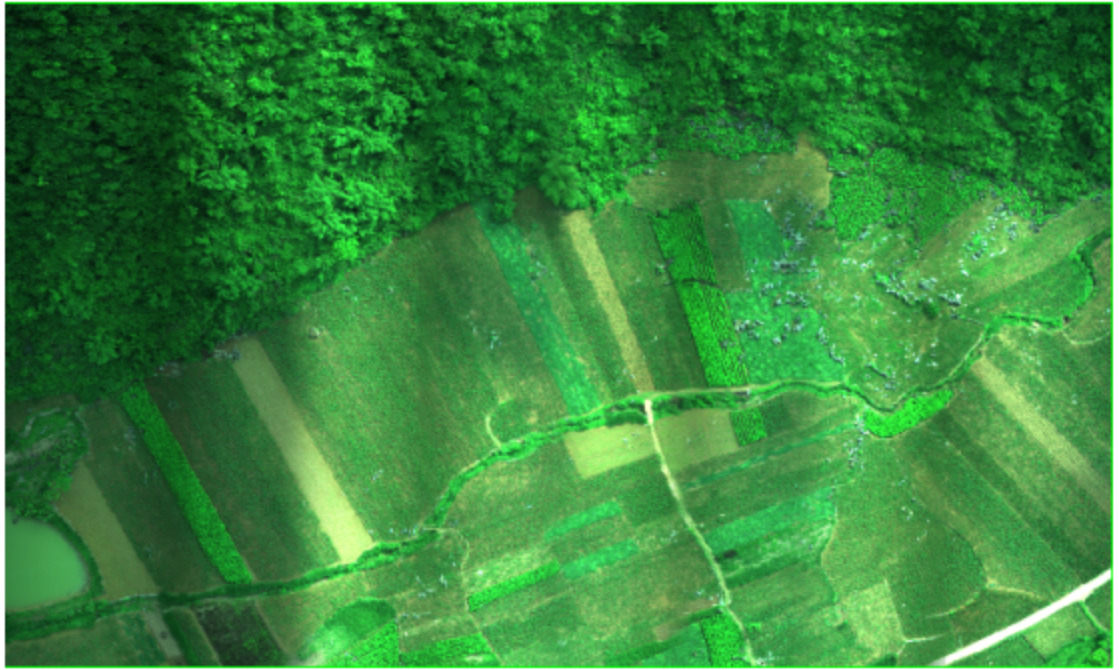
鼠标左键拖动航带位置，尽量保证中间位置对齐，航带两端由于无人机加减速会出现畸变，是正常现象，可在最后裁掉，右侧可调节透明参数方便拼接时观察，或者基于相同参照物输入  $xy$  值拼接，航带拼接时没有上下覆盖关系，接缝处会基于算法融合。



拼好后点击左上角导出，选择好路径与文件名后，会弹出 mosaic(Pixel based)窗口，参数配置中，正常情况按默认设置导出。运算量较大，需要快速得到预览图时，可选择三个波段（RGB）导出。







导出后的数据有黑边或者两端处有畸变，可使用裁剪工具裁减掉。



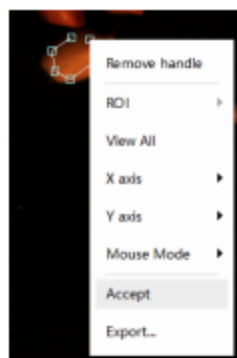
## 第六章 分类与计算

### 定义样本

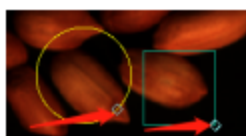
软件中是利用 ROI (region of interest) 工具来定义样本, 也就是把感兴趣区域当作样本进行后续处理。样本定义主要靠目视解译, 人眼在图像上找到山、水等感兴趣物, 使用 ROI 工具在图像数据中选中

软件中在左上角工具栏  按钮, 打开 ROI 工具, 弹出窗口中左上角, 有三种绘制区域的方法  逐点绘制,  矩形选框,  圆选框, 点击图标开始绘制。

逐点绘制时, 手动绘制好区域, 结束后右键, 点击 **accept** 才能闭合选区。



矩形、圆则不需要右键, 在图像上点击就会生成矩形、圆的选区, 点击拖动右下角菱形, 可改变选区大小, 在选区内点击拖动可以移动位置。



绘制完成后在 **Region** 窗口内展开选区, 在 **color** 层上右键统计, 会得到一个平均曲线的窗口, 定义样本过程就完成, 后续的各种算法可以调用统计后的样本数据。ROI 工具是一个前置工具。

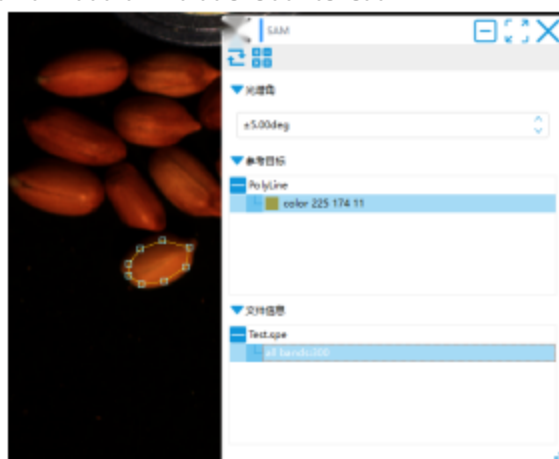


## 监督分类

监督分类又称训练场地法、训练分类法，是以建立统计识别函数为理论基础、依据典型样本训练方法进行分类的技术。

在高光谱领域，最为常用的监督分类方法为光(波)谱角法，光谱角(Spectral Angle Mapper, SAM)使用  $n$  维角度将像元与参照波谱进行匹配。该算法是将像元  $N$  个波段的波普看做  $N$  维波普向量，通过计算与端元波谱(ROI统计后的样本的波普)之间的夹角判定两个波谱间的相似度，夹角越小，说明越相似。该算法用于反射率数据和  $DN$  值的数据时，差别不太大，所以可直接使用  $DN$  值数据进行分类。

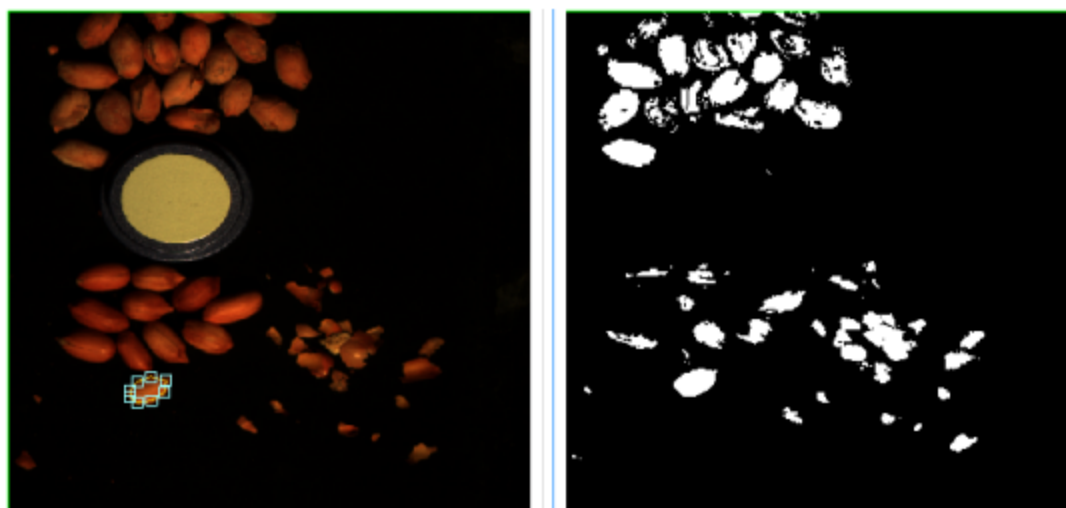
下图是光谱角分类的界面，需要设定最大角度阈值，单位为度，默认  $5^\circ$ ，表示表示像素波谱与样本波谱的夹角小于  $5^\circ$  时归为一类。第二行选择 ROI 工具定义的样本，如图中花生，第三行选择整个光谱数据进行分析，点击上方计算按钮输出，得到一个分类后的文件。



分类后的文件为一个二进制编码文件，与样本波谱的光谱角的差别在阈值范围内为 1，在阈值之外的为 0，下图中白色为 1，黑色为 0，数据中花生被成功分



类出来了。



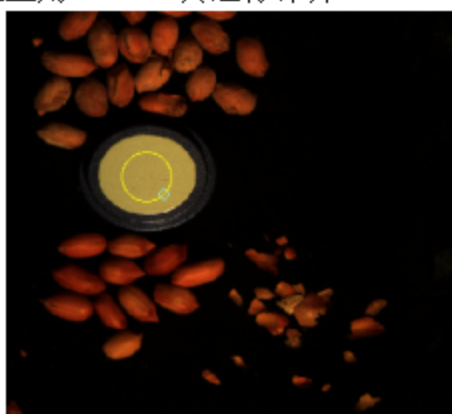
## 反射率计算

在卫星遥感高光谱使用过程中，通常使用辐射定标将传感器记录的电压或数字量化值转化为反射率等物理量有关的相对值。

在实验室或无人机载高光谱使用中，通常也需要将 **DN** 值转化为有物理意义的反射率值，不同于卫星遥感，实验室、无人机高光谱可以方便的在采集数据时，在放置一块标准校准板，所以计算时更为方便。

计算时需要前期数据采集时采集到反射率板，如下图数据，数据中只有中间部分圆形标准反射率板的反射率是已知的，使用 **ROI** 工具将反射率板选出，使

用左上角  工具进行计算。




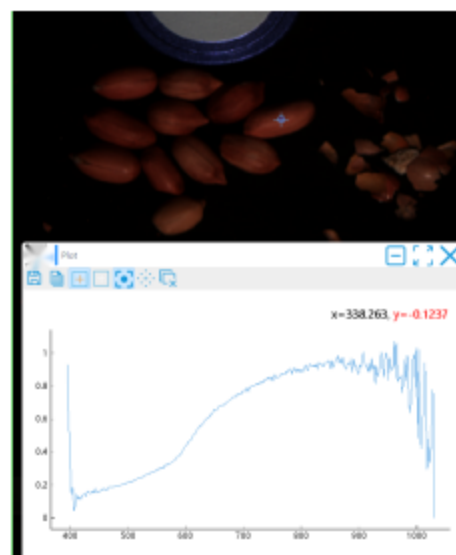
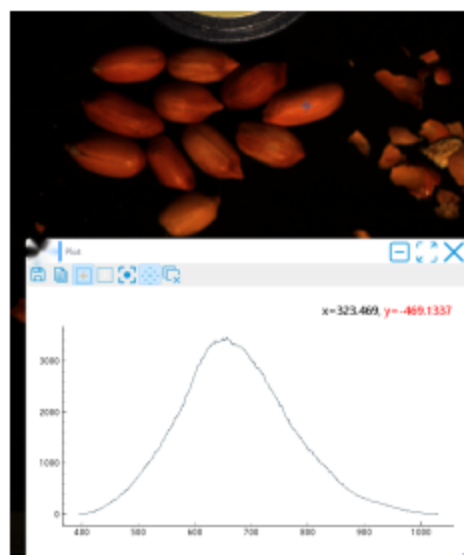
第一行反射参数为反射率板的反射率，图中为 50%，可以手动输入 0.5，但是反射率板并不是对每一个波长的光都反射 50%，在不同波长的光下反射率也不同，反射率板也需要标定，这个过程在反射率板出厂前会做好，可以询问厂商要反射率板标定文件，文件为 excel 表格，第一列为光的波长，第二列为反射率如



下图。软件中 **Reflectivity** 界面  按钮可导入反射率板标定文件。

400	50.36882
410	50.2297
420	50.26442
430	50.23046
440	50.26773
450	50.3451
460	50.23994
470	50.22588
480	50.27869
490	50.31146
500	50.24566
510	50.31319
520	50.16522
530	50.28539
540	50.29005
550	50.22871

导入后点击第二行参考板，第三行选中所有波段 (**all bands**)，反射参数中的曲线会出现绿色拟合曲线，软件会按绿色曲线作为反射率板的曲线进行计算。点击  计算保存反射率文件，由于反射率文件为浮点数，文件占用空间将是原始文件的 4 倍。



## 植被指数

高光谱中的指数是两个或多个波长范围内的地物反射率的组合运算,以增强植被某一特征或者细节。目前,在科学文献中发布了超过 150 种指数模型,这些指数中只有极少数经过系统的实践检验。

原则上所有的指数都要求从高精度的多光谱或者高光谱反射率数据中计算,DN 值数据不适合进行计算,但是在实际计算过程中,大多数指数是以比值形式计算,在运算过程中为了方便使用 DN 值计算对结果影响不大。

软件提供 26 种指数,这些指数都经过严格生物条件下的测试,为国际通用的指数,都可在杂志、期刊等文献上查阅到。下面介绍所有指数的计算算法、波段范围、用法与局限。

### NDVI

归一化植被指数 (Normalized Difference Vegetation Index, NDVI) 是众所周知的一种植被指数,在 LAI 值很高,即植被茂密时,灵敏度会降低。NDVI 值的范围为 -1~1,一般绿色植被区的范围为 0.2~0.8。计算公式为

$$NDVI = \frac{\rho_{NIR} - \rho_{RED}}{\rho_{NIR} + \rho_{RED}}$$

公式中规定波段的中心波长  $\rho_{NIR}=800\text{nm}$ ,  $\rho_{RED}=680\text{nm}$ 。

### SR

比值植被指数 (Simple Ratio Index, SR) 也是一种植被指数,在 LAI 值很高,即植被茂密时,灵敏度会降低。SR 值的范围是 0~30,一般绿色植被区的范围是 2~8。计算公式为

$$SR = \frac{\rho_{NIR}}{\rho_{RED}}$$

### EVI

增强植被指数 (Enhanced Vegetation Index, Evi),通过加入蓝色波段 ( $\rho_{BLUE} = 450\text{nm}$ ) 以增强植被信号,校正土壤背景和气溶胶散射的影响。EVI 常用于 LAI 值高,植被茂密区,EVI 值的范围是 -1~1,一般绿色植被区的范围为 0.2~0.8。计算公式为

$$EVI = 2.5 \left( \frac{\rho_{NIR} - \rho_{RED}}{\rho_{NIR} + 6\rho_{RED} - 7.5\rho_{BLUE} + 1} \right)$$

## ARVI

大气阻抗植被指数 (Atmospherically Resistant Vegetation Index, ARVI) 是对 NDVI 的改进, 它视同蓝色波段校正大气散射的影响 (如气溶胶)。ARVI 常用于大气气溶胶浓度很高的区域, 如烟尘污染的热带地区或原始刀耕火种地区, ARVI 值的范围是 -1~1, 一般绿色植被区的范围为 0.2~0.8。计算公式为

$$ARVI = \frac{\rho_{NIR} - (2\rho_{RED} - \rho_{BLUE})}{\rho_{NIR} + (2\rho_{RED} - \rho_{BLUE})}$$

## NDVI<sub>705</sub>

红边归一化植被指数 (Red Edge Normalized Difference Vegetation Index, NDVI<sub>705</sub>) 是 NDVI 的改进型, 它对叶冠层的微小变化、林窗片段和衰老非常灵敏, 可用于精细农业, 森林监测和植被胁迫性探测等。NDVI<sub>705</sub> 值的范围是 -1~1, 一般绿色植被区的范围为 0.2~0.9。计算公式为

$$NDVI_{705} = \frac{\rho_{750} - \rho_{705}}{\rho_{750} + \rho_{705}}$$

## mSR<sub>705</sub>

改进红边比值植被指数 (Modified Red Edge Simple Ratio Index, SR) 改正了叶片的镜面反射效应, 可用于精细农业、森林监测和植被胁迫性探测等。mSR<sub>705</sub> 值的范围是 0~30, 一般绿色植被区的范围是 2~8。计算公式为

$$mSR_{705} = \frac{\rho_{750} - \rho_{705}}{\rho_{750} + \rho_{705}}$$

## mNDVI<sub>705</sub>

改进红边归一化植被指数 (Modified Red Edge Normalized Difference Vegetation Index, mNDVI<sub>705</sub>) 是 NDVI<sub>705</sub> 的改进型, 它考虑了叶片的镜面反射效应。它对叶冠层的微小变化、林窗片段和衰老非常灵敏, 可用于精细农业, 森林监测和植被胁迫性探测等。NDVI<sub>705</sub> 值的范围是 -1~1, 一般绿色植被区的范围为 0.2~0.7。计算公式为

$$mNDVI_{705} = \frac{\rho_{750} - \rho_{705}}{\rho_{750} + \rho_{705}}$$

## VOG1

Vogelmann 红边指数 1 (Vogelmann Red Edge Index 1, VOG1) 对叶绿素浓度、叶冠层和含水量的综合非常敏感, 可用于职务物候变化研究、精细农业和植被生产力建模。VOG1 的范围是 0~20, 一般绿色植被区的范围是 4~8。计算公式为

$$VOG1 = \frac{\rho_{740}}{\rho_{720}}$$

## VOG2

Vogelmann 红边指数 2 (Vogelmann Red Edge Index 2, VOG2) 对叶绿素浓度、叶冠层和含水量的综合非常敏感, 可用于职务物候变化研究、精细农业和植被生产力建模。VOG1 的范围是 0~20, 一般绿色植被区的范围是 4~8。计算公式为

$$VOG2 = \frac{\rho_{734} - \rho_{747}}{\rho_{715} + \rho_{726}}$$

## VOG3

Vogelmann 红边指数 3 (Vogelmann Red Edge Index 3, VOG2) 对叶绿素浓度、叶冠层和含水量的综合非常敏感, 可用于职务物候变化研究、精细农业和植被生产力建模。VOG1 的范围是 0~20, 一般绿色植被区的范围是 4~8。计算公式为

$$VOG3 = \frac{\rho_{734} - \rho_{747}}{\rho_{715} + \rho_{720}}$$

## DVI

差值植被指数(Difference Vegetation Index,DVI)对土壤背景的变化极为敏感, 可用于对植被生态环境的监测。计算公式为

$$DVI = \rho_{800} - \rho_{680}$$

## PRI

光化学植被指数 (Photochemical Reflectance Index, PRI) 对活植物的类胡萝卜素 (尤其是黄色色素) 变化非常敏感, 类胡萝卜素可标识光合作用光的利用率、

或者碳吸收效率，可用于研究植被生产力和胁迫性、常绿灌木植被的健康、森林以及农作物的衰老。**PRI** 值的范围是-1~1，一般绿色植被区的范围是 -0.2~0.2。计算公式为

$$PRI = \frac{\rho_{531} - \rho_{570}}{\rho_{531} + \rho_{570}}$$

## SIPI

结构不敏感色素指数（**Structure Insensitive Pigment Index, SIPI**）用来最大限度地提高类胡萝卜素（如  $\alpha$ -胡萝卜素和  $\beta$ -胡萝卜素）与叶绿素比率在冠层结构（如叶面指数）减少时的敏感度，**SIPI** 的增加标识冠层胁迫性的增加，可用于植被健康监测、植物生理胁迫性检测和作物生产和产量分析。**SIPI** 值的范围是 0~2，一般绿色植被区的范围是 0.8~1.8。计算公式为

$$SIPI = \frac{\rho_{800} - \rho_{445}}{\rho_{800} + \rho_{680}}$$

## PSRI

植被衰减指数（**Plant Senescence Reflectance Index, PSRI**）用来最大限度地提高类胡萝卜素（如  $\alpha$ -胡萝卜素和  $\beta$ -胡萝卜素）与叶绿素比率的敏度，**PSRI** 的增加预示冠层胁迫性的增加、植被衰老的开始和植物果实的成熟，可用于植被健康监测、植物生理胁迫性检测和作物生产和产量分析。**PSRI** 值的范围是-1~1，一般绿色植被区的范围是 -0.1~0.2。计算公式为

$$PSRI = \frac{\rho_{680} - \rho_{500}}{\rho_{750}}$$

## CRI1

类胡萝卜素反射指数 1（**Carotenoid Reflectance Index 1, CRI1**）对叶片中的类胡萝卜素非常敏感，高的 **CRI1** 值意味类胡萝卜素含量相比叶绿素含量高。**CRI1** 值的范围是 0~15，一般绿色植被区的范围是 1~12。计算公式为

$$CRI1 = \frac{1}{\rho_{510}} - \frac{1}{\rho_{550}}$$

## CRI2

类胡萝卜素反射指数 2（**Carotenoid Reflectance Index 1, CRI2**）是 **CRI1** 的

改进型，类胡萝卜素浓度高时更加有效，高的 **CRI2** 值意味类胡萝卜素含量相比叶绿素含量高。**CRI1** 值的范围是 0~15，一般绿色植被区的范围是 1~11。计算公式为

$$CRI1 = \frac{1}{\rho_{510}} - \frac{1}{\rho_{700}}$$

## ARI1

花青素反射指数 1 (**Anthocyanin Reflectance Index 1, ARI1**) 对叶片中的花青素非常敏感，**ARI1** 值越大表明植被冠层增长或死亡。**ARI1** 值的范围是 0~0.2，一般绿色植被区的范围是 0.001~0.1。计算公式为

$$ARI1 = \frac{1}{\rho_{550}} - \frac{1}{\rho_{700}}$$

## ARI2

花青素反射指数 2 (**Anthocyanin Reflectance Index 2, ARI2**) 对叶片中的花青素非常敏感，**ARI2** 值越大表明植被冠层增长或死亡。**ARI2** 是 **ARI1** 的改进，当花青素浓度高时更加有效。**ARI2** 值的范围是 0~0.2，一般绿色植被区的范围是 0.001~0.1。计算公式为

$$ARI2 = \frac{1}{\rho_{550}} - \frac{1}{\rho_{700}}$$

## WBI

水波段指数(**Water Band Index,WBI**)对冠层水分状态的变化非常敏感，随着植被冠层水分的增加，在 970nm 附近吸收强度相比 900nm 处有所增强，可用于包括冠层胁迫性分析、生产力预测与建模、着火威胁条件分析、农作物管理以及生态系统生理机能研究，一般绿色植被区的 **WBI** 值的范围是 0.8~1.2。计算公式为

$$WBI = \frac{\rho_{900}}{\rho_{970}}$$

## MSI

水分胁迫指数 (**Moisture Stress Index,MSI**) 对叶片含水量的增加非常敏感。当叶片含水量增加，在 1599nm 处的吸收强度也增加，而在 819nm 处的吸收强度

没有变化，可用于冠层胁迫性分析、生产力预测与建模、着火威胁条件分析以及生态系统生理机能研究与其他水指数相反，MSI 值越大，表明水分胁迫性越严重和含水量越少。MSI 值的范围是 0~3，一般绿色植被区的范围是 0.4~2。计算公式为

$$MSI = \frac{\rho_{1599}}{\rho_{819}}$$

## NDII

归一化红外指数 (Normalized Difference Infrared Index, NDII) 对农作物冠层的含水量变化非常敏感，NDII 的值越大，表示含水量越高，可用于农作物管理、森林冠层监测和植被胁迫性探测。NDII 值的范围是 -1~1，一般绿色植被区的范围是 0.02~0.6。计算公式为

$$NDII = \frac{\rho_{819} - \rho_{1649}}{\rho_{819} + \rho_{1649}}$$

## NDWI

归一化水指数 (Normalized Difference Water Index, NDWI) 对冠层含水量的变化非常敏感，这是由于在 857nm 和 1241nm 具有相似的反射率，但是又不同于液态水的吸收特性，可用于冠层胁迫性分析、在浓密叶型植被的叶面积指数的研究、植被生产力模型和找火性研究。NDVI 值的范围为 -1~1，一般绿色植被区的范围为 -0.1~0.4。计算公式为

$$NDWI = \frac{\rho_{857} - \rho_{1241}}{\rho_{857} + \rho_{1241}}$$

## NDNI

冠层氮指数 (Canopy Nitrogen Index) 提供一种用遥感度量氮浓度的方法。氮是叶绿素的重要组成部分，具有高浓度氮的植被生长速度较快。冠层氮指数使用短波红外测量植被冠层中氮的相对含量。

归一化氮指数 (Normalized Difference Nitrogen Index, NDNI) 用于估算植被冠层中的相对含量。在 1510nm 的反射率主要取决于叶片中氮的含量以及冠层总体叶生物量。结合叶片氮含量和冠层叶生物量在 1520nm 范围内可预测叶片的氮含量，在 1680nm 波长范围可作为参考反射率。冠层叶生物量这个波长范围具有与 1520nm 波长范围类似的反射率特性，而且 1680nm 波长范围内没有氮吸收影响。NDNI 在植被还是绿色以及覆盖浓密时，对氮含量的变化非常敏感，可用于精细

农业、生态系统分析和森林管理，NDNI 值的范围是 0~1，一般绿色植被区的范围是 0.02~0.1。计算公式为

$$NDNI = \frac{\lg\left(\frac{1}{\rho_{1510}}\right) - \lg\left(\frac{1}{\rho_{1680}}\right)}{\lg\left(\frac{1}{\rho_{1510}}\right) + \lg\left(\frac{1}{\rho_{1680}}\right)}$$

## NDLI

归一化木质素指数(Normalized Difference Lignin Index,NDLI)用来估算植被冠层木质素的相对含量，可用于生态系统分析和检测森林的枯枝落叶层，NDLI 值的范围是 0~1，一般绿色植被区的范围是 0.005~0.05。计算公式为

$$NDLI = \frac{\lg\left(\frac{1}{\rho_{1754}}\right) - \lg\left(\frac{1}{\rho_{1680}}\right)}{\lg\left(\frac{1}{\rho_{1754}}\right) + \lg\left(\frac{1}{\rho_{1680}}\right)}$$

## CAI

纤维素吸收指数(Cellulose Absorption Index,CAI)可以指示地表是否含有干燥植被，对纤维素在 2000~2200nm 范围内的吸收特征非常敏感，可用于农作物残留监测、植物冠层衰老、生态系统中的着火条件和放牧管理，CAI 值的范围是 -3~4，一般绿色植被区的范围是-2~4。计算公式为

$$CAI = 0.5(\rho_{2000} + \rho_{2200}) - \rho_{2100}$$

## 指数计算

计算上述指数，只需双击打开需要计算的指数工具，在下方选择含有该指数公式中需要的中心波长的文件，如 NDVI 指数，只需要在下方文件栏点击参与计算的文件，上方的公式会自动寻找公式中的波长进行计算。点击确定保存文件即为 NDVI 指数文件。其他指数也是同样计算，需要注意的是许多指数使用到 1000nm 以上的波段，加载普通 400~1000nm 波段的数据计算的值会出现错误值。





## 波段运算

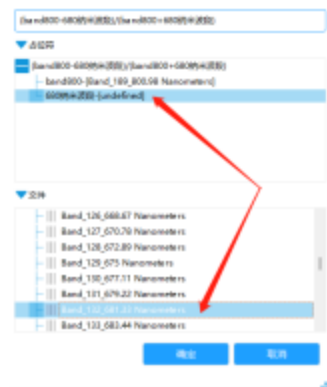
如上述 26 种指数不能满足需求，可以在波段运算中添加公式，目前支持的运算法则如下表

输入	+ - * /	sin(a)	cos(a)	tan(a)	sqrt(a)	log(a)	log2(a)	log10(a)	exp(a)
		)	)	)	)	)	)	)	)
法则	$+-\times\div$	$\sin a$	$\cos a$	$\tan a$	$\sqrt{a}$	$\ln a$	$\log_2 a$	$\lg a$	$e^a$
输入	arcsin(a)		arccos(a)		arctan(a)				
法则	arcsin a		arccos a		arctan a				

除上表外的其他运算都不能识别，如  $\ln(a)$  默认会将  $\ln$  识别为变量， $a$  识别为变量，计算出来会是  $\ln \times a$ 。软件中变量可用任意字幕、单词甚至中文代替，如 NDVI 指数在波段运算工具中使用，输入 (band800-680 纳米波段)/(band800+680 纳米波段) 添加，其中 band800 与 680 纳米波段都识别为变量



选中公式确认后，双击变量与文件的波段为变量赋值，点击确定即可计算。



## 第六章 水质反演

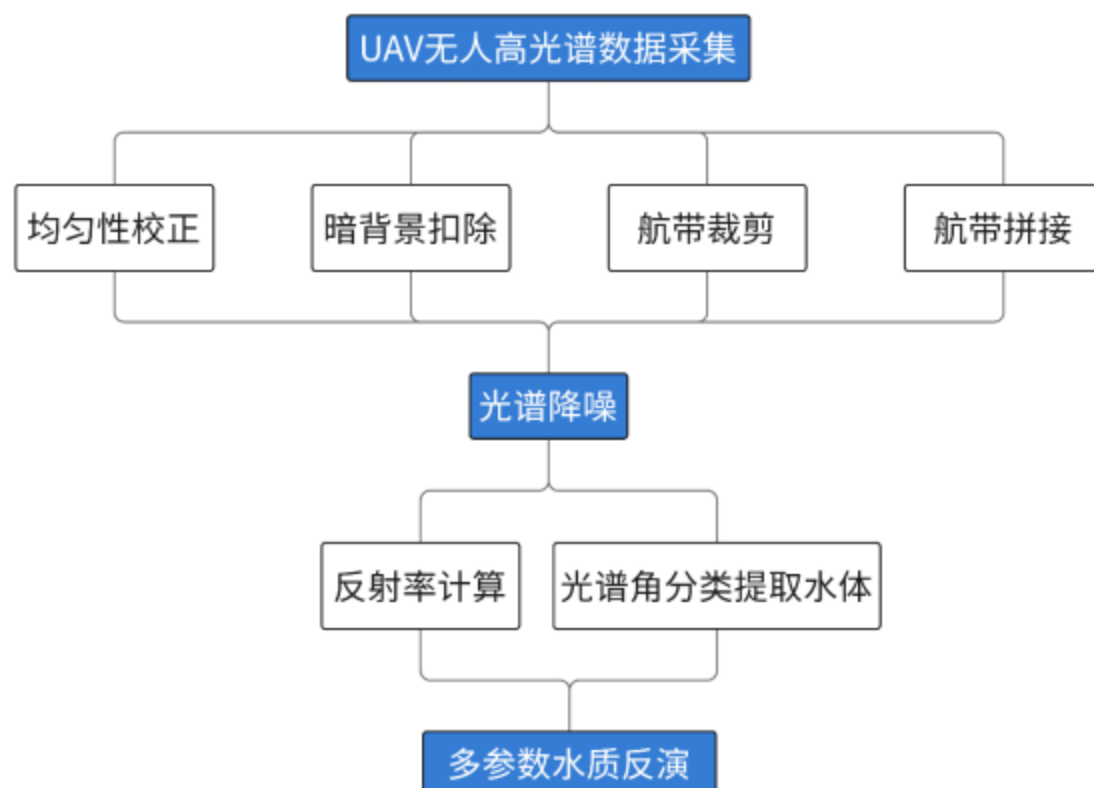
内陆水体要素反演是遥感尤其是定量遥感在内陆水体中最为重要的应用。高光谱遥感能获取内陆水体中各种物质的光谱特征,因而可以反演具有明显光谱特征的水体要素,主要包括影响内陆水体光学特征的三种典型水质参数:叶绿素 a、悬浮物、黄色物质。

基于行业应用,我们软件推出自研水质反演算法,目前支持 7 种水质参数。


英文缩写	具体指数
CODMn	高锰酸盐指数
DO	溶解氧含量
TN	总氮含量
TP	总磷含量
NH <sub>3</sub> -N	氨氮含量
CHL-a	叶绿素含量
SS	悬浮物含量

我们将算法集成为一个算法包,进过预处理后,一次性计算出上述 7 个指标。

### 反演流程（航带裁剪及航带拼接仅用于机载数据处理）

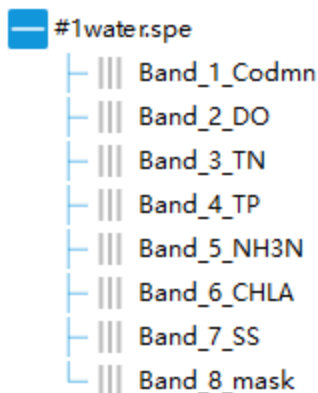


## 多参数水质反演

双击多参数反演工具，弹出的 **Multi Index Inversion** 窗口需要两个文件，文件一栏选择光谱降噪处理后的反射率文件，掩膜选取一栏选择光谱角分类提取水后的单波段 0、1 文件。点击  计算导出。



导出后的文件是含有 8 个波段的数据文件，前 7 个波段分别为 7 个水质参数，最后一个为提取水后的掩膜文件



## Raste Color Slices 颜色渲染

为了更直观地查看水质的趋势，可以使用 **Raste Color Slices** 工具进行颜色渲染。

双击打开工具，选择需要渲染的指标双击，在 **Edit Raster Color Slices** 界面点击 **next**，在左侧隐藏掉数值为 0 的陆地，可观察整体水质趋势。

