



# 斑块生成土地利用变化模拟软件 (PLUS) V 1.0

用户手册

梁迅

[liangxun@cug.edu.cn](mailto:liangxun@cug.edu.cn)

## 目 录

1. 下载并启动PLUS .....	4
2. 使用PLUS模型前的重要注意事项 .....	5
3. 示例数据描述 .....	6
4. PLUS模型的用户界面 .....	7
4.1. 数据处理 .....	7
4.2. 提取土地扩张 .....	8
4.3. 土地扩张分析策略(LEAS) .....	9
4.3.1. 启动模块 .....	9
4.3.2. 输入土地扩张数据 .....	10
4.3.3. 输入驱动因素 .....	10
4.3.4. 设置训练参数和输出路径 .....	11
4.3.5. 运行程序并检查结果 .....	11
4.4. 模拟产生斑块的土地利用变化 .....	13
4.4.1. 启动模块 .....	13
4.4.2. 输入初始土地利用数据 .....	14
4.4.3. 输入发展潜力图 .....	15
4.4.4. 开放水域的限制（空间政策） .....	15
4.4.5. 设置保存模拟结果的路径 .....	15
4.4.6. 模拟参数 .....	15
4.4.7. 设置土地利用类型动态显示的颜色 .....	17
4.4.8. 运行CARS模块 .....	19
4.5. 模拟精度验证 .....	20
4.5.1. Kappa统计工具 .....	21
4.5.2. FoM统计工具 .....	23
4.6. 预测未来的土地使用需求 .....	24
4.6.1. 线性回归方法 .....	24
4.6.2. 马尔可夫链方法 .....	26
4.6.3. 模拟2013年至2033年的未来土地利用 .....	27
4.7. 场景多样性的计算 .....	30

---

4.7.1. 输入不同场景下的多个模拟结果 .....	31
4.7.2. 计算每个单元的土地利用混合程度 .....	32
5. 常见问题 .....	33
5.1. 无法打开PLUS模型 .....	33
5.2. LEAS 无法训练随机森林或在没有任何弹出窗口的情况下崩溃 .....	34
5.3. LEAS 崩溃时弹出窗口 .....	35
5.4. LEAS 输出的发展潜力具有随机噪声点 .....	35
5.8. 马尔可夫链输出 NAN 值 .....	38
5.9. 某种土地利用类型的数量总是达不到设定的斑块需求数量 .....	39
6. 版权声明与联系方式 .....	40

元胞自动机（CA）模型可以更好地展现复杂土地利用/土地覆盖（LULC）系统。以往的研究主要集中在技术建模程序的改进上，很少有研究关注促进对LULC底层非线性关系的理解。缺乏反映斑块景观演变的能力也限制了CA对政策制定的适用潜力。本研究提出了一个基于土地扩张分析策略（LEAS）的规则挖掘框架和基于多类型随机种子（CARS）的CA模型，该模型可以挖掘土地扩张和景观变化的驱动因素。与其他模型相比，PLUS模型可以获得更高的仿真精度和更相似的景观。LEAS可以帮助研究人员调查潜在的土地利用转换规则。所提出的方法结合了模拟、知识发现和决策过程，可以为用户提供重要信息。

PLUS是用C++语言开发的。PLUS软件的并行技术来自中国地质大学（武汉）高性能空间计算智能实验室（<https://github.com/HPSCIL>）。我们模型中的随机森林技术来自一个名为Alglib 3.9.2（<http://www.alglib.net/>）的强大开源库。该软件的UI是使用著名的开源库Qt 5.13（<https://www.qt.io/download/>）构建的。此UI提供模拟过程中土地利用动态变化的实时显示。此外，通过使用开源库GDAL 2.0.2（<http://www.gdal.org/>），我们的模型可以直接读取和写入包含地理坐标信息的栅格数据（.tif, .img, .txt文件）。本用户手册为用户提供有关如何使用PLUS软件的介绍。本教程的所有必要数据和文件均已提供，可用作练习模板。

## 1. 下载并启动PLUS

最新版本的PLUS软件 and 用户手册可通过链接（<https://github.com/HPSCIL/Patch-generating-Land-Use-Simulation-Model>）下载获取。打开文件夹，双击可执行文件“PLUS VX.0.exe”启动软件。请注意，请下载完整的压缩文件，如果用户只下载一个“exe”文件，PLUS软件将无法运行。

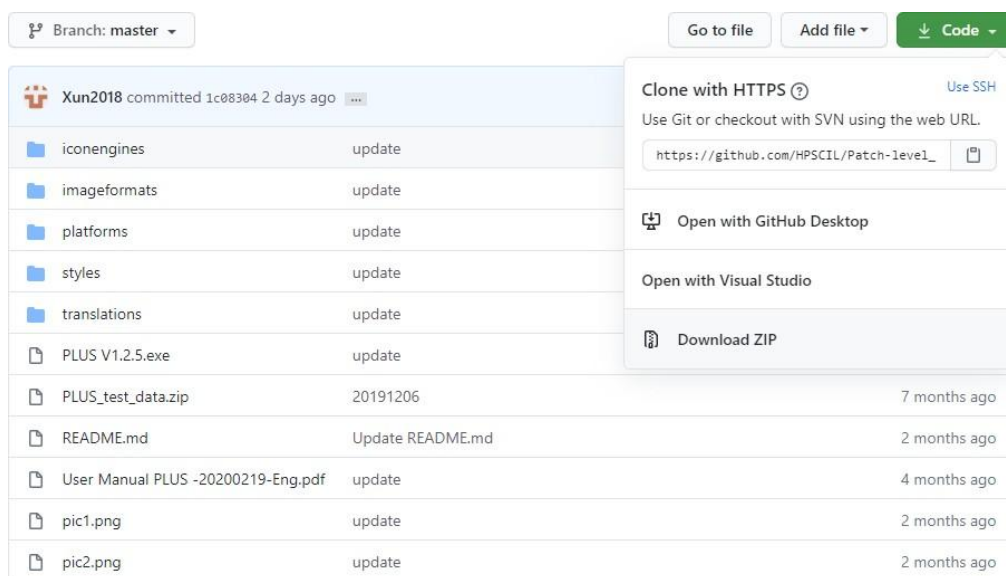


图 1 PLUS软件的下载方法

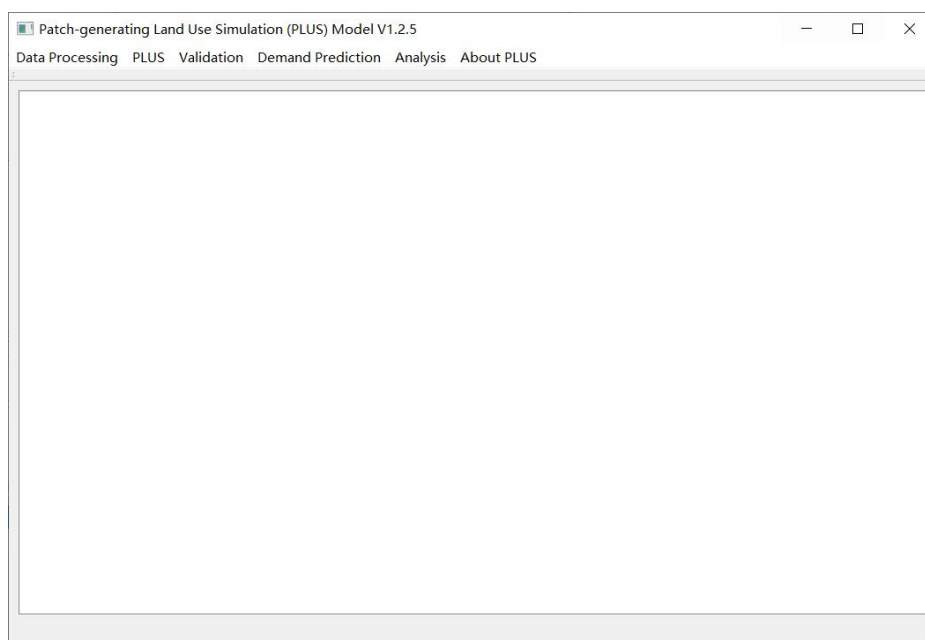


图 2 PLUS软件的主界面

主界面是一个简洁的图像浏览器，可以为模拟过程提供动态显示功能。

## 2. 使用PLUS模型前的重要注意事项

1) 输入的土地使用数据必须是“unsigned char”格式。

2) LEAS不要求输入图像数据具有相同的行数和列数。它自身有一个完整的对齐机制。然而，这些图像的坐标或投影系统必须得到GDAL的支持。我们推荐使用WGS 84坐标系。LEAS可以自动将驱动因素数据与土地扩张图的研究区域进行对齐。但是，当一个或多个

驱动因素的坐标或投影系统无法被LEAS识别转换时，LEAS模块将会崩溃。用户需要找出这些驱动因素。那么如何找出那些有问题的驱动因素呢？具体来说，用户只能将一个驱动因素导入LEAS模块，并查看LEAS能否成功运行。如果LEAS不能运行，驱动因素是有问题的。如果LEAS可以用一个驱动因子运行，那么用户可以一个接一个地添加新的驱动因子，直到软件崩溃。通过这种方式，用户可以找出所有存在问题的驱动因素。最后，用户可以使用地理信息系统软件（例如，ArcGIS或QGIS）来统一行计数、列计数以及这些驱动因素的坐标和投影系统，并使它们与土地扩展图相同。当所有驱动因素数据的行列数、坐标和投影与土地扩张图相同时，LEAS可以成功运行。

3) 如果PLUS软件的一个模块需要多个土地利用图作为其输入，这些土地利用图应具有相同的行数和列数。

4) 在模拟土地利用变化动态的步骤中，输入的图像数据需要具有相同的行数和列数，包括土地利用模式、限制区域和转换概率等数据。

5) 通过取消选中“Dynamic Display”复选框来取消动态显示，可以使模型运行得更快、更稳定。

6) 我们强烈建议用户不要在PLUS模型的文件路径中包含非英语字符或符号，包括空格。文件名和文件夹名必须以字母开头，而不是数字。

### 3. 示例数据描述

表 1 测试数据列表

目录	数据	文件名	描述
土地利用数据	土地利用数据	wh2003_refy.tif	1: 草地, 2: 落叶林, 3: 耕地, 4: 城镇用地, 5: 裸地, 6: 水域, 7: 常绿林。
		wh2013_refy.tif	
约束数据	土地利用约束	wh_open_water13.tif	
社会经济数据	人口	wh_Pop.tif	<a href="http://www.geodoi.ac.cn/WebCn/Default.aspx">http://www.geodoi.ac.cn/WebCn/Default.aspx</a>
	GDP	gdp2010.tif	
	邻近高速公路	wh_dist_highway.tif	OpenStreetMap ( <a href="https://www.openstreetmap.org/">https://www.openstreetmap.org/</a> )
	邻近主干道	wh_dist_trunk.tif	
	邻近次要道路	wh_dist_secondary.tif	
	邻近三级道路	wh_dist_tertiary.tif	
	邻近铁路	wh_dist_railway	

	邻近高铁站	wh_dist_highspdstation.tif	http://lbsyun.baidu.com/
	邻近政府	wh_dist_gov.tif	
气候和环境数据	土壤类型	wh_soiltype.tif	HWSD v 1.2 (http://westdc.westgis.ac.cn/data/844010bad359-4020-bf76-2b58806f9205)
	年平均气温	wh_df_tem.tif	WorldClim v2.0 (http://www.worldclim.org/)
	年降水量	wh_df_pre.tif	
	DEM	wh_df_dem.tif	NASA SRTM1 v3.0
	坡度	wh_df_slope.tif	
	邻近开放水域	wh_dist_openwater	



测试数据集可以在测试数据文件夹中找到。本例中的研究区域是中国湖北省武汉市。

## 4. PLUS模型的用户界面

### 4.1. 数据处理

首先，数据处理很关键！PLUS模型仅支持“unsigned char”格式的土地利用/土地覆盖（LULC）数据，编码的土地利用类别为从1开始的连续整数（例如，1、2、3、4、5、6、……）。此外，PLUS模型仅支持“unsigned char”土地利用约束数据，这是一个值为0或1的图像。

如果用户使用ArcGIS软件对LULC数据进行重新分类，ArcGIS通常会将原始的“unsigned char”LULC数据转换为“int”或“unsigned int”格式。因此，我们提供了一个转换工具。它可以将LULC数据和约束数据（所有格式）转换为“unsigned char”格式。如果您不确定LULC或约束数据的格式，只需使用转换工具生成适用于PLUS模型的“unsigned char”数据。这个工具使用起来非常快捷方便。

展开“unsigned char”菜单，单击“Convert LULCs to Unsigned Char Format”以启动该模块。点击  按钮，在弹出对话框中输入土地利用或约束数据：“wh2003\_refy.tif”和“wh2013\_refy.tif”。用户可以指定输出文件夹，单击  按钮转换数据格式。转换工具将导出新LULC数据：“wh2003\_refy\_uc.tif”和“wh2013\_refy\_uc.tif”。请注意，所有测试数据的格式都适用于PLUS软件，本教程只是提供了如何使用PLUS软件的指南。

此外，所有LULC图像需要具有相同的行数和列数。

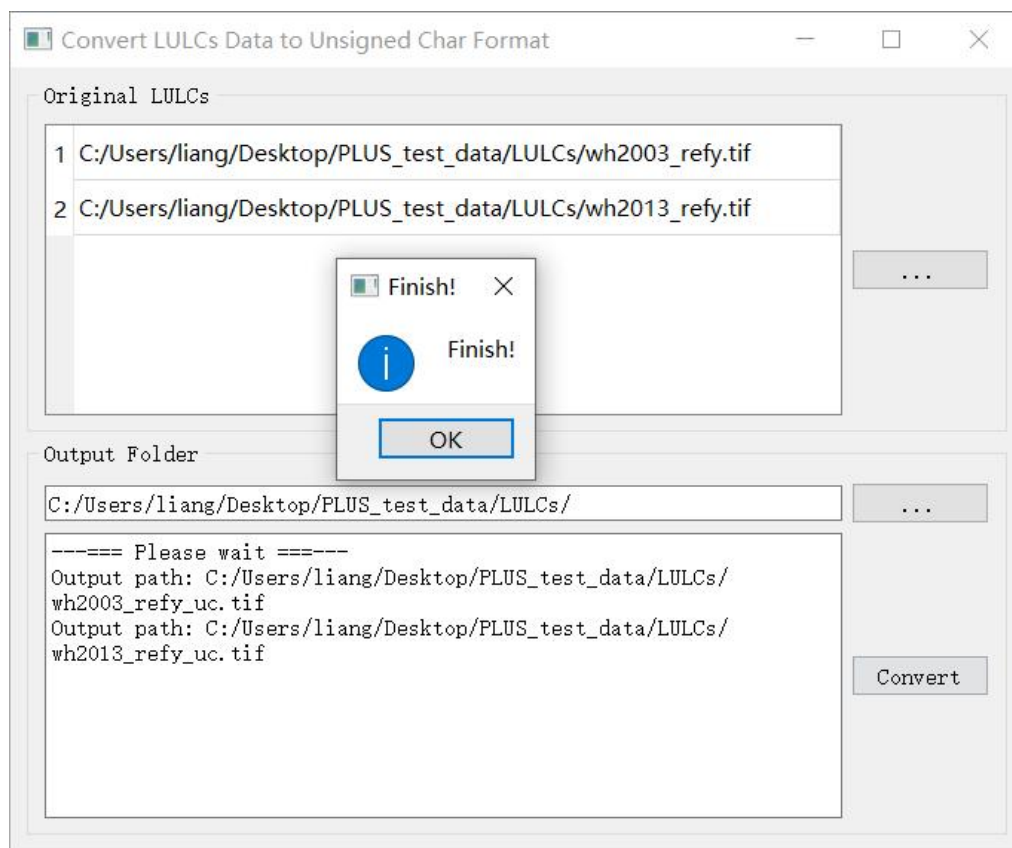


图 3 数据转换工具的用户界面

## 4.2. 提取土地扩张

PLUS由三个主要部分组成，1）提取土地扩张，2）土地扩张分析策略（LEAS），和3）基于多个随机种子的CA（CARS）。用户可以从主菜单上“PLUS”按钮的下拉菜单中选择选项来启动相应的模块。

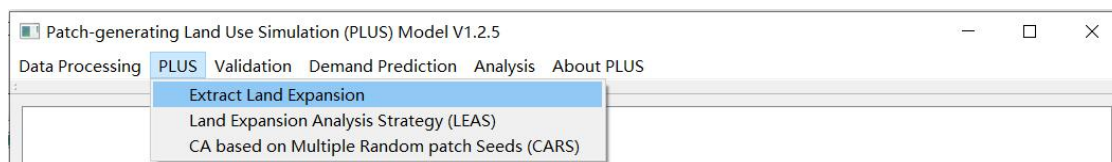




图 4 启动“提取土地扩展”模块

单击  按钮，并在弹出对话框中选择两期土地利用数据：“wh2003\_refy.tif”和“wh2013\_refy.tif”。用户可以指定输出文件路径，点击  按钮，提取2003年至2013年的土地扩张图。



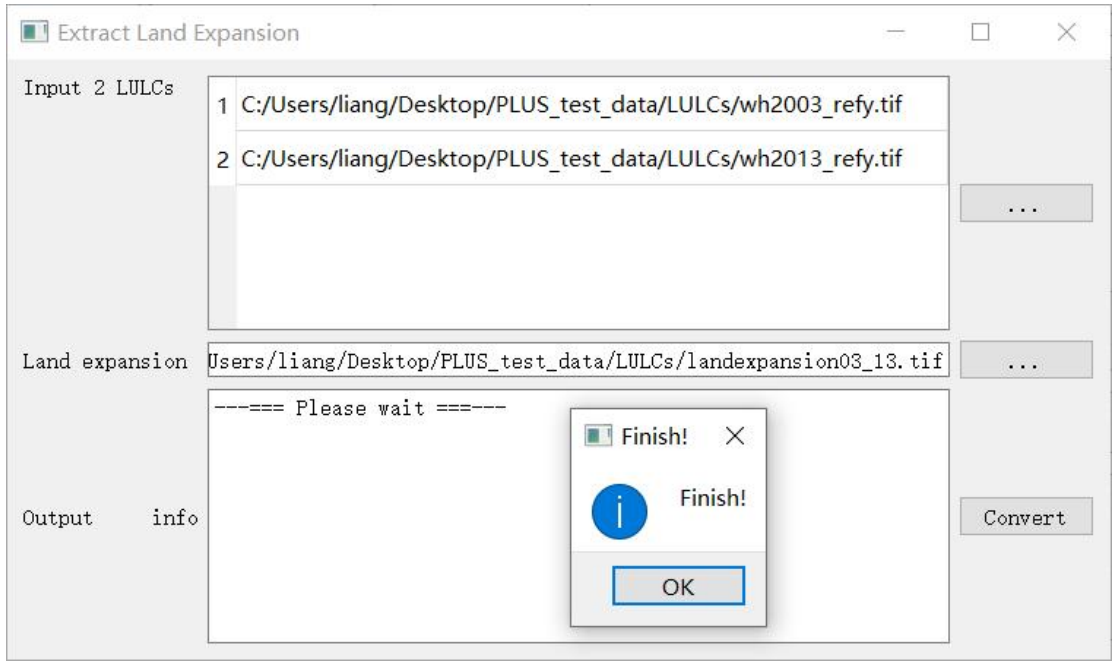


图 5 提取土地利用扩张

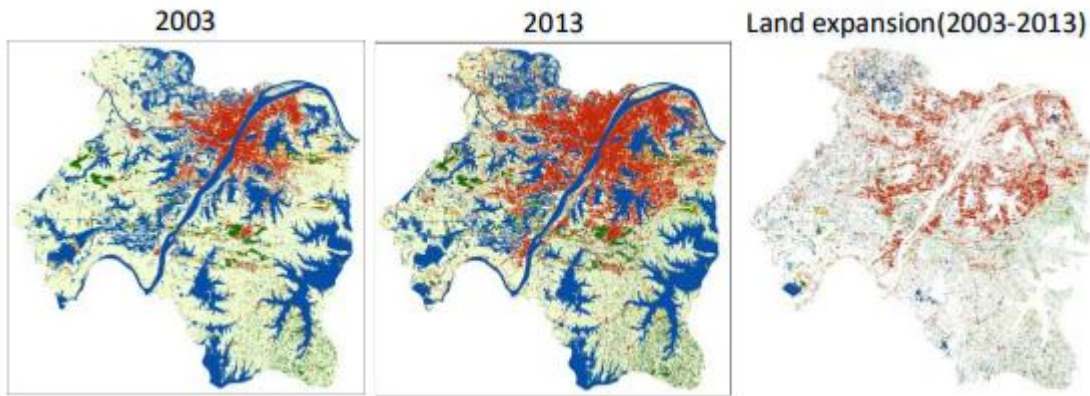


图 6 从两期土地利用数据中提取土地扩

### 4.3. 土地扩张分析策略(LEAS)

#### 4.3.1. 启动模块

单击 “Land Expansion Analysis Strategy (LEAS)” 启动该模块。

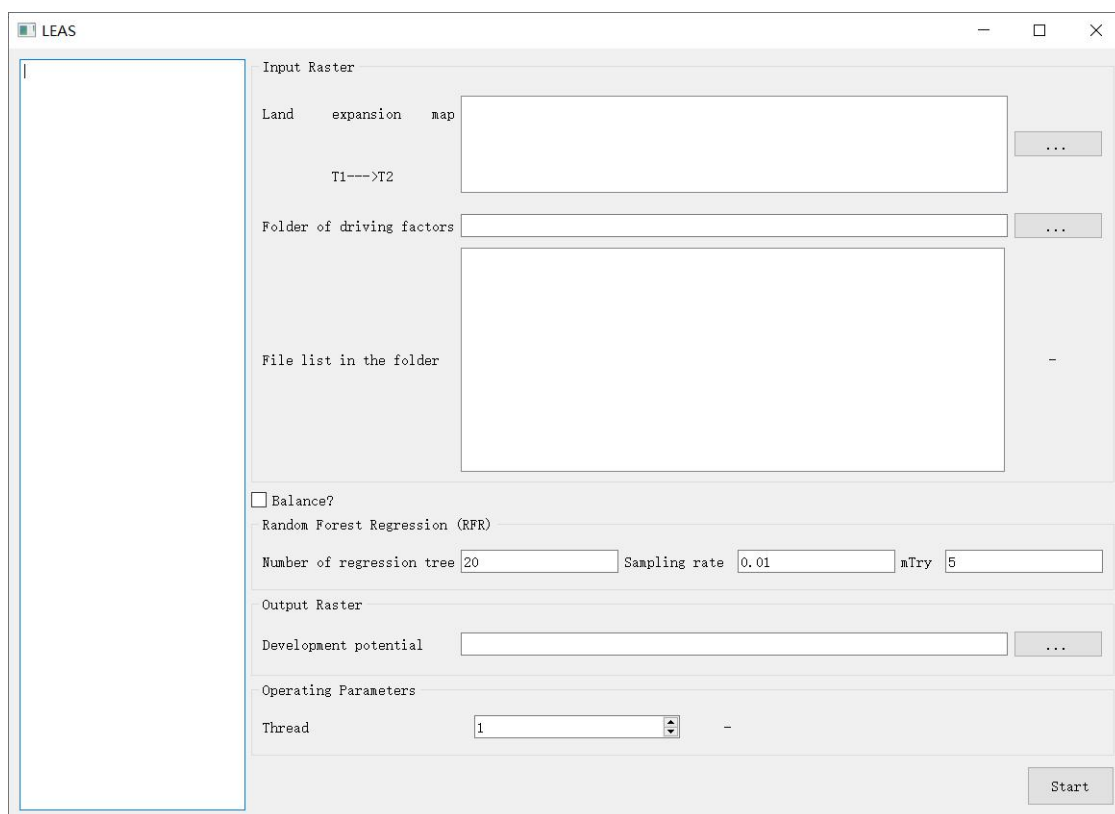



图7 “土地扩张分析策略”模块的用户界面

### 4.3.2. 输入土地扩张数据

单击“Land expansion map”文本框的  按钮，在弹出对话框中选择上一步输出的土地扩张图“landexpansion03\_13\_landuse\_1to2.TIF”。

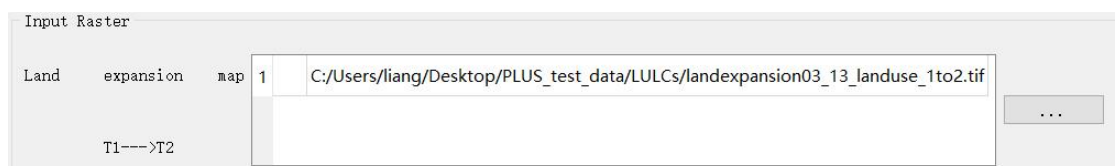



图8 选择上一步输出的土地扩展图

### 4.3.3. 输入驱动因素

单击“Folder of driving factors”组框中的  按钮，并在弹出对话框中选择驱动因素所在的文件夹。PLUS软件会自动加载文件夹中的“tiff”文件。我们提供了16个驱动因素来进行模拟。

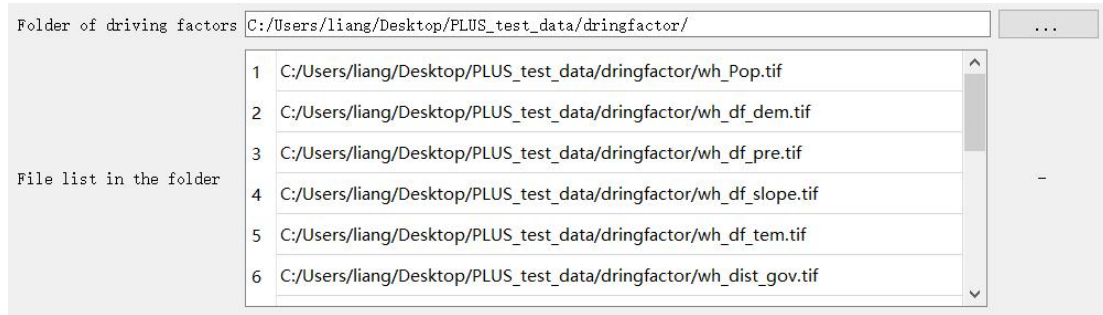



图 9 选择一个文件夹，软件会自动输入文件夹内的所有驱动因素

#### 4.3.4. 设置训练参数和输出路径

用户可以设置随机森林回归（Random Forest Classification，RFC）的参数。默认情况下，采样率设置为0.01，这意味着选择大约1%的像素进行训练。在这个实验中，回归树的数量被设置为20。mTry表示用于训练RFC模型的特征数。在示例中，最大特征数是16，等于驱动因素的数量。如果勾选了 ☒ Uniform sampling 复选框，则每种土地利用类型的采样点将一致。如果没有勾选，采样点将随机分布在整個研究区域。然后，单击  按钮，确定土地利用转换概率数据的输出路径和名称。在测试数据中，每种土地利用类型的发展潜力被命名为“发展潜力”。用户可以增加并行内部线程的数量来加快运行速度。

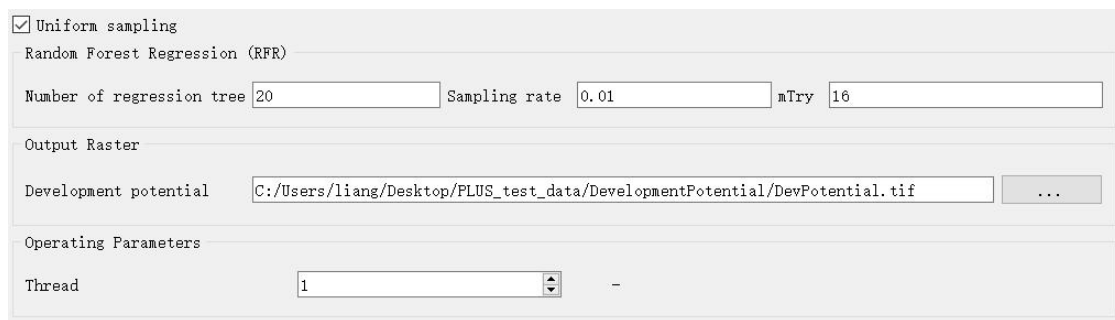
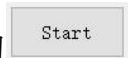


图 10 确定RFC的训练参数和输出路径

#### 4.3.5. 运行程序并检查结果

设置完成后，单击按钮  运行该模块。当模型过程运行完成时，将出现如下消息框。

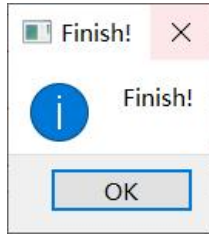


图 11 显示程序成功运行的消息框

界面左侧的文本框将输出每个土地利用的RFC的训练精度。RFC为每种土地使用类型输出两个精度指标：RMSE和OOB-RMSE。

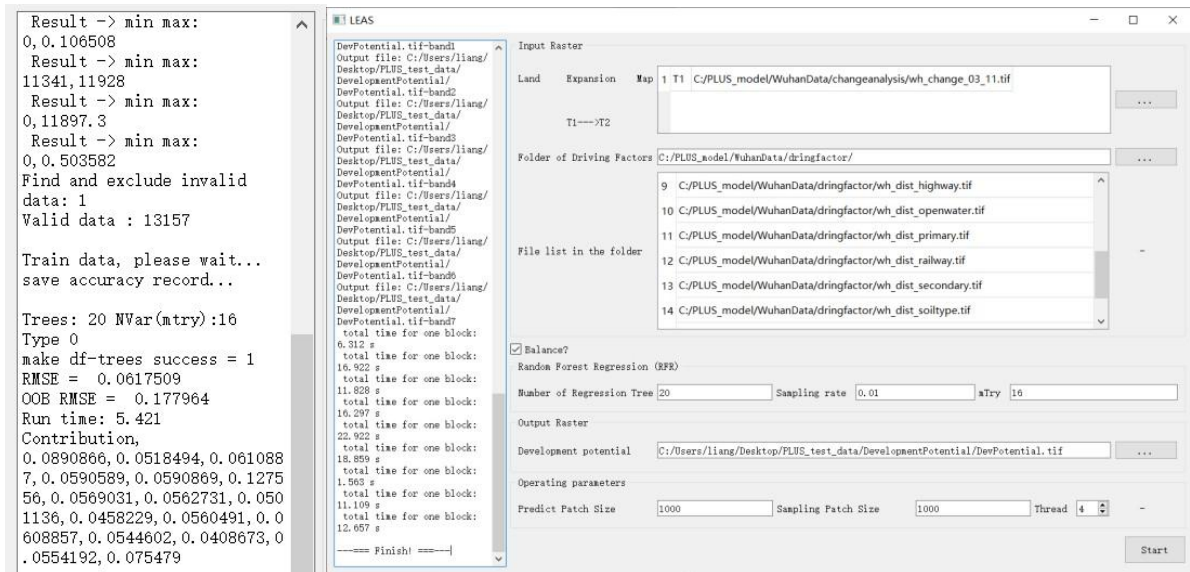


图 12 每种土地利用类型的RFC训练精度

此外，所有驱动因素对每种土地利用类型扩张的贡献程度都可以通过RFC输出，这对于研究人员了解土地利用变化的潜在原因非常重要。所有土地利用类型的驱动因素的贡献度保存在“Parameterfile”文件夹的CSV文件中。

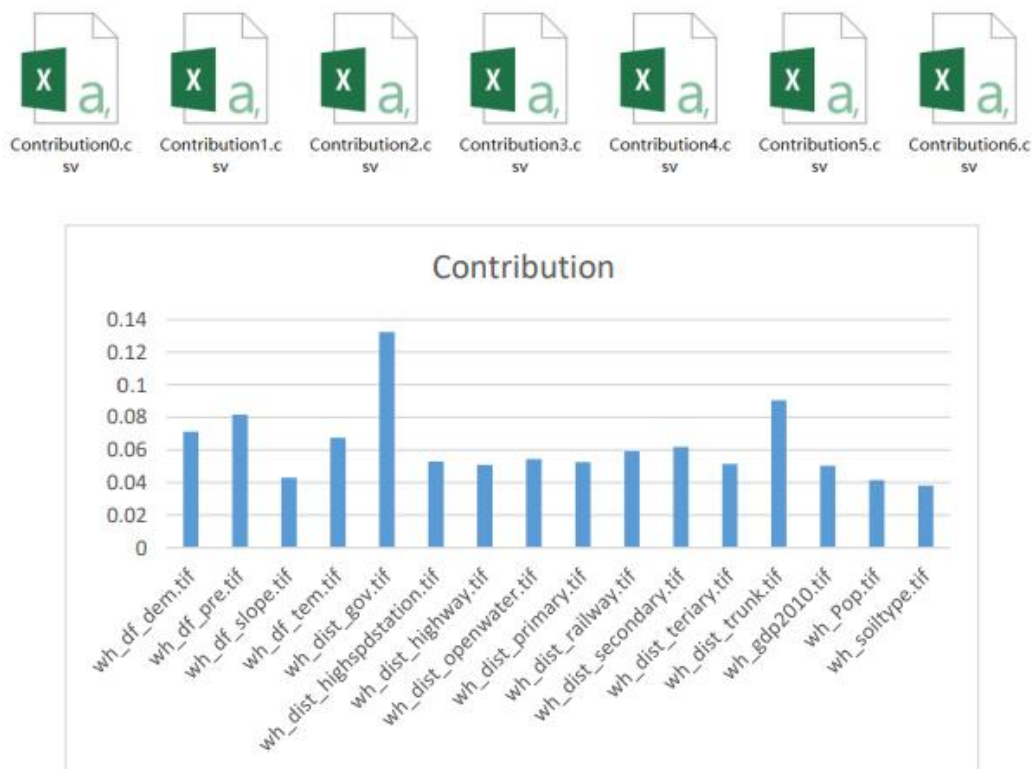


图 13 各驱动因子对草地扩张的贡献

例如，文件“contribution0.csv”记录了各种驱动因素对草地扩张的贡献度。我们发现邻近政府对草地扩张影响最大。这一结果表明，草最有可能生长在人类活动较少的地方，然而政府周围地区通常是人类活跃的地方，这极大影响了草的生成。

经过训练过程，我们得到了7种土地利用类型对应的7个RFC分类器。这些分类器用于预测每个单元上每种土地利用类型的发展潜力。最后，PLUS模型输出7张发展潜力图。

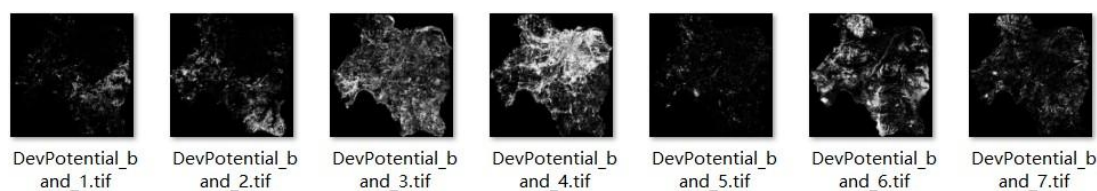


图 14 每种土地利用类型的发展潜力图

## 4.4. 模拟产生斑块的土地利用变化

### 4.4.1. 启动模块

点击“CA - based on multiple random patch seeds (CARS)”项，启动模拟模块（注意，

只有当土地利用数据、概率图和转换约束数据的行列数全部相同时，CARS才能成功运行）。

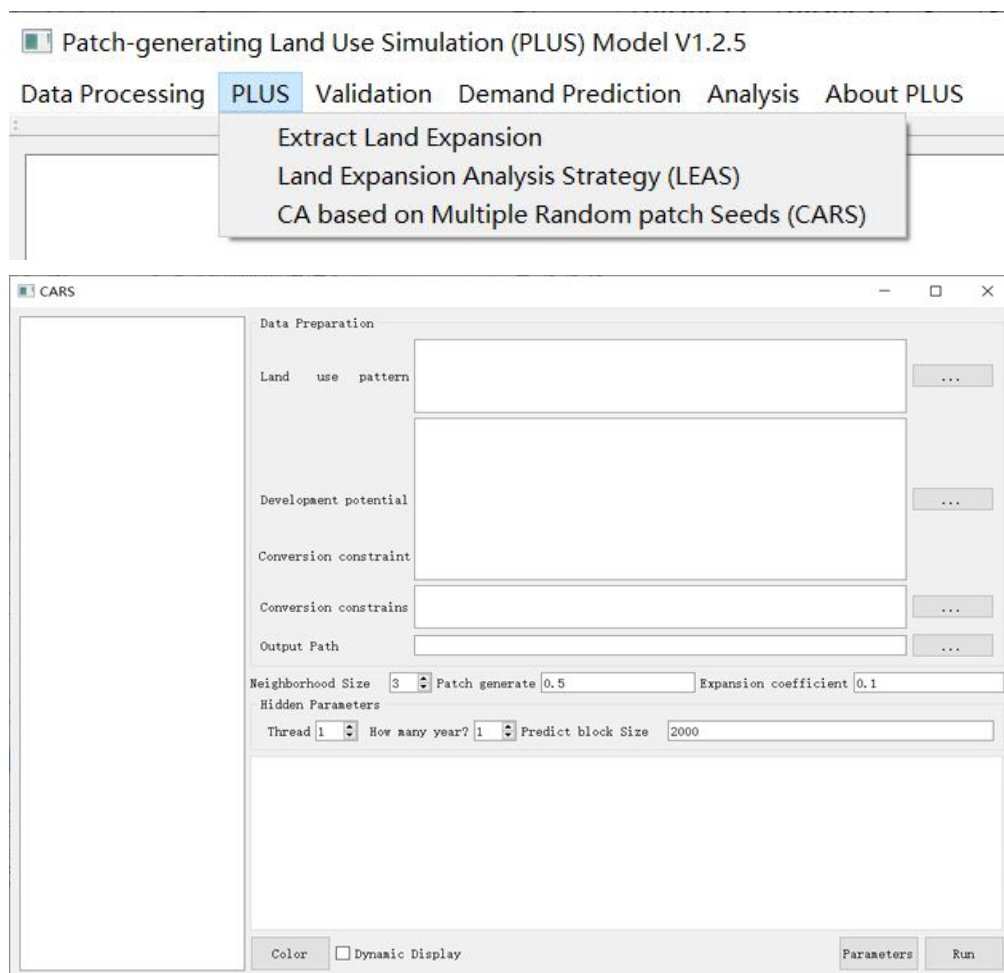


图 15 “CARS”模块的用户界面

#### 4.4.2. 输入初始土地利用数据

点击“Land use pattern”文本行中的  按钮，在弹出的对话框中选择起始年份的土地利用数据“wh2003\_refy.tif”。

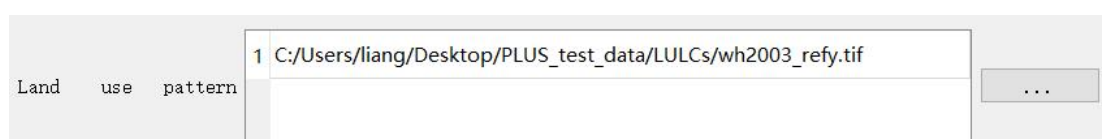


图 16 选择起始年的土地利用分布数据



### 4.4.3. 输入发展潜力图

在“Development Potential”组框中输入从“LEAS”模块生成的发展潜力数据。

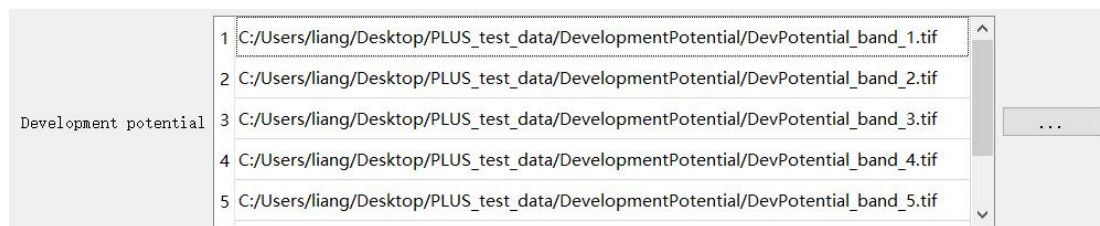


图 17 选择LEAS模块生成的发展潜力数据

### 4.4.4. 开放水域的限制（空间政策）

一些政策限制指定区域的所有类型的土地变更，例如开放水域和一些自然保护区。用户应该准备一个仅包含值0或1的受限区域的二值图像。值0表示不可转换，而值1表示可转换。在这种情况下，我们假设开放水域（水体的一个子类）不允许转换为其他土地利用类型。请注意，用户应该使用第4.1节中描述的“Convert LULCs to Unsigned Char Format”工具将约束数据转换为“unsigned char”格式。



图 18 选择空间约束数据

### 4.4.5. 设置保存模拟结果的路径

在“Output path”组框中选择模拟结果的保存路径。

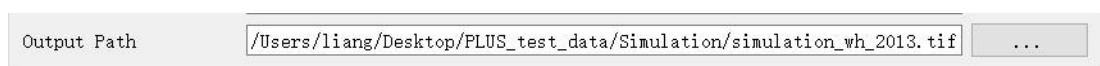


图 19 选择输出路径

### 4.4.6. 模拟参数

模拟参数包括土地利用需求、转换矩阵和邻域权重。土地利用需求是PLUS模型的重要参数，需要根据研究区域的实际情况进行设定。我们建议用户应用外部模型来确定未来

场景的土地利用需求。在测试中，土地利用变化模拟的时间跨度为2003年至2013年，因此我们将土地利用需求设置为等于2013年的土地利用数据。我们还提供了两个预测未来土地利用需求的简单工具（第4.6节）。我们将在后文介绍这两个模块。

当所有土地利用类型的面积达到其对应的需求面积时，PLUS模型将自动停止。在选项卡窗口中，用户可以在“Land Demands”标签页的第二行“Future Amounts”中输入每种土地利用类型的未来土地利用需求。“Start Amounts”可以自动加载。如图20所示。

Land Demands	Transition Matrix		Neighborhood Weights				
	Type 1	Type 2	Type 3	Type 4	Type 5	Type 6	Type 7
Start Amounts	0	0	0	0	0	0	0
Future Amounts 1	43394	231113	2477678	929417	39413	1453586	150790

图 20 输入未来的土地利用需求

此外，PLUS的邻域效应与传统CA模型相似。这里邻域效应的默认值是3。Patch generation threshold是生成新斑块的衰减阈值，范围从0到1。较高的衰变阈值意味着更保守的转换策略，这使得总体转换概率较低的元胞不太可能发生变化。Expansion coefficient是调整模型生成新土地利用斑块能力的参数，范围从0到1。更高的膨胀系数意味着生成新斑块的能力更高。Percentage of seeds是生成新种子数量的最大阈值，范围从0到1。值为0.0001意味着只有0.01%的元胞可以生成新的飞地斑块。较高的种子百分比意味着较分散的土地利用模式。

Neighborhood Size	3	Thread	1
Patch generation threshold	0.5	Expansion coefficient	0.1
		Percentage of seeds	0.0001

图 21 PLUS模型的参数

然后，将选项卡窗口切换到“Transition Matrix”标签页。该矩阵的列表示当前的土地利用类型，行表示未来的土地利用类型。值1表示允许转换，而值0表示不能转换。过渡矩阵的示例如下所示：



Land Demands    Transition Matrix    Neighborhood Weights							
	Type 1	Type 2	Type 3	Type 4	Type 5	Type 6	Type 7
Type 1	1	1	1	1	1	1	1
Type 2	0	1	0	0	0	0	0
Type 3	1	1	1	1	1	1	1
Type 4	0	0	0	1	0	0	0
Type 5	1	1	1	1	1	1	1
Type 6	1	1	1	1	1	1	1
Type 7	0	0	1	0	0	0	1

图 22 转换矩阵

在“Neighborhood weights”页面，用户需要设置不同土地利用类型的邻域权重。在一个独特的研究区域，不同的土地利用类型可能会产生不同的邻域效应。每个土地利用类型的邻域权重值可以根据专家知识和一系列模型测试来确定，范围从0-1。或者用户也可以通过基于土地扩张图（第4.2节输出的图）计算土地利用类型的扩张面积占总土地扩张的比率来确定每个土地利用类型的邻域权重。用户仍然可以根据专家知识进行修改。根据土地扩张图，我们设置参数如下：

Weights	Transition Matrix		Land Demands				
	Type 1	Type 2	Type 3	Type 4	Type 5	Type 6	Type 7
Weights	0.033354448	0.072010689	0.214762891	0.449313208	0.027947715	0.130501503	0.072109546

图 23 每种土地利用类型的邻域权重

#### 4.4.7. 设置土地利用类型动态显示的颜色



图 24 用户界面上“Color”按钮的位置

单击“Color”按钮激活“Set Color Display”模块。

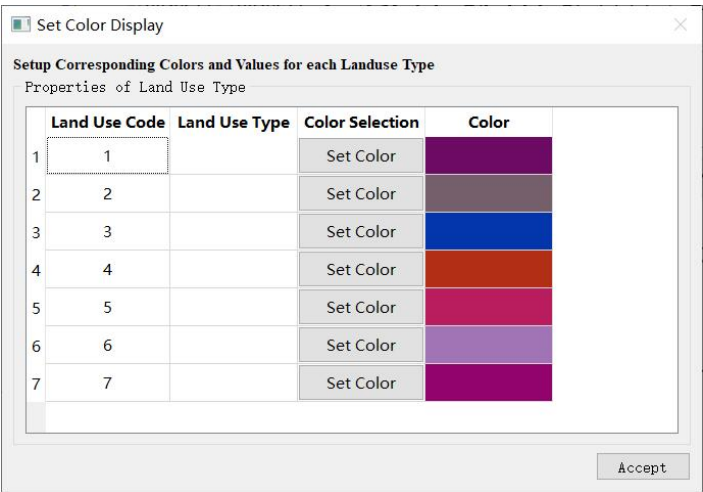


图 25 “Set Color Display” 界面

单击列表框中每行的“Set Color”按钮，为所有土地利用类型设置一个RGB值（如rgb(150, 200, 50)）。然后，在“Land Use Type”栏中输入每种土地利用类型的名称。最后，点击“Accept”按钮，确认以上设置。

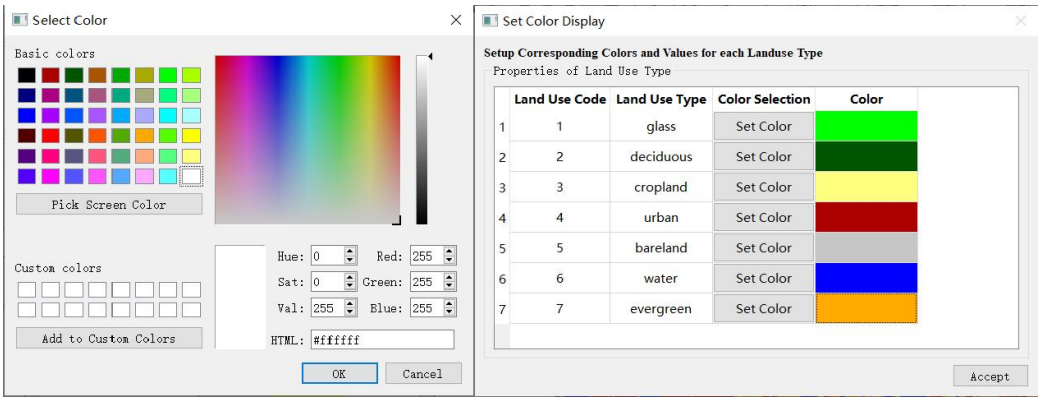


图 26 设置所有土地利用类型的颜色

请注意，PLUS允许用户通过取消选中“Dynamic Display”复选框来不激活动态显示功能。因为显示功能在某些情况下会导致软件崩溃。在没有动态显示的情况下运行PLUS模型也可以使模型运行得更快。

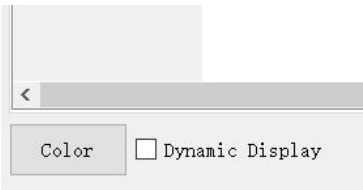



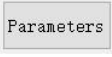
图 27 通过取消选中“Dynamic Display”复选框来取消动态显示

#### 4.4.8. 运行CARS模块

最后，点击按钮  开始模拟。每次迭代的信息显示在“CARS”模块界面的左侧文本框中。另外，PLUS模型可以在主界面上动态呈现土地利用变化过程，包括各土地利用类型的土地覆盖空间变化、面积变化和变化曲线。

可视化面板允许用户放大和观察研究区域的土地利用动态过程。动态图表的横轴表示迭代次数，纵轴表示元胞数量。

当所有土地利用类型达到其对应的需求面积时，模型将停止并保存模拟结果。PLUS软件会将所有参数保存到“Parameterfile”文件夹中的配置文件：“CARSParameters.tmp”

中。当点击  按钮时，该模块将加载配置文件中记录的参数，这便于用户重复实验。

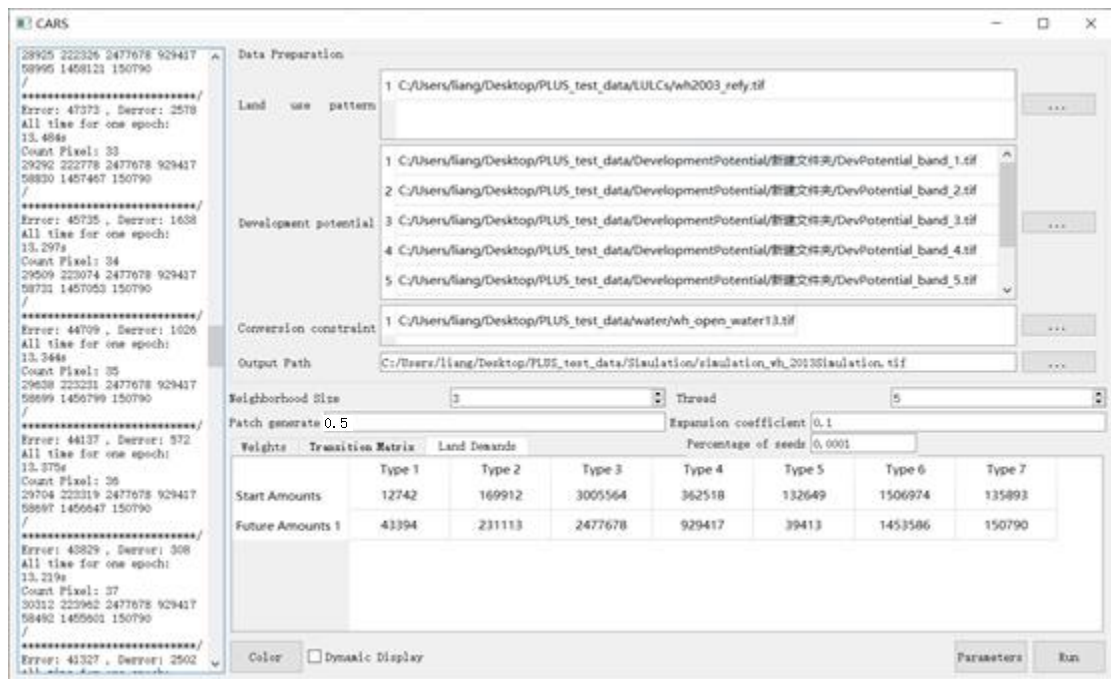


图 28 每次迭代的动态信息显示在左侧文本框中

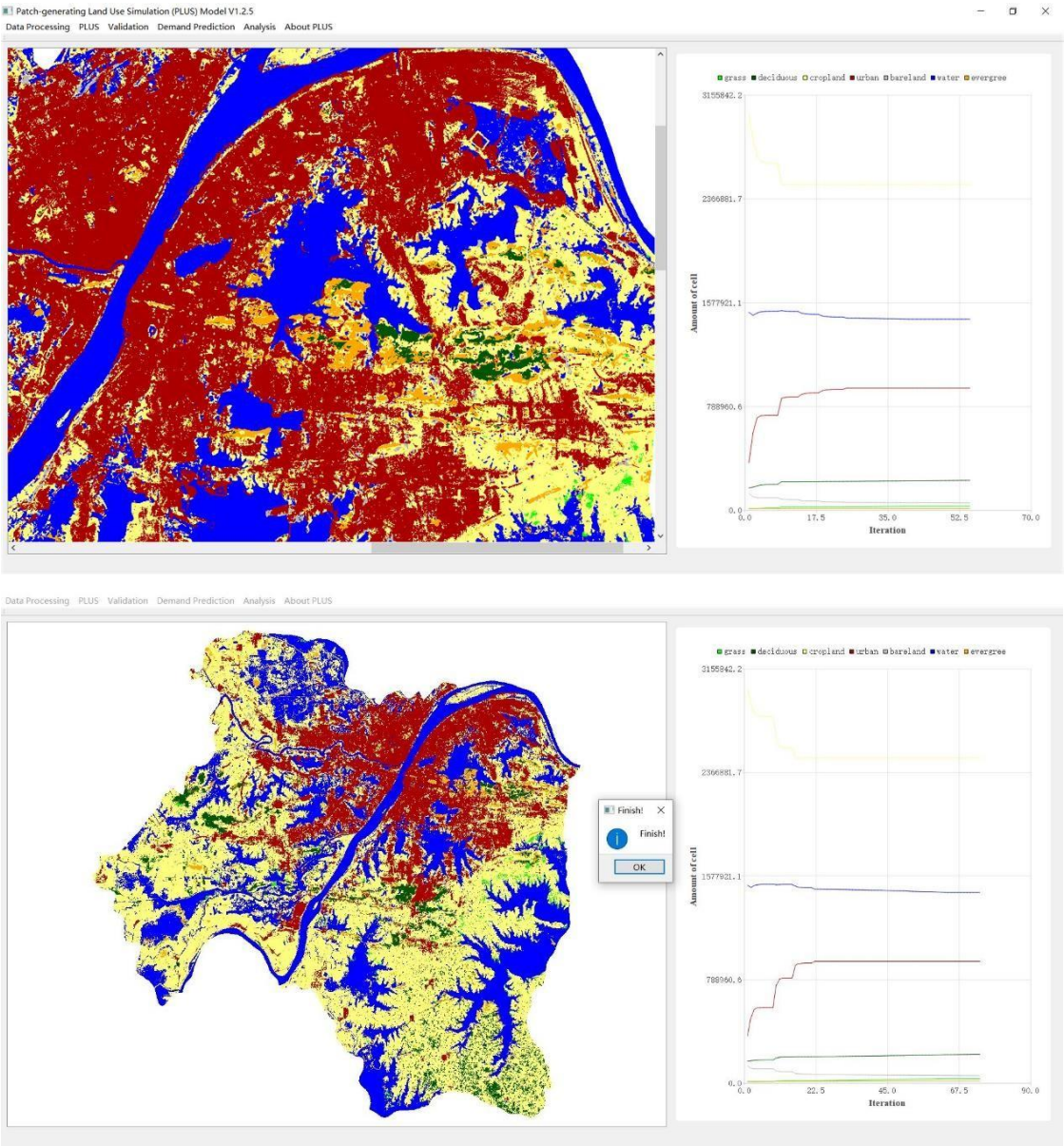


图 29主界面动态显示模拟过程

4.5. 模拟精度验证

PLUS软件提供了kappa统计工具和FoM统计工具，用于评估模拟结果和实际土地利用分布之间的一致性。



图 30 启动验证模块

### 4.5.1. Kappa统计工具

单击主菜单上的“Validation”中的“Confusion Matrix and Fom”，启动kappa统计工具。

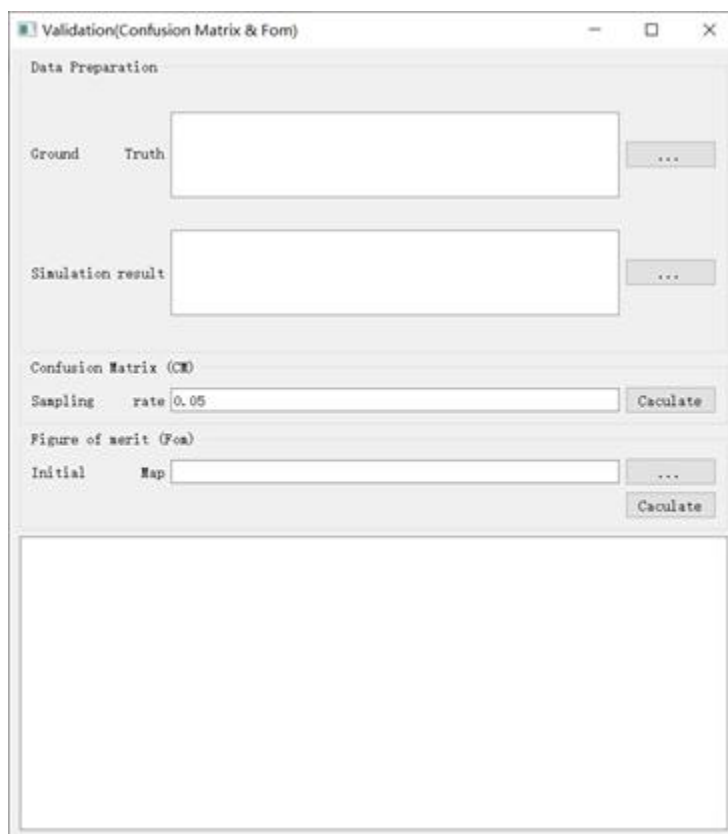




图 31 验证模块的用户界面

#### 4.5.1.1.加载数据并设置采样率

单击“Ground Truth”行中的  按钮，输入实际土地利用数据“wh2013\_refy.tif”。然后单击“Simulation Result”行中的  按钮，输入模拟的土地利用结果。在示例中，我们将采样率设置为10%。

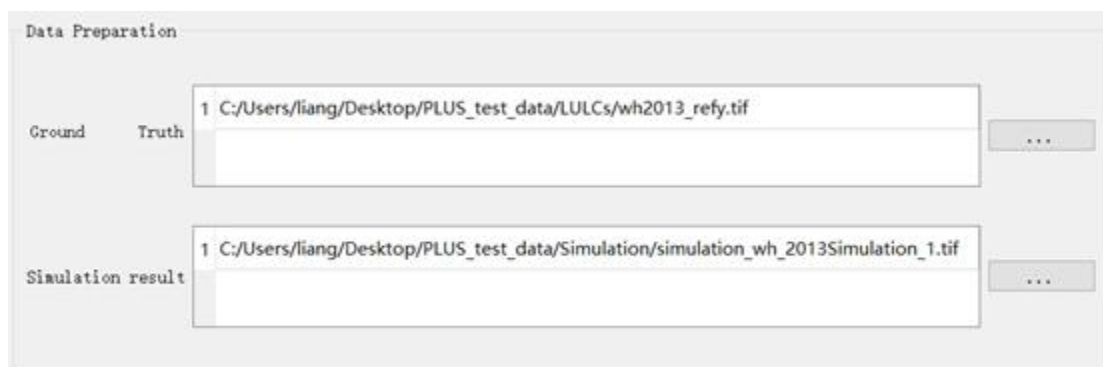





图 32 输入真实数据和模拟结果

#### 4.5.1.2.开始计算并保存结果

单击  按钮开始计算Kappa系数。当程序完成计算时，会弹出一个消息框。

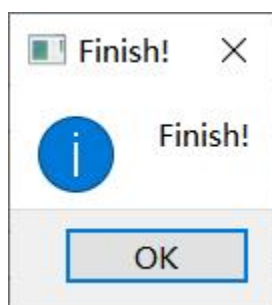


图 33 显示计算已完成的消息框

结果包括Kappa系数、总体精度和混淆矩阵，这些将保存在“Parameterfile”文件夹中的“Kappa.csv”文件中。

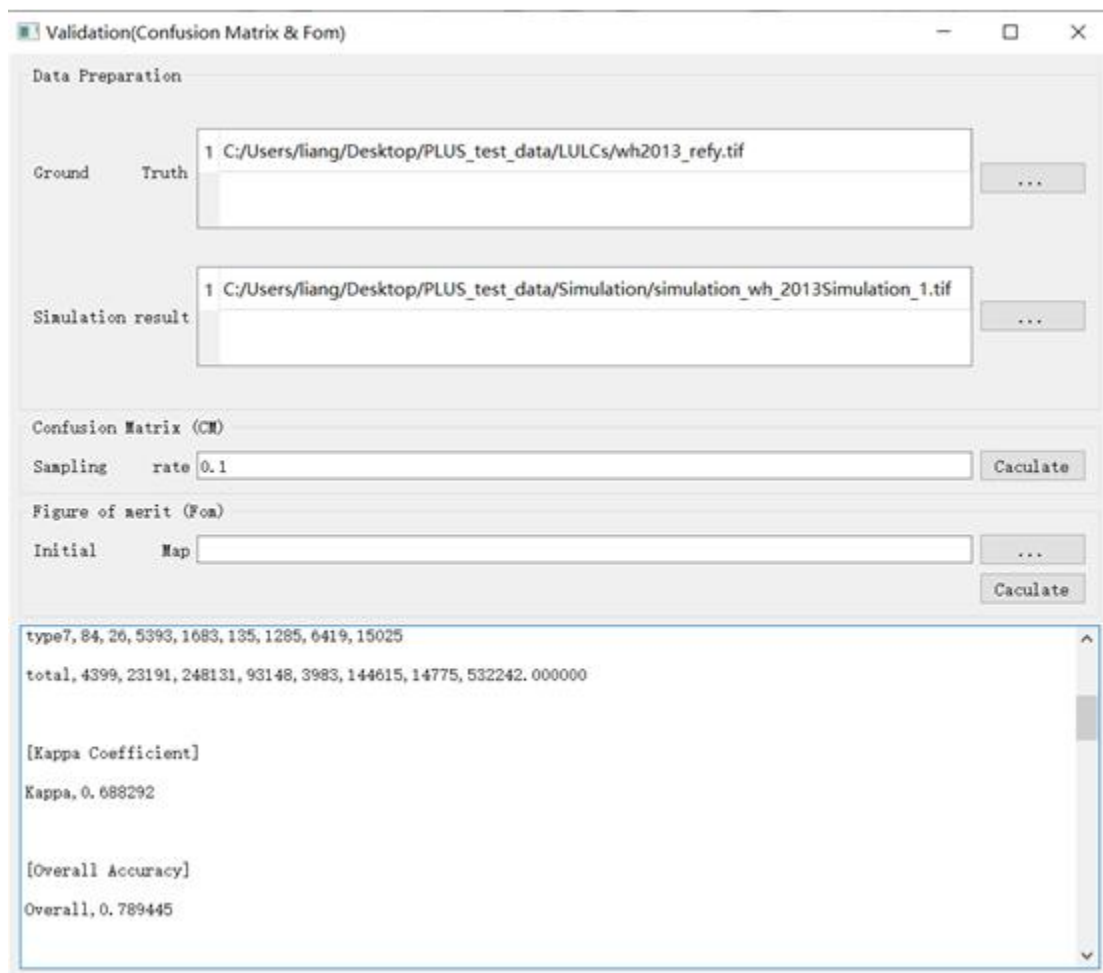

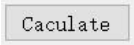


图 34 Kappa系数和总体精度

### 4.5.2. FoM统计工具

然后点击“Initial Map”行中的  按钮，输入初始土地利用数据“wh2003\_refy.tif”。点击  按钮开始计算FoM系数。当程序完成计算时，会弹出一个消息框。

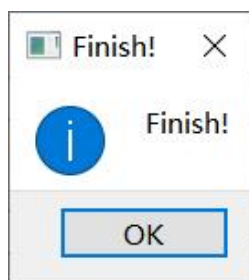


图 35 显示计算已完成的消息框

结果包括FoM统计数据 and producer's accuracy，这些数据将保存在“Parameterfile”文件夹中的“FoM.csv”文件中。

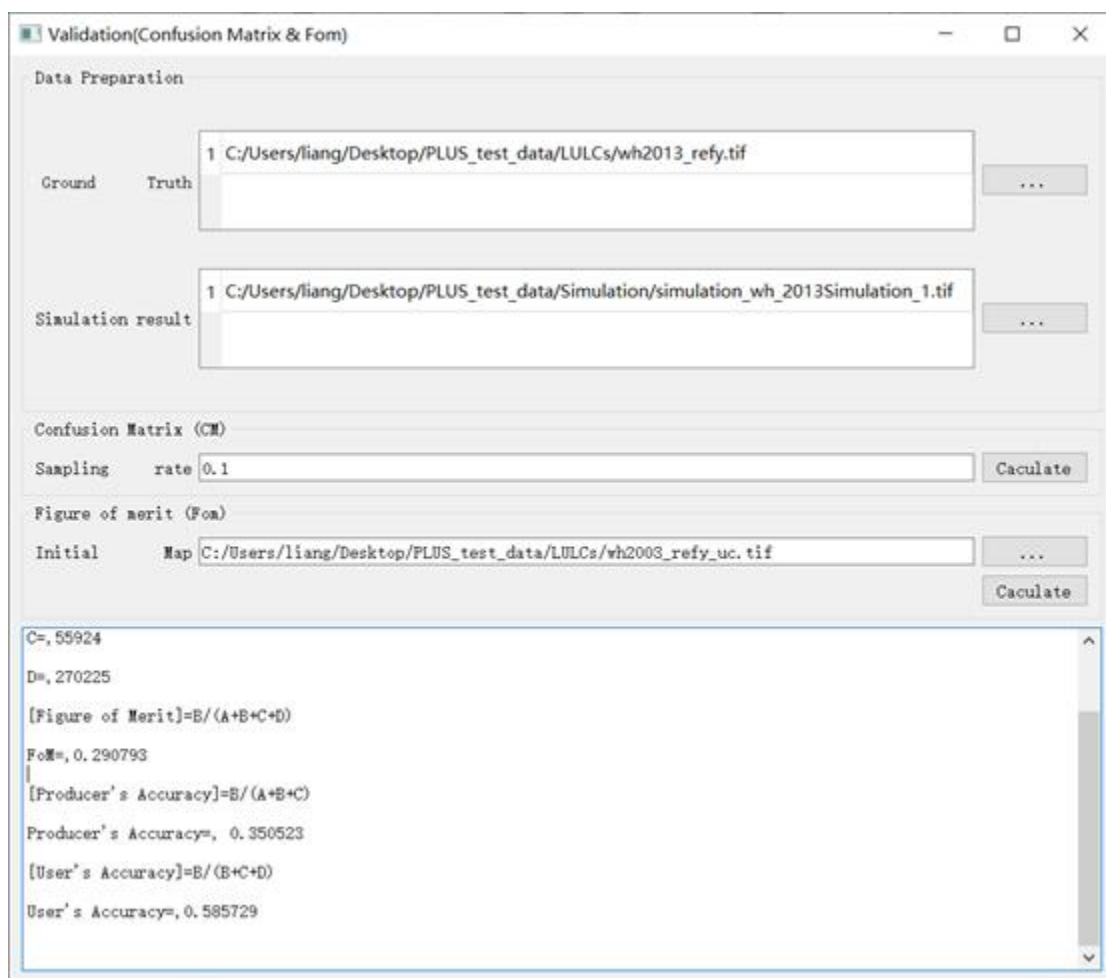


图 36 模拟结果的质量

## 4.6. 预测未来的土地使用需求

未来的土地利用需求可以通过许多方法来确定，例如专家经验、线性回归、马尔可夫链、系统动力学模型或综合评估模型。PLUS提供了线性回归方法和马尔可夫链方法。他们是基于历史数据来预测未来的土地利用需求。

### 4.6.1. 线性回归方法

单击“Linear regression”项目启动预测模块。

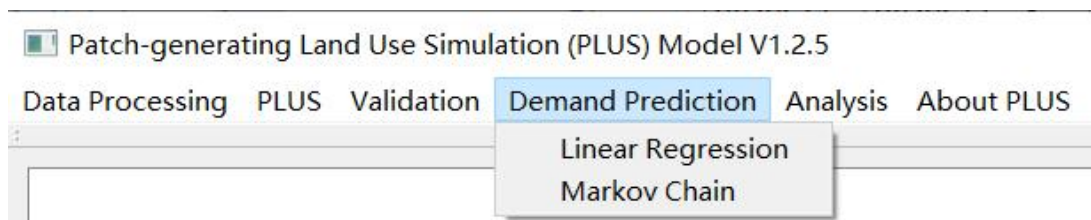





图 37 激活土地利用需求预测模块

#### 4.6.1.1.输入历史土地使用数据

点击  按钮，选择历史土地利用数据。在本例中，我们选取了2003年、2005年、2010年和2013年的数据。

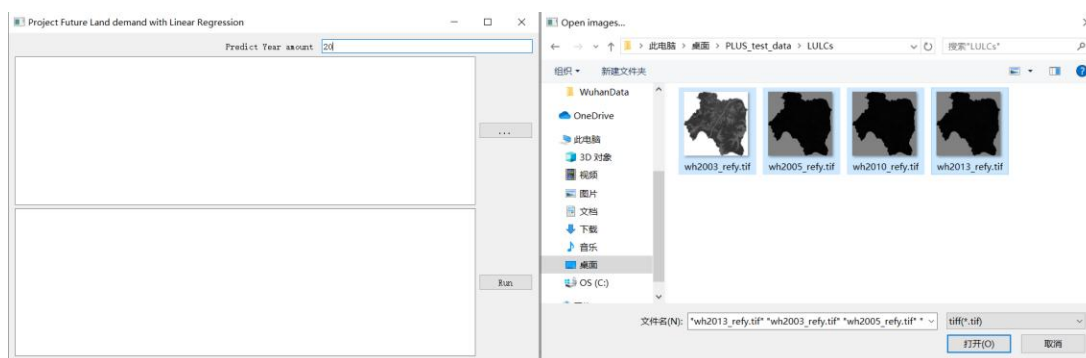


图 38 选择历史土地利用数据

程序可以自动读取文件名上的年份。用户也可以手动将年份输入到数据图表的“Year”栏。我们将预测年数设置为20，该模块将预测2013年至2033年（2013+20）的未来土地利用需求。

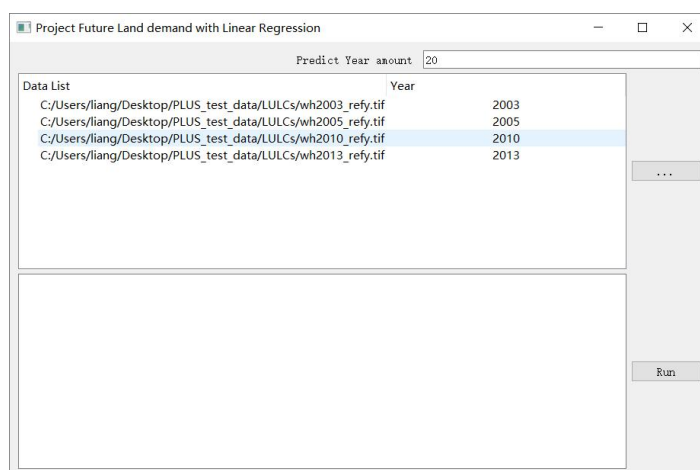



图 39 将历史土地利用数据输入需求预测模块

#### 4.6.1.2.运行线性回归并预测未来需求

点击  按钮开始计算未来的土地利用需求。当程序完成计算时，会弹出一个消息框。结果将显示在界面上，并保存在文件夹“Parameterfile”中的“PredictDemand.csv”

文件中。同时，还会给出线性回归的公式。

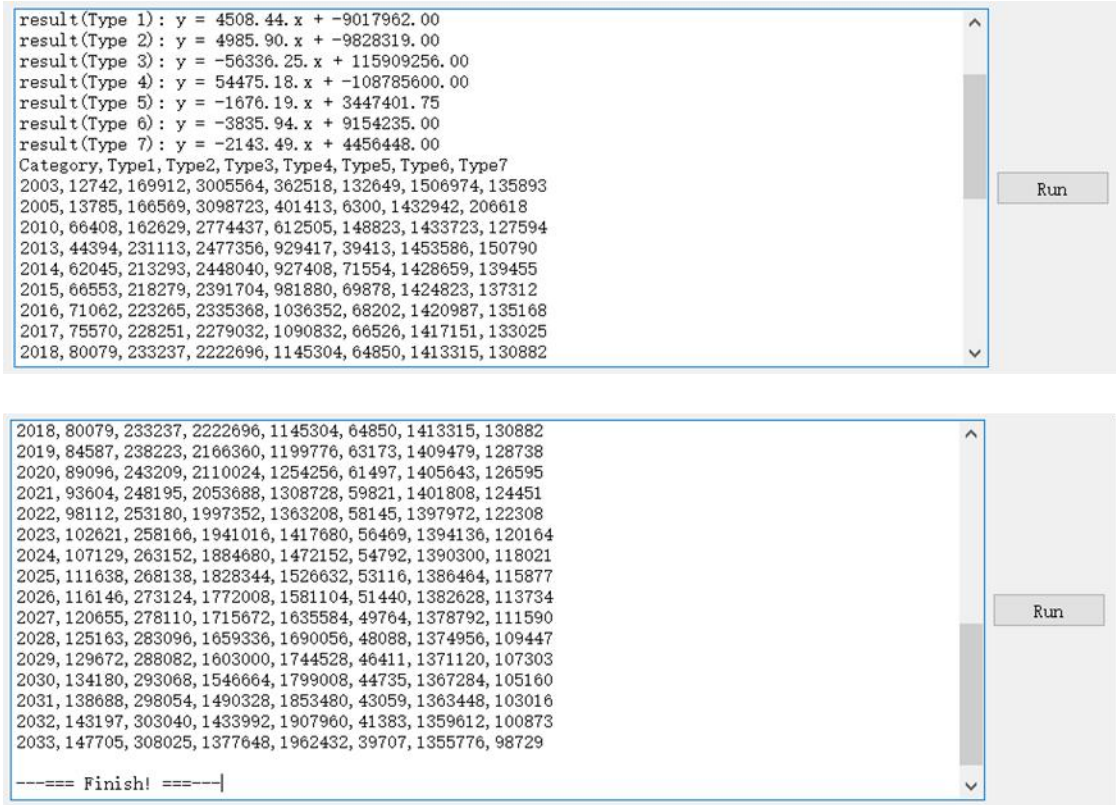


图 40 运行线性回归预测未来土地利用需求

### 4.6.2. 马尔可夫链方法

#### 4.6.2.1. 输入历史土地使用数据

点击“Markov chain”项，启动预测模块。

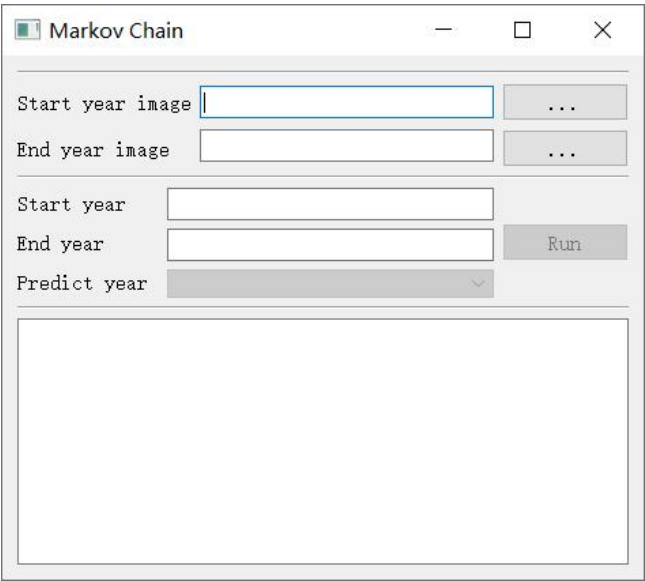


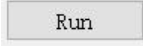


图 41 马尔可夫链的界面

单击“Start year image”行中的  按钮，输入起始年份的土地利用数据“wh2003\_refy.tif”。然后单击“End year image”行的  按钮，输入终止年份的土地利用数据“wh2013\_refy.tif”。然后单击“Predict year”下拉菜单。用户可以选择他们想要预测的未来年份，例如2033年。

#### 4.6.2.2.用马尔可夫链预测未来土地需求

单击  按钮开始计算未来的土地利用需求。当程序完成计算时，会弹出一个消息框。结果将显示在界面上，并保存在文件夹“Parameterfile”中的“MakovChain.csv”文件中。

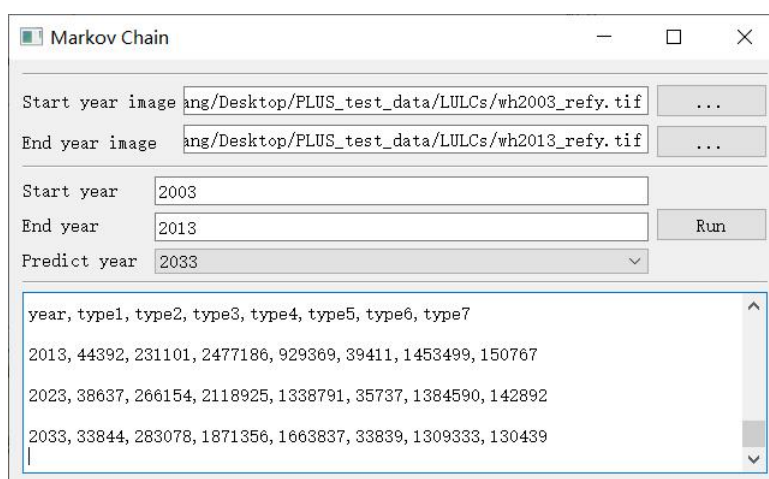


图 42 用马尔可夫链预测未来土地利用需求

#### 4.6.3. 模拟2013年至2033年的未来土地利用

单击“Land use pattern”文本行中的  按钮，并在弹出对话框中选择起始年份的土地利用数据“wh2013\_refy.tif”。然后在“Development Potential”组框中输入“LEAS”模块生成的2003年至2013年的发展潜力文件。输入2013年的开放水域地图“wh\_open\_water13.tif”作为土地利用约束数据，并选择模拟结果的输出路径。

其他模拟参数与验证过程（第4.4.6节）保持相同。用户需要导入预测的2033年的土地利用需求。在本教程中，我们分析了两种未来场景：1）线性回归场景和2）马尔可夫链场景。请注意，最终的每类土地利用面积将接近但可能不完全等于土地利用需求。因为最终

的土地利用面积不仅由“自上而下”土地利用需求决定，而且由“自下而上”局部地理条件决定。最终的土地利用面积是“自上而下”和“自下而上”相互作用的结果。

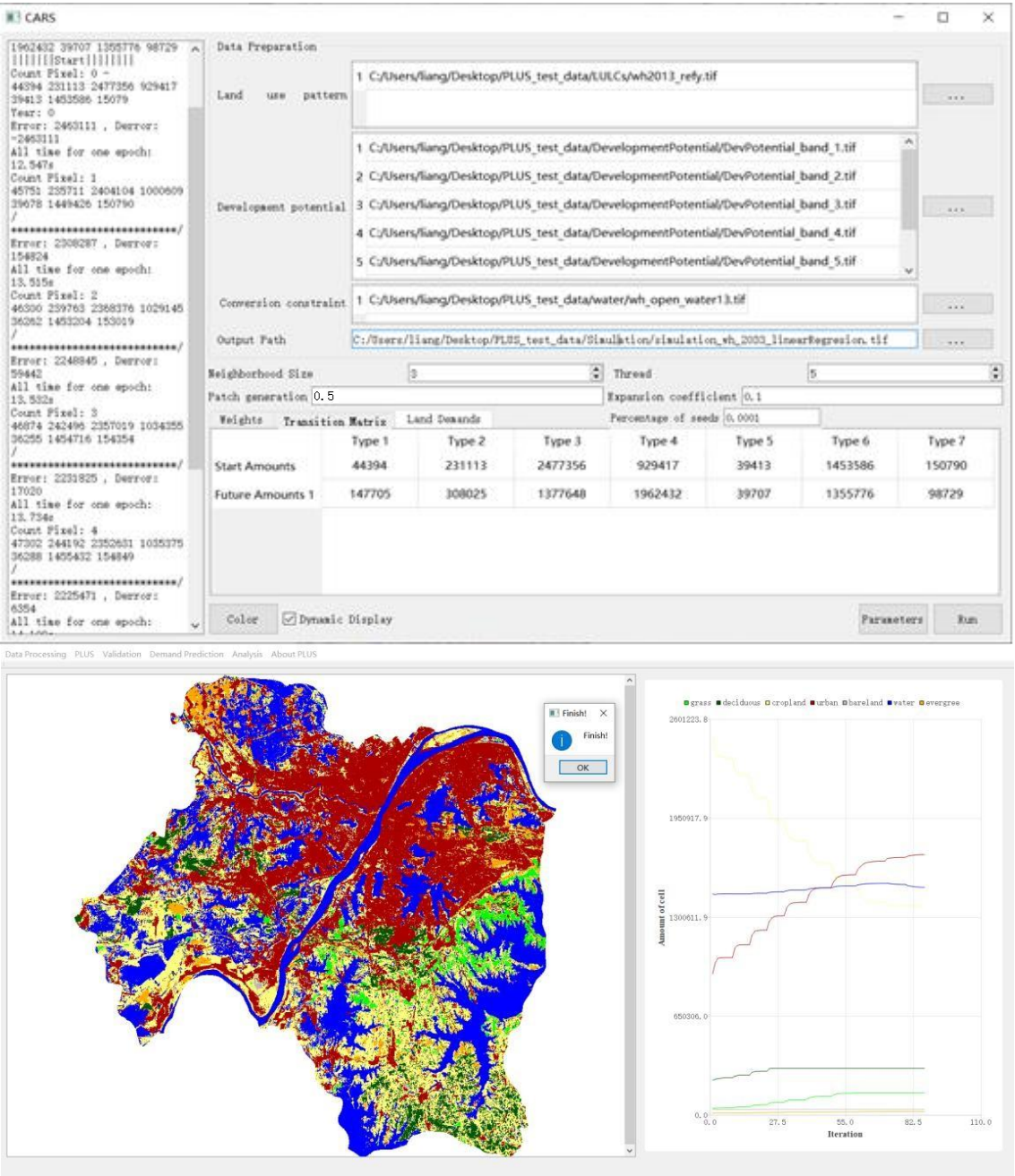


图 43 线性回归情景下2033年的参数设置和模拟结果



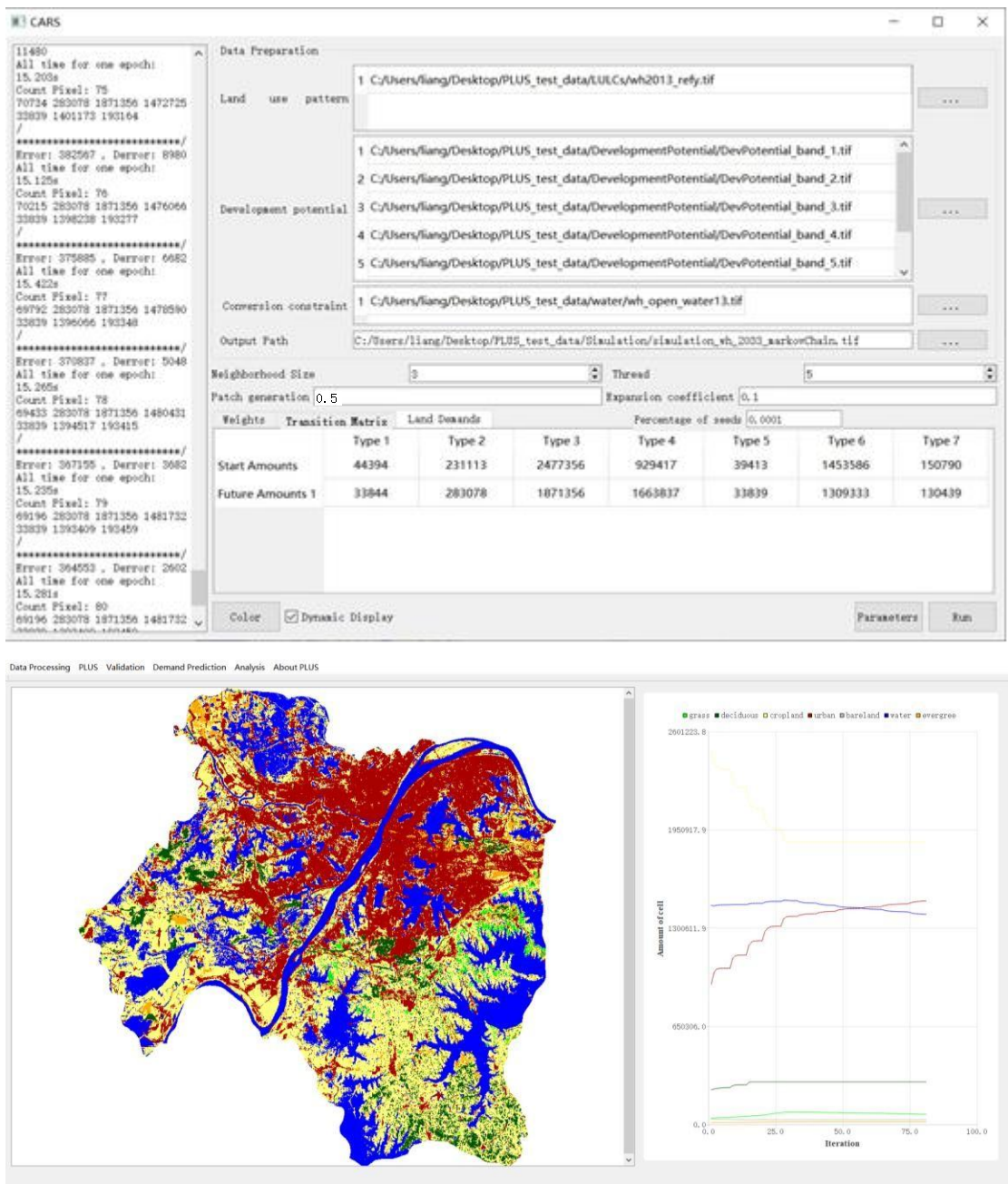


图 44 马尔可夫链情景下2033年的参数设置和模拟结果

PLUS 软件会将所有参数保存到“Parameterfile”文件夹中的配置文件“CARSParameters.tmp”中。点击 Parameters 按钮时，该模块将加载记录在配置文件中的参数，方便用户重复实验。

4.7. 场景多样性的计算

场景多样性描述了不同场景之间像素的不同。场景之间变化较多的区域对具有独特区域环境的场景更敏感。对保持不变的区域来说，区域环境的场景变化的影响不大。场景之间变化的区域（3个或更多场景）也代表了研究区域的变化热点。PLUS软件提供了一个计

算场景多样性的工具。

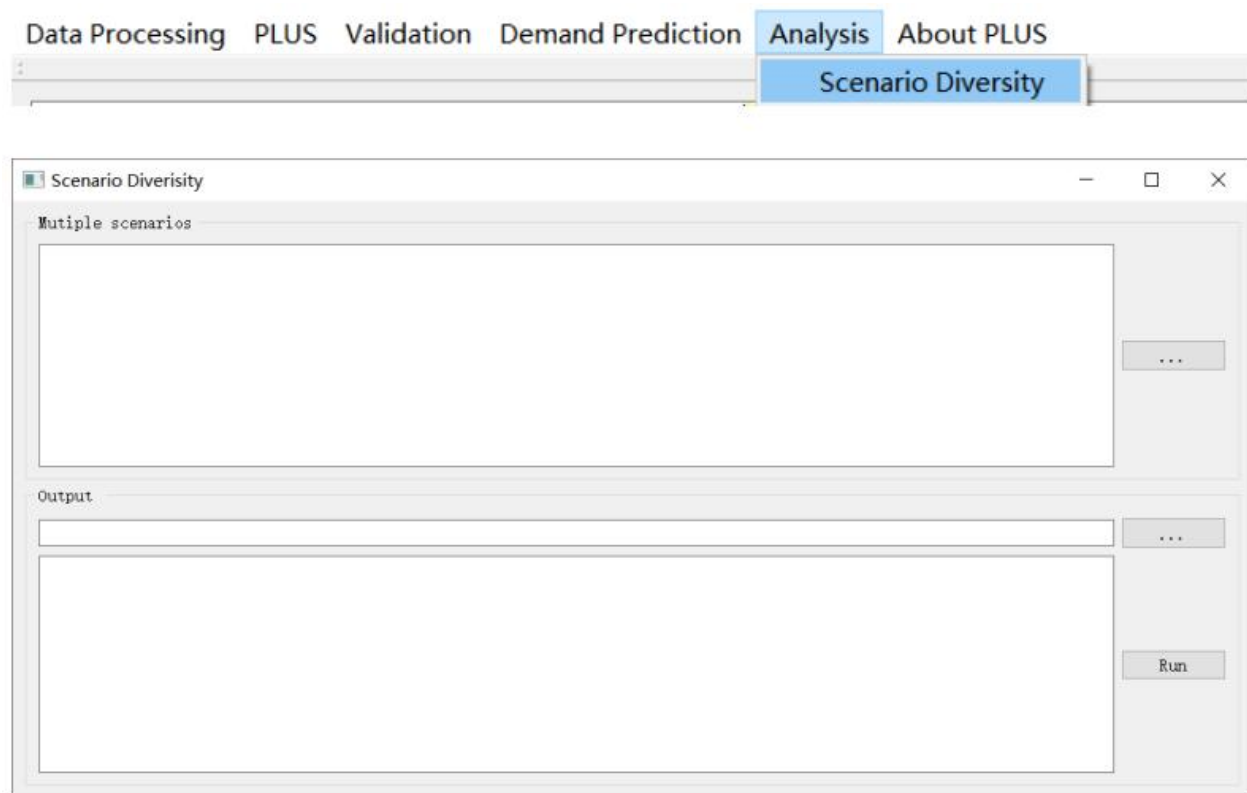




图 45 激活“Scenario Diversity”模块

#### 4.7.1. 输入不同场景下的多个模拟结果

点击“Multiple scenarios”行的  按钮，在弹出的对话框中选择上述两个场景下的2033年模拟结果。然后单击“Output”行中的  按钮，设置多样性图像的输出路径。

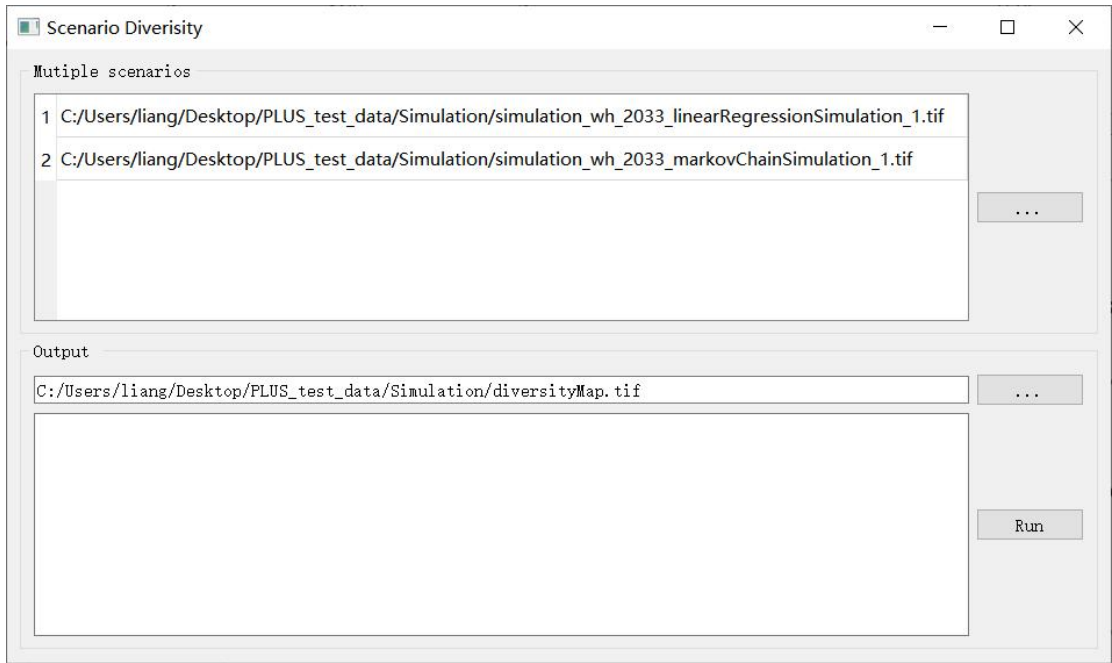



图 46 为“场景多样性”模块设置输入和输出路径

图43。为“Scenario Diversity”模块设置输入和输出路径。

4.7.2. 计算每个单元的土地利用混合程度

点击  按钮，生成2033年场景多样性地图。请注意，“Scenario Diversity”模块支持多种场景。本教程只提供了一个简单的案例研究，包含两个场景。



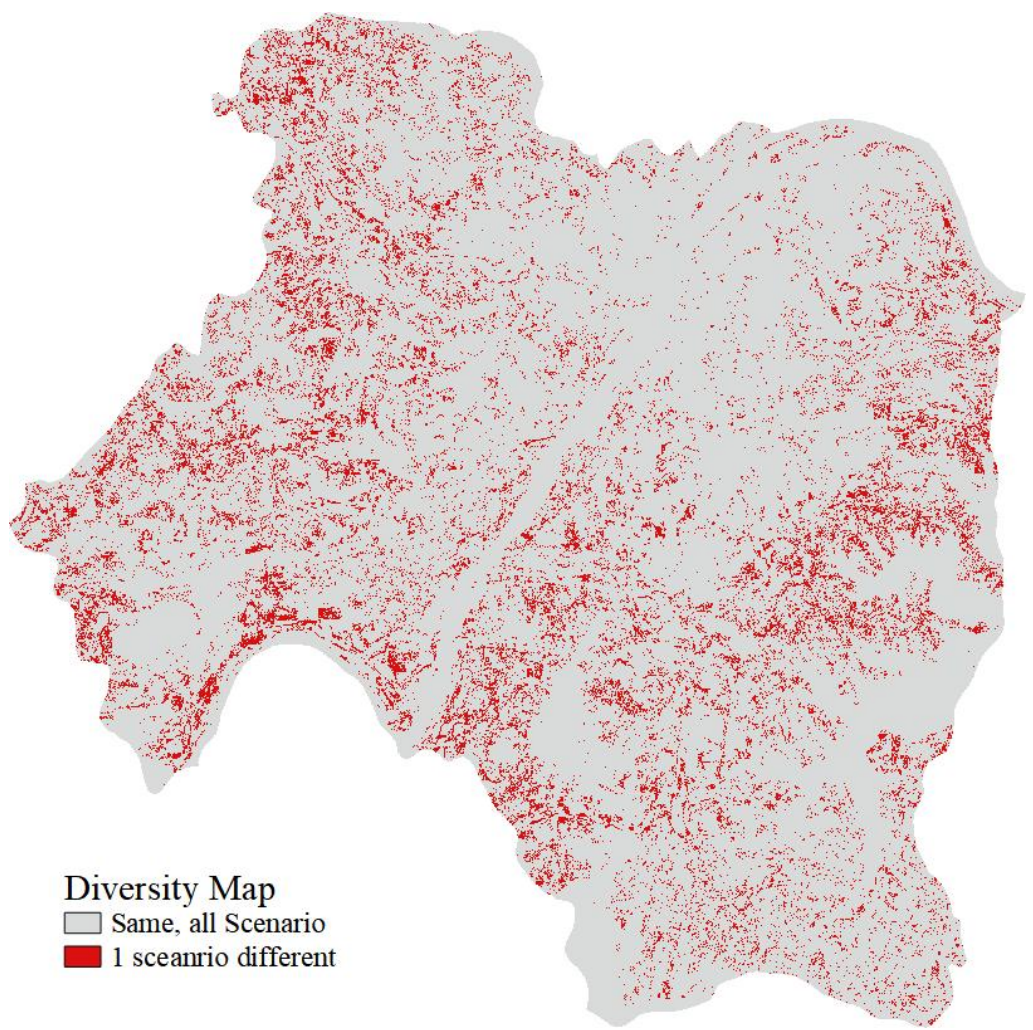


图 47生成2033年场景多样性地图

## 5. 常见问题

### 5.1. 无法打开PLUS模型



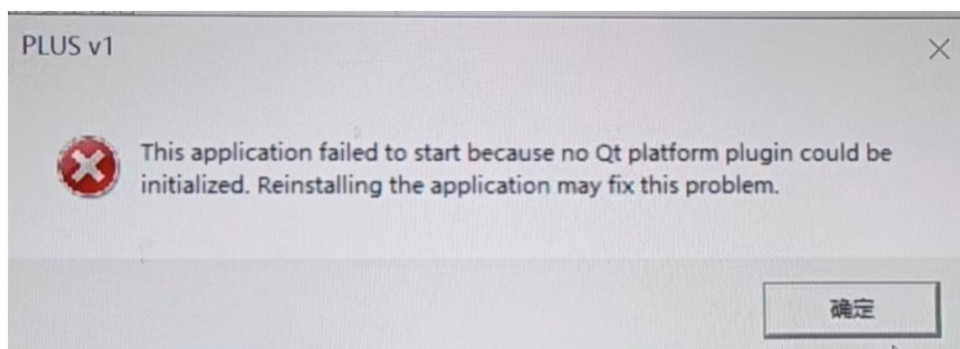


图 48无法启动PLUS模型

解决方法:

前往<https://www.microsoft.com/zh-cn/download/details.aspx?id=48145>。下载 x64 版本的 "Visual C++ Redistributable for Visual Studio 2015 "工具并安装。

## 5.2. LEAS 无法训练随机森林或在没有任何弹出窗口的情况下崩溃

当输出信息显示 "make df-trees success =-1 "时，表示 LEAS 模块训练随机森林模型失败。或者 LEAS 直接崩溃，没有弹出任何窗口。

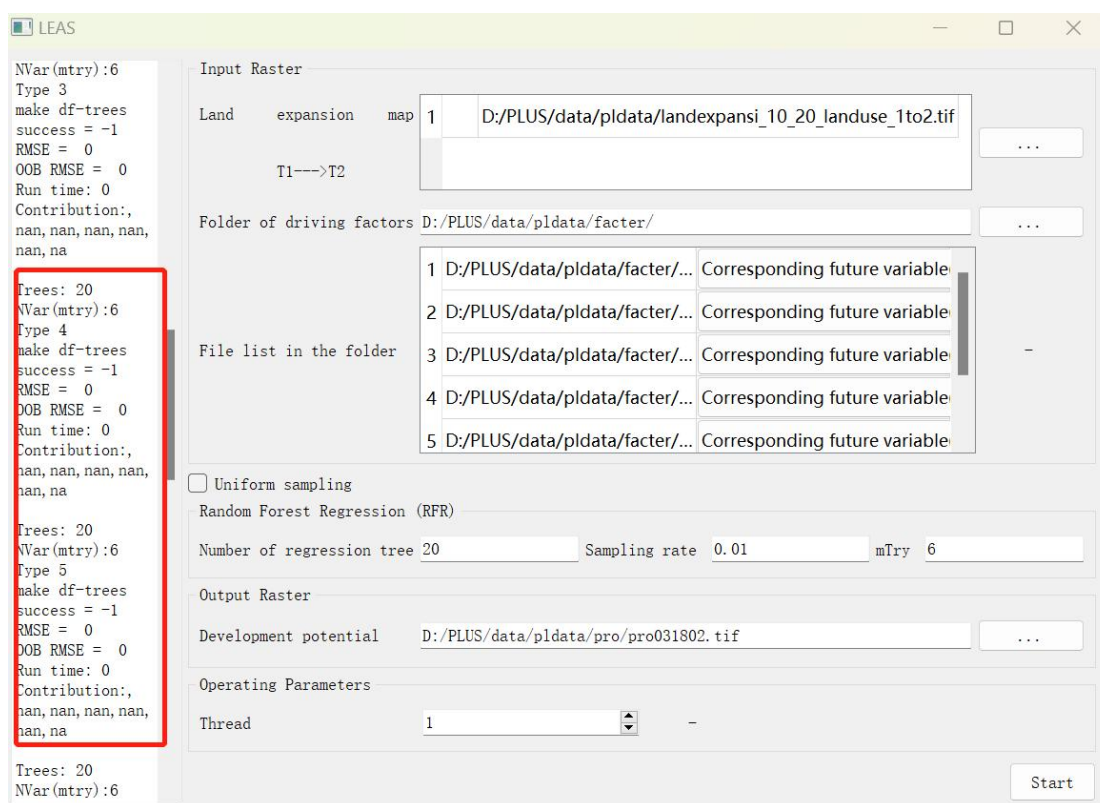


图 49LEAS模块运行时出错

解决方法:

用户可以只将一个驱动因素导入 LEAS 模块, 并查看 LEAS 是否能成功运行。如果 LEAS 无法运行, 则说明驱动因素有问题。如果 LEAS 可以使用一个驱动因素运行, 那么用户可以逐个添加新的驱动因素, 直到软件崩溃为止。通过这种方法, 用户可以找出所有有问题的驱动因素。最后, 用户可以使用 GIS 软件 (如 ArcGIS 或 QGIS) 统一这些驱动因素的行数、列数、坐标系和投影系, 并使其与 "土地扩张图" 相同。当所有驱动因素的行数、列数、坐标和投影系统与 "土地扩展图" 相同时, LEAS 才能成功运行。)

如果您觉得这样的操作比较繁琐, 那么您可以选择直接使用 GIS 软件, 批量统一所有驱动因素的行列号、坐标系和投影, 以及土地扩张图。软件肯定能够运行。

### 5.3. LEAS 崩溃时弹出窗口

当输出信息显示 "预测请稍候....." 时, 系统会弹出窗口崩溃, 这意味着运行过程中产生的数据量超过了用户笔记本电脑或 PC 的内存容量。

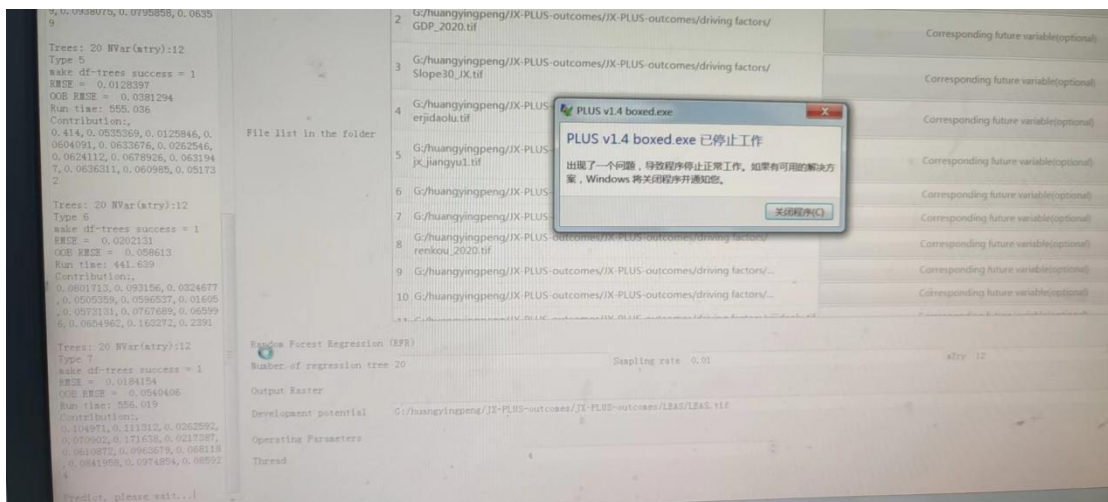


图 50 模型运行的数据量超出本地内存

解决方法:

降低数据分辨率以减少数据量。或使用内存更大 (64G 或 128G) 的服务器或工作站。

### 5.4. LEAS 输出的发展潜力具有随机噪声点



当 LEAS 输出的发展潜力出现噪声点时，可能会导致最终模拟结果出现噪声点。

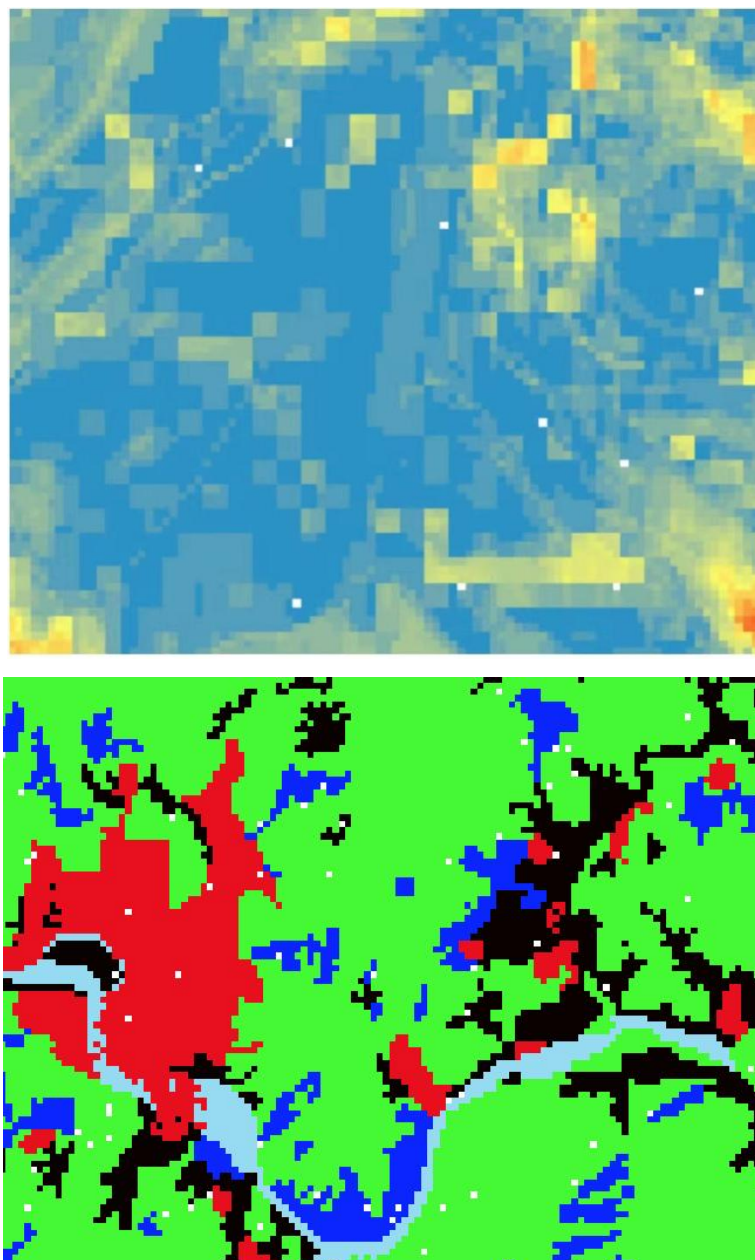


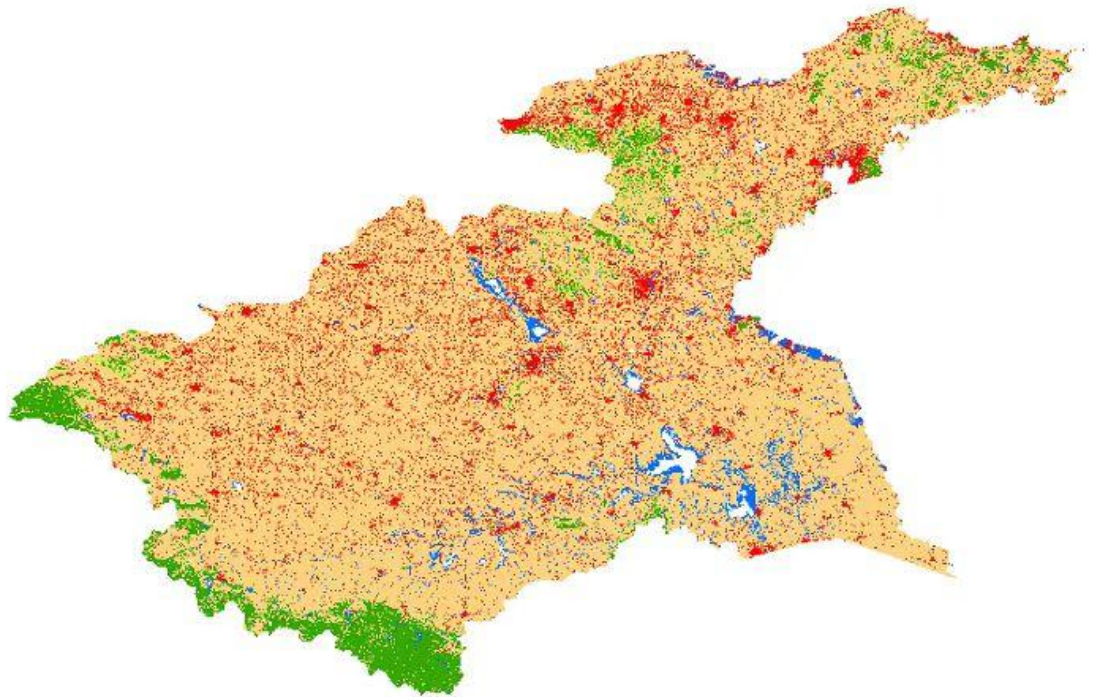
图 51 伴随随机噪声点的模拟结果。

解决方法：

在 LEAS 模块中将线程设置为 1，并重新运行 LEAS 模块，然后将新的开发潜能值导入 CARS 模块并重新运行。

### 5.5. 模拟结果中存在无数据区域

5.6.



5.7.

图 52模拟结果中出现了无数据区域

解决方法:

驱动因素中存在无数据区域，结果在发展潜力和模拟结果中也存在无数据漏洞。那么去除无数据区域的驱动因素可以解决这个问题。

## 5.8. 马尔可夫链输出 NAN 值

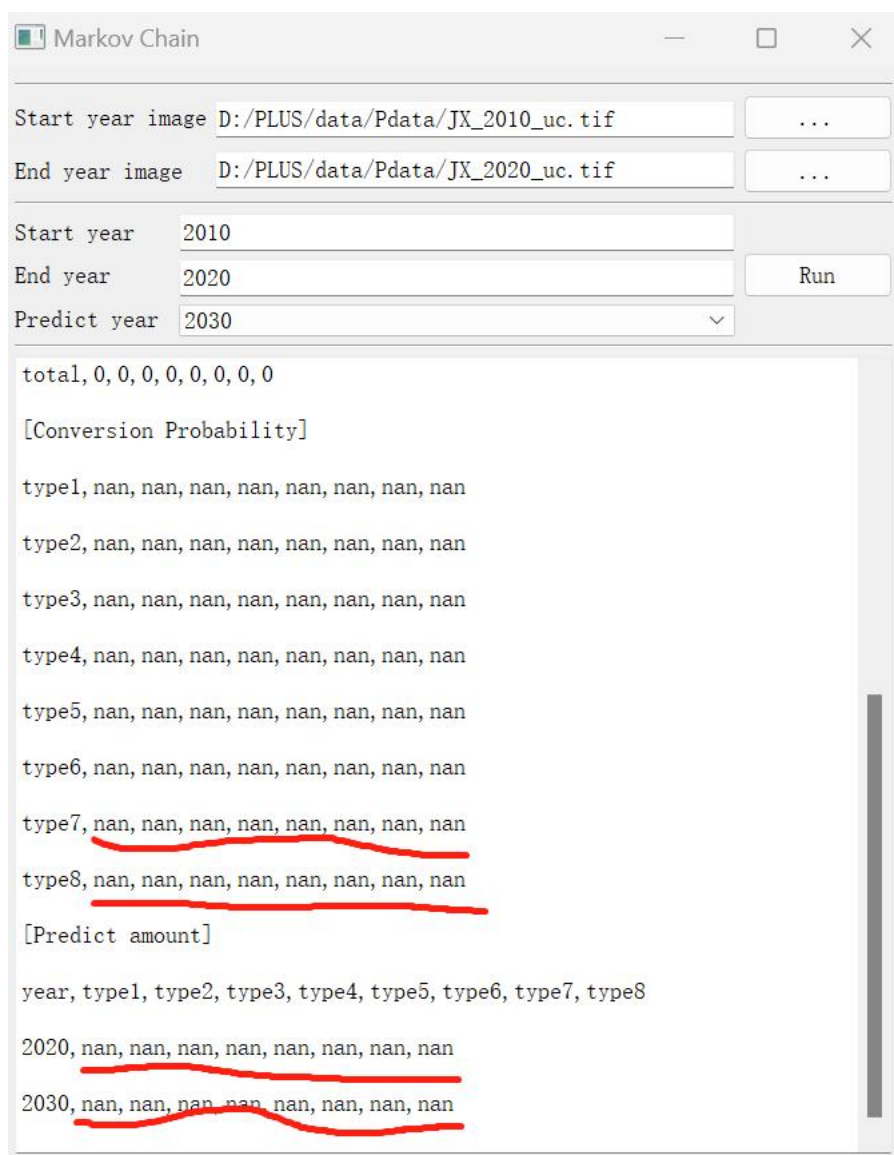


图 53 马尔可夫链输出异常

解决方法:

检查两个土地利用数据的分类号是否为无间隙的连续整数，并确保两个输入数据的行号和列号一致。

## 5.9. 某种土地利用类型的数量总是达不到设定的斑块需求数量

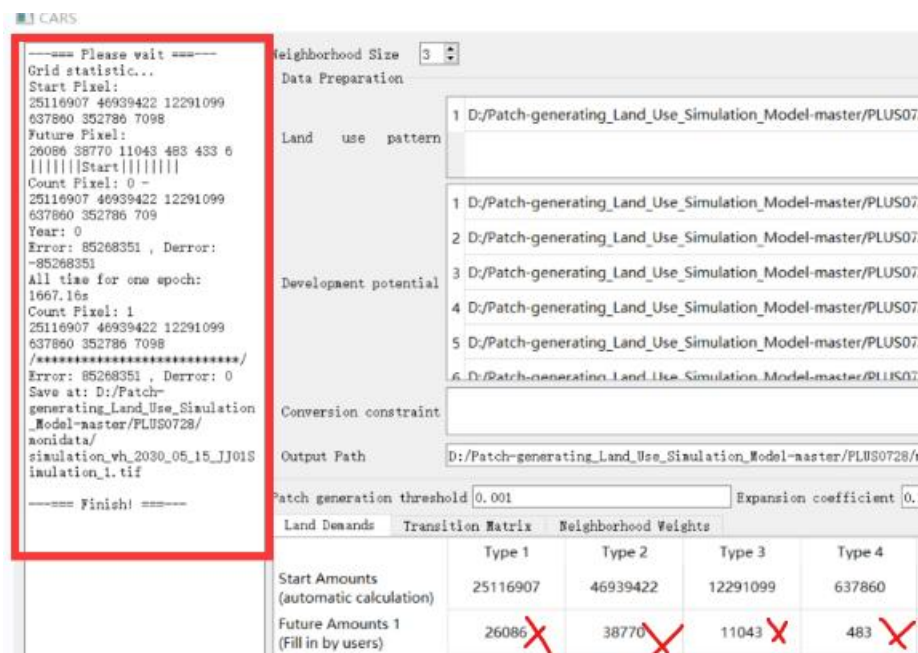


图 54模拟迭代未达到预期的土地利用需求

解决方法:

当某一土地利用类型的模拟数量未达到预期数量时，以下是一些故障排除建议：

- 1) 检查 LEAS 模块输出的发展概率值——确保它们正常生成，而不是全部为空。
- 2) 将未来量设置与起始量进行比较 - 它们的数量级应该相近。
- 3) 尝试调整参数，使其更接近目标值：

增加邻域大小（Neighborhood size） - 尝试 11、21等值。这会增加邻域效果。

降低斑块生成阈值（Patch generation threshold）。

增大扩张系数（Expansion coefficient）。

对于更高级的调整，首先，您需要非常熟悉为什么在您研究区域的模拟模型中土地利用不会继续变化。例如，城市地区依靠占用农田来满足需求，而农田则依靠占用森林来满足需求。您可能会遇到这种情况：农田开始迅速占用森林，然后很快达到目标，并被锁定；这导致城市来不及占用足够的农田，无法达到目标需求。在这种情况下，您可能希望分两个阶段进行模拟：

第1阶段：设置稍多一点的农田，以免它过快达到目标并被锁定。获得阶段1的结果。

第2阶段：利用第1阶段的结果，奔向最终目标。

例如，如果您初始土地利用数据的数量是 城市：5；农田：18；森林：12；最初的目标是 城市：10；农田：20；森林：5：5。但农田可能会快速达到20而被锁定，导致森林无法再被农田侵占；因为离城市较远，也无法被城市直接侵占，从而无法从12降低到5。那么就可以采用两阶段的模拟方法：

在第一阶段，您可以模拟农田的数量增长先超过目标值：7；农田：23；森林：5：5。根据第一阶段的模拟结果，再在第二阶段模拟农田的数量减少回目标值：城市：10；农田：20；森林：5：5。

## 6. 版权声明与联系方式

Patch-generating Land Use Simulation Model Software

Version 1.0

联系方式：梁迅 [liangxun@cug.edu.cn](mailto:liangxun@cug.edu.cn)

Copyright 2020 HPSCIL All Rights Reserved