



混合元胞-元胞自动机软件 (MCCA V1.0) 用户手册

梁迅

liangxun@cug.edu.cn

目录

摘要	4
1. 下载并启动 MCCA	5
2. 示例数据描述	5
3. 使用 MCCA 模型的几个关键注意事项	7
4. MCCA 模型的用户界面	7
4.1. 量化转换规则的挖掘	7
4.1.1. 启动模块	8
4.1.2. 输入土地利用数据	8
4.1.3. 输入驱动因素	9
4.1.4. 设置训练参数和输出路径	10
4.1.5. 运行程序并检查结果	10
4.2. 获取历史和未来的土地利用需求	12
4.2.1. 线性回归方法	13
4.2.2. 马尔可夫链方法	14
4.3. 土地利用结构动态模拟	16
4.3.1. 启动模块	16
4.3.2. 输入土地利用数据	17
4.3.3. 输入变化概率数据	17
4.3.4. 开放水域的限制（空间政策）	18
4.3.5. 设置保存模拟结果的路径	18
4.3.6. 设置模拟参数	18
4.3.7. 运行多态 CA 分配模型	20
4.4. 模拟精度验证	21
4.4.1. 加载数据	22
4.4.2. 亚像元混淆矩阵（SCM）统计工具	22
4.4.3. 相对熵（RE）统计工具	23

4.4.4. McFoM 指标计算	23
4.5. 模拟 2015-2035 年未来土地利用结构	24
4.5.1. 获得 2010 年至 2015 年的变化概率表	24
4.5.2. 2015-2035 年土地利用结构变化模拟	25
4.6. 土地利用混合计算	26
4.6.1. 设置输入和输出路径	26
4.6.2. 计算每个元胞的土地利用混合	27
5. 准备历史土地利用结构数据	27
5.1. 渔网方法	28
5.1.1. 调整网格形状文件的 FID	28
5.1.2. Shapefile 土地利用结构数据转换为栅格格式	30
5.2. 聚合方法	30
5.2.1. 提取每一个地类	31
5.2.2. 聚合分析	32
5.3. 用 ARCMAP 将数据转为 DOUBLE 格式的方法	33
6. 版权声明与联系方式	34

摘要

传统上, 土地利用变化模型的元胞自动机 (CA) 假设每个元胞在每个时间步长都是一种特定的土地利用类型, 忽略了土地单元中常见的混合土地利用结构。混合元胞, 由多种土地利用类型和覆盖比例组成, 能够更好地表达土地利用的连续变化, 为混合土地利用结构的时空动态建模提供了新的视角。

用混合元胞模拟土地利用变化具有挑战性, 因为混合元胞模拟与传统模拟有着根本的不同。我们提出了第一次尝试开发混合元胞-元胞自动机模型 (mixed-cell CA, MCCA)。基于代表元胞状态、晶格和邻域的混合元胞的特性, 重新设计了元胞自动机的结构。过渡规则通过历史数据的随机森林回归自动构建, 竞争机制在亚元胞尺度的多种土地利用类型中进行选择。此外, 还提出了 MCCA 土地利用结构模拟精度和相似性的评价方法。

MCCA 代表了混合土地利用结构时空动态的新一代地理空间 CA 模型。它提供了一种新的方法, 使更动态的混合土地利用建模摆脱静态模式的分析。

MCCA 模型的优点之一是能够模拟多组分元胞中的定量和连续变化, 而纯元胞 CA 模型只能模拟元胞水平上土地利用的定性和离散变化。因此, MCCA 模型能够模拟由社会经济、生态环境和政治驱动因素的微小变化引起的土地利用结构的微妙变化, 这可以为理解土地利用变化过程提供详细的视角。此外, MCCA 模型生成的模拟结果包含每个元胞的土地利用结构信息, 有可能帮助研究人员更准确地评估土地利用变化对许多环境变量的影响, 如空气质量、城市热岛、景观连通性、净初级生产量损失、生态服务价值、能源消耗等。MCCA 模型可能更好地支持时空连续分析和环境变量的定量计算。此外, MCCA 模型为模拟混合土地利用的结构变化提供了一种有利的方法, 因为以前的大多数研究侧重于混合土地利用结构的测量和静态分析, 而忽略了它们的动态演变。MCCA 模型可以模拟土地利用结构的逐渐变化, 并帮助研究人员了解多种驱动因素如何相互作用以影响混合土地利用的未来分布。

MCCA 完全是用 C++ 语言开发的。MCCA 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>)。MCCA 的随机森林技术来自一个强大的开源库, 名为 Alglib 3.9.2 (<http://www.alglib.net/>)。

软件的 UI 是使用著名的开源库 Qt 5 (<https://www.qt.io/download/>)。该界面提供了模拟过程中土地利用动态变化的实时显示。而且，开源库 GDAL 2.0.2 的使用 (<http://www.gdal.org/>) 允许我们的模型直接读写栅格数据 (.tif, .img, .txt files)，其中包括地理坐标信息。

本用户手册旨在为 MCCA 用户提供“快速入门”。本教程所需的所有数据和文件都已作为模板提供，以便以后格式化自己的文件。

1. 下载并启动 MCCA

MCCA 软件的最新版本和用户手册可以在以下网页链接 (https://github.com/HPSCIL/Mixed_Cell_Cellular_Automata) 中下载。点击可执行文件“MCCA VX.0.exe”启动软件。

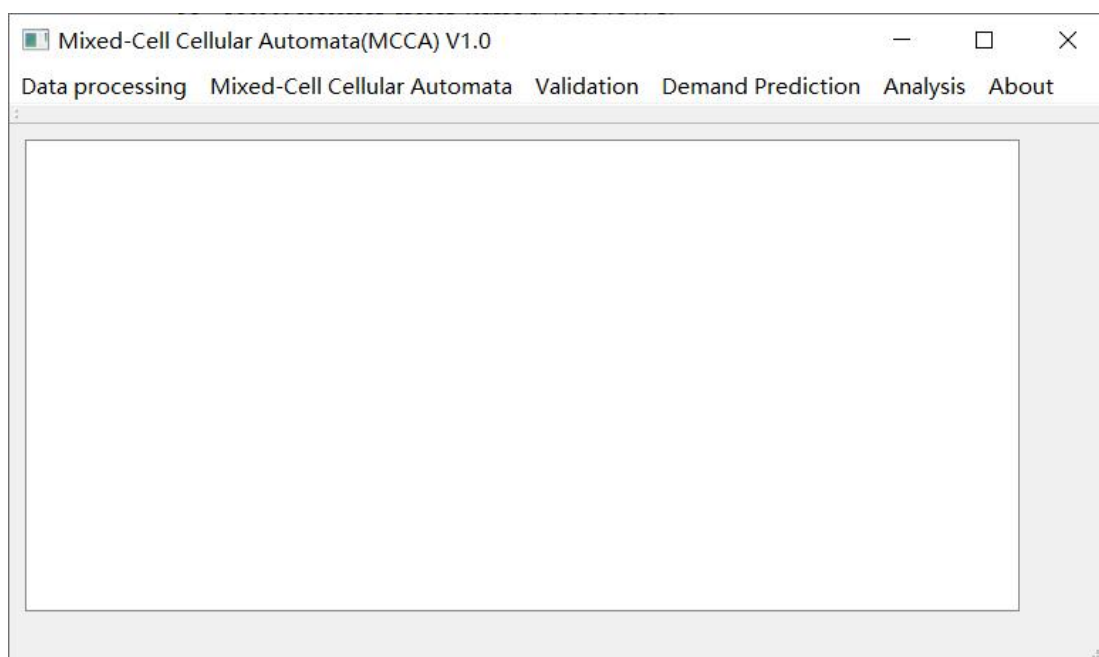


图 1. MCCA 模型的主界面

主界面为简洁的图像浏览界面，为模拟过程提供动态显示功能。

2. 示例数据描述

测试数据集可以在测试数据文件夹中找到。使用此数据集运行示例模型，或

将其与模拟结果进行比较。在实际应用中，可以解决更多关于人-自然影响的驱动力。示例数据集中的研究区域位于中国中部湖北省南部的咸宁市。注意，所有土地利用组成部分的覆盖比例代表一个元胞的土地利用结构。

表 1. 测试数据列表

目录	数据	文件名	描述
混合 土地 利用 数据	土地利用结构 数据	Xianning_2000_landuse_1~7.tif	每个土地利用结构数据共有7
		Xianning_2005_landuse_1~7.tif	层, Layer1: 耕地, Layer2: 林
		Xianning_2010_landuse_1~7.tif	地, Layer3: 林地, Layer4: 水
		Xianning_2015_landuse_1~7.tif	体, Layer5: 城市用地, Layer6: 农村居民点, Layer7: 其他
约束 数据	土地利用约束	OpenWater.tif	开放水域的覆盖比例
社会 经济 数据	人口	population.tif	http:
	GDP	gdp2010.tif	//www.geodoi.ac.cn/WebCn/Default.aspx
	邻近城市中心	dst_town.tif	World Urbanization Prospects: The 2014 Revision, CD-ROM Edition
	邻近高速公路	dst_highway.tif	
	邻近主干道	dst_primaryroad.tif	
	邻近主干线	dst_arterialroad.tif	OpenStreetMap (https:
	邻近次要道路	dst_secondaryroad.tif	//www.openstreetmap.org/)
	邻近三级道路	wh_dist_teriary.tif	
	邻近铁路	dst_tetriary.tif	
	邻近高铁站	dst_highspeedrailwaystation.tif	http: //lbsyun.baidu.com/
气候 和环 境数	土壤类型	soiltype.tif	HWSD v 1.2 (http: //westdc.westgis.ac.cn/data/84401 0bad359-4020-bf76-2b58806f920

据		5)
年平均气温	annualTemperature.tif	WorldClim v2.0 (http://www.worldclim.org/)
年降水量	annualPrecipitation.tif	
DEM	DEM.tif	NASA SRTM1 v3.0
坡度	slope.tif	

3. 使用 MCCA 模型的几个关键注意事项

- 1) 输入的土地利用结构数据必须是“double”格式。
- 2) 在挖掘定量转换规则的步骤中,坐标或投影系统必须得到 GDAL 的支持。我们推荐世界大地测量系统 (WGS 84)。该步骤不要求输入图像数据具有相同的行数和列数。坐标对齐机制可用。
- 3) 在模拟土地利用结构动态的步骤中,输入图像数据需要具有相同的行数和列数,包括土地利用模式、限制区域和变化概率数据。
- 4) 我们强烈建议用户不要在 MCCA 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。

4. MCCA 模型的用户界面

MCCA 包括两个主要部分, 1) 定量转换规则的挖掘和 2) 土地利用结构的动态模拟。允许用户通过从“Mix-cell Cellular Automata Model”按钮中选择一个选项来启动相应的模块。

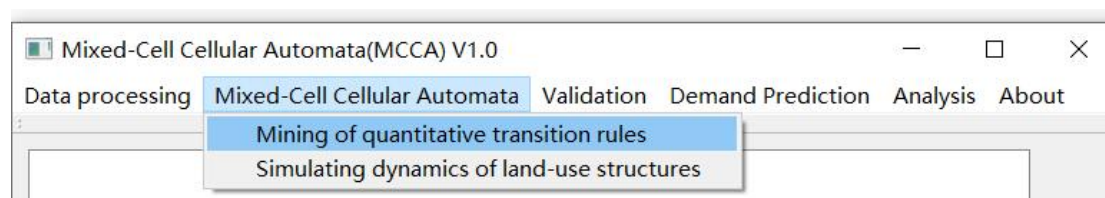


图 2. 启动“挖掘定量转换规则”模块

4.1. 量化转换规则的挖掘

4.1.1. 启动模块

点击“Mining of quantitative transition rules”项，启动模块。然后在模拟中输入土地利用类型的数量。本实验的土地利用类型数量为7。注意，土地利用量不能小于2（如城市用地和非城市用地）。

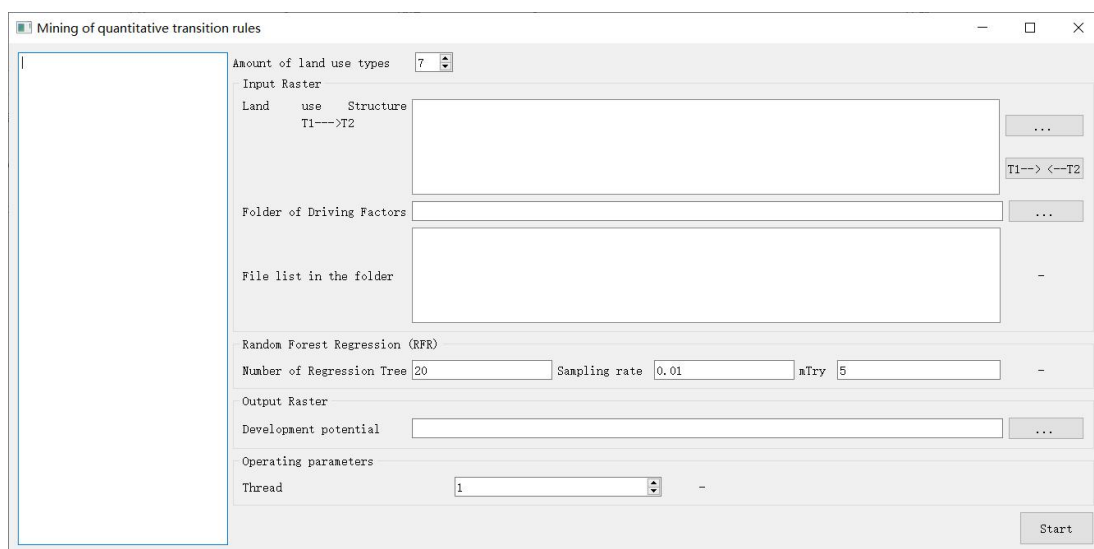



图 3. “Mining of quantitative transition rules” 模块的用户界面

4.1.2. 输入土地利用数据

单击“Land use Structure”组框中的  按钮，并选择两者各时期的土地利用数据：“Xianning_2000_landuse”和“Xianning_2015_landuse”在弹出的对话框中。注意，在这个实验中，7种土地利用类型意味着7种土地利用每个土地的组成部分都使用结构化数据。在此步骤中，您只需选择两个土地利用结构数据的第一个波段（共7个波段）。

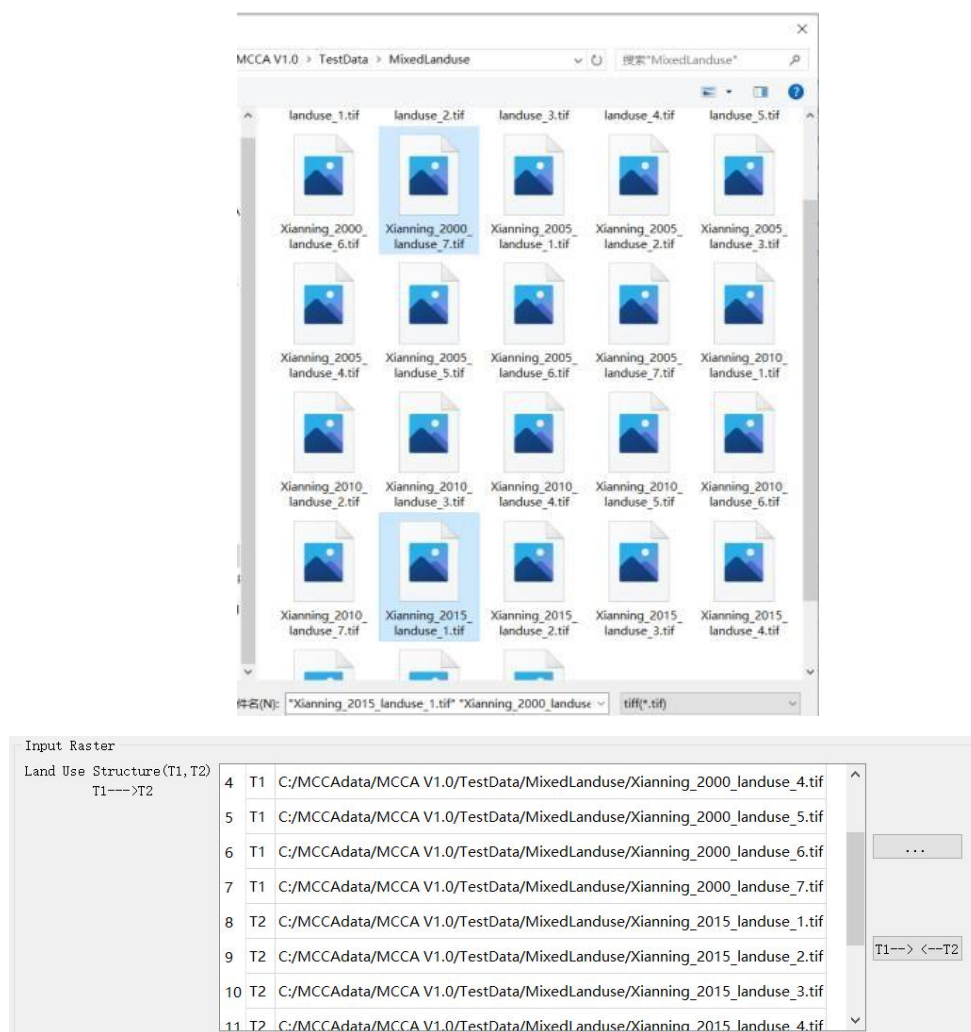




图 4. 选择两期土地利用结构化数据

请确保后一种土地利用结构数据（如 T2, Xianning_2015_landuse）排在第一种土地利用结构数据（如 T1, Xianning_2000_landuse）之后。用户可以点击  按钮来调换他们的排序。

4.1.3. 输入驱动因素

单击“Folder of driving factors”组框中的  按钮，并选择弹出对话框中驱动因素的文件夹。MCCA 软件会自动加载文件夹中的“tif”文件。我们的示例数据为模拟提供了 14 个驱动因素。

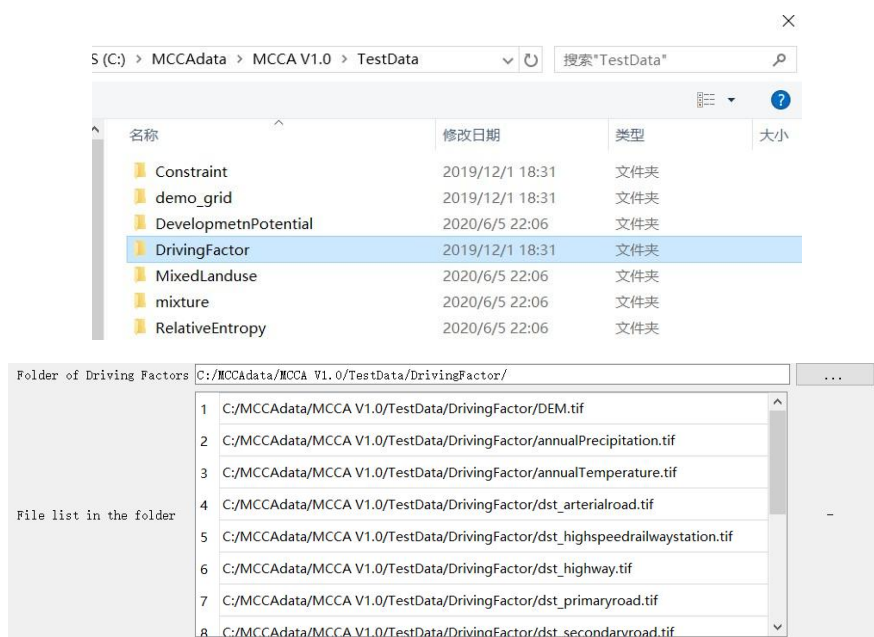



图 5. 选择一个文件夹，输入所有驱动因素

4.1.4. 设置训练参数和输出路径

允许用户设置随机森林回归（RFR）的参数。默认情况下，采样率设置为 0.01，这意味着将选择大约 1% 的像素进行训练。在这个实验中，回归树的数量被设置为 100。mTry 表示用于训练 RFR 模型的特征数量。在本实验中，最大特征数为 14，等于驱动因子数。然后点击“Output Raster”区域框中的  按钮，在弹出的对话框中输入变更概率的保存路径。生成的变化概率被命名为“result_changeProbability.tif”。用户可以增加并行内部线程的数量来加快运行速度。

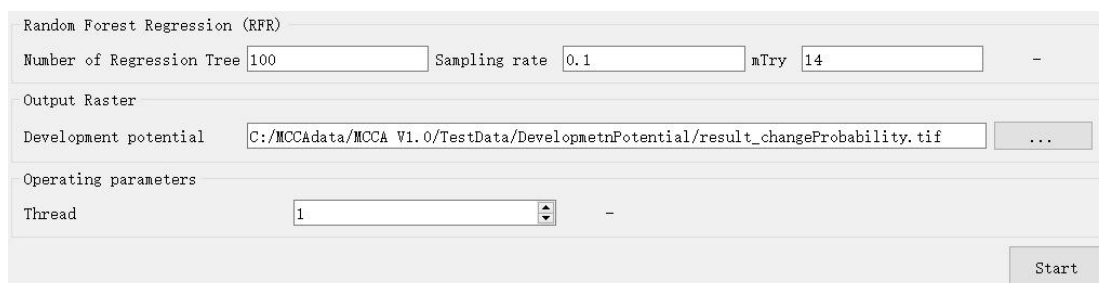



图 6. 确定 RFR 的训练参数和输出路径

4.1.5. 运行程序并检查结果

完成上述设置后，单击按钮  运行该模块。当模型流程运行完成时，将弹出一个消息框，如下所示。

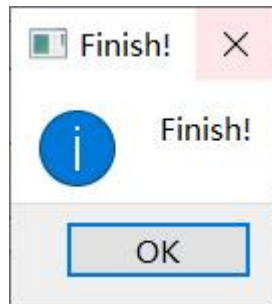


图 7. 显示程序成功运行的消息

用户界面左侧的文本面板将输出每个土地利用组成部分的 RFRs 的训练速度和精度。每种土地利用类型将有两个精度指标，如 RMSE 和 OOB-RMSE。

```
Type 0
make df-trees success = 1
RMSE = 0.017783
OOB RMSE = 0.0510151
Run time: 32.203

Type 1
make df-trees success = 1
RMSE = inf
OOB RMSE = inf
Run time: 40.594

Type 2
make df-trees success = 1
RMSE = 0.0102598
OOB RMSE = 0.0302431
Run time: 33.266

Type 3
make df-trees success = 1
RMSE = 0.0283541
OOB RMSE = 0.0823347
Run time: 32.75

Type 4
make df-trees success = 1
RMSE = 0.0318527
OOB RMSE = 0.0923667
Run time: 33.328

Type 5
make df-trees success = 1
RMSE = 0.00904057
OOB RMSE = 0.0261192
Run time: 32.64

Type 6
make df-trees success = 1
RMSE = 0.00938683
OOB RMSE = 0.0272855
Run time: 33.157
```

图 8. 每种土地利用类型的准确性

然后，该模型将为每种土地利用类型生成 7 套变化概率图。

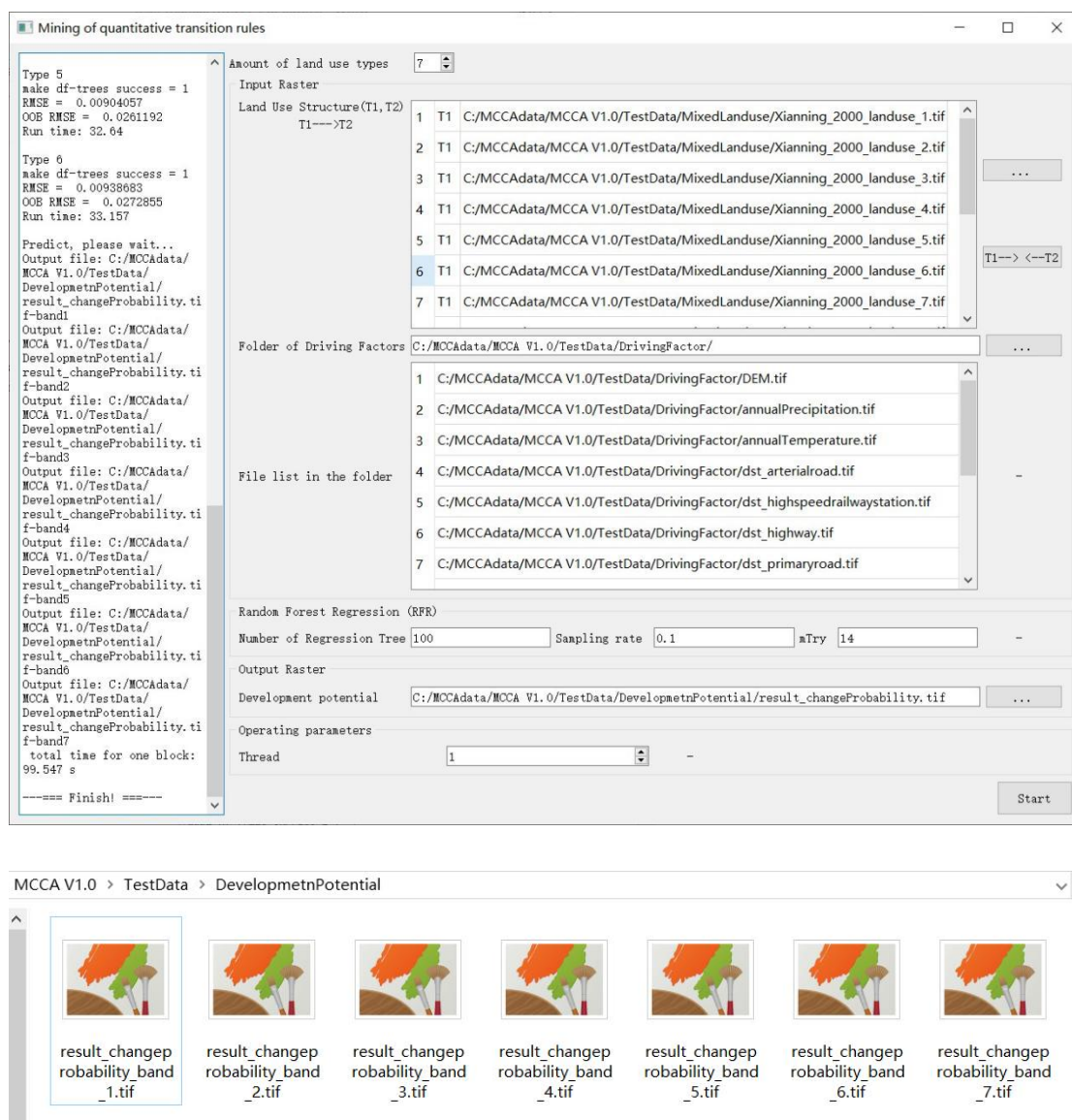


图 9. “Mining of quantitative transition rules” 模块的输出

4.2. 获取历史和未来的土地利用需求

在模拟之前，应分别计算历史土地利用量（如 2000-2015 年）和未来土地利用需求（如 2015-2035 年），以进行模型验证和未来预测。然而，混合元胞土地利用数据的历史土地利用量的获取并不像纯元胞土地利用数据那样容易。因此，我们分别提供了基于线性回归和基于马尔可夫链的两个工具，它们都可以用于预测特定时期的未来土地利用需求，同时输出历史土地利用量。

4.2.1. 线性回归方法

4.2.1.1. 启动土地利用需求预测模块

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。该步骤提供了一种线性回归方法。本试验基于 2000 年、2005 年、2010 年和 2015 年的历史数据预测未来的土地利用需求。单击“Linear regression”项目启动模拟模块。

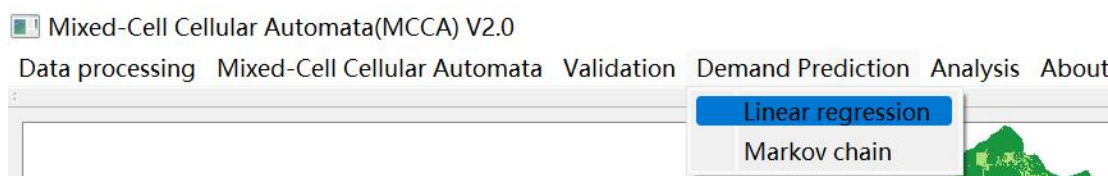



图 10. 激活土地利用需求预测模块

然后在模拟中输入土地利用类型的数量，本实验的土地利用类型数量为 7。将预测未来年份总量设置为 20。然后该模块将预测 2015 年至 2035 年（2015+20 年）的未来土地利用需求。

4.2.1.2. 输入历史土地利用结构数据

点击  按钮，选择 2000 年历史土地利用结构数据，2005、2010 和 2015 年。用户只需在此步骤中选择四个土地利用结构数据的第一个波段。MCCA 软件将自动加载这些土地利用结构化数据的其他波段。

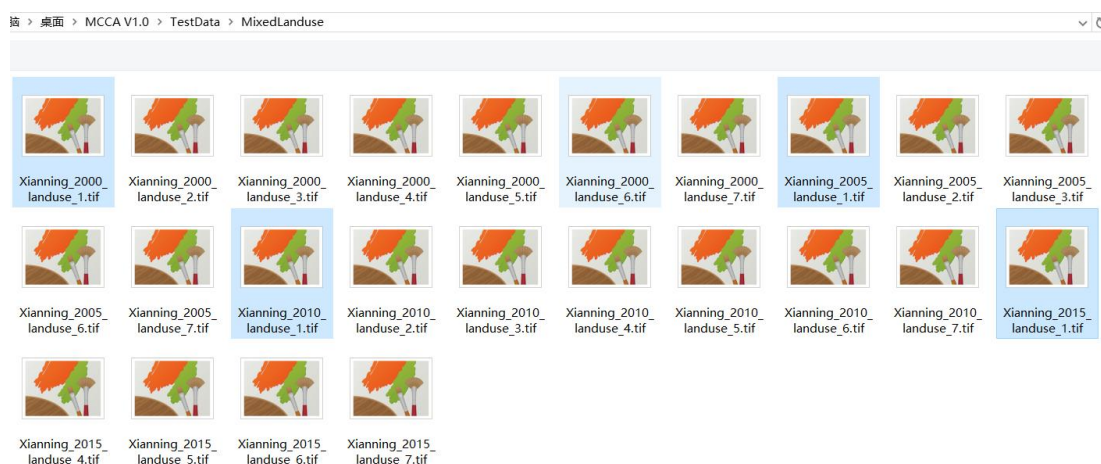


图 11. 选择历史土地利用结构化数据

此外，程序可以自动读取文件名上的年份。使用时也可以手动将年份输入到

数据图表上的“Year”列。

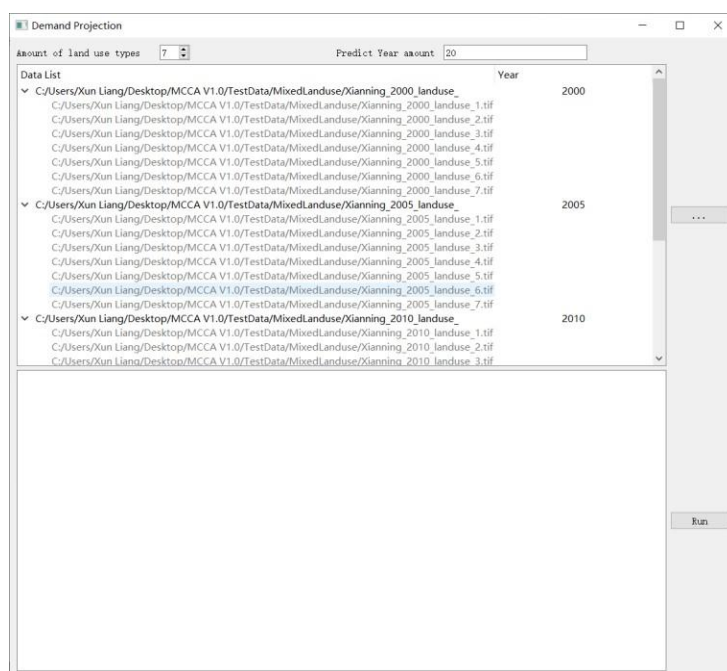



图 12. 将历史土地利用结构数据输入需求预测模块

4.2.1.3. 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”中名为“PredictDemand.csv”的文件中。注意，该模块还可以为模型验证生成历史土地利用覆盖比例（第 4.4 节）。

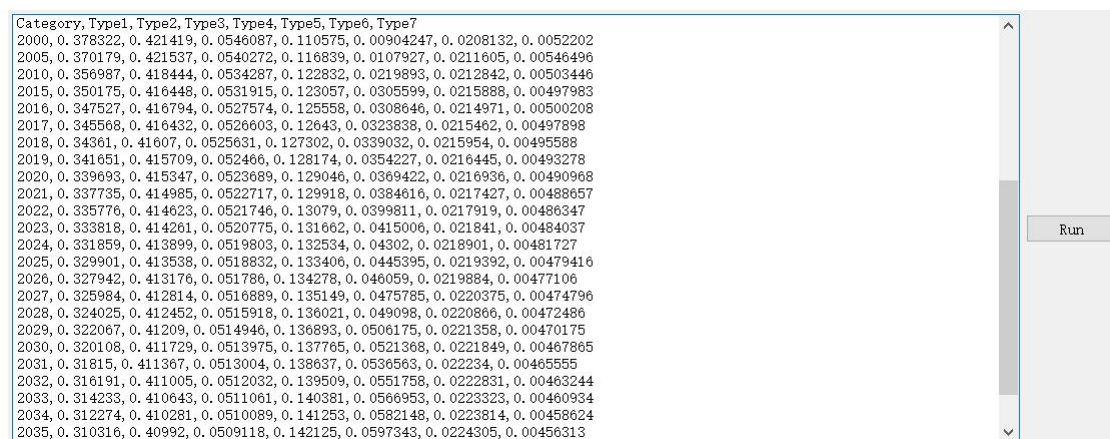


图 13. 运行线性回归预测未来土地利用需求

4.2.2. 马尔可夫链方法

4.2.2.1. 启动土地利用需求预测模块

该步骤提供了一种马尔可夫链方法,可以基于 2010 年和 2015 年的历史数据预测未来的土地利用需求。点击“Markov chain”项,启动预测模块。

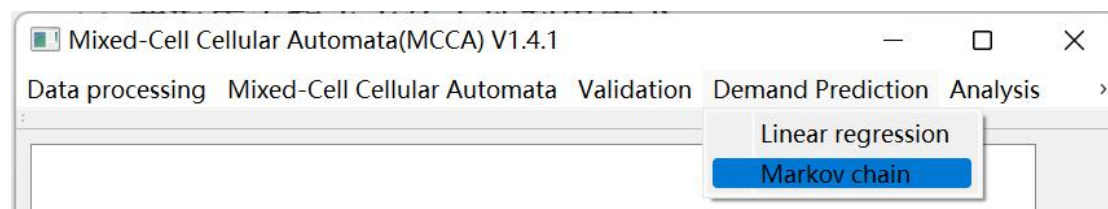


图 14. 激活土地利用需求预测的马尔可夫链方法

4.2.2.2. 输入历史土地利用结构数据

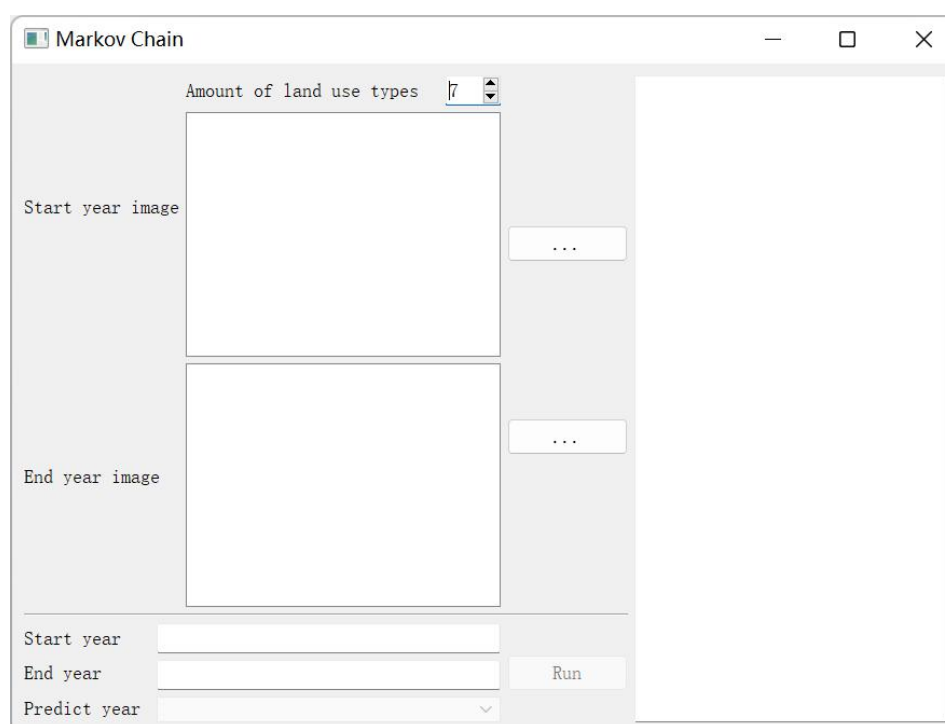



图 15. 选择历史土地利用结构数据

在模拟中输入土地利用类型的数量,本实验的土地利用类型数量为 7。单击“Start year image”行中的 按钮,输入起始年份的土地利用数据。然后单击“End year image”行的 按钮,输入终止年份土地利用数据。用户只需在此步骤中分别选择两个土地利用结构数据的第一个波段。MCCA 软件将自动加载这些土地利用结构化数据的其他波段。然后填写下方的文本框并激

活“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 2035 年。

4.2.2.3. 运行马尔可夫链并预测未来需求

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“MakovChain.csv”文件中。注意，该模块同样可以为模型验证生成历史土地利用覆盖比例（第 4.4 节）。

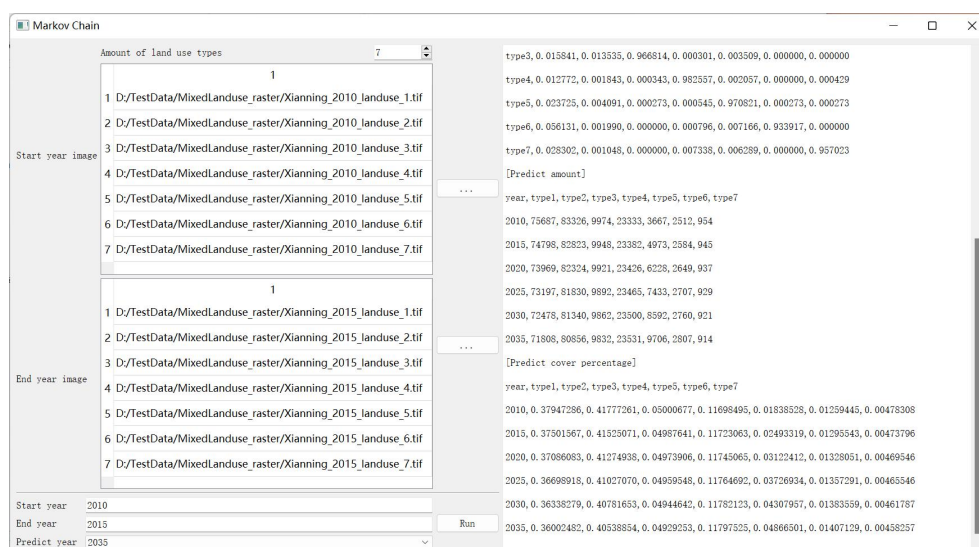


图 16. 用马尔可夫链预测未来需求

4.3. 土地利用结构动态模拟

4.3.1. 启动模块

点击“Simulating dynamics of land use structures”项，启动模拟模块。然后在模拟中输入土地利用类型的数量。本实验的土地利用类型数量为 7 种。用户可以增加并行内部线程的数量来加快运行速度。在这个实验中，MCCA 的邻域效应被设置为 3。

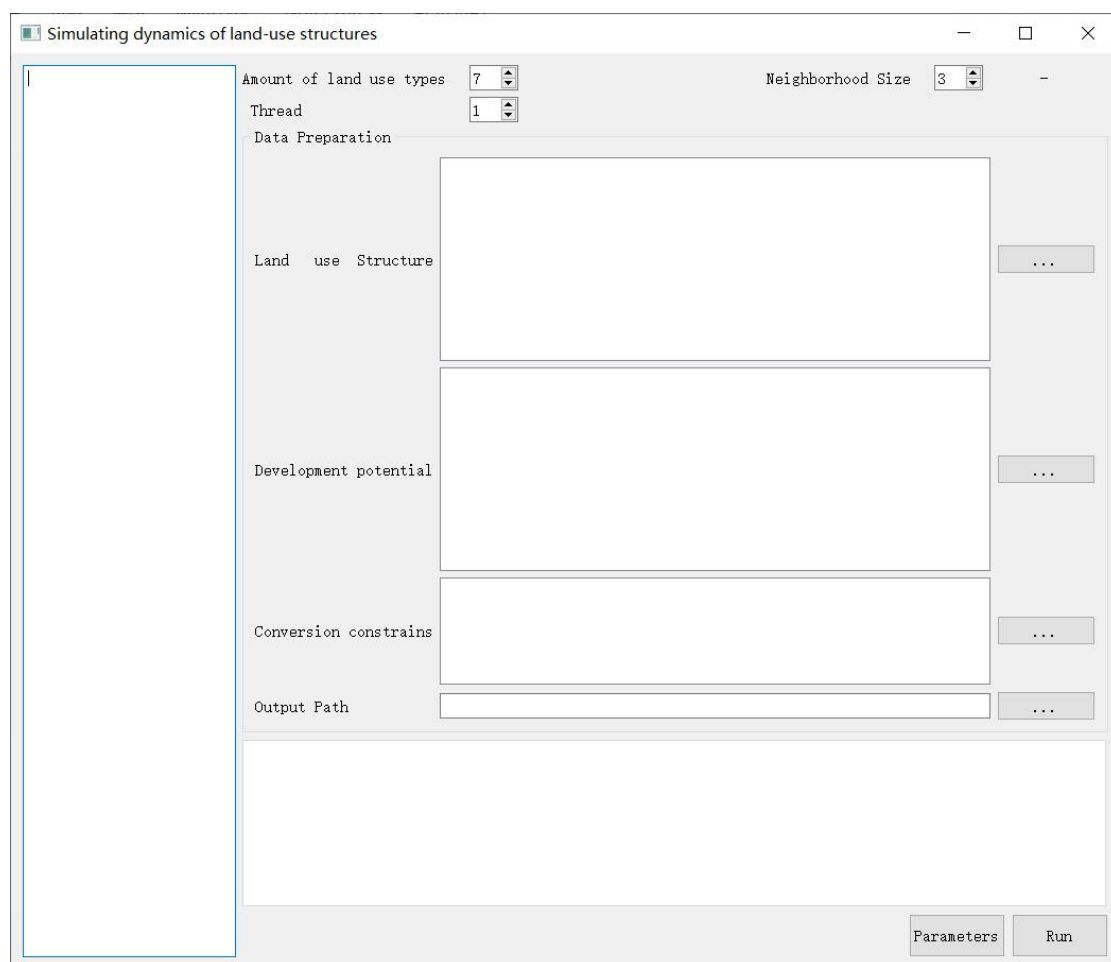



图 17. “Simulating dynamics of land use structures” 模块的用户界面

4.3.2. 输入土地利用数据

单击“Land Use Structure”组框中的  按钮，并选择开始年份土地利用数据“Xianning_2000_landuse_1.tif”中弹出对话框。该模型将自动加载土地利用结构数据的所有波段。

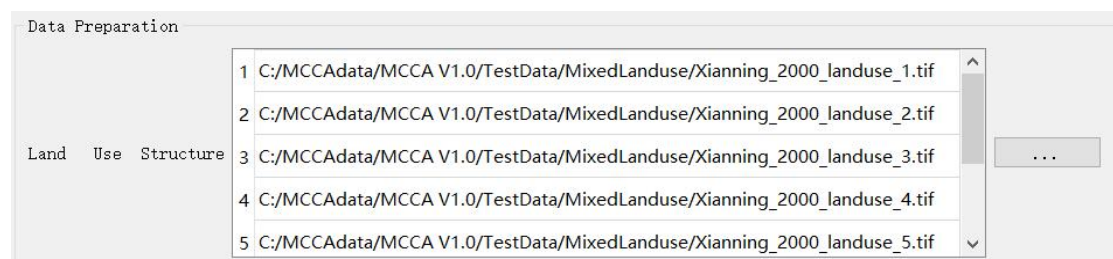


图 18. 选择起始年的土地利用结构数据

4.3.3. 输入变化概率数据

在“Development Potential”组框中输入从“Mining of quantitative transition

rules”” 模块输出的变化概率文件。

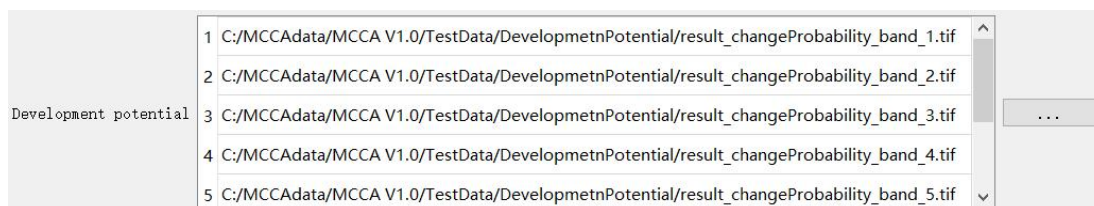


图19. 选择变化概率数据

4.3.4. 开放水域的限制（空间政策）

我们假设开放水域（水体的一个子类）不允许被转换为其他土地利用组成部分。因此，采用开放水域覆盖比例分布图来提供每个元胞的最小水体数量，这意味着每个元胞内水体的覆盖比例不小于开放水域的覆盖比例。同时，在这些元胞中，允许其他土地利用组成部分之间的相互转换。

然后我们在“Conversion constraints”组框中输入开放水层的土地利用覆盖比例。第二个参数用于指定开放水域将要限制的土地利用类型。本实验采用开放水域来约束水体的变化，水体编码为4。因此，该参数设置为4。

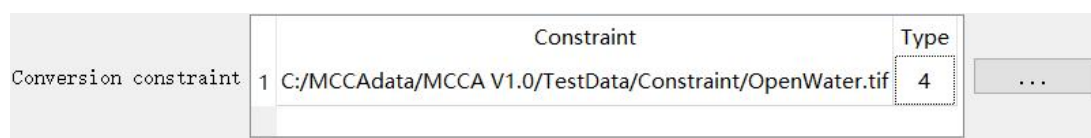


图 20. 选择变化概率数据

4.3.5. 设置保存模拟结果的路径

在“Output path”组框中输入模拟结果的保存路径。

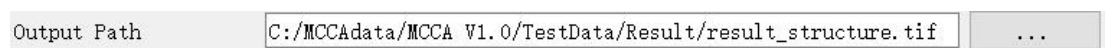


图 21. 选择输出路径

4.3.6. 设置模拟参数

模拟参数包括土地利用需求、转化矩阵和步长。首先需要根据研究区域的实际情况设定土地利用需求。用户需要首先使用外部模型来确定未来场景下的土地利用需求。对于我们的示例运行，土地利用变化模拟的时间跨度为2000年至2015年，因此土地利用需求被设置为与2015年各种土地利用类型的实际面积相同。

我们在第 4.2.3 节中获得了历史土地需求并预测了未来的土地需求。

Category, Type1, Type2, Type3, Type4, Type5, Type6, Type7
2000, 0.378322, 0.421419, 0.0546087, 0.110575, 0.00904247, 0.0208132, 0.0052202
2005, 0.370179, 0.421537, 0.0540272, 0.116839, 0.0107927, 0.0211605, 0.00546496
2010, 0.356987, 0.418444, 0.0534287, 0.122832, 0.0219893, 0.0212842, 0.00503446
2015, 0.350175, 0.416448, 0.0531915, 0.123057, 0.0305599, 0.0215888, 0.00497983
2016, 0.347527, 0.416794, 0.0527574, 0.125558, 0.0308646, 0.0214971, 0.00500208
2017, 0.345568, 0.416432, 0.0526603, 0.12643, 0.0323838, 0.0215462, 0.00497898
2018, 0.34361, 0.41607, 0.0525631, 0.127302, 0.0339032, 0.0215954, 0.00495588
2019, 0.341651, 0.415709, 0.052466, 0.128174, 0.0354227, 0.0216445, 0.00493278
2020, 0.339693, 0.415347, 0.0523689, 0.129046, 0.0369422, 0.0216936, 0.00490968
2021, 0.337735, 0.414985, 0.0522717, 0.129918, 0.0384616, 0.0217427, 0.00488657
2022, 0.335776, 0.414623, 0.0521746, 0.13079, 0.0399811, 0.0217919, 0.00486347
2023, 0.333818, 0.414261, 0.0520775, 0.131662, 0.0415006, 0.021841, 0.00484037
2024, 0.331859, 0.413899, 0.0519803, 0.132534, 0.04302, 0.0218901, 0.00481727
2025, 0.329901, 0.413538, 0.0518832, 0.133406, 0.0445395, 0.0219392, 0.00479416
2026, 0.327942, 0.413176, 0.051786, 0.134278, 0.046059, 0.0219884, 0.00477106
2027, 0.325984, 0.412814, 0.0516889, 0.135149, 0.0475785, 0.0220375, 0.00474796
2028, 0.324025, 0.412452, 0.0515918, 0.136021, 0.049098, 0.0220866, 0.00472486
2029, 0.322067, 0.41209, 0.0514946, 0.136893, 0.0506175, 0.0221358, 0.00470175
2030, 0.320108, 0.411729, 0.0513975, 0.137765, 0.0521368, 0.0221849, 0.00467865
2031, 0.31815, 0.411367, 0.0513004, 0.138637, 0.0536563, 0.022234, 0.00465555
2032, 0.316191, 0.411005, 0.0512032, 0.139509, 0.0551758, 0.0222831, 0.00463244
2033, 0.314233, 0.410643, 0.0511061, 0.140381, 0.0566953, 0.0223323, 0.00460934
2034, 0.312274, 0.410281, 0.0510089, 0.141253, 0.0582148, 0.0223814, 0.00458624
2035, 0.310316, 0.40992, 0.0509118, 0.142125, 0.0597343, 0.0224305, 0.00456313

图 22. 2015 年历史土地利用量

当分配面积等于所有土地利用类型的需求面积时，模型将停止。在选项卡小部件中，“Future Amounts”页面的第二行“Land Demand”用于输入每种土地利用类型的未来土地利用需求。运行程序后会自动加载初始像素数。您需要输入预测年份各土地利用类型的覆盖比例如图 19 所示（如 2015 年土地利用量）。

Step Size	Transition Matrix	Land Demands					
	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	0.350175	0.416448	0.0531915	0.123057	0.0305599	0.0215888	0.00497983

图 23. 输入目标土地利用需求

然后，将选项卡切换到“Transition Matrix”页面。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 表示转换不可能。过渡矩阵是专家关于研究领域的一系列先验知识的集合。成本矩阵的示例如下所示：

Step Size	Transition Matrix	Land Demands					
	Type 1	Type 2	Type 3	Type 4	Type 5	Type 6	Type 7
Type 1	1	0	1	1	1	1	0
Type 2	1	1	1	0	1	1	0
Type 3	1	1	1	0	1	1	0
Type 4	1	0	0	1	1	1	0
Type 5	0	0	0	0	1	0	0
Type 6	0	0	0	0	1	1	0
Type 7	1	1	1	1	1	1	1


图 24. 转化矩阵

并且在“Step Size”页面，用户需要设置不同土地利用类型的步长，因为每个土地利用类型的邻域效果可能不同。每种土地利用类型的步长是根据专家知识和一系列模型测试确定的，范围从 0 到 1。在本例中，我们将参数设置如下：


Step Size	Transtion Matrix		Land Demands				
	Type 1	Type 2	Type 3	Type 4	Type 5	Type 6	Type 7
Step Size	1	1	1	1	1	1	1

图 25. 步长，建议每个土地利用类型的值为 1

4.3.7. 运行多态 CA 分配模型

最后，点击按钮  开始模拟。每次迭代的信息显示在“Simulating dynamics of land use structures”模块界面的左侧。此外，MCCA 能够在主界面上动态显示土地利用变化过程，包括各土地利用类型的空间变化、价值变化和变化曲线。

可视化面板允许用户放大和观察当地的土地利用动态。用户可以通过激活右侧相应的单选按钮来检查可视化面板上的任何土地利用类型。动态图的横轴表示迭代次数，纵轴表示覆盖比例与元胞数量的乘积。

模型将在 2015 年停止并保存模拟结果，届时分配面积等于所有土地利用类型的需求面积。MCCA 软件会将所有参数保存到“Parameterfile”文件夹中的两个配置文件中：“SCAparameters.tmp”。该模块将加载配置文件中记录的参数，当点击  按钮时，这便于用户重复他们的实验。

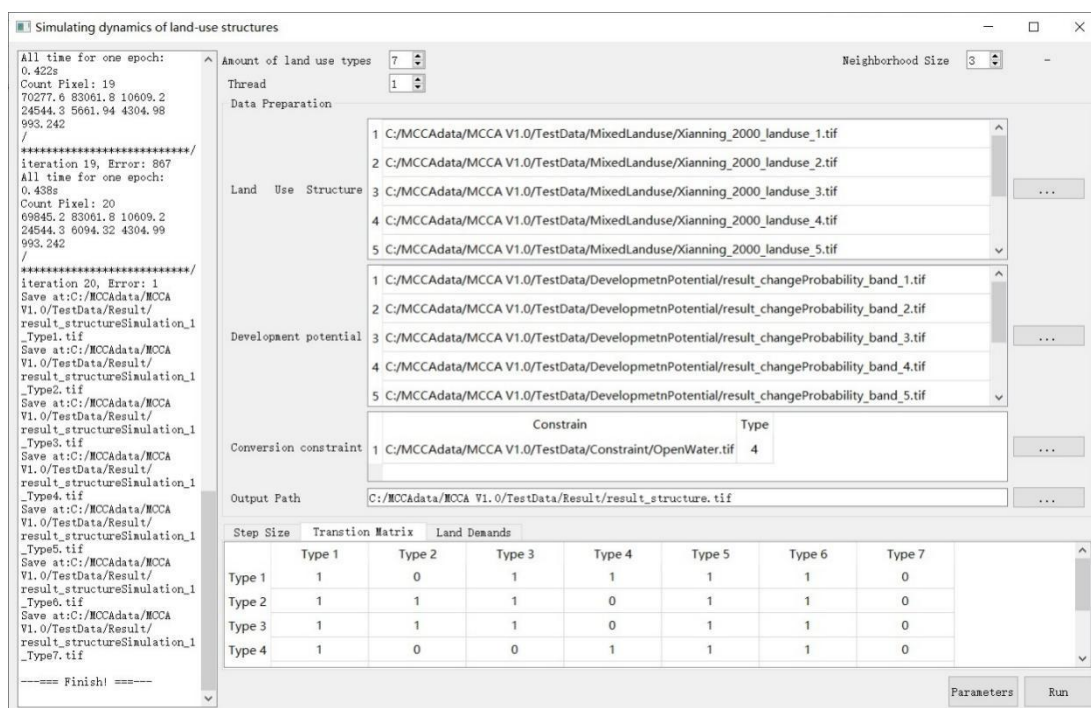


图26. 每次迭代的动态信息显示在左侧

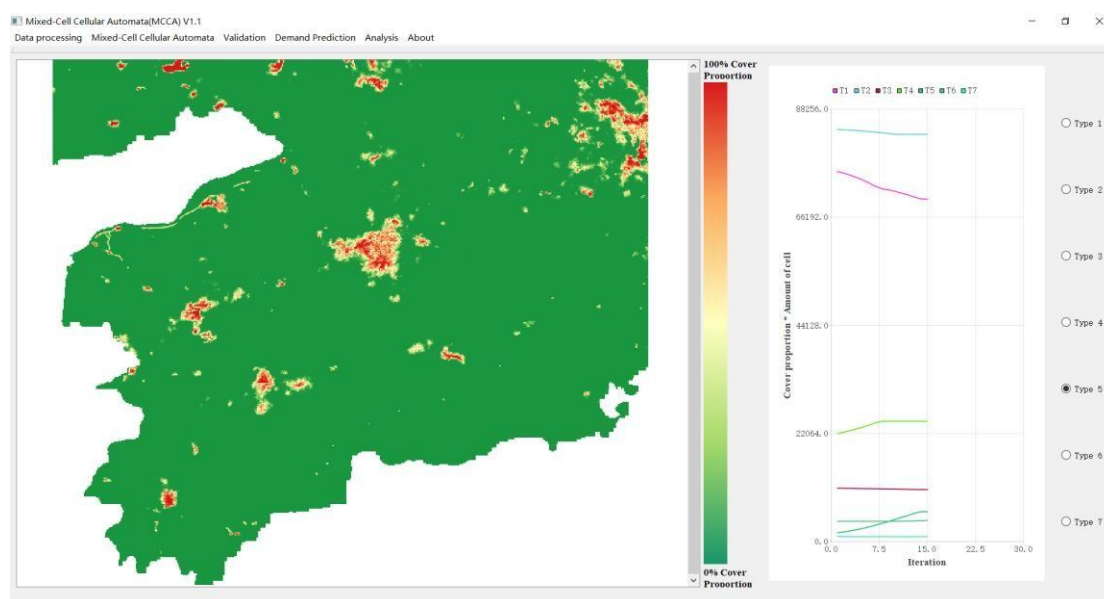


图 27. 模拟过程在主界面上的动态显示

4.4. 模拟精度验证

MCCA 提供了一个亚像素混淆矩阵统计工具，用于计算土地利用结构化数据的 kappa 系数。传统的混淆矩阵不适用于评价混合元胞土地利用数据的模拟结果。然后是相对熵统计工具，用于测量模拟土地利用结构和实际土地利用结构之间的相似性。此外，提出了一种混合元胞 Fom 指标 (mcFoM) 来验证由 MCCA

模型模拟的变化元胞的准确性。

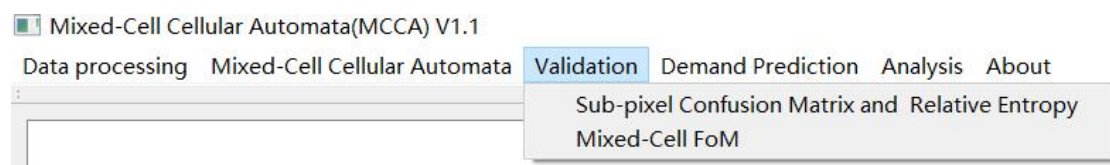


图 28. 激活验证模块

4.4.1. 加载数据

在模拟中输入土地利用类型的数量，本实验中土地利用类型的数量为 7。点击“Ground Truth”行的 按钮，在弹出的对话框中选择土地利用数据“Xianning_2015_landuse_1.tif”的起始年份。这程序将自动加载所有 7 个波段的土地利用结构化数据。然后点击“Simulation Result”行的 按钮，输入模拟土地利用结构数据“result_structureSimulation_1_Type1.tif”。

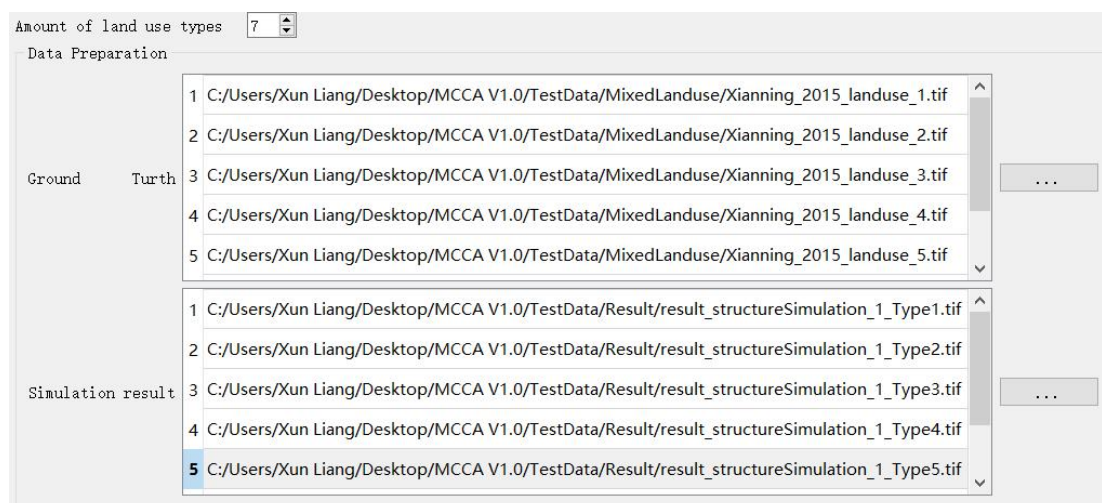


图 29. 输入实际和模拟的土地利用结构化数据

4.4.2. 亚像元混淆矩阵 (SCM) 统计工具

将采样率设置为 5%。单击 按钮开始计算卡帕系数。计算完成时会弹出一个消息框。结果包括 Kappa 系数、总体精度和亚像素混淆矩阵。它们将保存在“Parameterfile”文件夹中名为“SCM.csv”的文件中。

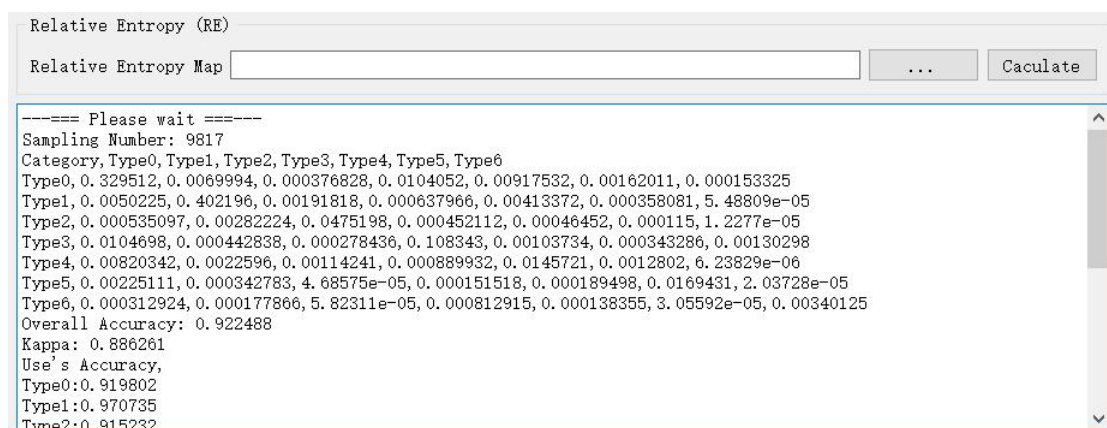


图 30. 亚像素混淆矩阵、Kappa 系数和整体精度

4.4.3. 相对熵（RE）统计工具

我们计算了相对熵（RE）作为评价土地利用结构相似性的指标，它可以代表模拟过程的信息衰减。当混合元胞 i 的实际和模拟土地利用结构相同时，RE 为 0。较大的 RE 值表明实际和模拟的土地利用结构之间存在更大的差异。通过区域土地利用结构相似性的度量，计算出整个区域的平均 RE。

点击“Relative Entropy Map”行中的 按钮，然后选取一个计算相对熵图的路径。单击 按钮开始计算 RE。当程序完成计算时，会弹出一个消息框。图像“RE.tif”显示了一个元胞的模拟结构和实际结构之间的相似性。

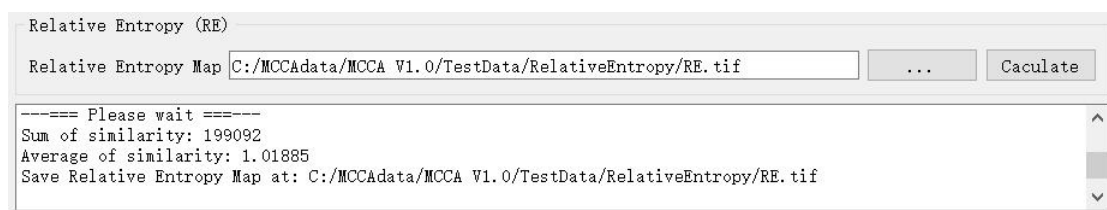




图 31. 输出区域的平均相对熵和每个像元的相对熵

4.4.4. McFoM 指标计算

单击“Mixed cell FoM”项目启动模拟模块。在模拟中输入土地利用类型的数量，本实验中土地利用类型的数量为 7。单击“Ground Truth”行中的 按钮，选择土地的起始年份在弹出的对话框中使用数据“Xianning_2015_landuse_1.tif”。该程序将自动加载土地利用结构数据的所有 7 个波段。

然后单击 “Simulation Result”行中的按钮，用于输入模拟的土地利

用情况结构数据‘result_structureSimulation_1_Type_1.tif’。单击 “Initial map” 行中的  按钮，输入模拟土地利用结构数据 ‘Xianning_2015_landuse_1.tif’。单击

 按钮开始计算 mcFoM 指标。当程序完成计算时，会弹出一个消息框。

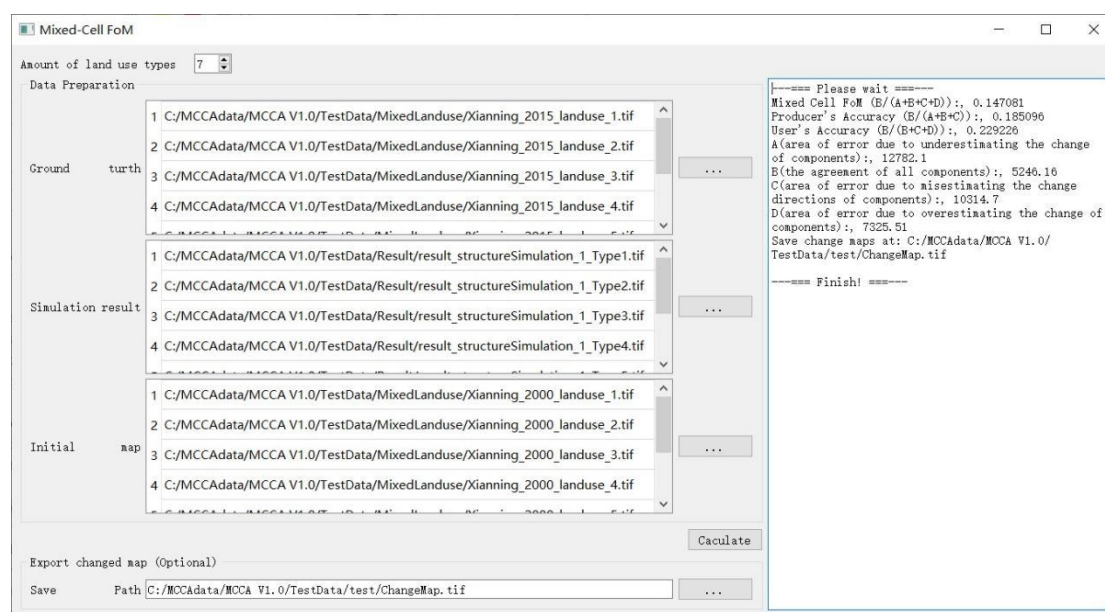

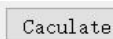


图 32. 计算 mcFoM 指标以及所有土地利用组成部分的模拟和实际变化图

用户还可以导出模拟更改元胞格和实际更改元胞格的映射。单击 “Export changed Map” 行中的  按钮，然后选择计算相对熵图的路径。单击  按钮开始计算。然后可以保存所有土地利用组成部分的模拟和实际变化图。

4.5. 模拟 2015-2035 年未来土地利用结构

4.5.1. 获得 2010 年至 2015 年的变化概率表

使用历史土地利用结构数据重复第 3.1 节中的相同流程： “MixedLanduse” 文件夹中的 “Xianning_2010_landuse” 和 “Xianning_2015_landuse”。然后得到 2010 年到 2015 年的变化概率表。

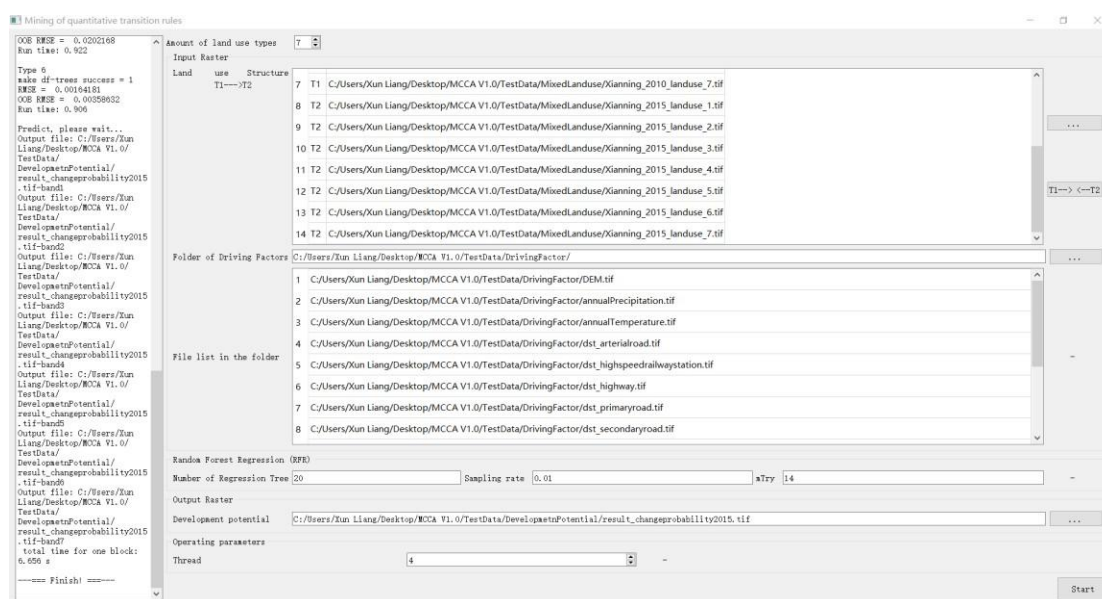


图 33. 运行“Mining of quantitative transition rules”模块，用于未来的模拟

4.5.2. 2015-2035 年土地利用结构变化模拟

使用历史土地利用结构数据重复第 3.2 节中的相同程序：“MixedLanduse”文件夹中的“Xianning_2015_landuse”和第 3.5.2 节中“Mining of quantitative transition rules”模块导出的变化概率。导入 3.4.3 节中已获得的 2035 年土地利用预测需求。其他经过良好校准的模拟参数保持不变（第 3.2 节）。

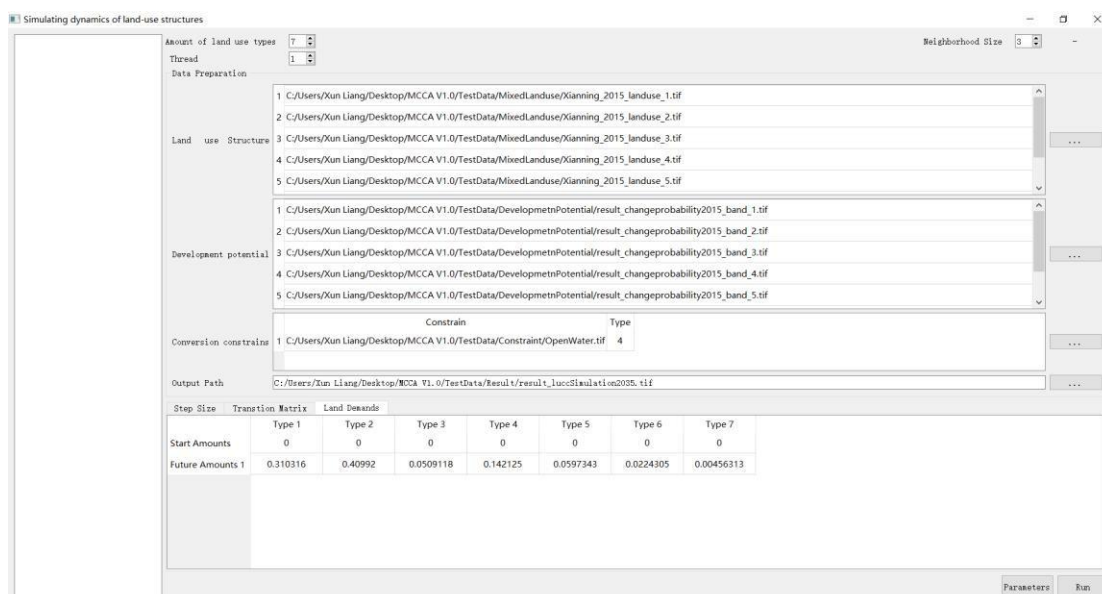



图 34. 2015-2035 年模拟参数设置

MCCA 软件会将所有参数保存到“Parameterfile”文件夹中的两个配置文件中：“SCAparameters.tmp”。该模块将加载点击 **Parameters** 按钮时记录在配置文件中。

中的参数，方便用户重复实验。最后，点击  按钮，生成 2035 年土地利用结构模拟结果。

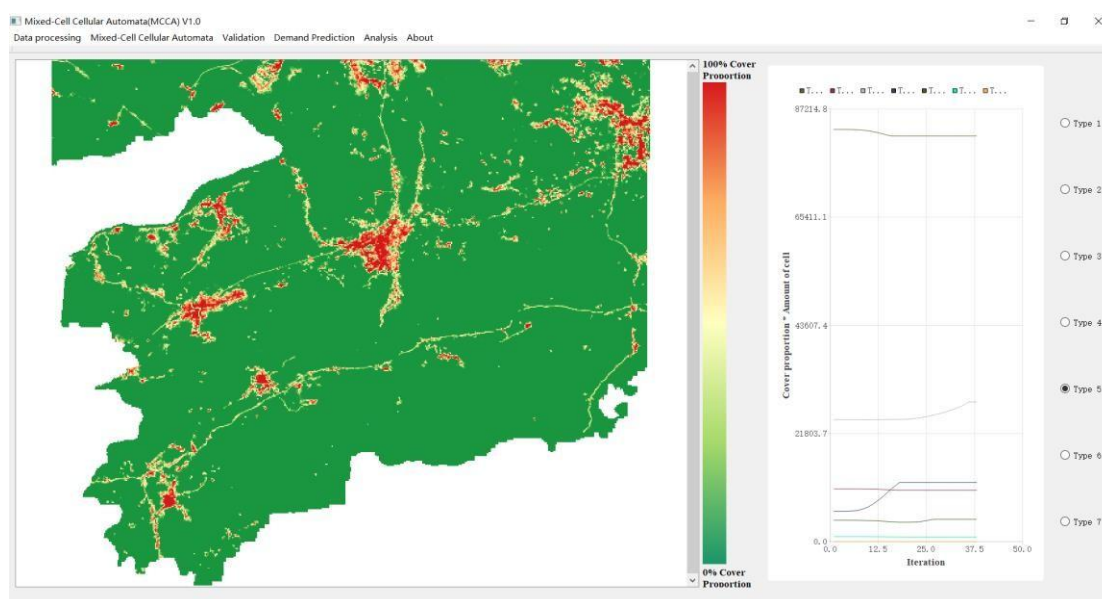


图 35. 2015-2035 年模拟动态展示

4.6. 土地利用混合计算

土地单元中土地利用成分的混合与社会经济活动、环境功能和景观设施密切相关，这对于区域可持续发展非常重要。与纯元胞 CA 模型不同，混合元胞 CA 模型具有模拟单个元胞内土地利用结构变化的优势。它们的熵可以根据土地利用组分的覆盖比例直接测量元胞水平的混合。更高的熵意味着单个元胞中土地利用的混合或多样性程度更高。

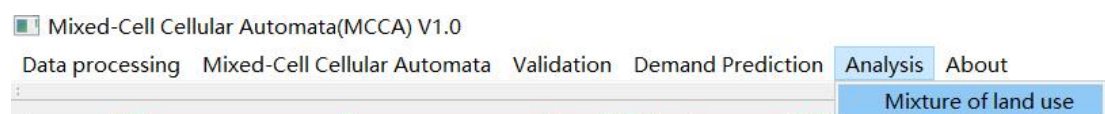




图 36. 激活“mixture of land use”模块

4.6.1. 设置输入和输出路径

在模拟中输入土地利用类型的数量，在此输入土地利用类型的数量实验 7。单击“Land use structure”行中的  按钮，选择模拟结果在 2035 “result_luccssimulation 2035 simulation _ 1 _ type1.tif”中弹出对话框。程序会自动加载模

拟的所有 7 个波段土地利用结构化数据。然后点击 “Output” 行的  按钮，设置土地利用混合图像的输出路径。

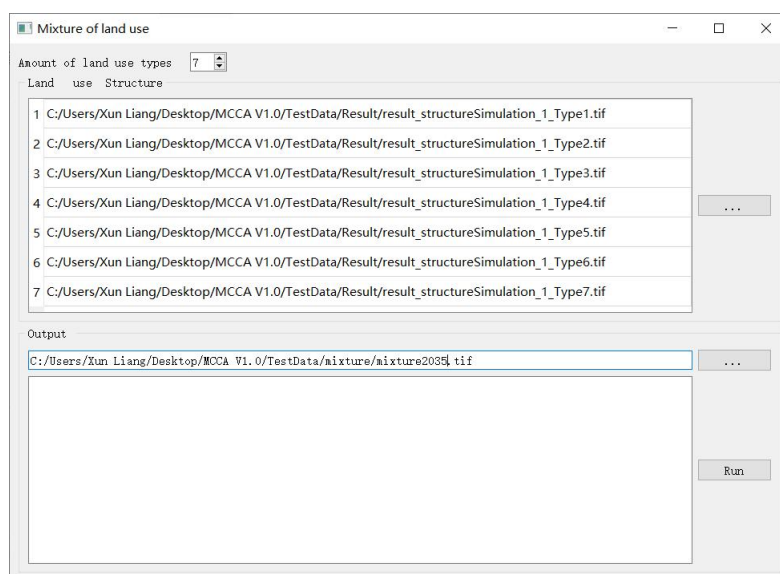



图 37. 设置 “mixture of land use” 模块的输入和输出路径

4.6.2. 计算每个元胞的土地利用混合

点击  按钮，生成 2035 年各元胞的土地利用混合预测。

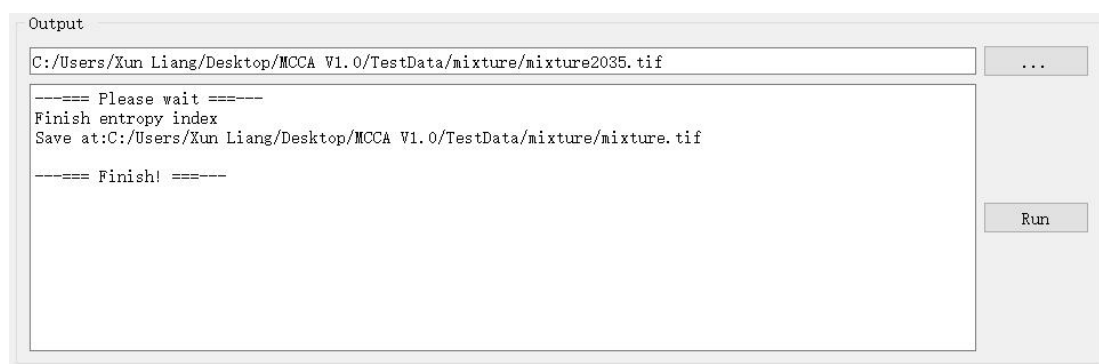


图 38. 生成 2035 年土地利用混合图像

5. 准备历史土地利用结构数据

在实际应用中，混合元胞土地利用数据至少可以通过四种方法获得：（1）遥感反演方法；（2）混合像素的分解；（3）从多源大数据（如社会网络数据、出租车轨迹、兴趣点）中提取土地利用混合结构；以及（4）将高分辨率土地利用数

据聚集成低分辨率数据。我们用第四种方法——获得混合元胞土地利用数据的最方便方法来说明 MCCA 模型，该方法能够用两种方式来处理：利用渔网转换或利用聚合工具生成。

5.1. 渔网方法

将高分辨率土地利用数据汇总为低分辨率数据，并计算每个像元的每种土地利用类型的覆盖比例。用户首先需要为研究区域生成一个渔网，就像我们的测试数据中提供的“demo_grid”文件夹中的“demogrid”一样，并使用 ArcMap 或 QGIS 中的分区统计工具计算覆盖比例。

但是，具有每种土地利用类型面积的网格应转换为栅格格式，以便它们可以作为 MCCA 软件的输入。MCCA 模型提供了两种数据处理工具，帮助用户准备栅格格式的土地利用结构数据。

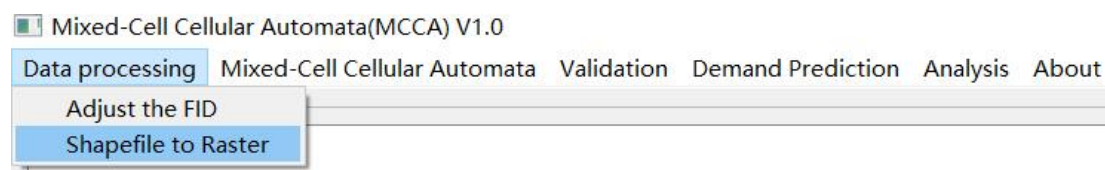


图 39. 用于准备历史土地利用结构化数据的数据处理工具

ArcMap 或 QGIS 生成的网格不能直接用于获取多种土地利用的面积信息。因为 ArcMap 网格的 FID（序列号）从左下角开始，从底行到顶行递增，而 QGIS 网格的 FID（序列号）从左上角开始，但从左列到右列递增。这两种排列与从左上角开始并从顶行向底行增加的栅格格式数据不一致。因此，用户可以首先应用“Adjust the FID”模块对渔网网格进行修改。

5.1.1. 调整网格形状文件的 FID

单击“Adjusting the FID”项目启动模拟模块。选择由 ArcMap 或 QGIS 网格生成的渔网网格，设置调整渔网网格的输出路径。

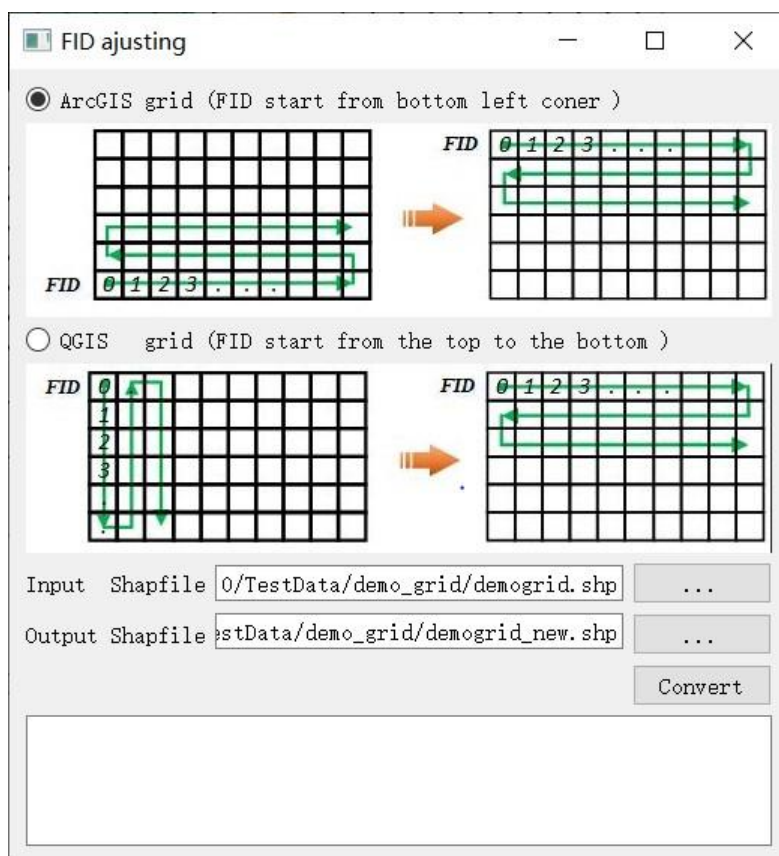


图 40. “FID adjusting” 模块的界面

然后单击 **Convert** 按钮以获得新的渔网网格。如果原始网格是由 QGIS 生成的，只需选择“QGIS”单选按钮。当模型流程运行完成时，会出现一个消息框。

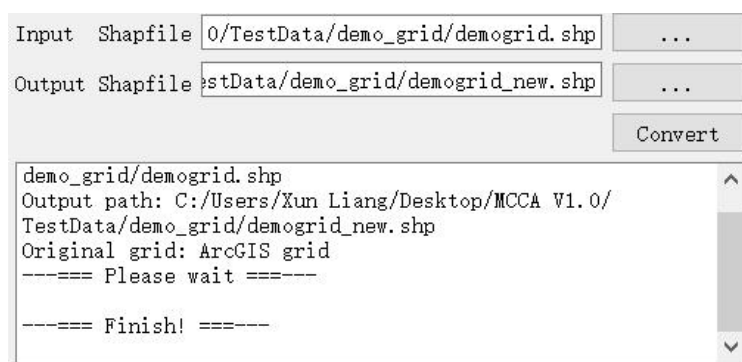


图 41. “FID adjusting” 模块的输出信息

在此步骤之后，用户可以使用调整后的网格，通过使用 ArcMap 或 QGIS 中的分区统计工具将高分辨率土地利用数据聚合到低分辨率网格中，来获取每个像元中每个土地利用的面积。然后用户可以用地理信息系统软件输出一个包含多个土地利用组件面积信息的新调整网格（如测试数据中的 Xianning_2015.shp）。

5.1.2. Shapefile 土地利用结构数据转换为栅格格式

单击“Shapefile to Raster”项目启动模拟模块。选择上一步导出的渔网网格。我们以 shapefile 格式提供了四个土地利用结构数据：“Xianning_2000.shp”、“Xianning_2005.shp”、“Xianning_2010.shp”、“Xianning_2015.shp”，已转换。选择四个形状文件网格，每个网格上有每个土地利用类型的土地利用面积，并选择一个输出文件夹。

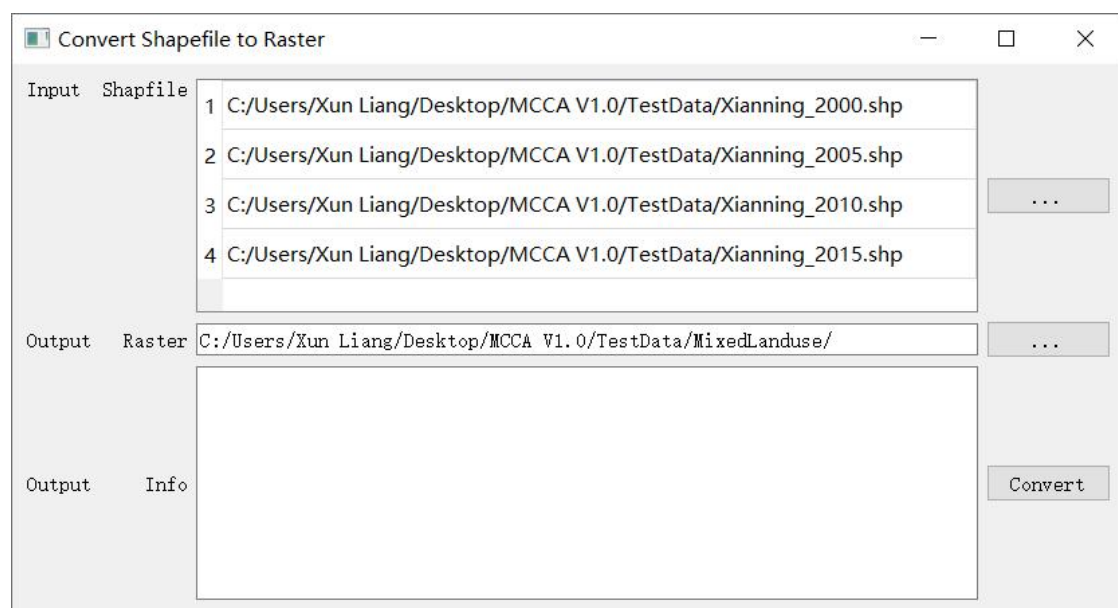
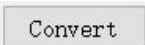


图 42. “Convert Shapefile to Raster” 模块的接口

然后点击  按钮，生成 7 层的土地利用结构数据。当模型流程运行完成时，会出现一个消息框。请注意，该程序只识别 shapefile 中格式为“VALUE_X (1~7)” 的字段。

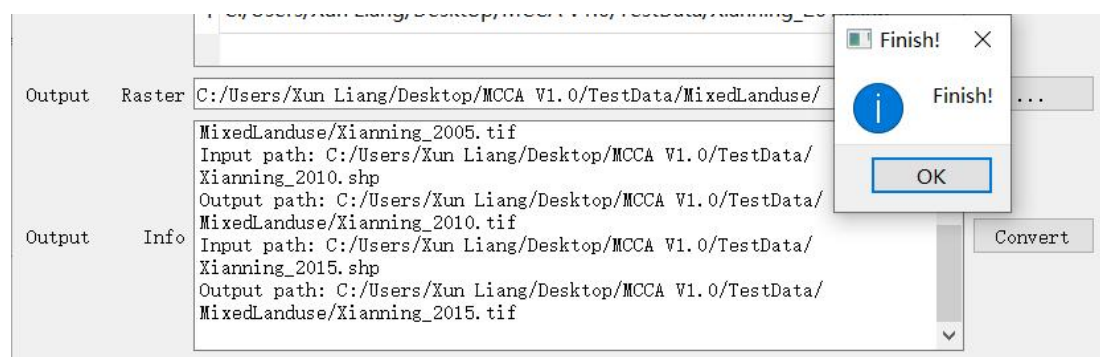


图 43. “Convert Shapefile to Raster” 模块的输出信息

5.2. 聚合方法

Arcmap 软件中的聚合模块（空间分析工具）能够生成分辨率降低版本的栅格，并计算每个像元的每种土地利用类型的覆盖比例。用户需要首先借助 Arcmap 软件中的栅格计算器工具分别对土地利用数据的每一类土地利用类型进行提取，获得多层土地利用数据（如测试数据中有 7 个土地利用类型，即需要提取 7 次）。然后利用 Arcmap 软件中的聚合工具，分别生成每一层的低分辨率土地利用数据，该步骤获得的混合土地利用结构数据转为 double 格式后可以作为 MCCA 的数据输入。

5.2.1. 提取每一个地类

用户首先需要启动 Arcmap 软件，打开 ArcToolbox 菜单，使用栅格计算器工具来分别提取每一个地类。“栅格计算器”工具路径为：空间分析工具（Spatial Analyst Tools）——地图代数（Map Algebra）——栅格计算器（Raster Calculator）。在地图代数表达式中使用 Con 函数，输入表达式 $\text{Con}(\text{“土地利用数据”} == \text{value}, 1, 0)$ ，土地利用数据为某一年份的土地利用数据，value 设定为某一地类的 value 值，公式表示土地利用数据中，等于该设定 value 值的像元赋值为 1，其他像元赋值为 0。在本例中，土地利用数据有 7 个地类，因此需要将 value 依次设置成 1-7，在栅格计算器中运行 7 次，能够获得同一年份的 7 个土地利用类型结果。

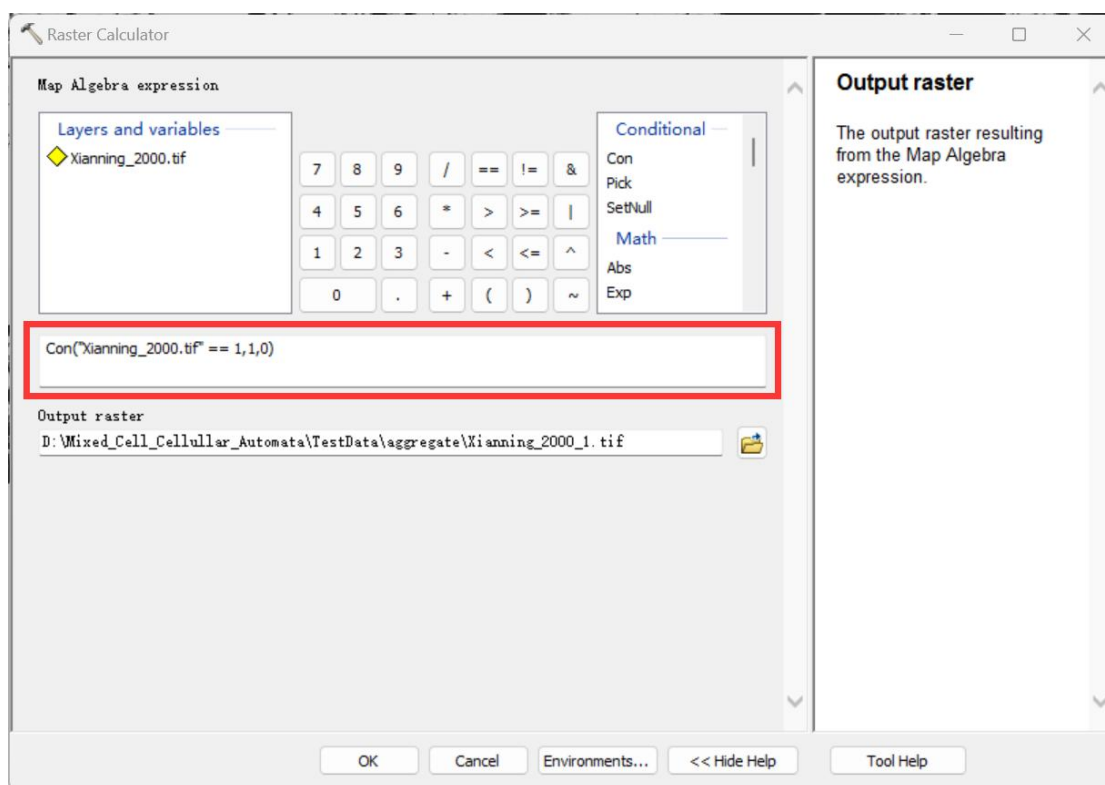


图 44. 使用栅格计算器提取某一地类

5.2.2. 聚合分析

使用 Arcmap 软件中的聚合工具来生成每一个土地利用类型的结构数据。“聚合”工具路径为：空间分析工具 (Spatial Analyst Tools)——栅格综合 (Generation)——聚合 (Aggregate)。在“输入栅格”一行输入上一步获得的土地利用结构数据，设置输出栅格路径，根据实验需求设定像元系数，该系数必须为大于 1 的整数，聚合技术选择“MEAN”，每个输出像元包含此像元范围内所涵盖的输入像元的平均值。

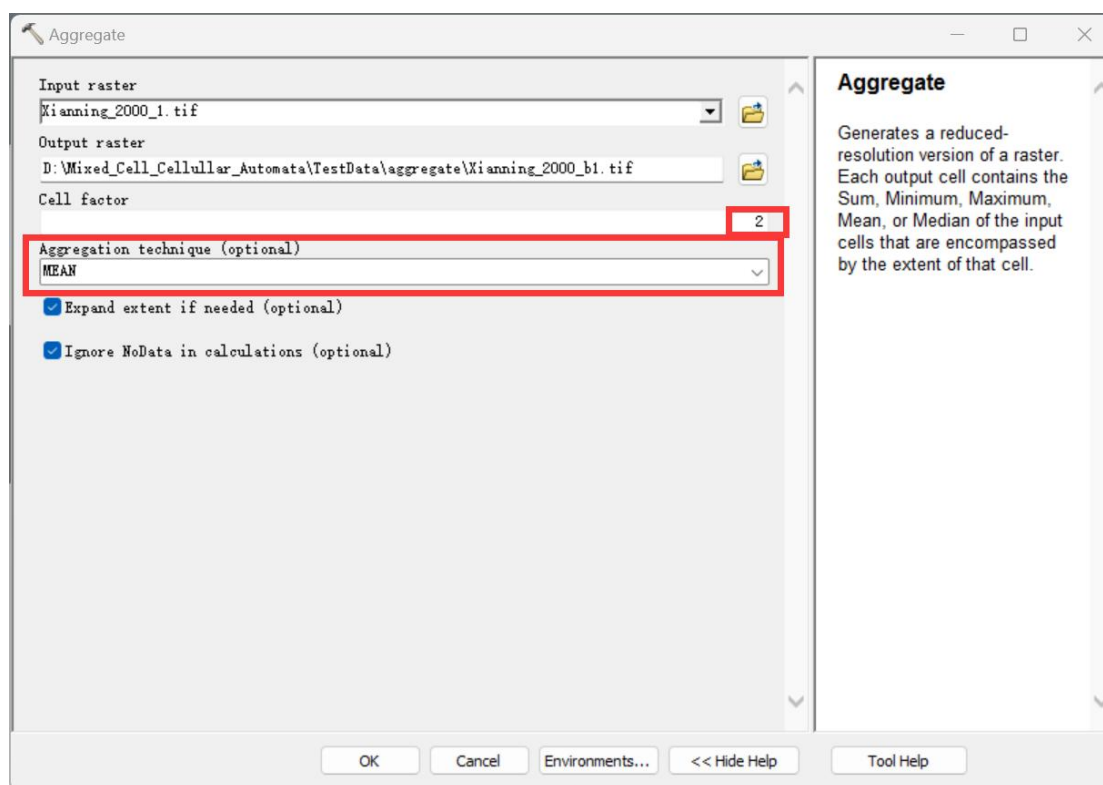


图 45. 使用聚合工具生成分辨率降低版本的栅格

5.3. 用 ArcMap 将数据转为 double 格式的方法

MCCA 软件要求数据是 double 格式。这里提供了一个使用 ArcMap 软件将数据转为 double 格式的方法。启动 ArcMap 软件，打开 ArcToolbox 菜单，我们所使用到的“复制栅格”工具路径为：数据管理（Data Management Tools）——栅格（Raster）——栅格数据集（Raster Dataset）——复制栅格（Copy Raster）。在复制栅格工具框中输入栅格路径，选择输出路径，像素类型（Pixel Type）下拉框选择“64_BIT”，即可导出 double 格式的数据。

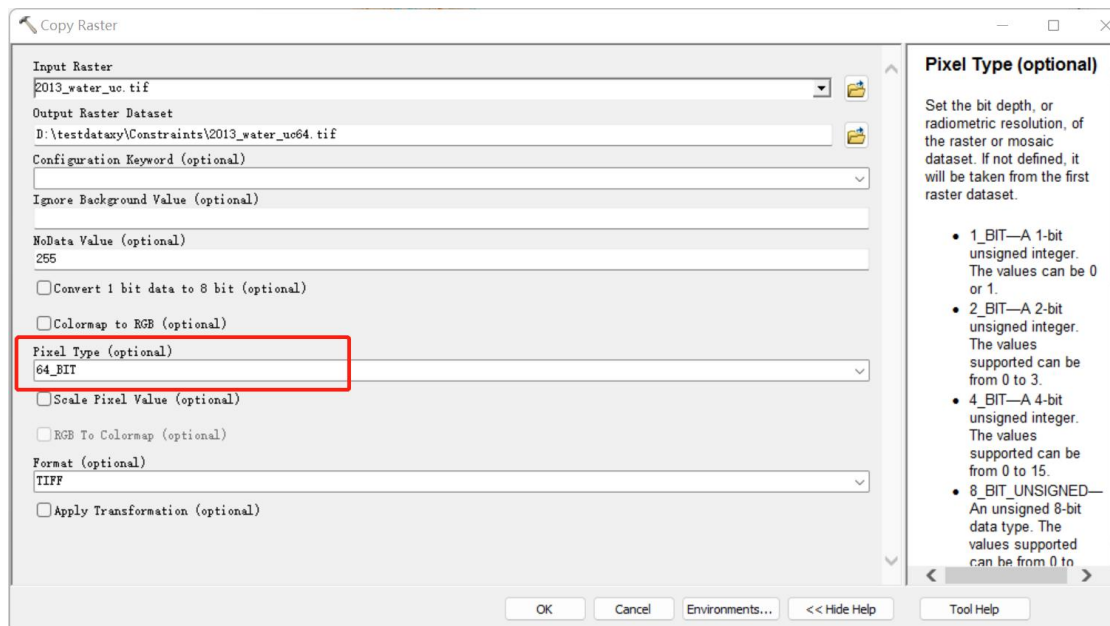


图 46. 将数据转为 double 格式的复制栅格工具

6. 版权声明与联系方式

Mixed Cell Cellular Automata Software

Version 1.0

联系方式：梁迅 liangxun@cug.edu.com

Copyright 2022 HPSCIL All Rights Reserved