斑块生成土地利用变化模拟模型介绍
(Patch-generating Land Use Simulation Model, PLUS)

开发团队：HPSCIL@CUG实验室

软件使用问题请联系：梁迅 博士 （liangxun@cug.edu.cn）

团队负责人：关庆锋 教授（guanqf@cug.edu.cn）

中国地质大学（武汉）

地理与信息工程学院 & 国家GIS工程技术研究中心

高性能空间计算智能实验室（HPSCIL）

CONTENT

01 PLUS模型的基本原理
02 PLUS软件的使用教程

01

PLUS模型的基本原理

01 引言

地理元胞自动机(Cellular Automata，CA)的建模目的是为了辅助土地政策的制定(Sohl & Claggett, 2013)。然而大多数已有的CA模型过于关注模拟技术的提升和转化规则的校正，顾及如何采用模拟技术加深对土地利用潜在驱动力的理解的研究相对较少 (Cao, Tang, Shen, & Wang, 2015;Engelen, White, Maarten, & Bernhard, 2002)。

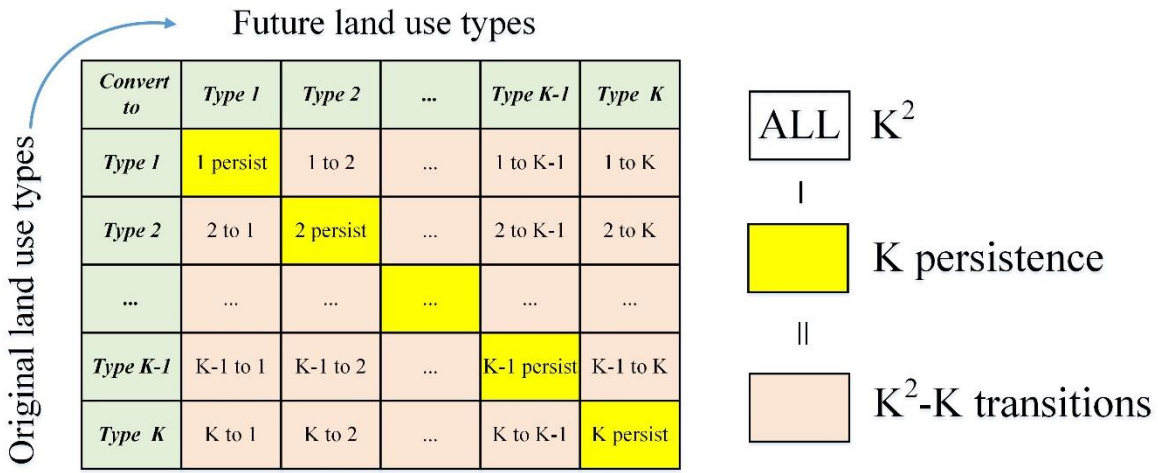
因此，对于决策者来说已有的CA模型往往：(1) 在探索土地利用变化的起因方面起到的作用比较有限 (Sohl & Claggett, 2013)；(2) 难以时空动态地模拟多种土地利用类型的斑块级变化，特别是对于林地、草地等自然用地类型(Meentemeyer et al., 2013; Yang, Gong, Tang, & Liu, 2020)。

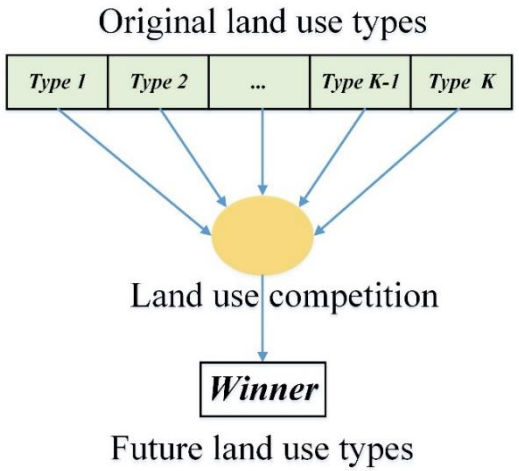
已有CA模型在转化规则挖掘策略和景观动态变化模拟策略两个方面都存在一定的不足，因而导致这两方面在近几年的研究中没有获得足够的进展。

01 现有主要转化规则挖掘策略

转化分析策略(TAS)：需要提取两期土地利用数据之间各类用地相互转化的样本进行训练，基于转化概率进行模拟。包括logistic-CA (Wu & Webster, 1998), ANN-CA (Omrani el al., 2019) 等。但在多类模拟中，转化类型随着类别的增加而呈指数增长($K \rightarrow (K^2-K)$)。从而导致模型复杂性增加，灵活度降低，并对挖掘算法提出了更高的要求。

格局分析策略(PAS)：仅需提取一期土地利用数据各类用地的样本进行训练，基于浮现概率和土地竞争进行模拟，包括CLUE-s (Verburg et al., 2002), Fore-SCE (Sohl & Sayler, 2008) 和FLUS (Liu et al., 2017) 等。该方法非常适用于多类土地利用模拟，但该策略不是基于一段时间内土地利用变化的建模，缺乏时段概念和对土地利用变化驱动机理的挖掘能力。





01

制约斑块级景观模拟的因素

模拟斑块生成的景观演化模拟有利于管理者提前对景观系统进行评价、规划、设计和管理 (Keane, Parsons, & Hessburg, 2002)。尽管研究者提出了一系列基于栅格或矢量数据模拟斑块变化的模型 (Yang, Gong, Tang, & Liu, 2020; Yao et al., 2017)。然而，这些模型普遍关注城市用地，很少关注自然用地类型的斑块变化。

Sohl, el al., (2007) 提出了FORE-SCE可用于自然用地的斑块变化模拟。但该模型无法模拟有大量斑块扩张情况下的土地利用变化，所以该模型还是以简单的概率切割方法来模拟城市的发展。总的来说，已有研究缺乏一个灵活的处理多类土地利用斑块变化的机制，用于模拟精细尺度的土地利用变化。制约了CA在实际规划和土地政策制定方面的应用。

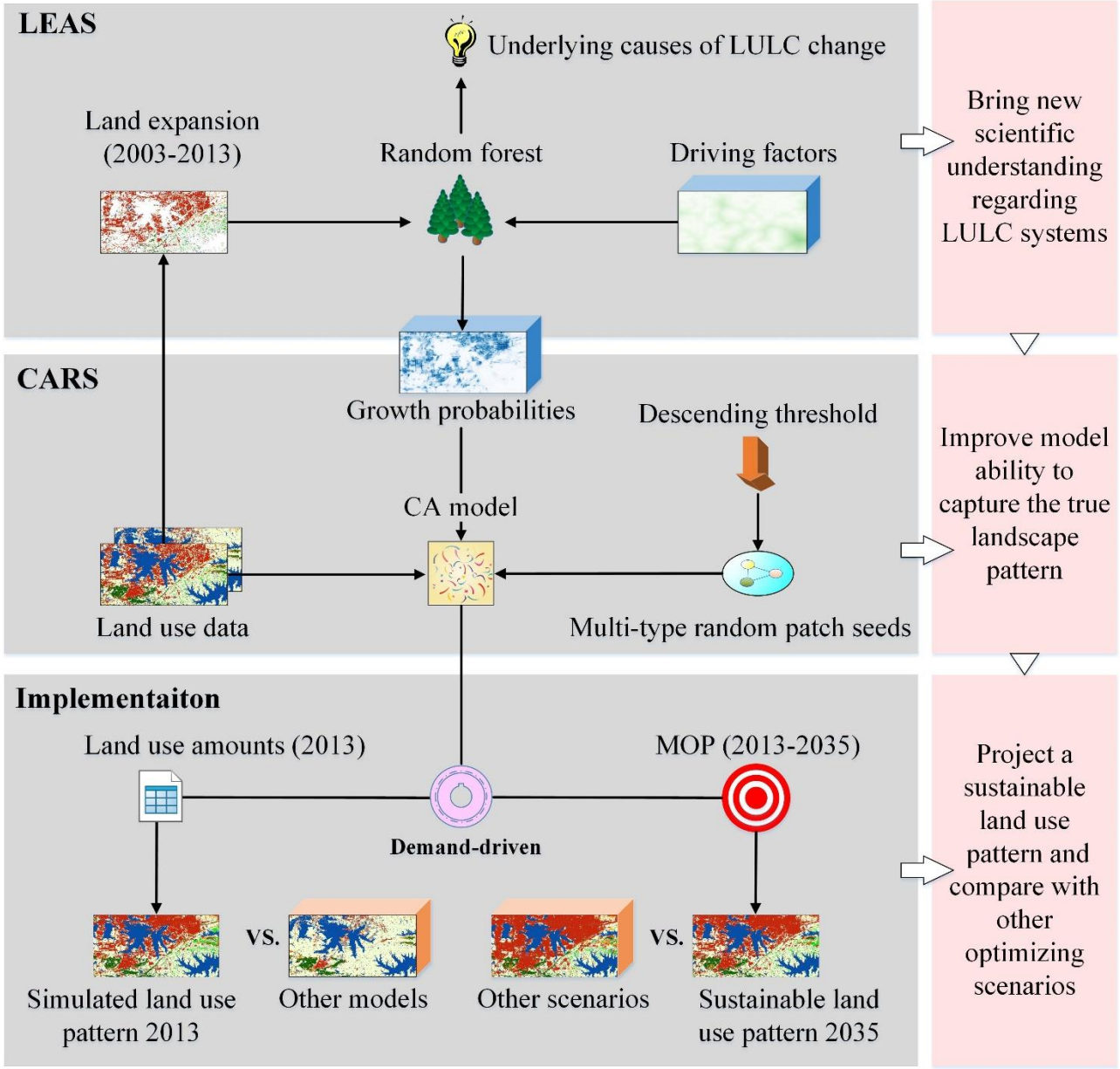
01 研究目的和意义

因此，本研究基于栅格数据，提出一种斑块生成土地利用变化模拟模型(patch-generating land use simulation, PLUS), 该模型：

1）应用一种新的分析策略，可以更好地挖掘各类土地利用变化的诱因。

2）包含一种新的多类种子生长机制，可以更好地模拟多类土地利用斑块级的变化。

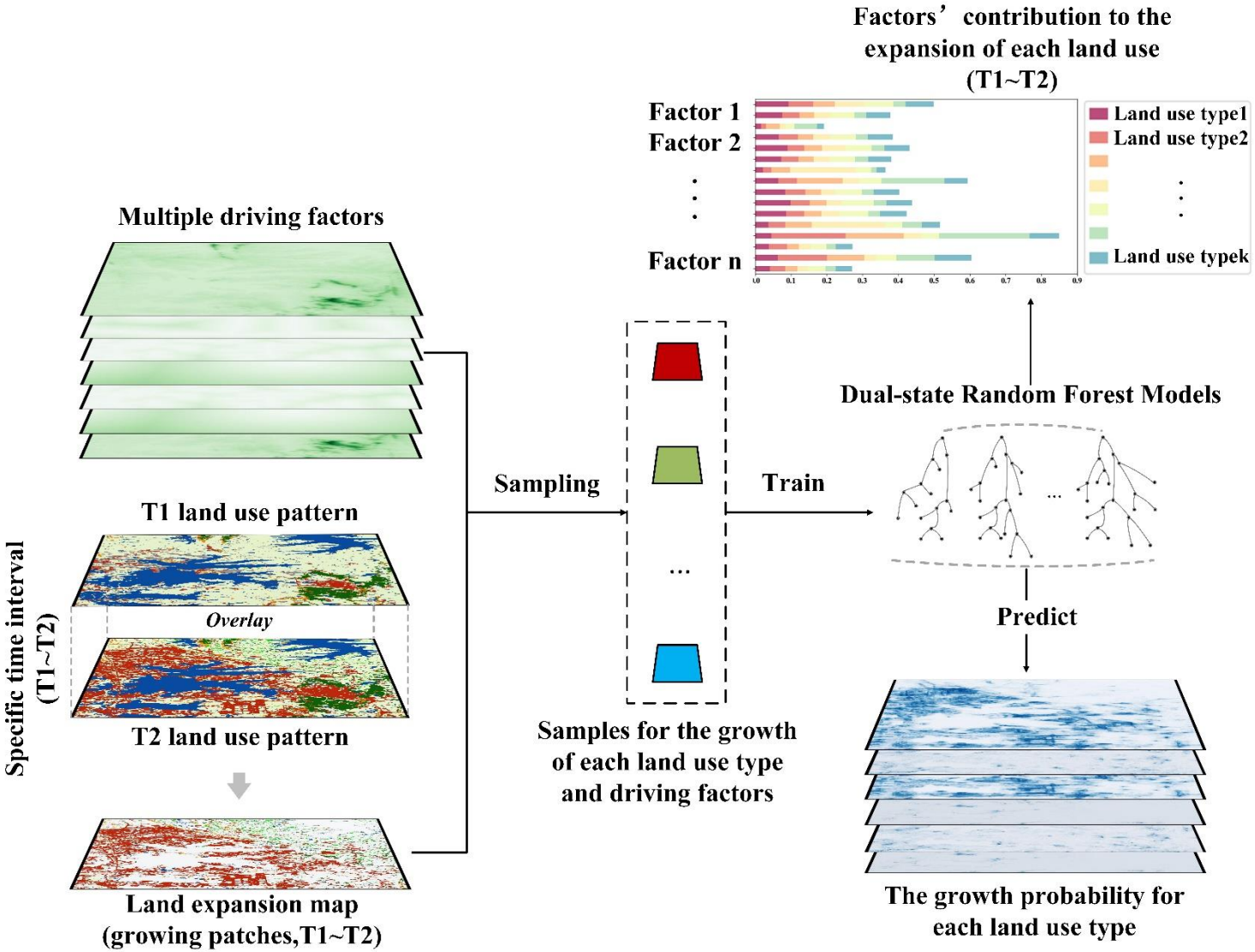
3）与多目标优化算法耦合，模拟结果可以更好地支持规划政策以实现可持续发展。



01 用地扩张分析策略（LEAS）

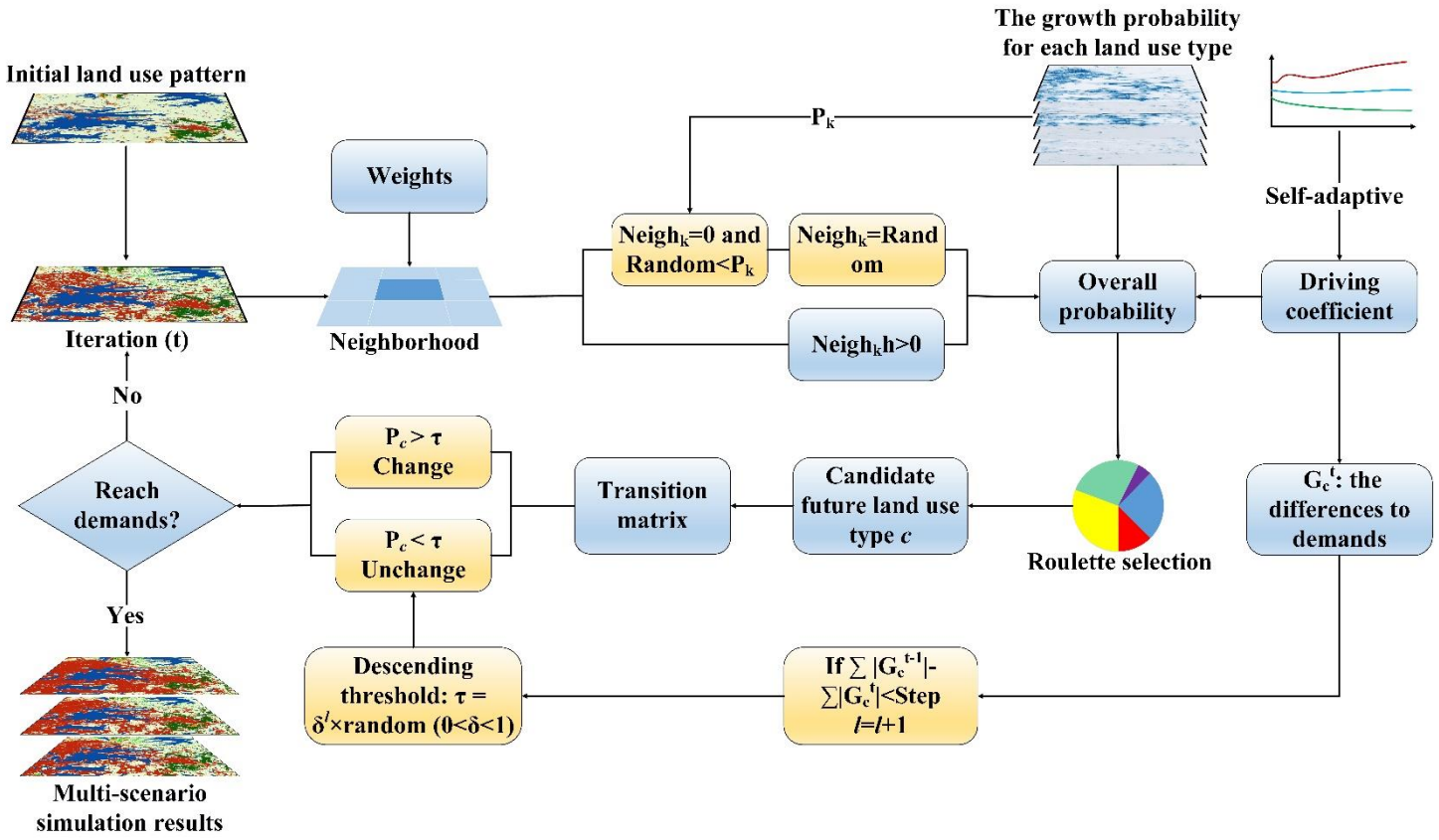
该策略提取两期土地利用变化间各类用地扩张的部分。并从增加部分中采样，采用随机森林算法逐一对各类土地利用扩张和驱动力的因素进行挖掘。获取各类用地的发展概率，及驱动因素对该时段各类用地扩张的贡献。

该策略融合已有TAS和PAS的优势，避免了对随着类别数量指数增长的转化类型进行分析；而且保留了模型在一定时间段分析土地利用变化机理的能力，具有更好的解释性。



01 基于多类随机斑块种子的CA模型（CARS）

结合随机种子生成和阈值递减机制，PLUS模型得以在发展概率的约束下，时空动态地模拟斑块的自动生成。



多类随机种子生成

$$OP_{i,k}^{1,t} = \begin{cases} P_{i,k}^1 \times (r \times \mu_k) \times D_k^t & if\ \Omega_{i,k}^t = 0\ and\ r < P_{i,k}^1 \\ P_{i,k}^1 \times \Omega_{i,k}^t \times D_k^t & all\ others \end{cases}$$

$$\Omega_{i,k}^t = \frac{con(c_i^{t-1} = k)}{n \times n - 1} \times w_k$$

$$D_k^t = \begin{cases} D_k^{t-1} & if\ |G_k^{t-1}| \le |G_k^{t-2}| \\ D_k^{t-1} \times \frac{G_k^{t-2}}{G_k^{t-1}} & if\ 0 > G_k^{t-2} > G_k^{t-1} \\ D_k^{t-1} \times \frac{G_k^{t-1}}{G_k^{t-2}} & if\ G_k^{t-1} > G_k^{t-2} > 0 \end{cases}$$

阈值递减

$$\text{If } \sum_{k=1}^N |G_c^{t-1}| - \sum_{k=1}^N |G_c^t| < Step \text{ Then, } d = d + 1$$

$$\begin{cases} Change & P_{i,c}^1 > \tau\ and\ TM_{k,c} = 1 \\ Unchange & P_{i,c}^1 \le \tau\ \ or\ \ TM_{k,c} = 0 \end{cases} \qquad \tau = \delta^d \times r$$

02

PLUS软件的使用教程

02 软件下载

PLUS模型基于C++语言开发，采用开源库：

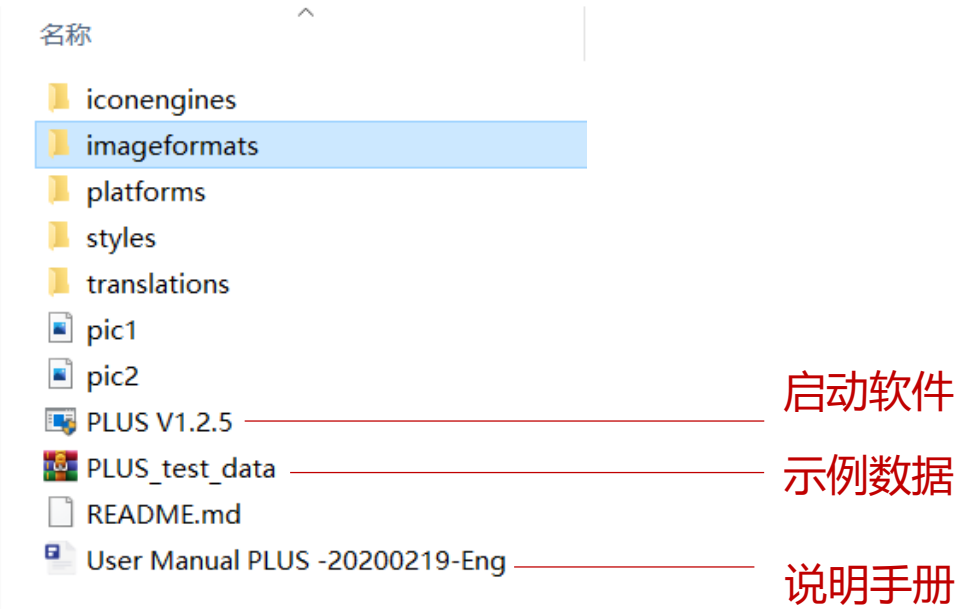
Alglib 3.9.2 (http://www.alglib.net/)

Qt 5 (https://www.qt.io/download/)

GDAL 2.0.2 (http://www.gdal.org/)

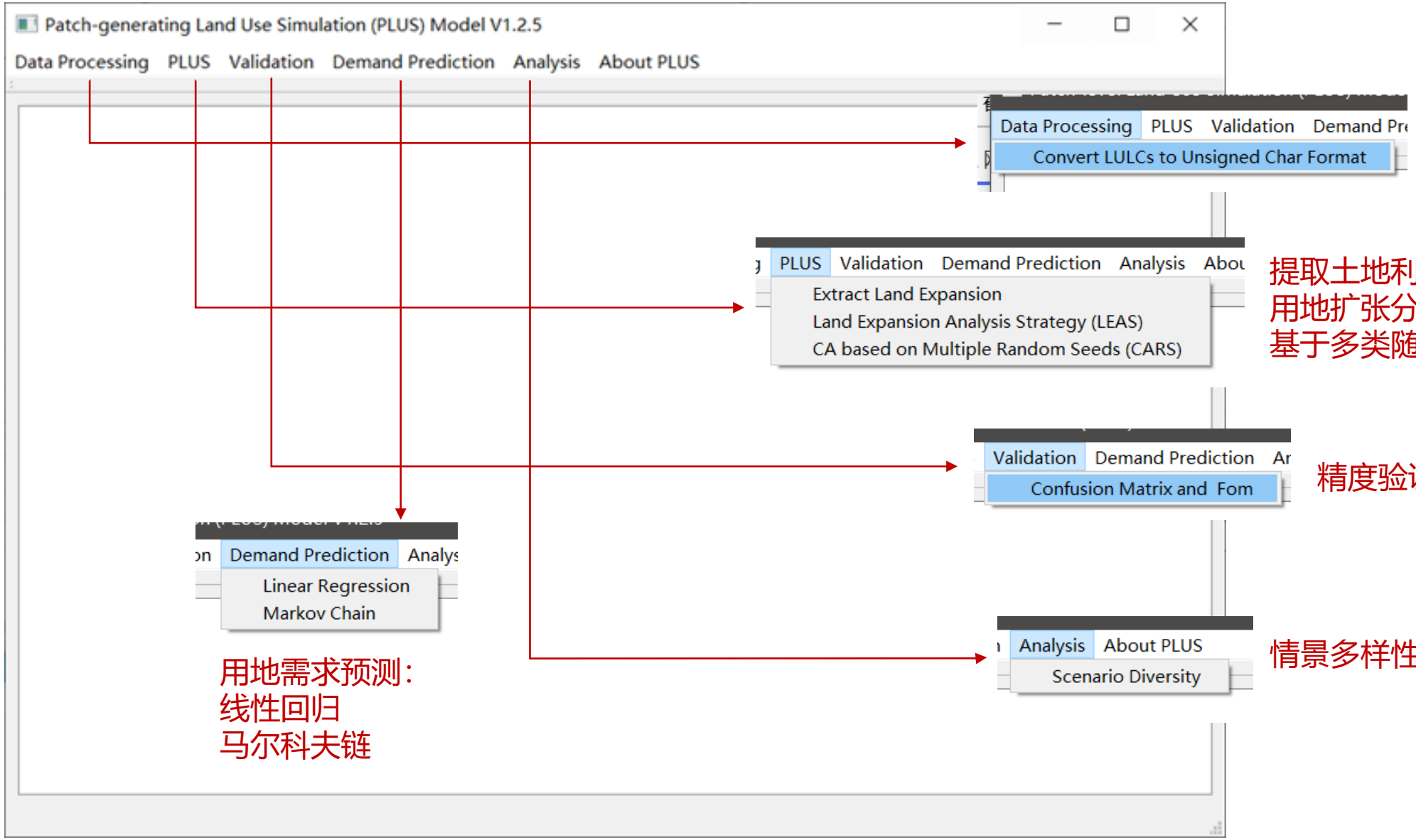
- ✓ 土地利用/土地覆盖变化模拟
- ✓ 政策制定
- ✓ 土地利用变化规律挖掘
- ✓ 城市规划
- ✓ 生态安全预警

下载链接：https://github.com/HPSCIL/Patch-generating_Land_Use_Simulation_Model



PLUS模型软件可以独立运行在Windows Vista/7/8/X64位环境，没有任何依赖和安装过程

02 主界面



数据格式转换

提取土地利用扩张；
用地扩张分析策略；
基于多类随机种子的CA模型；

精度验证（Kappa和Fom）

情景多样性分析

用地需求预测：
线性回归
马尔科夫链

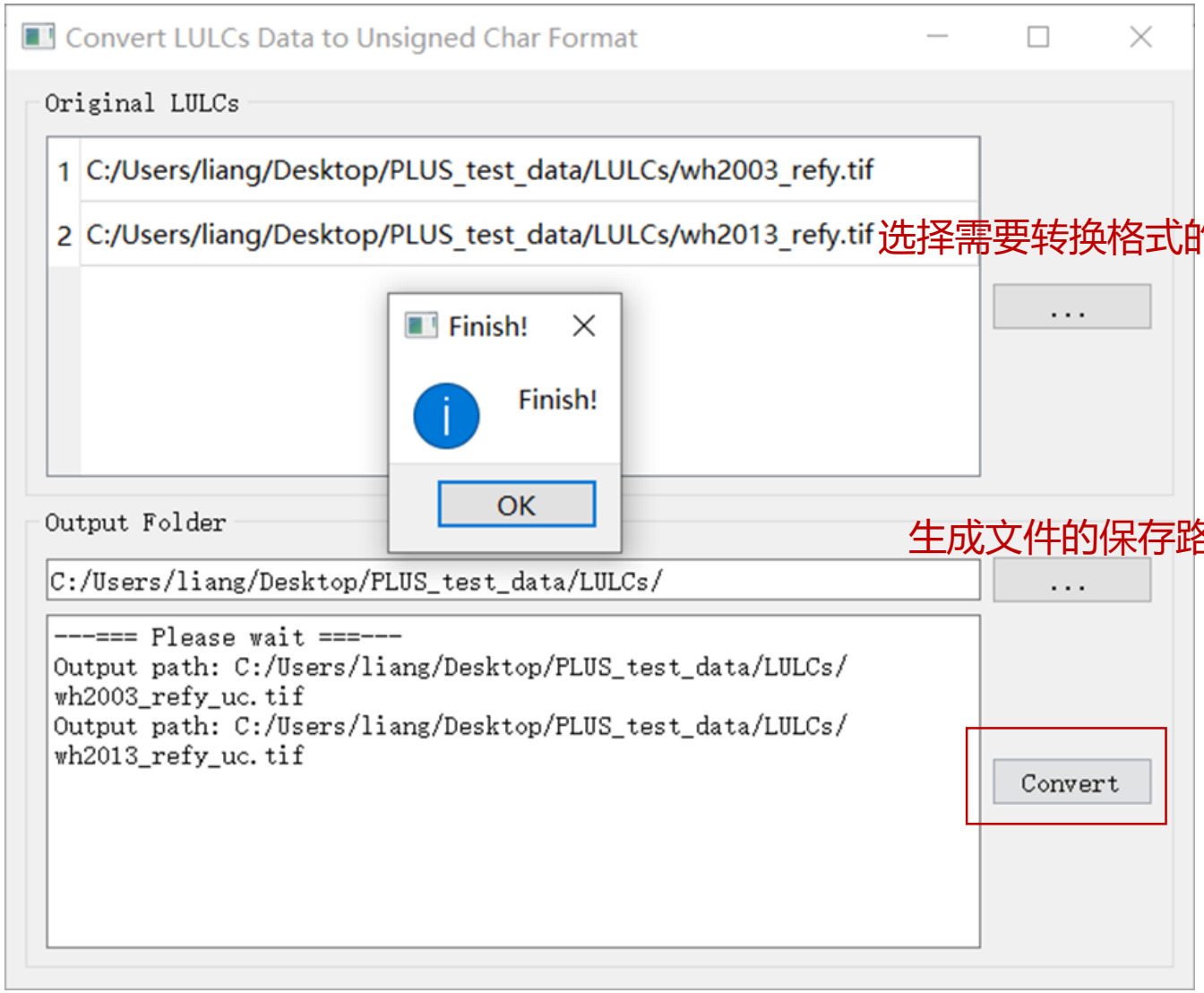
02 测试数据

类型	数据	文件名	描述
土地利用数据	武汉市2003年土地利用分类数据	wh2003_refy.tif	1: 草地； 2: 落叶林； 3: 耕地； 4: 建设用地；5: 裸地； 6: 水域；7: 常绿林地
	武汉市2013年土地利用分类数据	wh2013_refy.tif	
限制转换区域数据	土地利用限制因素	wh_open_water13.tif	
社会经济数据	人口	wh_Pop.tif	http://www.geodoi.ac.cn/WebCn/Default.aspx
	GDP	wh_gdp2010.tif	
	到主干道距离	wh_dist_trunk.tif	OpenStreetMap (https://www.openstreetmap.org/)
	到一级道路距离	wh_dist_primary.tif	
	到二级道路距离	wh_dist_secondary.tif	
	到三级道路距离	wh_dist_teriary.tif	
	到铁路距离	wh_dist_railway.tif	
	到高速公路距离	wh_dist_highway.tif	
	到高铁站距离	wh_dist_highspdstation.tif	http://lbsyun.baidu.com/
	到政府距离	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/844010ba-d359-4020-bf76-2b58806f9205)
	年平均温度	wh_df_tem.tif	WorldClim v2.0 (http://www.worldclim.org/)
	年平均降水量	wh_df_pre.tif	
	高程	wh_df_dem.tif	NASA SRTM1 v3.0
	坡度	wh_df_slope.tif	
	到水域的距离	wh_dist_openwater.tif	

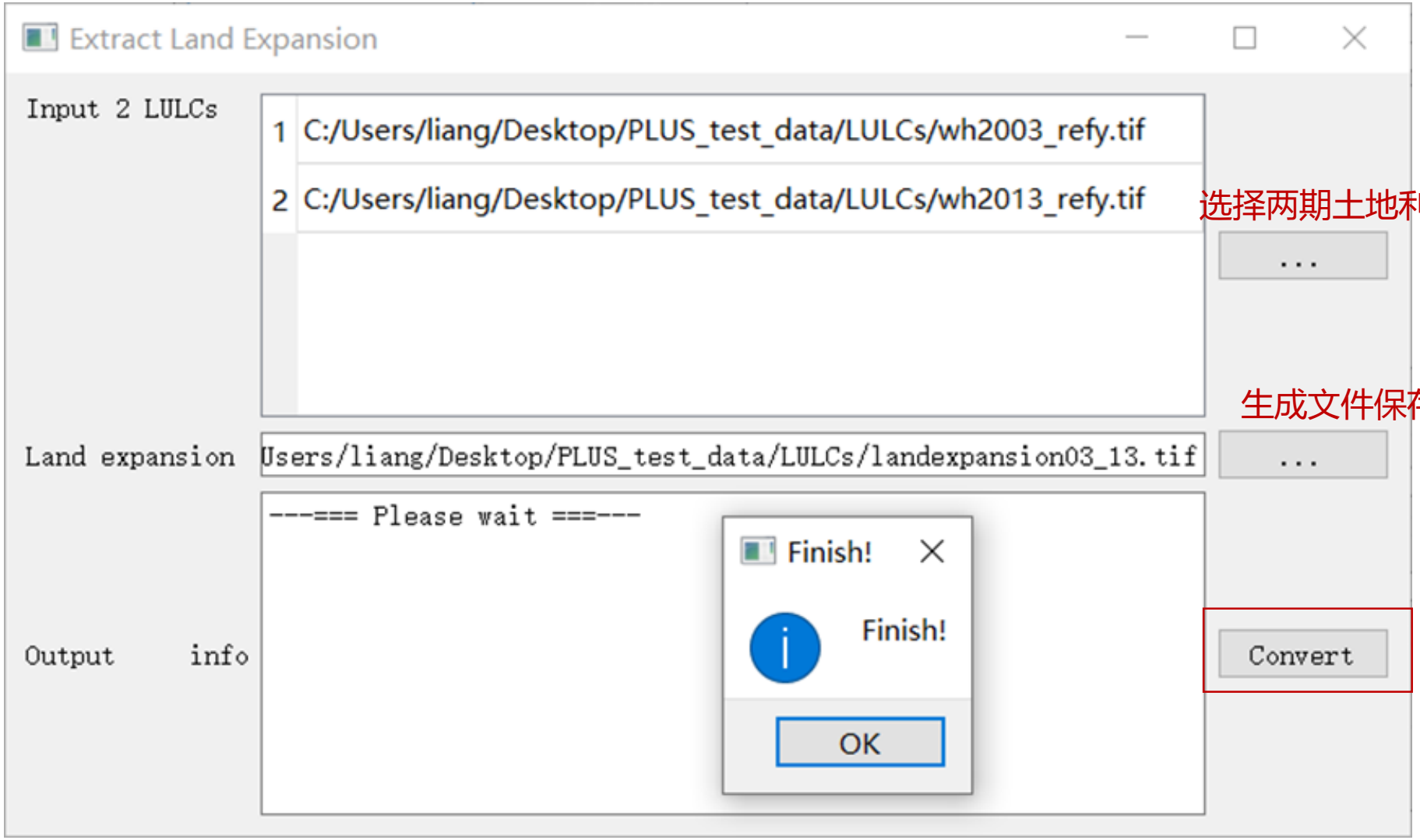
02 数据处理-格式转换

数据格式说明

- ✓ PLUS仅支持‘unsigned char’格式的土地利用数据，建议使用前将土地利用数据转换为‘unsigned char’格式（只用转土地利用数据和限制发展区域，其他驱动力数据不用经过这部转化，千万不要进行多余的转化）；
- ✓ 土地利用数据分类编号必须从1开始；
- ✓ 土地利用约束数据必须为只包含0和1的影像（0：限制转换区域；1：其他）
- ✓ 在这一步，所有土地利用数据的行列数必须一致。
- ✓ 本软件必须一律使用英文路径，不支持中文，任何文件夹和文件都不要用数字开头，必须是字母！！！！



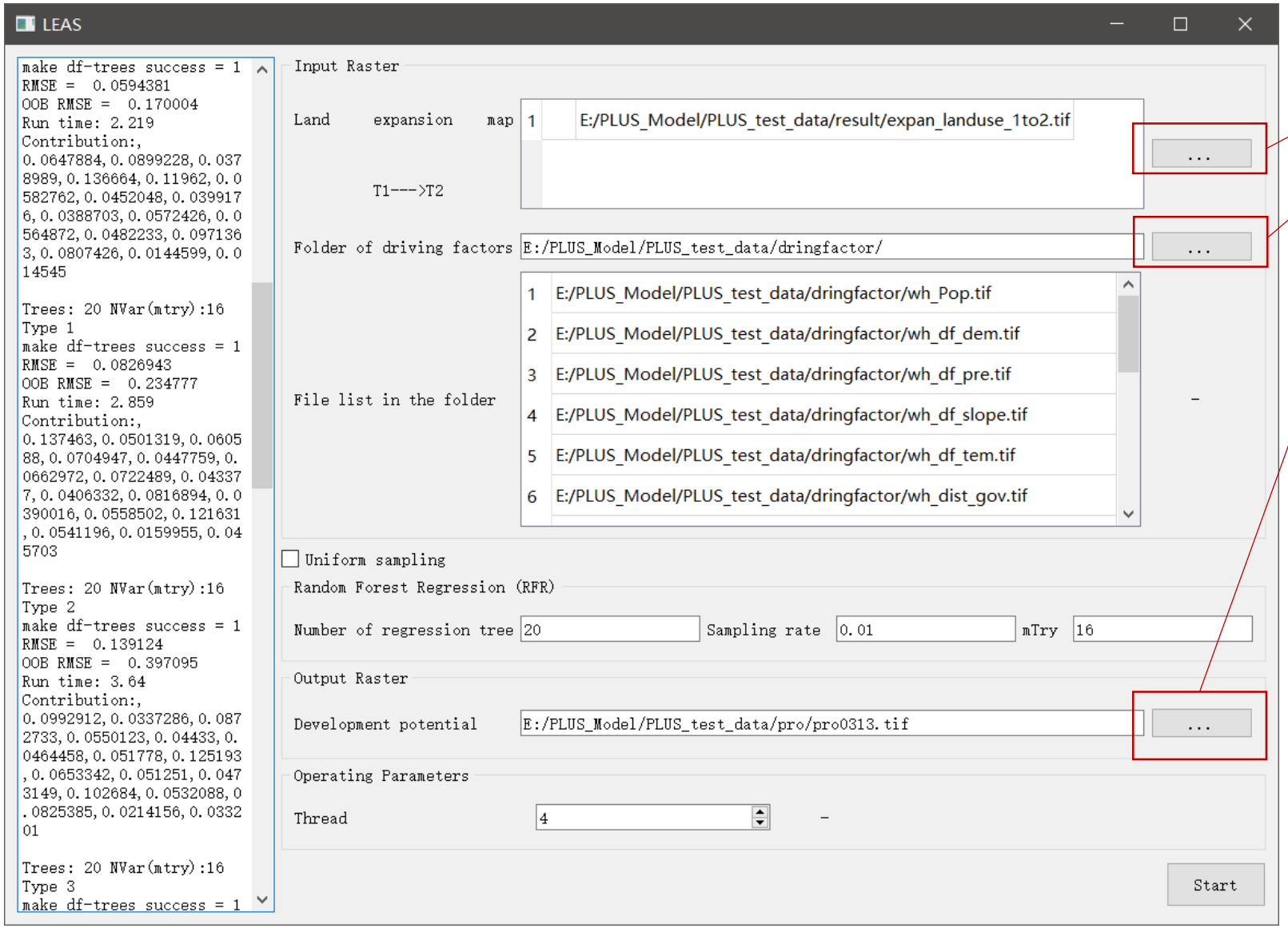
PLUS-提取土地利用扩张



选择两期土地利用数据

生成文件保存路径

02 PLUS-用地扩张分析策略（LEAS）



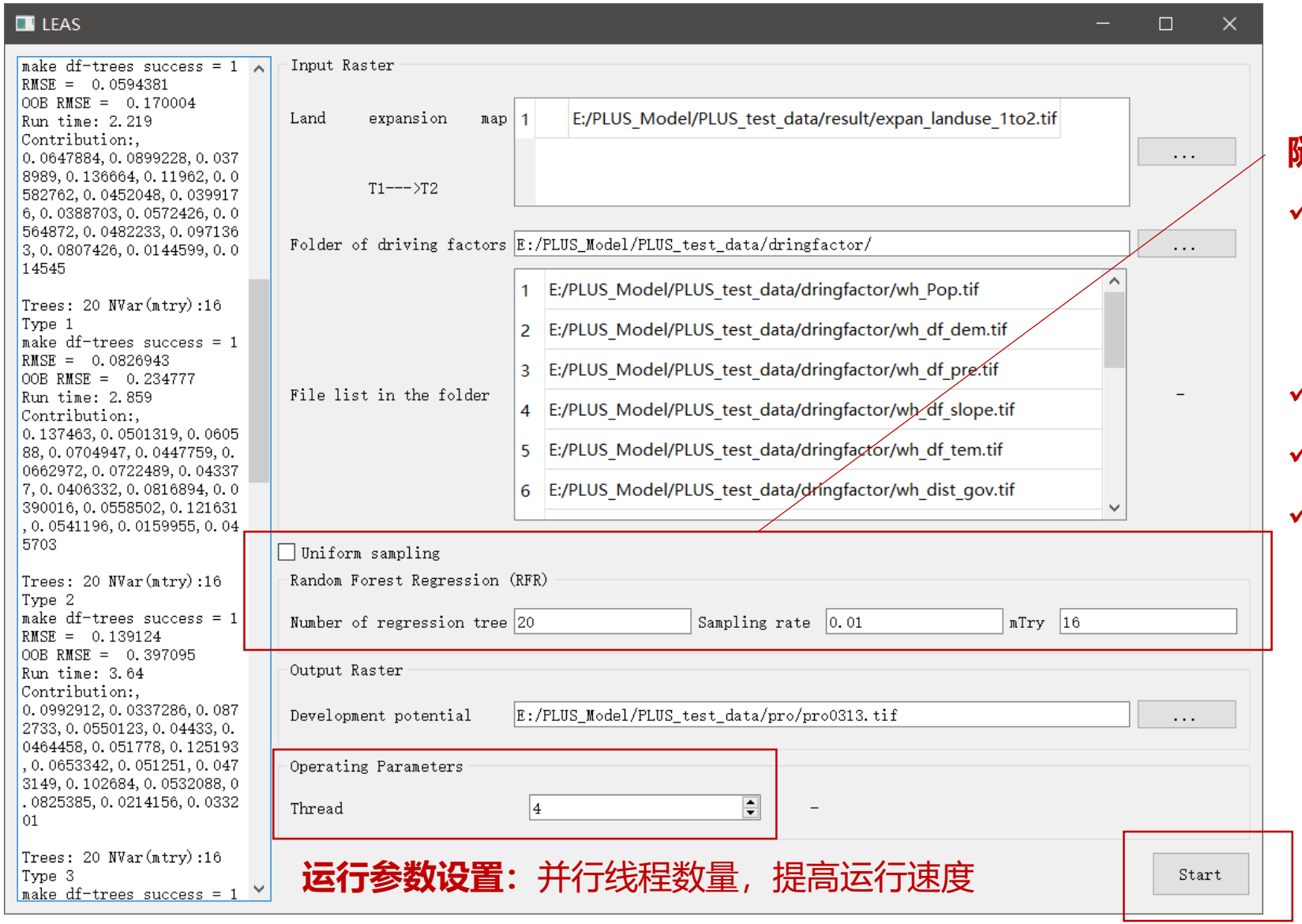
输入和输出

- ✓ 选择提取好的土地利用扩张数据；
- ✓ 选中存放所有驱动因素的文件夹；
- ✓ 生成每类用地发展概率，填写文件保存路径。

LEAS模块特点

✓ LEAS包含坐标对齐功能。即用户可以输入常见坐标的驱动因素数据，可以不用重采样，不用保持行列号的一致，支持输入不同分辨率的数据，甚至不用对驱动因素数据进行剪裁（驱动因素的范围大于研究区的情况下，软件会自动定位到土地利用数据的范围，此功能仅限于LEAS）。然而，还是报错的话，可以先放入一个驱动因子，看看能不能运行；如果可以，逐一加入其它驱动因子，直到报错为止。这样就可以找到报错的驱动因子，将这些驱动因子的**坐标投影**和**行列数**与land expansion map统一，软件必然可以正常运行。

PLUS-用地扩张分析策略（LEAS）



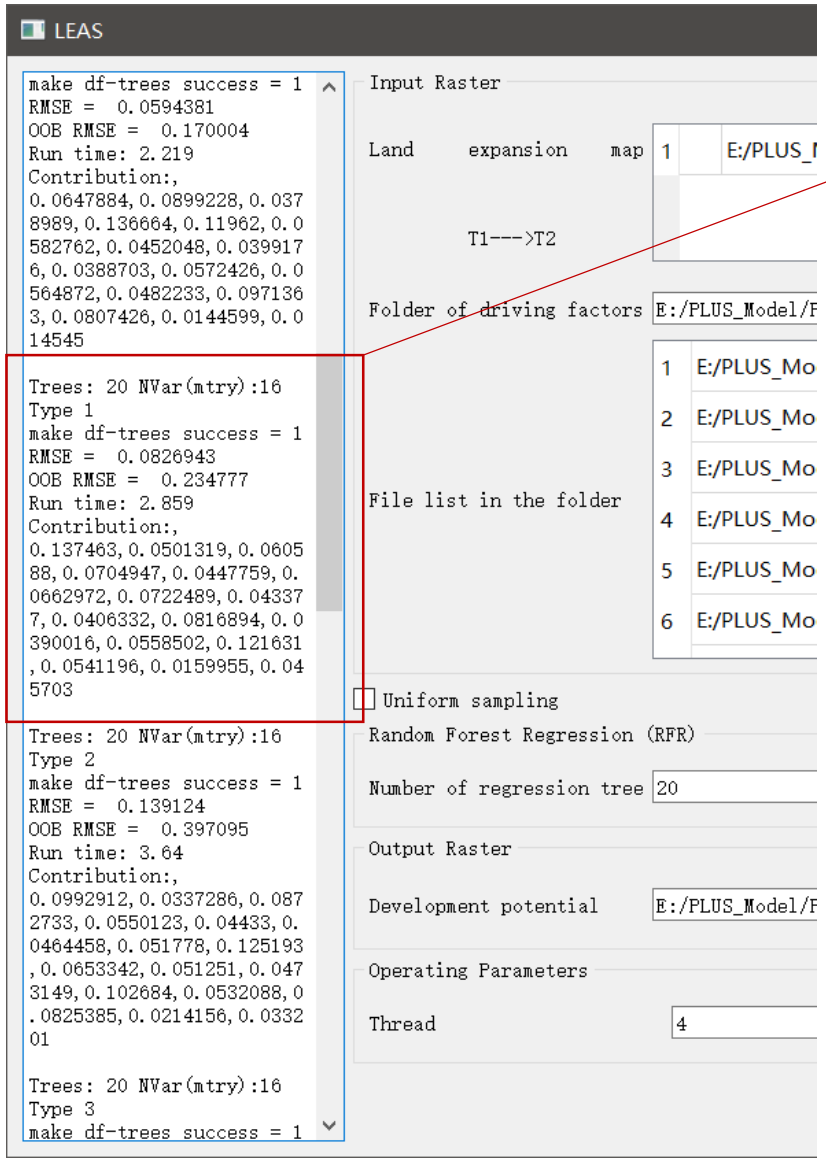
运行参数设置：并行线程数量，提高运行速度

参数设置

随机森林参数设置

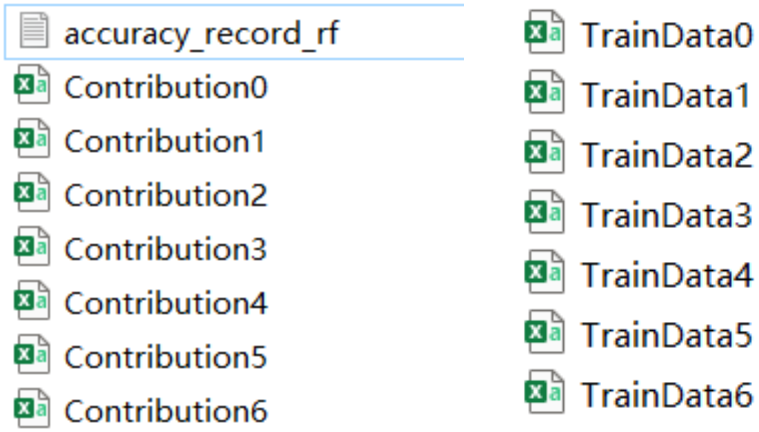
- ✓ 采样方式：均匀采样（各类别用地的采样点数相同）、随机采样（各类用地的采样点数量与各类用地所占的比例相关）；
- ✓ 采样率（默认为0.01）；
- ✓ 决策树的数目；
- ✓ mTry（训练RF的特征个数，不超过驱动因素的数量）。

02 PLUS-用地扩张分析策略（LEAS）

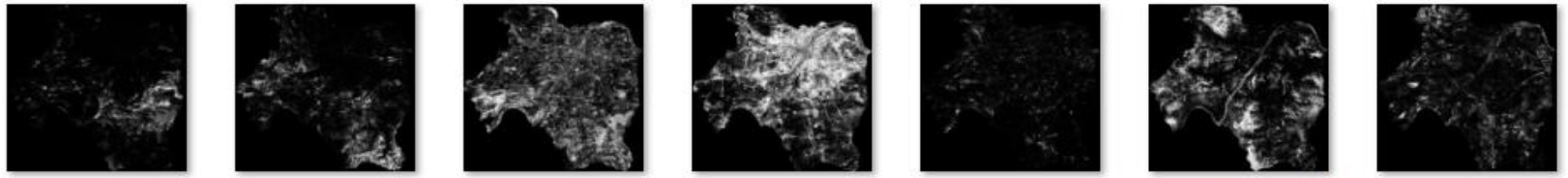


训练结果保存在“Parameterfile”文件夹下：

- ✓ “accuracy_record_rf.txt”：随机森林训练精度（RMSE，OOB-RMSE）；
- ✓ “TrainData.csv”：采样数据；
- ✓ “Contribution.csv”：驱动因素的贡献。



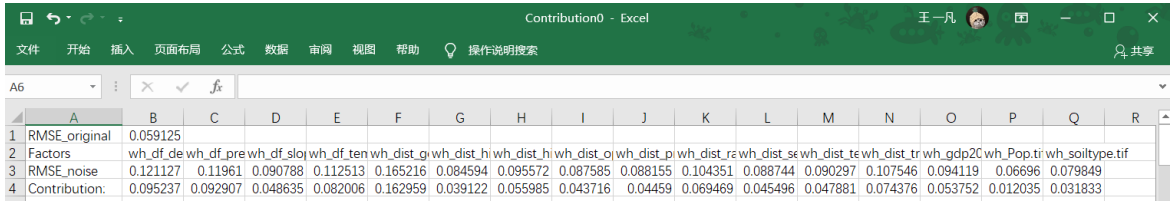
各类用地的发展概率



pro0313_band_1 pro0313_band_2 pro0313_band_3 pro0313_band_4 pro0313_band_5 pro0313_band_6 pro0313_band_7

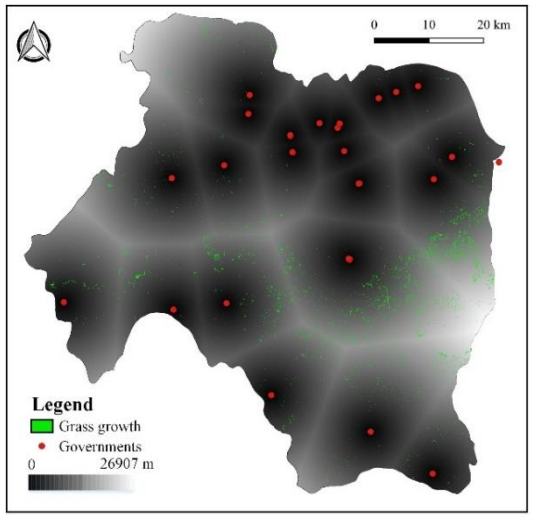
02 PLUS-用地扩张分析策略（LEAS）

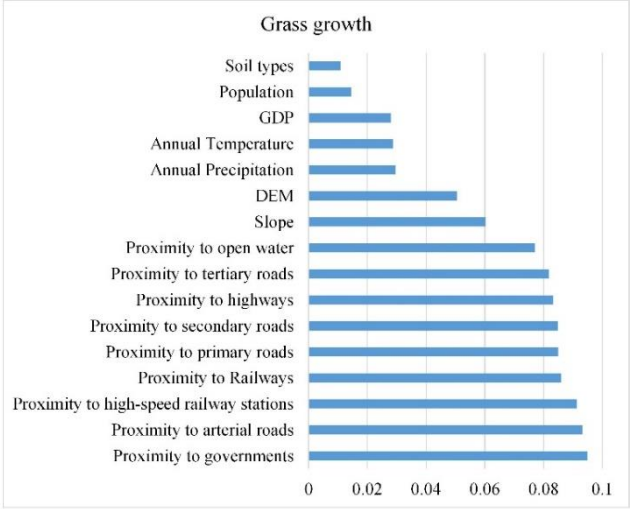
用地扩张因子贡献分析



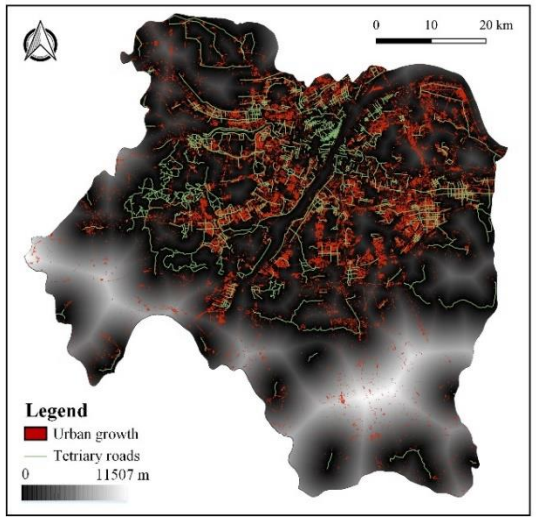
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
1	RMSE_original	0.059125															
2	Factors	wh_df_de	wh_df_pre	wh_df_slo	wh_df_ten	wh_dist_g	wh_dist_h	wh_dist_h	wh_dist_o	wh_dist_p	wh_dist_ra	wh_dist_se	wh_dist_te	wh_dist_tr	wh_gdp20	wh_Pop.ti	wh_soiltype.tif
3	RMSE_noise	0.121127	0.11961	0.090788	0.112513	0.165216	0.084594	0.095572	0.087585	0.088155	0.104351	0.088744	0.090297	0.107546	0.094119	0.06696	0.079849
4	Contribution:	0.095237	0.092907	0.048635	0.082006	0.162959	0.039122	0.055985	0.043716	0.04459	0.069469	0.045496	0.047881	0.074376	0.053752	0.012035	0.031833

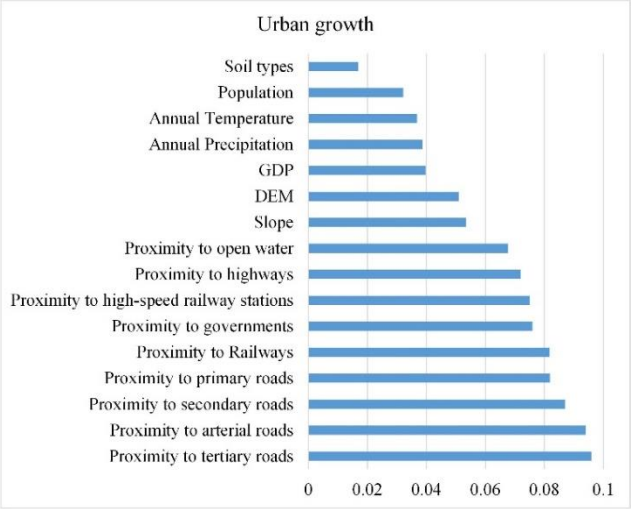
- ✓ 根据Contribution文件可以制作每类用地的驱动因素排名图，进行用地扩张因子贡献分析；
- ✓ 我们发现新增草地主要分布在远离政府的地区。政府周围的地区通常是人类最活跃的地区，新增草最可能在出现在受人类活动影响不大的地区；
- ✓ 三级道路对城市增长的影响最大，新城市增长的分布也与三级道路的分布格局高度一致。





草地扩张驱动因素排名（Contribution0.csv）

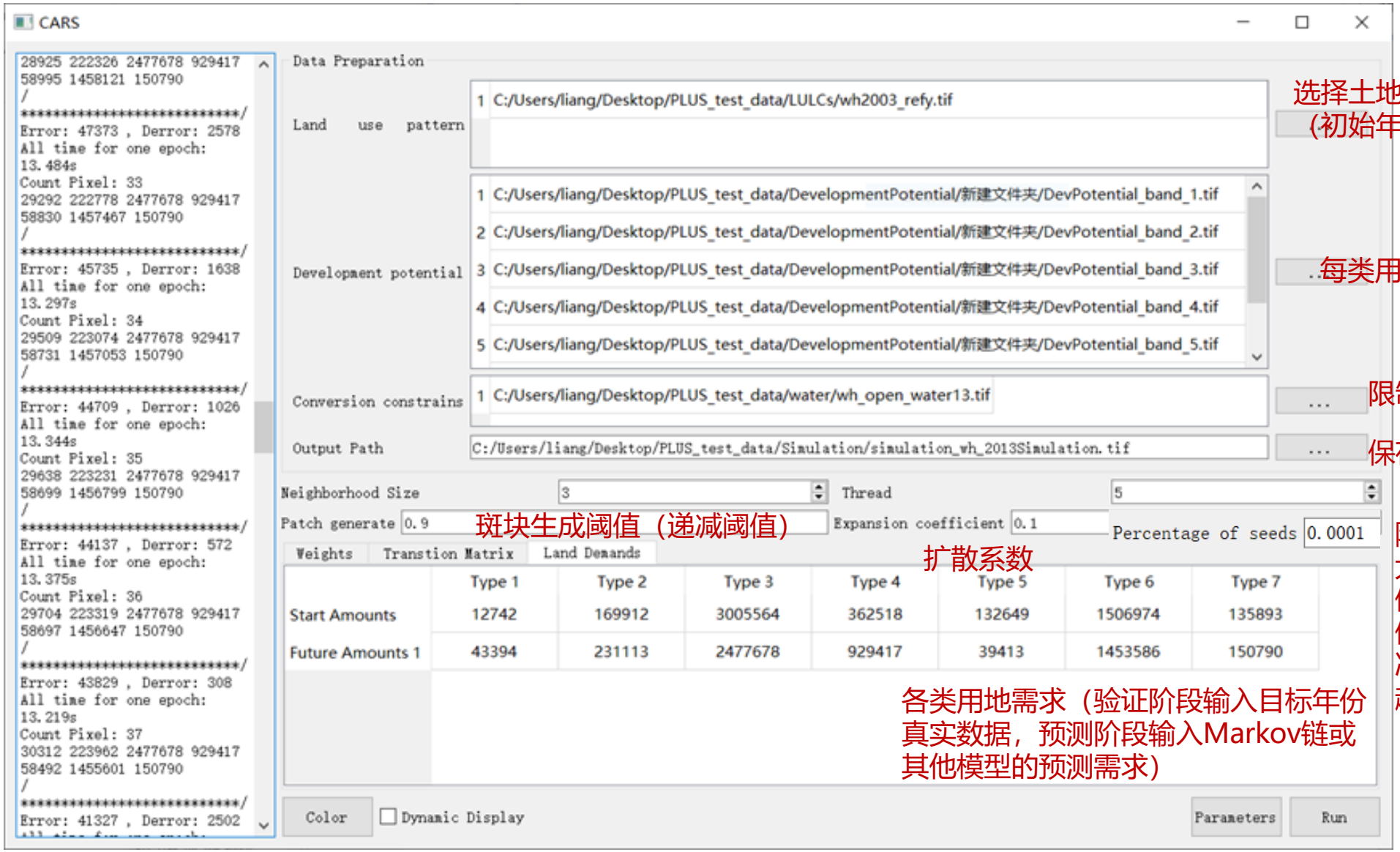




城市扩张驱动因素排名（Contribution3.csv）

PLUS-基于多类随机斑块种子的CA模型（CARS）

CARS模块:必须保证所有空间数据的行列数一致



选择土地利用现状数据（初始年份）

每类用地的发展概率

限制发展区域

保存路径

斑块生成阈值（递减阈值）

扩散系数

随机种子最大比例，取值0-1，数值越小越紧凑，反之则越分散

各类用地需求（验证阶段输入目标年份真实数据，预测阶段输入Markov链或其他模型的预测需求）

PLUS-基于多类随机斑块种子的CA模型（CARS）

模拟参数设置

- ✓ Neighborhood Size：邻域范围，默认值为3；
- ✓ Thread：并行线程数量，提高运行速度；
- ✓ Patch generation：递减阈值的衰减系数，范围0~1，值越高表示用地类型越不容易发生转换；
- ✓ Expansion coefficient：随机斑块种子的概率，范围0~1，值越高表示越容易产生新的斑块。

土地利用需求

Land Demands | Transtion Matrix | Neighborhood Weights

	Type 1	Type 2	Type 3	Type 4	Type 5	Type 6	Type 7
Start Amounts	12742	169912	3005564	362518	132649	1506974	135893
Future Amounts 1	43394	231113	2477678	929417	39413	1453586	150790

- ✓ 模拟现状：根据已知年份土地利用的实际情况来填写；
- ✓ 预测未来：使用“Demand Prediction”功能进行预测；

- ✓ Start Amounts部分在点击“Run”之后会自动生成，不需要填写。

PLUS-基于多类随机斑块种子的CA模型（CARS）

转移矩阵

- ✓ 0表示不允许转换，1表示允许转换；
- ✓ 一般根据经验来填写，比如：城市用地不容易发生转换、林地保护的情况下不容易发生转换等。

Land Demands | Transtion Matrix | Neighborhood Weights

模拟后的土地利用类型

	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

当前的土地利用类型

邻域权重

- ✓ 取值范围为0~1，值越大表示邻域影响越大；
- ✓ 一般根据经验来填写，也可以根据各用地类型扩张面积的占比来计算。

Land Demands | Transtion Matrix | Neighborhood Weights

	Type 1	Type 2	Type 3	Type 4	Type 5	Type 6	Type 7
Weight	0.033	0.072	0.214	0.449	0.028	0.131	0.072

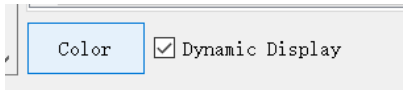
- ✓ 点击”Parameters”可以加载上次运行时填写的所有参数

Parameters

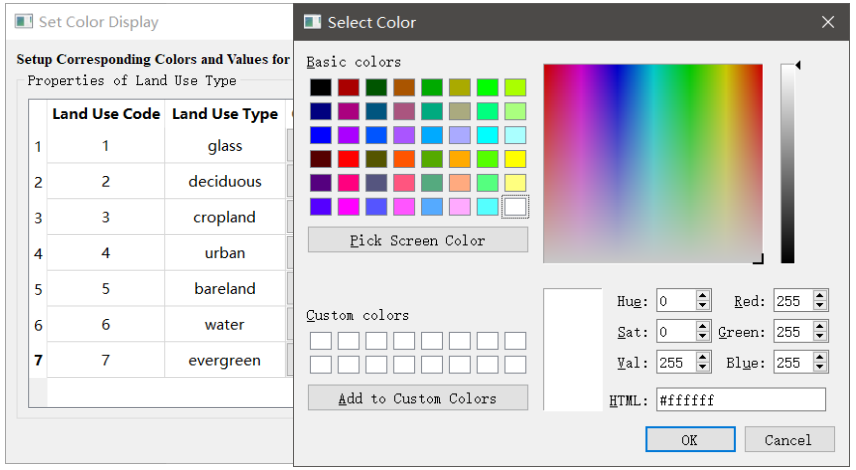
02 PLUS-基于多类随机斑块种子的CA模型（CARS）

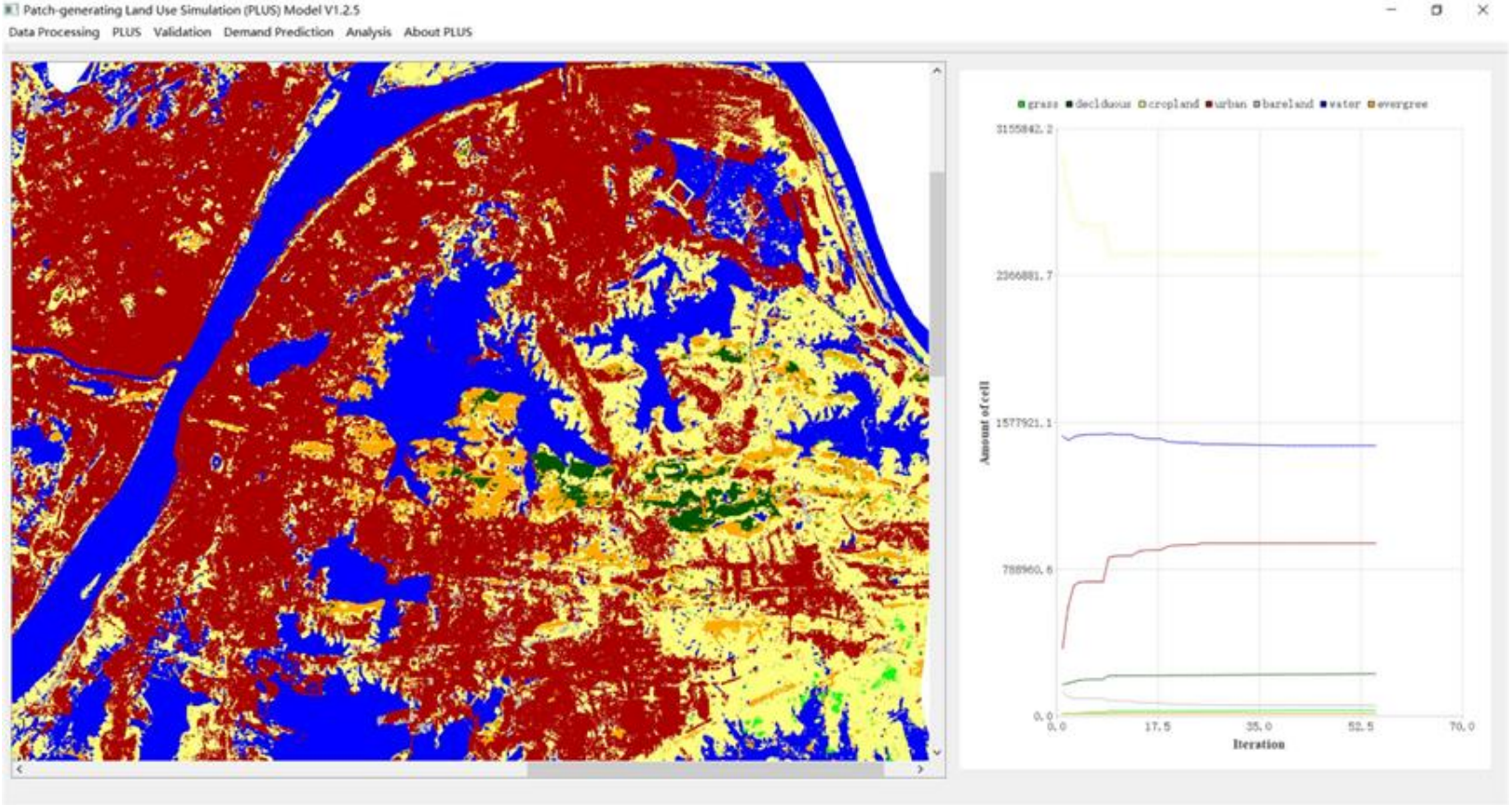
开始模拟

- ✓ 点击“Color”可以设置各类用地的名称和颜色；



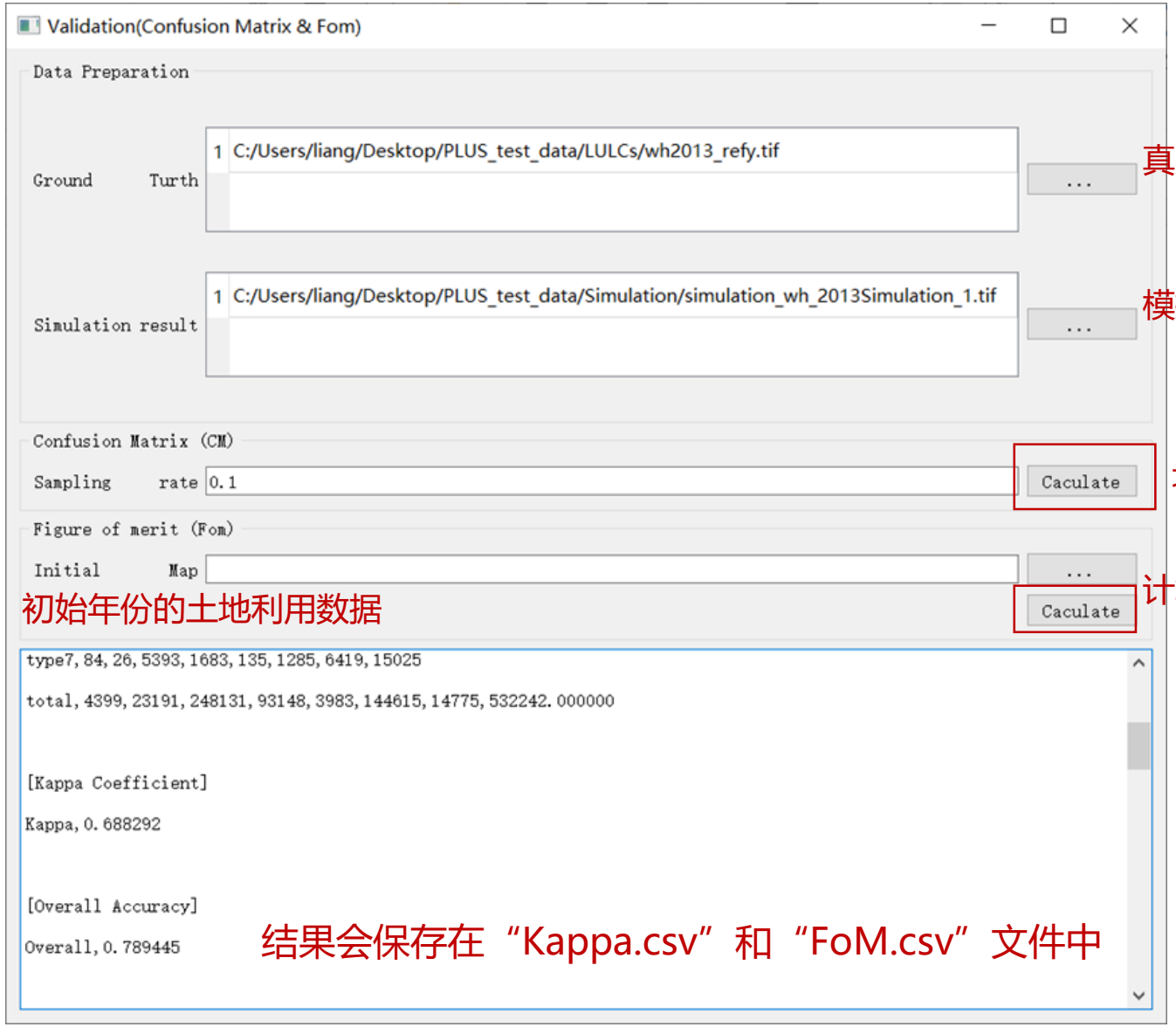
- ✓ 勾选”Dynamic Display”可以在主界面上动态地展示土地利用状态和数量的变化情况；
- ✓ 当各类用地满足需求时，完成模拟。





02

模拟精度验证-Kappa和FoM



真实的土地利用数据（模拟年份）

模拟的土地利用数据

填写采样率，计算Kappa系数

计算FoM

初始年份的土地利用数据

结果会保存在“Kappa.csv”和“FoM.csv”文件中

[Kappa Coefficient]

Kappa, 0.650456

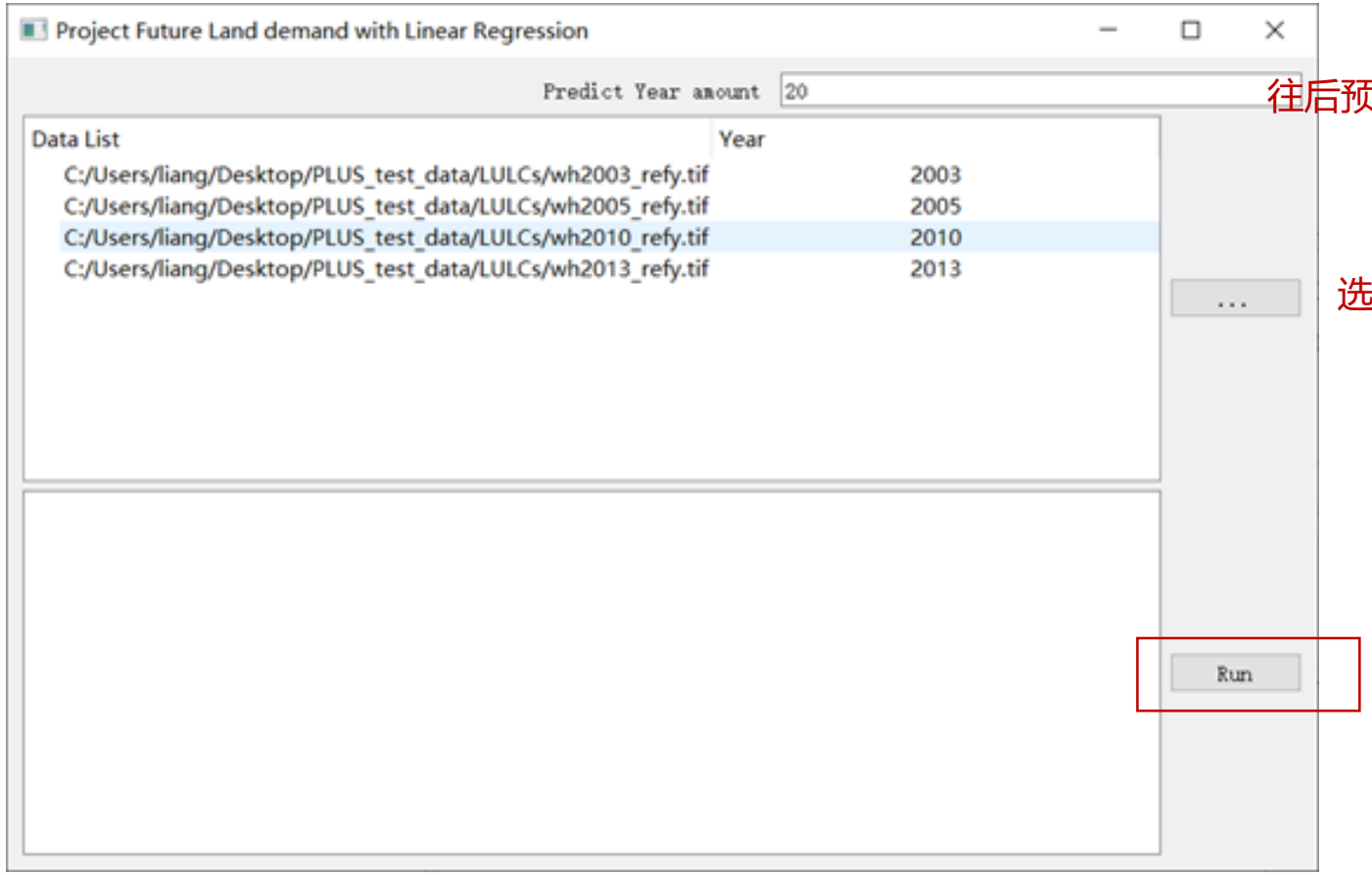
[Overall Accuracy]

Overall, 0.763807

[Figure of Merit]=B/(A+B+C+D)

FoM=, 0.227487

02 土地利用需求预测-线性回归



往后预测多少年

选择历史土地利用数据

2033年的土地利用数量

预测的土地利用需求会自动保存到“Parameterfile”文件夹下的“PredictDemand.csv”文件中

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	Category	Type1	Type2	Type3	Type4	Type5	Type6	Type7
2	2003	12742	169912	3005564	362518	132649	1506974	135893
3	2005	13785	166569	3098723	401413	6300	1432942	206618
4	2010	66408	162629	2774437	612505	148823	1433723	127594
5	2013	44394	231113	2477356	929417	39413	1453586	150790
6	2014	62045	213293	2448040	927408	71554	1428659	139455
7	2015	66553	218279	2391704	981880	69878	1424823	137312
8	2016	71062	223265	2335368	1036352	68202	1420987	135168
9	2017	75570	228251	2279032	1090832	66526	1417151	133025
10	2018	80079	233237	2222696	1145304	64850	1413315	130882
11	2019	84587	238223	2166360	1199776	63173	1409479	128738
12	2020	89096	243209	2110024	1254256	61497	1405643	126595
13	2021	93604	248195	2053688	1308728	59821	1401808	124451
14	2022	98112	253180	1997352	1363208	58145	1397972	122308
15	2023	102621	258166	1941016	1417680	56469	1394136	120164
16	2024	107129	263152	1884680	1472152	54792	1390300	118021
17	2025	111638	268138	1828344	1526632	53116	1386464	115877
18	2026	116146	273124	1772008	1581104	51440	1382628	113734
19	2027	120655	278110	1715672	1635584	49764	1378792	111590
20	2028	125163	283096	1659336	1690056	48088	1374956	109447
21	2029	129672	288082	1603000	1744528	46411	1371120	107303
22	2030	134180	293068	1546664	1799008	44735	1367284	105160
23	2031	138688	298054	1490328	1853480	43059	1363448	103016
24	2032	143197	303040	1433992	1907960	41383	1359612	100873
25	2033	147705	308025	1377648	1962432	39707	1355776	98729
26								

02 土地利用情景模拟-线性回归情景

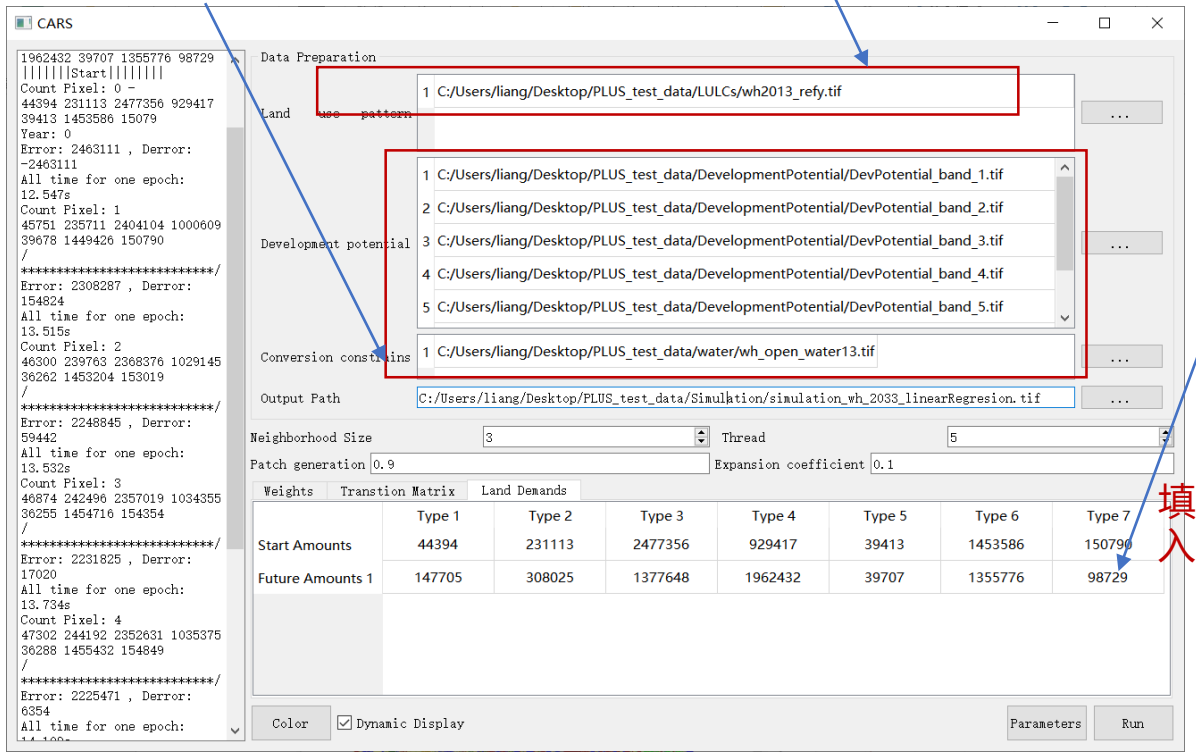
换成2013年的初始土地利用数据

在未来模拟阶段，发展概率可以沿用上一步的结果，也可以重新计算。比如用2010-2013年的近期土地利用数据重新计算发展概率

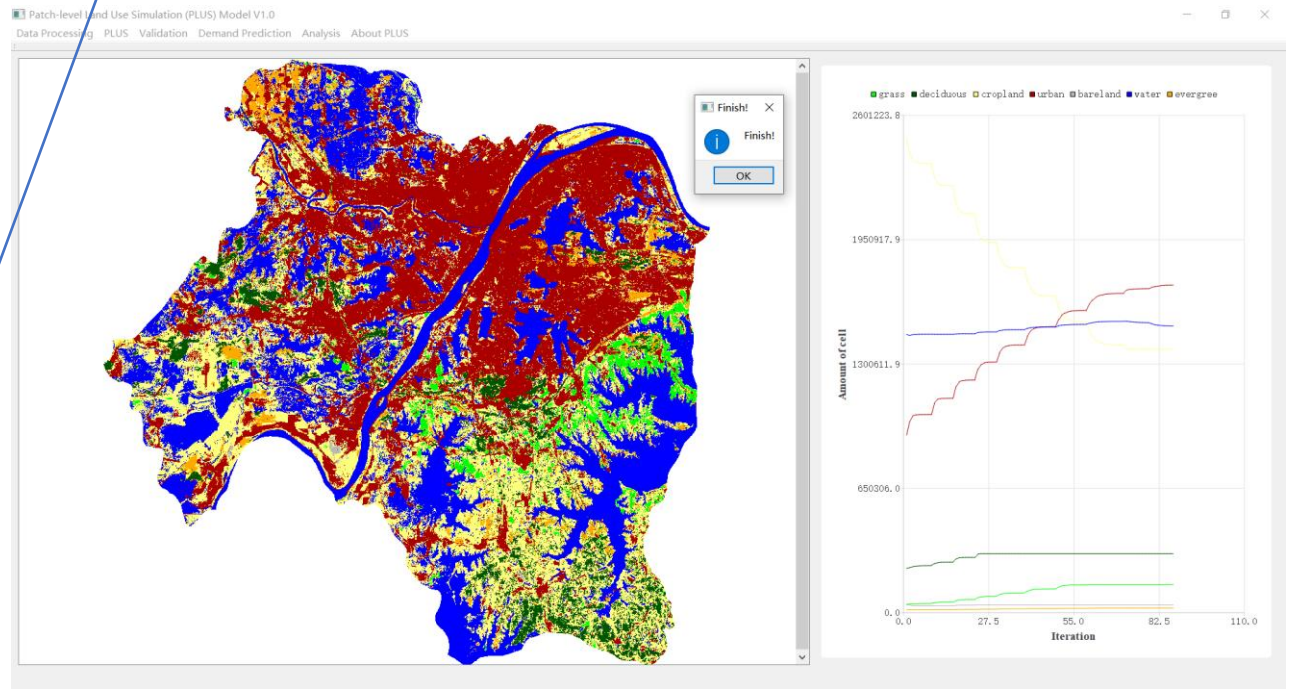
```
2026, 116146, 273124, 1772008, 1581104, 51440, 1382628, 113734
2027, 120655, 278110, 1715672, 1635584, 49764, 1378792, 111590
2028, 125163, 283096, 1659336, 1690056, 48088, 1374956, 109447
2029, 129672, 288082, 1603000, 1744528, 46411, 1371120, 107303
2030, 134180, 293068, 1546664, 1799008, 44735, 1367284, 105160
2031, 138688, 298054, 1490328, 1853480, 43059, 1363448, 103016
2032, 143197, 303040, 1433992, 1907960, 41383, 1359612, 100873
2033, 147705, 308025, 1377648, 1962432, 39707, 1355776, 98729

---=== Finish! ======-
```

Run

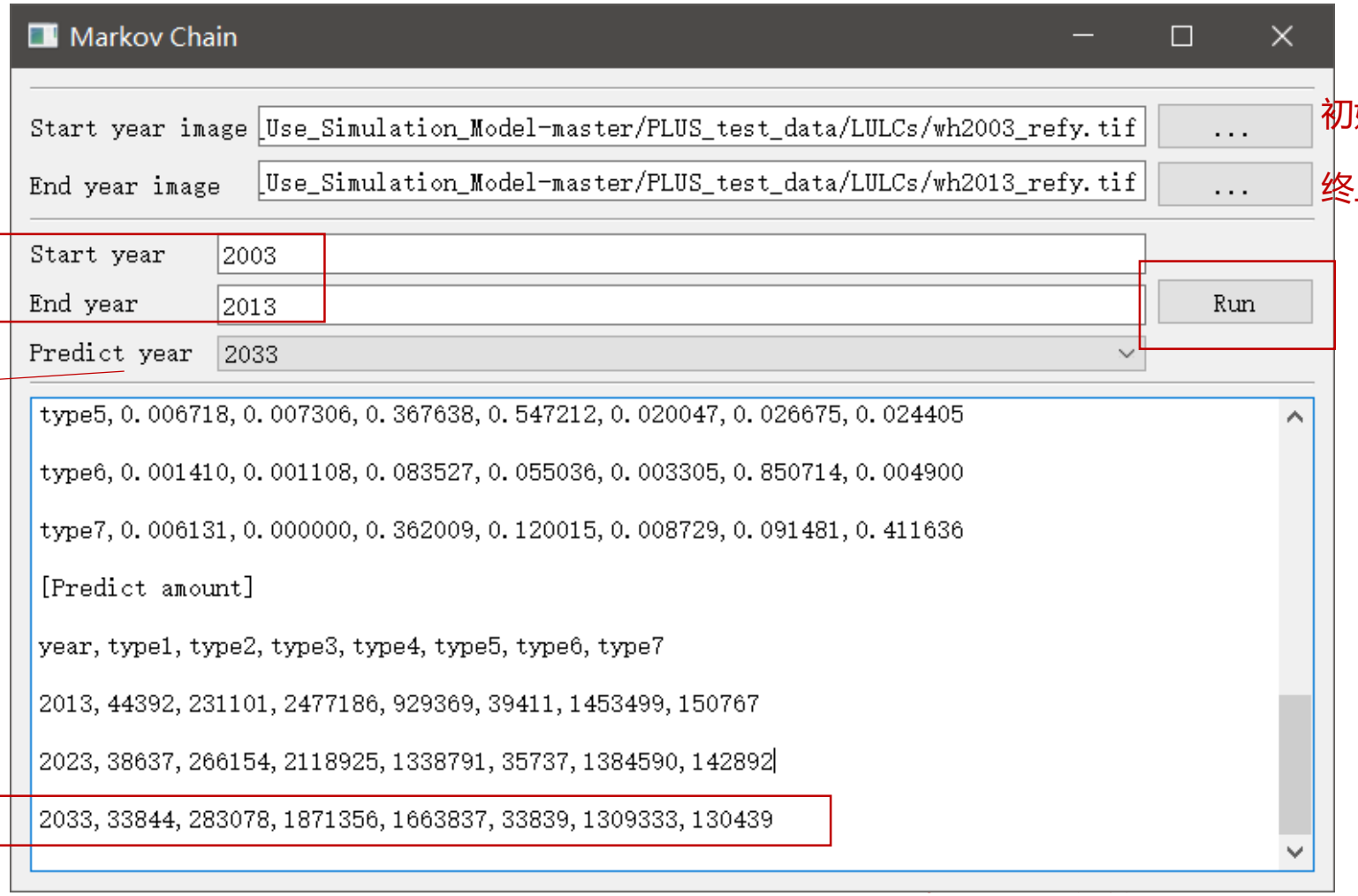
线性回归预测的2033年的土地利用数量



填入



土地利用需求预测-Markov Chain

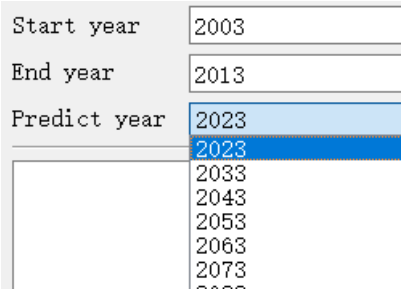


初始年份土地利用数据

终止年份土地利用数据

填写起止年份

选择预测的年份
(相等时间间隔)



结果保存在“MarkovChain.csv”文件中

02 土地利用情景模拟-Markov Chain情景

换成2013年的初始土地利用数据

在未来模拟阶段，发展概率可以沿用上一步的结果，也可以重新计算。比如用2010-2013年的近期土地利用数据重新计算发展概率

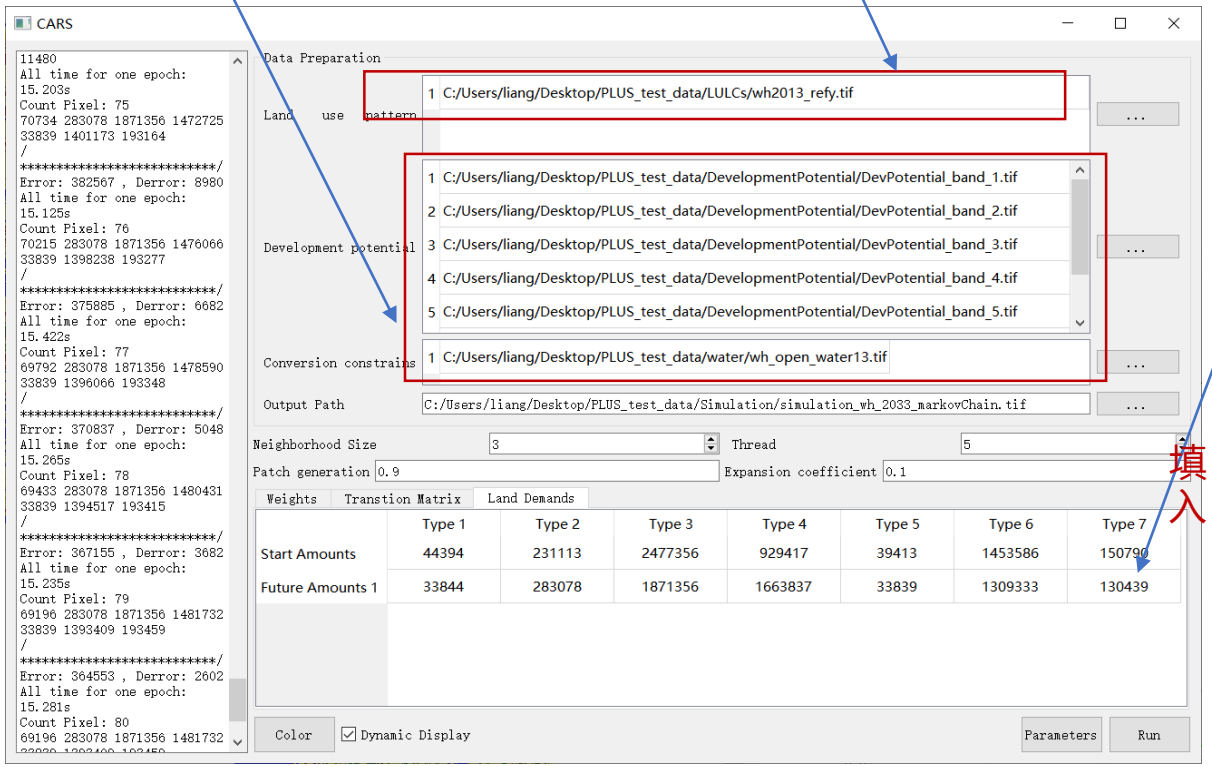
year, type1, type2, type3, type4, type5, type6, type7

2013, 44392, 231101, 2477186, 929369, 39411, 1453499, 150767

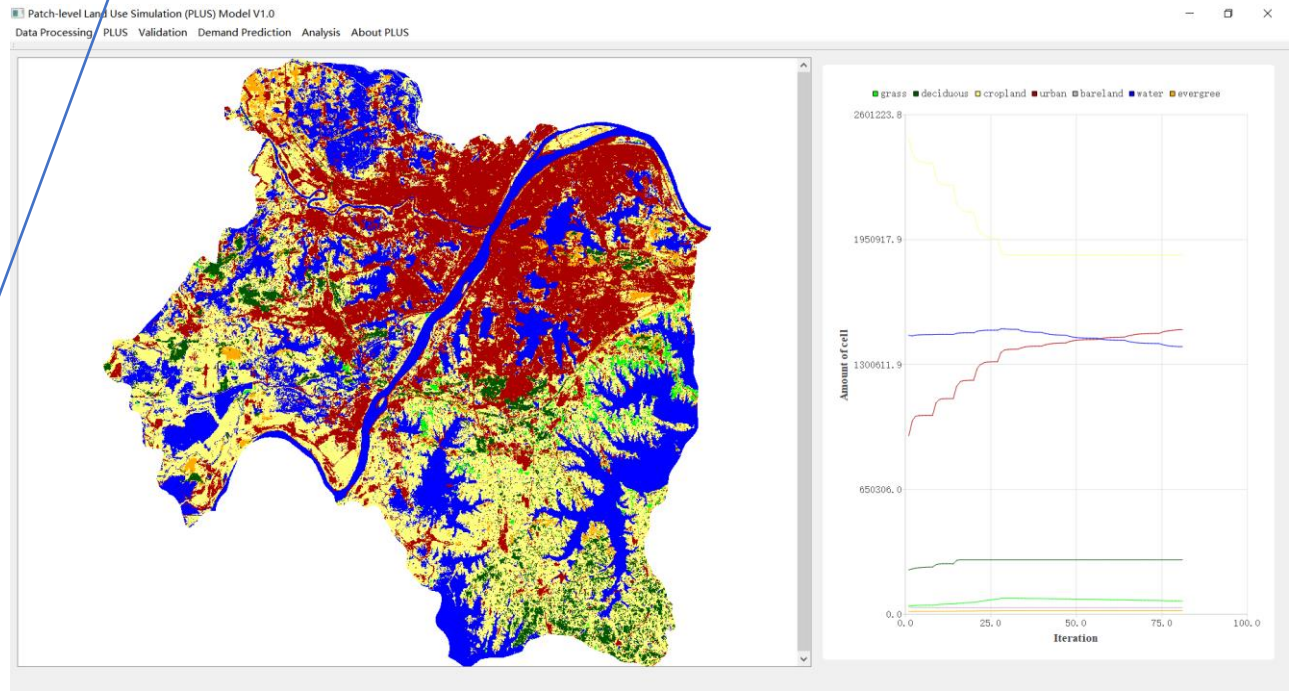
2023, 38637, 266154, 2118925, 1338791, 35737, 1384590, 142892

2033, 33844, 283078, 1871356, 1663837, 33839, 1309333, 130439

Markov Chain预测的2033年的土地利用数量



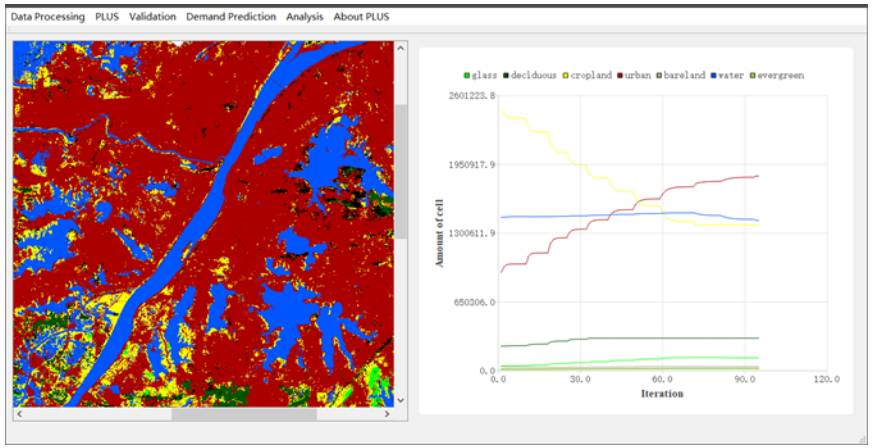
填入



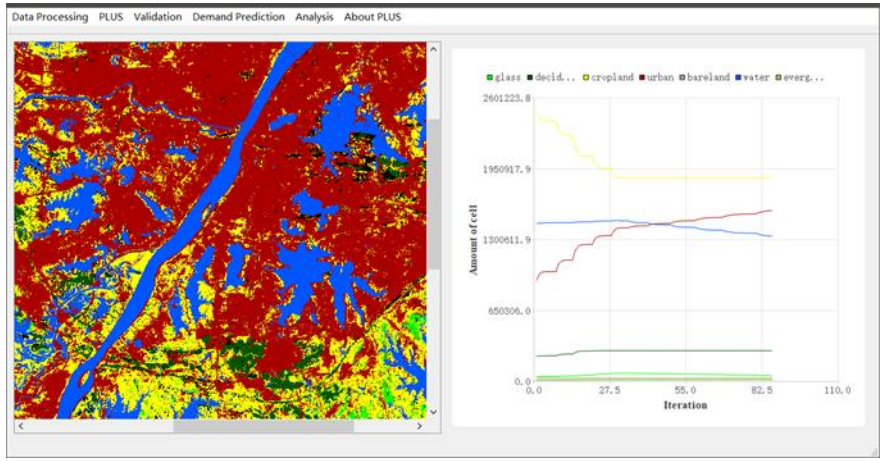
02 分析模块-场景多样性分析

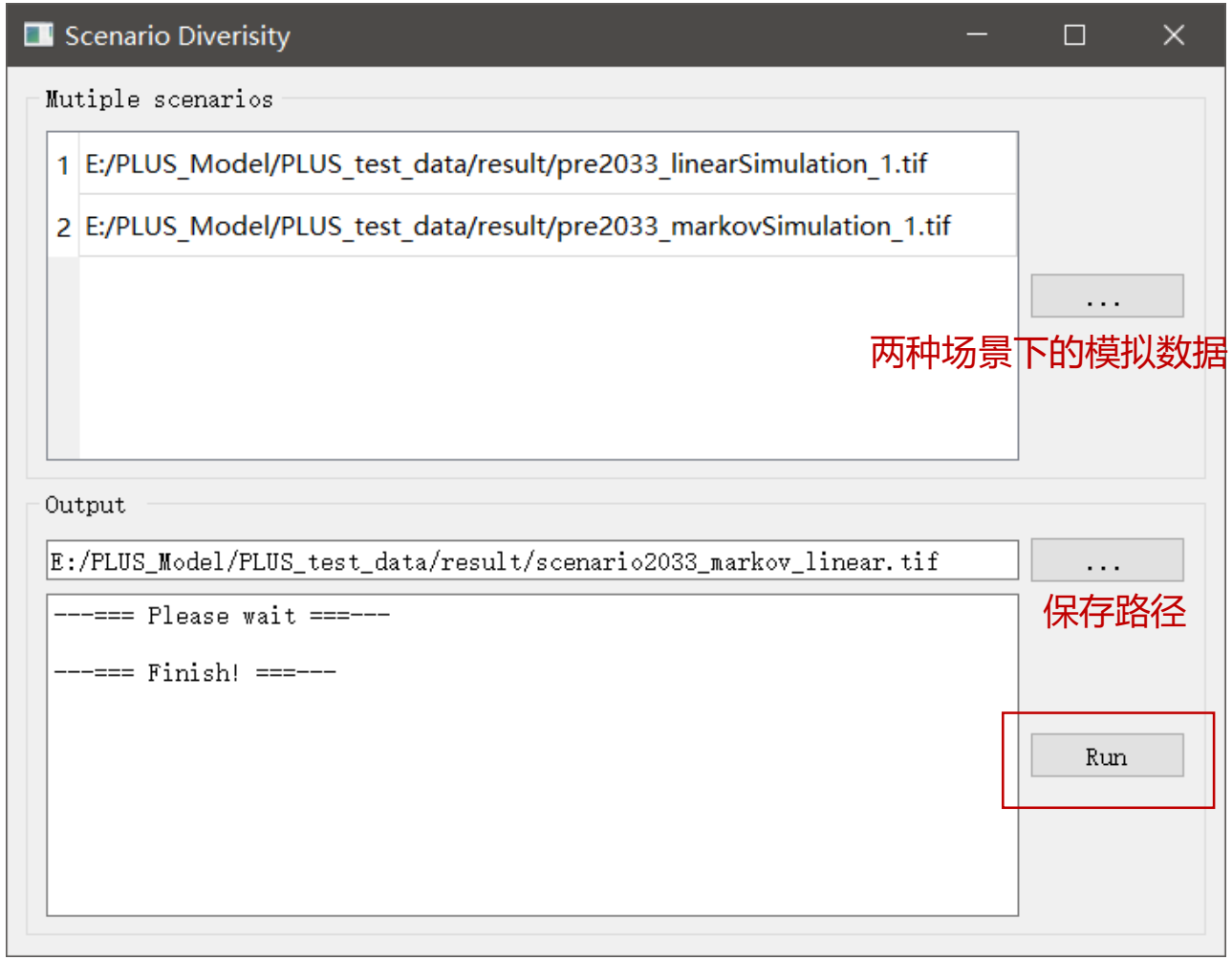
模拟两种场景下的未来土地利用情景

基于**线性回归**预测需求



基于**Markov**预测需求

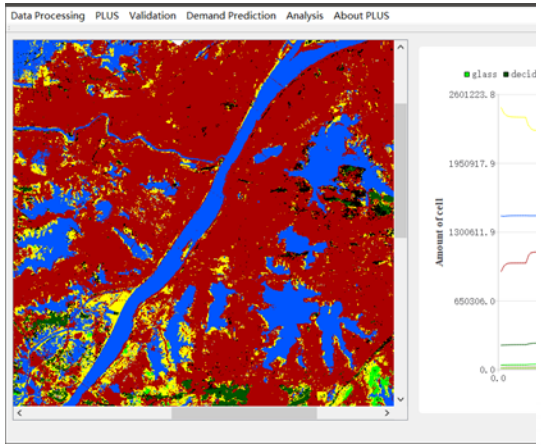




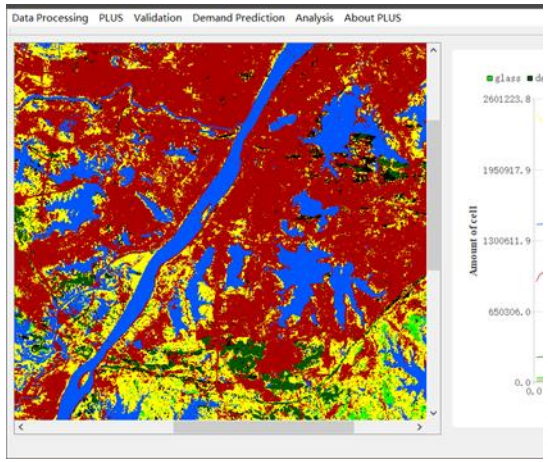
02 分析模块-场景多样性分析

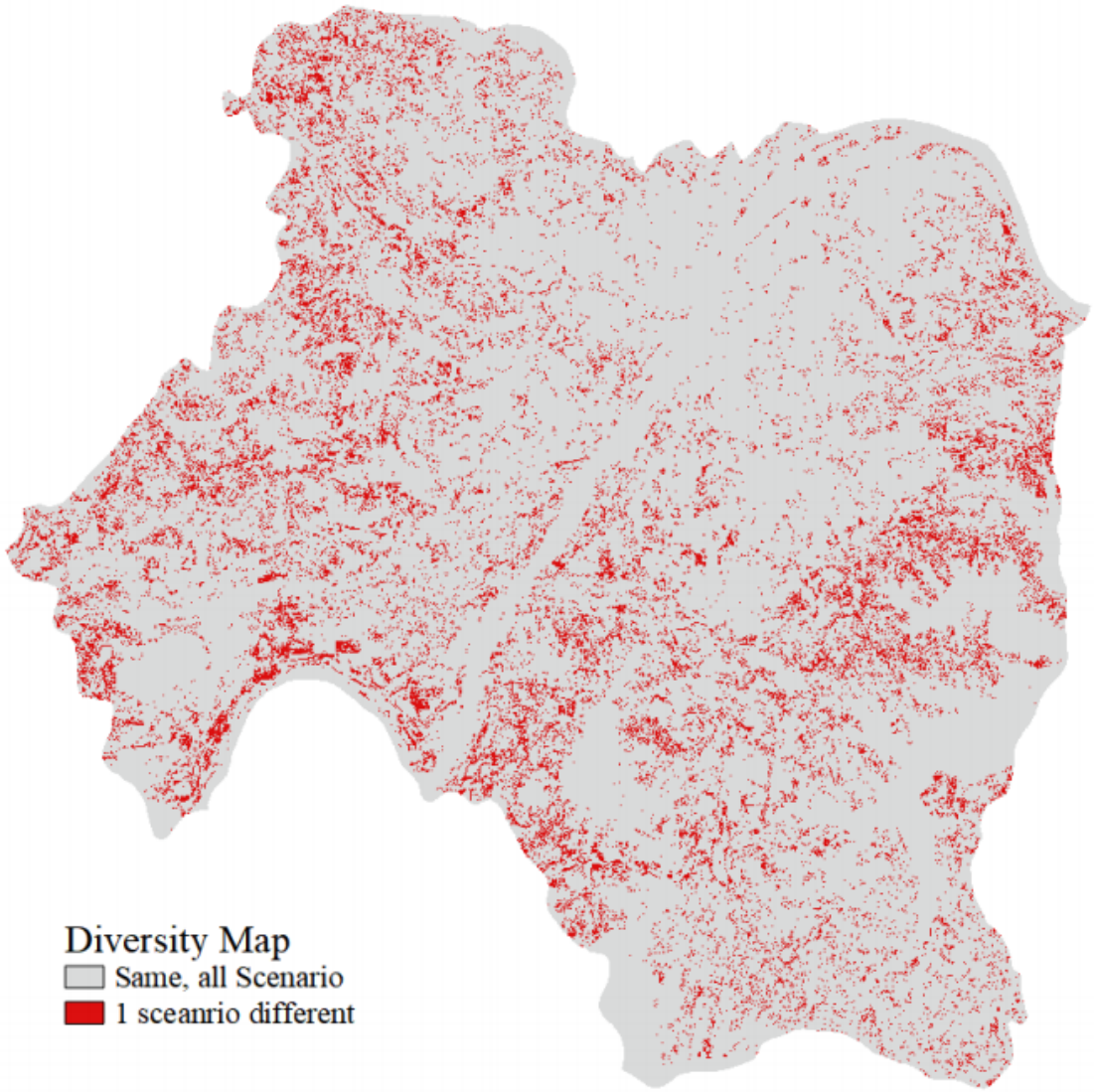
模拟两种场景下的未来

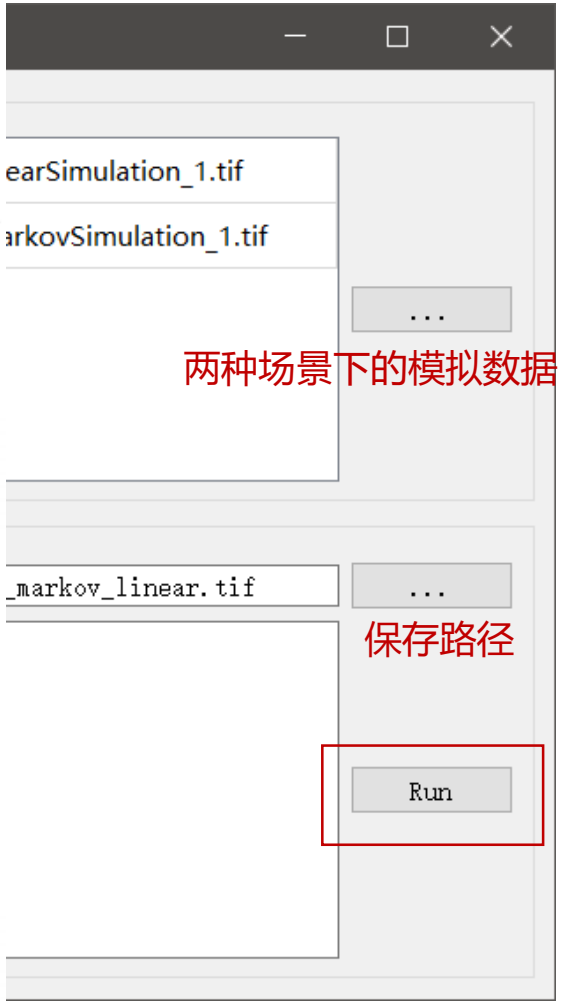
基于**线性回归**预测需求



基于**Markov**预测需求







红色部分为两种场景下模拟不一致的区域，探究场景变化的热点地区

开发团队：HPSCIL@CUG实验室

使用问题请联系：梁迅 博士 （liangxun@cug.edu.cn）

团队负责人：关庆锋 教授（guanqf@cug.edu.cn）

中国地质大学（武汉）

地理与信息工程学院 & 国家GIS工程技术研究中心

高性能空间计算智能实验室（HPSCIL）

谢 谢！