基于 PLUS 模型与地表基质的土地利用变化模拟与多情景预测

周业泽，秦天，裴阳，高远，关雨男，寇福建
中国地质调查局廊坊自然资源综合调查中心，河北廊坊，065000

关键词：地表基质；PLUS 模型；土地利用变化

地表基质层是支撑与孕育自然资源的基础物质，是约束地上各类自然资源生长的重要圈层(侯红星等，2022)，作为地表土地利用的重要联系纽带，特别是作为土地资源的本底支撑层，开展地表基质调查研究，能够对按照“宜林则林、宜草则草、宜耕则耕、宜荒则荒”的原则科学合理调整自然资源规划布局提供基础数据支撑(孙兴涛等，2023)。自“地表基质”这一自然资源领域新术语提出至今，学者们主要围绕着地表基质的内涵外延、研究深度、分类方案、属性特征以及图件编制等方面进行相关研究，但对于如何利用地表基质调查数据成果服务于自然资源统一管理和国土空间利用规划等方面尚未有定论。为探究地表基质能否作为土地利用变化的主要驱动因素，以及地表基质对土地利用变化的影响趋势，笔者等基于斑块生成土地利用变化模拟模型（Patch-generating Land use Simulation Model，PLUS），综合考虑地表基质、地形和气候等因素，选取 14 个驱动因子，分析吉林省双辽—东丰地区 2010~2020 年间土地利用变化驱动因素贡献度，并设定自然发展、耕地保护和生态优先 3 种情景，对 2030 年研究区土地利用进行模拟分析，以满足在地表基质等因素驱动下不同情景的国土空间优化配置。

1　研究区概况

研究区位于吉林省与蒙辽两省交界处，公路、铁路交通较为便利，主要包括双辽市、公主岭市、伊通满族自治县、东丰县 4 县（市），总面积 12228 km²。区域内地势呈东南高，西北低，海拔高度在 100~1000 m。研究区地貌类型较丰富，东南部属长白山余脉的丘陵地区，西北部为松辽平原重要组成部分，接壤科尔沁草原，地势平坦，南部沿东辽河为典型河漫滩地貌。区域内大部分被第四系沉积物所覆盖，仅在东南部丘伊通、东丰地区出露少量强风化砂岩和花岗岩，第四系以风积砂土、冲洪积砂土、黏土和残破积砾石为主（李斌等，2023）。该区域是我国主要的黑土地带，土地资源比较丰富，农业生产条件得天独厚，主要种植玉米、大豆、水稻等粮食作物和花生、葵花籽等经济作物，现有耕地面积 9228.15 km²，占总面积约 76%。

2　研究方法与数据来源

2.1　数据来源及处理

土地利用数据：来源于中国科学院资源环境科学与数据中心的中国多时期土地利用遥感监测数据集（2020 年度），精度为 90 m 分辨率，使用 ArcGIS 软件重分类方法将土地利用类型归并为耕地、林地、草地、水域、建设用地和未利用地 6 类。

地形数据：来源于中国地理空间数据平台 2018 年 90 m 分辨率数字高程模型（DEM），利用 ArcGIS 地理处理工具，得到高程、坡度、坡向数据。

气象数据：来源于中国科学院资源环境科学与数据中心的中国气象要素年度空间插值数据集（2020 年度）中的平均气温、平均降雨量数据，精度为 90 m 分辨率。

实测数据：调查点位在兼顾不同地貌类型、土壤类型、地表基质类型的基础上均匀布设，平均约每 16 km² 一个点位，共计 817 个点位。调查内容主

注：本文为中国地质调查局自然资源综合调查项目“辽河平原梨树地区黑土地地表基质层调查”（编号：DD20211590）的成果。
收稿日期：2023-12-10；改回日期：2024-01-19；责任编辑：李明。DOI：10.16509/j.georeview. 2024. s1. 167
作者简介：周业泽，男，1992 年生，硕士，工程师，主要从事地表基质调查研究；Email：278146584@qq.com。通讯作者：秦天，男，1989 年生，硕士，工程师，主要从事地表基质调查和自然资源监测研究；Email：tianqinhj@163.com。

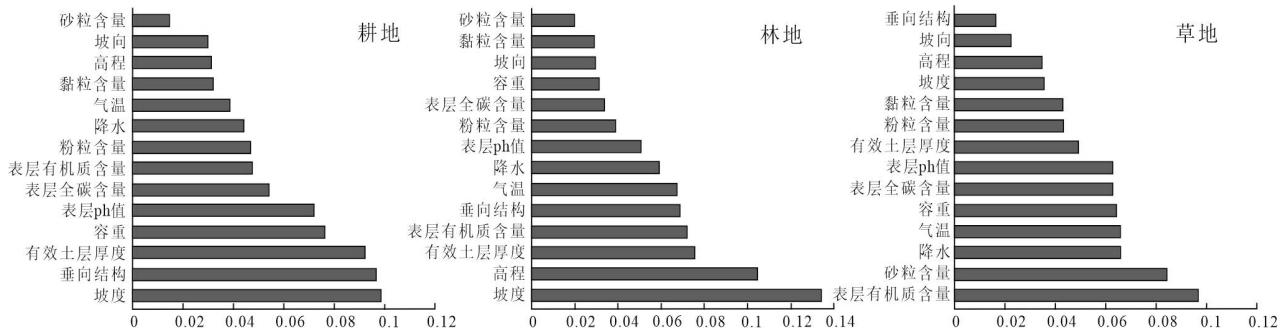

图 1　双辽—东丰地区耕地、林地和草地面积增长的驱动因素贡献度

要包括地表基质土层厚度、垂向结构、表层容重等，并采取配套样品，进行粒度、pH、全碳和有机质含量等分析测试，利用 Excel 进行数据汇总处理，再使用 ArcGIS 软件中 Kriging 插值法进行插值获得栅格数据。

2.2　研究方法

PLUS 模型是在 FLUS 模型（Future Land Use Simulation）的基础上构建的一种新改进的元胞自动机模型。笔者等基于 PLUS 模型中耦合的用地扩张分析策略（Land Expansion Analysis Strategy，LEAS）和基于多类型随机斑块种子模块（CA-based on multiple random patch seeds，CARS）两大模块。利用 LEAS 模块的随机森林分类算法探索各地类扩张与各项驱动因素关系、获取各地类的发展概率及驱动因素对该时段各地类扩张的贡献；利用 CARS 模块对各地类斑块演化的模拟，采用基于阈值下降的多类型随机斑块种子机制，结合历史土地利用数据和经验设定建立转移矩阵，通过设置代表着不同用地类型的扩张强度的邻域权重参数，来反映各地类在空间驱动因子影响下的扩张能力，从而预测研究区在不同情景下的未来土地利用变化情况。

2.3　模型精度验证

利用马尔科夫链（Markov chain）模型基于 2000、2010 年土地利用数据结合驱动因子数据预测 2020 年研究区各类用地的面积，然后将自然发展情景条件下研究区各类用地空间分布状况的预测结果与实际值对比，通过计算可知 *Kappa* 系数为 0.868，公式如下：

$$Kappa=P_o\text{-}P_c/P_p\text{-}P_c \quad (1)$$

其中，P_o 为模拟正确的栅格占比，P_p 为理想状态下模拟正确比例，P_c 为随机状态下模拟正确比例。

当模拟结果的 Kappa 系数大于 0.8 时，说明模型预测精度高，所以 PLUS 模型对研究区土地利用变化多情景模拟具有很好的适用性。

3　结果分析

3.1　土地利用变化的驱动因素分析

根据图 1 可知，耕地面积扩张的主要驱动因子是坡度、垂向结构、土层厚度和容重。耕地的扩张区域主要分布在研究区中西部坡度缓、地形较平坦、土层较厚的平原地区，而坡度越陡、土层越薄的地区，耕地面积增加的则越少，因此可以判断耕地的扩张趋势主要受坡度和土层厚度因素限制，这也是进行大面积农业耕种所需的重要条件。

林地面积扩张的主要驱动因子是坡度、高程、土层厚度和表层有机质含量。与耕地的扩张趋势恰恰相反，林地面积扩张主要集中于研究区东南部低山丘陵地区，该区域主要呈地势较高，坡度较陡，人类活动较少的特点，而树木与农作物不同，其根系一般较为粗壮且长，适宜在土层较薄、坡度较陡等环境较为恶劣的山区生长。

草地面积扩张的主要驱动因子是表层有机质含量、砂粒含量、降水和气温。草地扩张区域主要分布于研究区西部有机质含量较低区域，该地区生态环境较差，降水较少，气候干燥，土壤主要为砂土，且仍受沙化与盐碱化作用影响，已不适合进行农作物种植，因此该地区只能生长对环境要求较低的草地资源。

3.2　不同情景下土地利用变化预测分析

依据 2010~2020 年土地利用转移矩阵结合 Markov 模型，以 10 a 为步长，通过设置不同自然资源配置发展概率，以达到模拟预测不同情景下研究区 2030 年土地利用变化（图 2，表 1），具体分析如下：

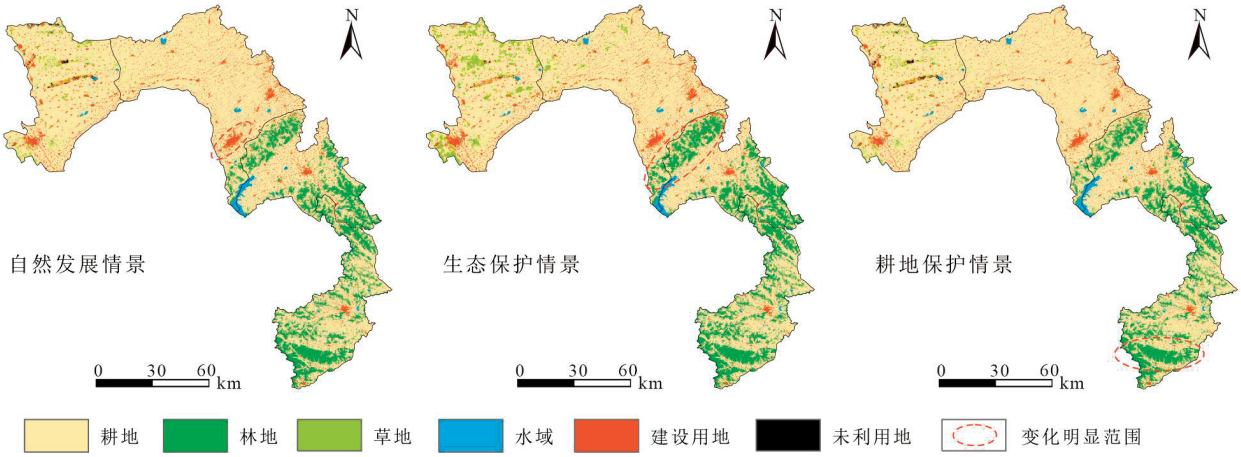

图 2 模拟 2030 年不同情景下自然资源配置变化空间分布

（1）自然发展情景。根据图 2 可知，自然发展情景延续了 2010~2020 年土地利用变化趋势，以耕地、草地减少，林地与建设用地扩张为主。2020~2030 年间耕地面积减少了 162.79 km^2，草地面积减少 40.55 km^2，林地增加面积为 107.02 km^2，建设用地增加 104.01 km^2。其中耕地和草地主要向建设用地转移，这表明建设用地在向耕地扩张的同时，也将逐渐开始向草地扩张，该变化主要集中于研究区各个城镇周边；林地扩张主要集中于研究区东南部丘陵地区，林地主要由山区耕地转入。

（2）生态保护情景。生态与人类密切相关，影响社会的生产与生活方式，该情景主要考虑生态环境的保护和发展，依据研究区土地利用类型中生态用地植被的增长率，以自然发展情景为基础，使耕地、草地和林地向建设用地转移概率减少 30%，适当减缓建设用地的高速扩张。生态保护情景下由于采取了水源保护、退耕还林和退耕还草等措施，在避免了林地和草地转移的同时，耕地适当向林地和草地转入。2020~2030 年间耕地面积减少了 445.88 km^2。林地和草地呈现出较大增幅，面积分别增加了 107.02 km^2 和 222.91 km^2，主要转入来源为耕地。该情景下建设用地高速扩张得到有效控制，增幅有所放缓。从空间变化的角度来看，草地面积增长幅度最大，主要集中于研究区西部盐碱化、沙化地区，该地区因生态问题被当地政府重点关注；而林地扩张仍集中于研究区东南部丘陵地区。

（3）耕地保护情景。该情景主要保障粮食安全的来源耕地，是在保证目前研究区土地利用类型中耕地面积不变的前提下，使城镇建设、林地和草地等按照原有发展轨迹进行发展。耕地保护情景下，建设用地的扩张程度有所放缓，但仍保持着增长趋势，对周边农田侵占没有自然增长情景强烈，且由于保护措施的存在，基本农田面积得到保护，占补平衡政策得到贯彻。因此，至 2030 年模拟出的耕地面积降幅为 54.32 km^2，比自然增长情景增加 108.47 km^2，该情景下 2020~2030 年，建设用地面积增加了 12.79 km^2，林地和草地 2 种地类虽然仍旧延续自然发展情景下的变化趋势，但总体面积变化不大。

4 结论与讨论

笔者等基于 PLUS 模型选取地表基质、地形和气候等 14 个驱动因子，对吉林省双辽—东丰地区 2000~2020 年土地利用时空变化格局及其驱动力进行分析，并设定自然发展、耕地保护和生态优先 3 种情景，对 2030 年研究区土地利用变化进行模拟预测，得出以下结论：

（1）通过将自然发展情景条件下研究区各类用地空间分布状况的预测结果与实际值进行对比，计算得到 *Kappa* 系数为 0.868，说明 PLUS 模型对研究区在地表基质、地形和气候等因素驱动下的土地利用变化多情景预测模拟具有很好的适用性。

（2）利用 PLUS 模型对 2010~2020 年间土地利用变化驱动因素进行分析，发现地表基质因素对该时段各类用地扩张均具有较大贡献，说明地表基质因素可作为土地利用变化的主要驱动因素进行预测模拟。

（3）研究区 2030 年土地利用变化整体保持相对稳定。在自然发展情景中，延续了 2010~2020 年

土地利用变化趋势，以耕地、草地减少，林地与建设用地扩张为主；在生态保护情景下，耕地面积进一步减少，但林地和草地呈现出较大增幅；在耕地保护情景下，建设用地的扩张程度有所放缓，但仍保持着增长趋势，对周边农田侵占没有自然增长情景强烈。

参 考 文 献 / References

侯红星, 葛良胜, 孙肖, 孔祥斌, 卢卫华, 秦天, 孔繁鹏, 杨华本, 杨柯. 2022. 地表基质在中国黑土地资源调查评价中的应用探讨—基于黑龙江宝清地区地表基质调查. 自然资源学报, 37(9): 2264~2276.

李斌, 陈井胜, 刘淼. 2023. 吉林伊通地区中二叠世火山岩年代学及地质意义. 地质论评, 69(S1): 43~44.

苏兴涛, 冉灵杰, 祝强, 冯跃文, 张永兴, 张思源, 孙小艳. 2023. 地表基质钻探取样技术方法与应用研究. 地质论评, 69(6): 2239~2246.

ZHOU Yeze，QIN Tian，PEI Yang，GAO Yuan，GUAN Yunan ， KOU Fujian ： Land use simulation and multi-scenario prediction based on PLUS model and ground substrate

Keywords：ground substrate； PLUS model； land-use change

表 1　多情景模拟 2030 年双辽—东丰地区各类用地面积及比例

情景条件	耕地		林地		草地		水域		建设用地		未利用地	
	面积（km^2）	比例（%）	面积（km^2）	比例（%）	面积（km^2）	比例（%）	面积（km^2）	比例（%）	面积（km^2）	比例（%）	面积（km^2）	比例（%）
自然发展	9834.63	79.84	1455.95	11.82	94.68	0.77	132.25	1.07	775.14	6.29	24.85	0.20
生态保护	9497.22	77.10	1594.05	12.94	358.14	2.91	132.60	1.08	725.16	5.89	10.34	0.08
耕地保护	9943.10	80.72	1419.75	11.53	128.96	1.05	132.04	1.07	683.92	5.55	9.72	0.08
2020 年分布现状	9997.42	81.16	1348.93	10.95	135.23	1.10	132.38	1.07	671.13	5.45	32.36	0.26