元江-金沙江-岷江上游干旱河谷生境质量时空演变及多情景模拟预测数据集（2000–2040）研发

郭亚琳[1*]，王玉才[1]，闫卫坡[2]，王　青[1]，张　玉[1]

1. 西南科技大学环境与资源学院，绵阳 621010；
2. 四川省环境政策研究与规划院，成都 610041

摘　要：干旱河谷生境质量演变对区域生态安全具有重要指示意义。随着人类活动加剧与土地利用格局快速转变，干旱河谷生境质量退化风险日益凸显，区域生态安全面临严峻挑战。本研究以元江干热河谷、金沙江干暖河谷（香格里拉-丽江段）及岷江上游干温河谷为对象，基于 2000、2010、2020 年三期土地利用数据，构建 FLUS-InVEST 耦合模型，分析历史生境质量时空演变，并在自然发展、耕地保护、生态修复 3 种情景下，模拟 2040 年土地利用格局，预测其生境质量，得到《元江-金沙江-岷江上游干旱河谷生境质量时空演变及多情景模拟预测数据集（2000–2040）》。通过 Kappa 系数和总体精度验证模型可靠性，三个区域的 Kappa 系数分别为 0.80、0.81、0.87，总体精度均高于 0.88，即模型在各区域具有良好的适用性。数据集包括：（1）研究区范围数据；（2）3 种情景下模拟的 2040 年研究区 1 km 分辨率土地利用类型数据；（3）2000、2010、2020 及 2040 年（3 种情景下模拟）研究区 1 km 分辨率生境质量空间分布数据；（4）不同时期研究区生境质量统计数据。该数据集系统反映了三类干旱河谷生境质量对土地利用变化的差异化响应规律，可为干旱河谷区土地利用优化、生态风险识别及分区管控提供基础数据支撑。数据集存储为.shp、.tif、.xls 和.txt 格式，由 179 个数据文件组成，数据量为 967 KB（压缩为 1 个文件 679 KB）。

关键词：干旱河谷；土地利用变化；生境质量演变；FLUS-InVEST 模型；多情景模拟

DOI: https://doi.org/10.3974/geodp.2026.05.11

CSTR: https://cstr.escience.org.cn/CSTR:20146.14.2026.05.11

数据可用性声明：

本文关联实体数据集已在《全球变化数据仓储电子杂志（中英文）》出版，可获取：https://doi.org/10.3974/geodb.2026.06.03.V1 或 https://cstr.escience.org.cn/CSTR:20146.11.2026.06.03.V1.

收稿日期：2026-05-09；**修订日期：**2026-09-18；**出版日期：**2026-10-25

基金项目：四川省自然科学基金（2026NSFSC1172）；中华人民共和国科学技术部（2015BAC05B05-01）；国家自然科学基金（41071115）

***通讯作者：**郭亚琳，西南科技大学环境与资源学院，guoyalin_linda@163.com

数据引用方式：[1] 郭亚琳，王玉才，闫卫坡等. 元江-金沙江-岷江上游干旱河谷生境质量时空演变及多情景模拟预测数据集（2000–2040）研发[J]. 全球变化数据学报，2026，10(5)：609–618. https://doi.org/10.3974/geodp.2026.05.11. https://cstr.escience.org.cn/CSTR:20146.14.2026.05.11.

[2] 郭亚琳，王玉才，闫卫坡等. 元江-金沙江-岷江上游干旱河谷生境质量时空演变及多情景模拟预测数据集（2000–2040）[J/DB/OL]. 全球变化数据仓储电子杂志，2026. https://doi.org/10.3974/geodb.2026.06.03.V1. https://cstr.escience.org.cn/CSTR:20146.11.2026.06.03.V1.

1 前言

干旱河谷是横断山区一种独特的生态景观类型，集降水稀少、蒸发强烈、植被覆盖度低及生态恢复能力弱等特征于一体，对外界干扰极为敏感[1]。按气候、植被和土壤等特征，横断山区干旱河谷可划分为干热河谷、干暖河谷和干温河谷三种类型[2,3]。近年来，在人类活动与自然因素的叠加作用下，干旱河谷区土地利用格局发生显著变化，部分区域生境加速退化，对区域可持续发展与生态功能发挥带来了严峻挑战。生境质量作为衡量生态系统健康状况与生物多样性维持能力的重要指标，其时空演变特征对于识别区域生态风险、制定保护策略具有重要意义，已成为生态保护与可持续发展领域共同关注的核心议题[4]。

鉴于此，本研究选取横断山区元江干热河谷、岷江上游干温河谷及金沙江干暖河谷（香格里拉-丽江段）三类典型干旱河谷为研究对象（图 1），基于 2000 年、2010 年及 2020 年三期土地利用数据，构建 FLUS-InVEST 耦合模型，设置自然发展、耕地保护与生态修复三种情景，研发了《元江-金沙江-岷江上游干旱河谷生境质量时空演变及多情景模拟预测数据集（2000–2040）》，阐明三类干旱河谷生境质量对土地利用变化的差异化响应规律。该数据集可为干旱河谷区土地利用优化、生态风险识别及分区管控提供基础数据支撑。

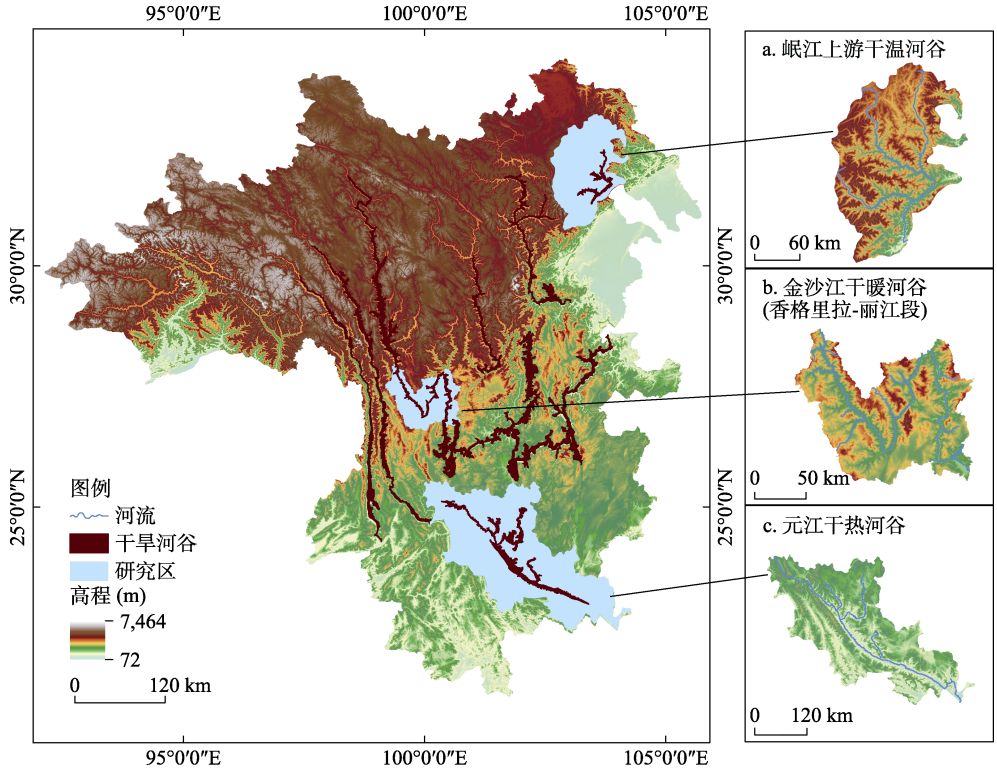


图 1 研究区地理位置图

（该图基于审图号为 GS(2023)2767 号的标准地图制作，底图无修改）

2 数据集元数据简介

《元江-金沙江-岷江上游干旱河谷生境质量时空演变及多情景模拟预测数据集（2000–

2040)》[5]的名称、作者、地理区域、数据年代、时间分辨率、空间分辨率、数据集组成、数据出版与共享服务平台、数据共享政策等信息见表 1。

表 1　《元江-金沙江-岷江上游干旱河谷生境质量时空演变及多情景模拟预测数据集（2000–2040）》元数据简表

条　目	描　述
数据集名称	元江-金沙江-岷江上游干旱河谷生境质量时空演变及多情景模拟预测数据集(2000–2040)
数据集短名	HabitatQuality&Simulation_2000–2040
作者信息	郭亚琳, 西南科技大学环境与资源学院, guoyalin_linda@163.com 王玉才, 西南科技大学环境与资源学院, 2792387745@qq.com 闫卫坡, 四川省环境政策研究与规划院, yanweipo@scaepp.cn 王　青, 西南科技大学环境与资源学院, qingw@imde.ac.cn 张　玉, 西南科技大学环境与资源学院, zy_upup@outlook.com
地理区域	元江-金沙江-岷江上游
数据年代	2000 年、2010 年、2020 年、2040 年
时间分辨率	年
空间分辨率	1 km
数据格式	.shp、.tif、.xls、.txt
数据量	967 KB
数据集组成	研究区范围数据;3 种情景下模拟的 2040 年研究区 1 km 分辨率土地利用类型数据,2000、2010、2020 及 2040 年研究区 1 km 分辨率生境质量空间分布数据；不同时期研究区生境质量统计数据
基金项目	四川省自然科学基金 (2026NSFSC1172); 中华人民共和国科学技术部 (2015BAC05B05-01); 国家自然科学基金(41071115)
数据计算环境	ArcGIS
出版与共享服务平台	全球变化科学研究数据出版系统 http://www.geodoi.ac.cn
地址	北京市朝阳区大屯路甲 11 号 100101，中国科学院地理科学与资源研究所
数据共享政策	（1）“数据”以最便利的方式通过互联网系统免费向全社会开放，用户免费浏览、免费下载；（2）最终用户使用“数据”需要按照引用格式在参考文献或适当的位置标注数据来源；（3）增值服务用户或以任何形式散发和传播（包括通过计算机服务器）“数据”的用户需要与《全球变化数据学报（中英文）》编辑部签署书面协议，获得许可；（4）摘取“数据”中的部分记录创作新数据的作者需要遵循 10%引用原则，即从本数据集中摘取的数据记录少于新数据集总记录量的 10%，同时需要对摘取的数据记录标注数据来源[6]
数据和论文检索系统	DOI，CSTR，Crossref，DCI，CSCD，CNKI，SciEngine，WDS，GEOSS，PubScholar，CKRSC，OARL

3　数据研发方法

3.1　数据来源

本研究基础数据涵盖土地利用、自然地理与社会经济 3 大类，共 13 个指标（表 2）。其中，土地利用数据来源于国家冰川冻土沙漠科学数据中心[1]，空间分辨率为 30 m，包括农田、森林、灌木、草地、水域、冰雪、裸地及不透水面共 8 种用地类型。自然地理数据包括高程、坡度、坡向、年平均气温、年降水量及归一化植被指数（NDVI）。高程数据通过

[1] 国家冰川冻土沙漠科学数据中心. http://www.ncdc.ac.cn.

地理空间数据云平台[2]获取，空间分辨率为 30 m；坡度与坡向基于 DEM 通过 GIS 工具提取。年平均气温、年降水量、归一化植被指数（NDVI）来源于地球资源数据云平台[3]，空间分辨率为 1 km。社会经济数据包括夜间灯光指数、GDP 密度、人口密度、道路分布及距政府驻地距离。其中，夜间灯光指数数据来源于资源环境科学数据平台[4]，GDP 密度、人口密度数据来源于 Landscan 数据集[5]，空间分辨率均为 1 km；道路数据由 OpenStreetMap 免费下载；距政府驻地距离基于全国地理信息资源目录服务系统[6]提供的政府驻地位置，采用欧氏距离进行表征。为满足 FLUS 模型的运行需求，所有数据统一重采样至 1 km 分辨率，并统一投影至 WGS_1984_UTM_46N 坐标系。

表 2 主要数据来源及说明

数据类型	数据名称	年份	空间分辨率	数据来源
土地利用	土地利用栅格数据	2000，2010，2020	30 m	国家冰川冻土沙漠科学数据中心
自然地理	高程	−	30 m	地理空间数据云
	坡度	−	30 m	由 DEM 经 GIS 工具计算
	坡向	−	30 m	
	年平均气温	2000，2010，2020	1 km	地球资源数据云平台
	年降水量	2000，2010，2020	1 km	
	归一化植被指数（NDVI）	2000，2010，2020	1 km	
社会经济	夜间灯光指数	2000，2010，2020	1 km	资源环境科学数据中心
	人口密度	2000，2010，2020	1 km	Landscan 数据集
	GDP 密度	2000，2010，2020	1 km	
	距公路距离	2019	−	OpenStreetMap
	距铁路距离	2019	−	
	距政府驻地距离	2019	−	全国地理信息资源目录服务系统

3.2 研究方法

3.2.1 基于未来土地利用模拟（FLUS）模型的土地利用模拟

未来土地利用模拟（Future Land Use Simulation，FLUS）模型是一种用于土地利用类型时空变化的多情景模拟预测工具[7]。该模型引入人工神经网络算法（Artificial Neural Network，ANN），能够从一期土地利用数据及多种驱动因子中获取各类用地类型的适宜性概率；同时采用基于轮盘赌选择的自适应惯性竞争机制，通过调整邻域因子、惯性系数及转换成本等参数，应对多种地类相互转化的不确定性与复杂性，从而提高模拟精度[8,9]。模型的模拟效果很大程度上取决于驱动因子的合理选取。土地利用变化是自然地理与社会经济因素共同作用的结果。因此，本研究结合区域实际并参考相关文献[10]，从自然地理（高程、坡度、坡向、年平均气温、年降水量、归一化植被指数 NDVI、距河流距离）和社会

[2] 地理空间数据云平台. http://www.gscloud.cn/.

[3] 地球资源数据云平台. http://www.gis5g.com/.

[4] 资源环境科学数据平台. http://www.resdc.cn.

[5] Landscan 数据集. https://landscan.ornl.gov/.

[6] 全国地理信息资源目录服务系统. http://www.webmap.cn.

经济（夜间灯光指数、GDP 密度、人口密度、距道路距离、距政府驻地距离）两个方面，共选取 12 项指标作为 FLUS 模型的驱动因子（表 2），用于未来土地利用格局的模拟预测。

结合研究区政策与发展目标，参考相关文献[11]，设置自然发展、耕地保护和生态修复三种情景，模拟 2040 年土地利用格局。

（1）自然发展情景：遵循 2000–2020 年干旱河谷土地利用变化的历史规律，不施加额外政策约束，反映自然演变趋势。

（2）耕地保护情景：依据国家粮食安全战略与耕地保护红线政策要求，严格控制耕地转出概率，强化对耕地的保护。

（3）生态修复情景：依据国家生态修复工程及绿色发展相关战略，重点提升草地、林地等生态用地的扩张，限制非生态用地增长，落实干旱河谷区水土流失与荒漠化的综合治理目标。

3.2.2　基于生态系统服务和权衡的综合评估模型（InVEST）的生境质量评估

本研究利用 InVEST 模型的生境质量模块，对横断山区三种典型干旱河谷生境质量进行评估。该模块以土地利用为基础，将导致生境退化的人类活动设置为威胁因子，并综合考虑威胁因子的最大影响距离、权重及不同土地利用类型对各威胁因子的敏感性[12]。农田与不透水面的人类活动剧烈，裸地因缺乏植被覆盖、易受风化侵蚀，均具有较高的土地退化风险[13]。因此，将农田、裸地和不透水面作为威胁源。模型相关参数设置见表 3、4。

表 3　威胁因子属性

威胁因子	最大胁迫距离	权重	空间衰减类型
农田	5	0.5	指数
裸地	3	0.3	指数
不透水面	8	0.9	线性

表 4　土地利用类型对生境威胁因子的敏感度

土地利用类型	生境适宜度	威胁因子		
		农田	裸地	不透水面
农田	0.25	0.3	0.4	0.1
森林	1	0.8	0.5	0.7
灌木	0.8	0.6	0.6	0.6
草地	0.8	0.4	0.5	0.6
水域	0.9	0.65	0.4	0.8
冰雪	0.5	0.1	0.1	0.1
裸地	0.1	0.1	0.2	0.1
不透水面	0	0	0	0
湿地	0.75	0.7	0.4	0.9

InVEST 模型生境质量评估中，生境退化度是计算生境质量的基础，其表达式为：

$$D_{xj}=\sum_{r=1}^{R}\sum_{y=1}^{Y_r}\left(\frac{w_r}{\sum_{r=1}^{R}w_r}\right)r_y i_{rxy}\beta_x S_{jr} \tag{1}$$

式中，D_{xj}表示土地利用类型 j 中栅格 x 的生境退化度，取值范围为[0,1]；R 为威胁因子数量；r 表示第 r 个威胁因子；Y_r表示 r 的栅格总数；w_r表示 r 的权重，取值范围为[0,1]；r_y表示 r 在栅格 y 上的胁迫强度；i_{rxy}表示 r 从栅格 y 到栅格 x 的影响程度，其衰减方式可为线性衰减或指数衰减；β_x表示栅格 x 的可达性或保护程度；S_{jr}表示土地利用类型 j 对 r 的敏感性。

生境质量指数计算公式为：

$$Q_{xj}=H_j\left[1-\left(\frac{D_{xj}^{Z}}{D_{xj}^{Z}+k^{z}}\right)\right] \tag{2}$$

式中，Q_{xj}表示土地利用类型 j 中栅格 x 的生境质量，取值范围为[0,1]，数值越高，表明生境质量越好、越适宜物种生存；H_j、D_{xj}分别表示土地利用类型 j 的生境适宜度、生境退化度；z 为归一化常数，通常取 2.5；k 为半饱和常数，用于调节生境质量值的分布和变化幅度。以上所有变量均为无量纲；但用于计算影响衰减的空间距离以米（m）为单位。

4 数据结果与验证

4.1 数据集组成

《元江-金沙江-岷江上游干旱河谷生境质量时空演变及多情景模拟预测数据集（2000–2040）》内容包括：（1）研究区范围数据（.shp）；（2）3 种情景下模拟的 2040 年研究区 1 km 分辨率土地利用类型数据（.tif）；（3）3 种情景下模拟的 2000、2010、2020 及 2040 年研究区 1 km 分辨率生境质量空间分布数据（.tif）；（4）不同时期研究区生境质量统计数据（.xls）。

4.2 数据结果验证

为评估 FLUS 模型在研究区的适用性，本研究采用 Kappa 系数对 FLUS 模型的模拟精度进行验证。Kappa 系数取值 0–1 之间，值越大说明其模拟精度越高，通常认为大于 0.70 即达到较高精度[7]。具体验证流程为：基于研究区 2000 年、2010 年的土地利用数据和 12 个驱动因子，运用 FLUS 模型模拟预测各区域 2020 年的土地利用格局，并将模拟结果与 2020 年区域实际土地利用数据进行对比，计算 Kappa 系数与总体精度（Overall Accuracy，OA）。验证结果显示，元江干热河谷、岷江上游干温河谷、金沙江干暖河谷（香格里拉-丽江段）的 Kappa 系数分别为 0.80、0.87、0.81，总体精度（OA）均高于 0.88，表明 FLUS 模型在各区域具有良好的适用性，可用于 2040 年区域土地利用格局的多情景模拟。

同时，生境质量模拟结果与区域土地利用转型规律高度一致，土地利用变化剧烈的区域生境质量变化幅度亦相应较大。元江干热河谷三类情景下生境质量指数变化幅度为 0.006–0.012（与 2020 年基准相比），岷江上游干温河谷为 0.003–0.013（与 2020 年基准相比），金沙江干暖河谷（香格里拉-丽江段）为 0.001（三种情景下指数均为 0.912），反映了不同区域对土地利用政策干预的差异化响应特征，验证了评估结果的合理性。

4.3　数据结果分析

4.3.1　各区域土地利用类型演变

森林是元江干热河谷、岷江上游干温河谷、金沙江干暖河谷（香格里拉-丽江段）共同的优势地类。2000–2020 年，三个区域土地利用转型的共同趋势是草地减少与不透水面扩张，但演变路径差异明显（表 5）。元江干热河谷农田、灌木、不透水面分别增加 945.20 km^2、661.42 km^2、109.94 km^2，森林与草地分别减少 1,020.96 km^2 和 697.42 km^2，转移以森林和草地向农田转化为主导，部分农田转为不透水面，反映了农业生产与城镇建设对生态空间的挤占。岷江上游干温河谷草地和农田分别减少 332.56 km^2 和 168.79 km^2，而森林增加 334.23 km^2，转移以草地和农田向森林转化为主，体现为生态用地内部结构的调整。金沙江干暖河谷（香格里拉-丽江段）草地减少 328.76 km^2，农田和森林分别增加 169.30 km^2、102.56 km^2，且不透水面扩张明显（+4.25 km^2，+551.95%），转移以草地向农田和森林转化为主，同时农田持续向不透水面转移，呈现出城镇化与农业开发共同驱动下的空间扩张特征。

表 5　2000–2020 年各区域土地利用类型变化

	元江干热河谷		岷江上游干温河谷		金沙江干暖河谷（香格里拉-丽江段）	
	净变化（km^2）	变化幅度（%）	净变化（km^2）	变化幅度（%）	净变化（km^2）	变化幅度（%）
农田	945.20	7.00	–168.79	–27.34	169.30	18.96
森林	–1,020.96	–2.15	334.23	2.39	102.56	0.95
灌木	661.42	38.74	–10.00	–4.85	40.65	22.14
草地	–697.42	–24.00	–332.56	–3.63	–328.76	–17.95
水体	1.81	0.99	25.81	20.31	22.71	35.65
冰雪	/	/	25.61	28.76	18.28	85.70
裸地	/	/	121.63	32.85	–28.99	–58.24
不透水面	109.94	106.73	4.07	45.17	4.25	551.95

注：/代表无转变。

4.3.2　多情景土地利用变化模拟数据

在自然发展、耕地保护与生态修复三种发展情景下，各区域土地利用对政策干预的响应存在较大差异（图 2）。元江干热河谷的响应均最为剧烈：自然发展情景下农田（+770.32 km^2）与森林（+269.89 km^2）同步扩张，耕地保护情景下农田扩张（+1,264.67 km^2）、草地收缩（–666.50 km^2）较突出，生态修复情景下森林增量（+2,016.62 km^2）在三个区域中最大，反映出该区域土地利用对政策具有较高的响应敏感性。岷江上游干温河谷对生态修复政策表现出较积极的响应，裸地治理成效显著（–347.08 km^2，–70.39%），但自然发展情景下裸地扩张（+158.47 km^2）与冰雪缩减（–28.78 km^2）趋势值得警惕。金沙江干暖河谷（香格里拉-丽江段）在三种情景下土地利用变化均最为平缓，但森林扩张幅度有限（自然发展情景下为+0.98%，耕地保护情境下为+2.19%，生态修复情景仅–0.02%），表明该区域在森林覆盖率处于较高水平（>78%）的状态下，生态修复的增量空间受到本底条件的显著制约。三类干旱河谷区土地利用变化的不同响应特征，反映了区域自然本底条件与人类活动强度差异对政策干预效果的深刻影响。

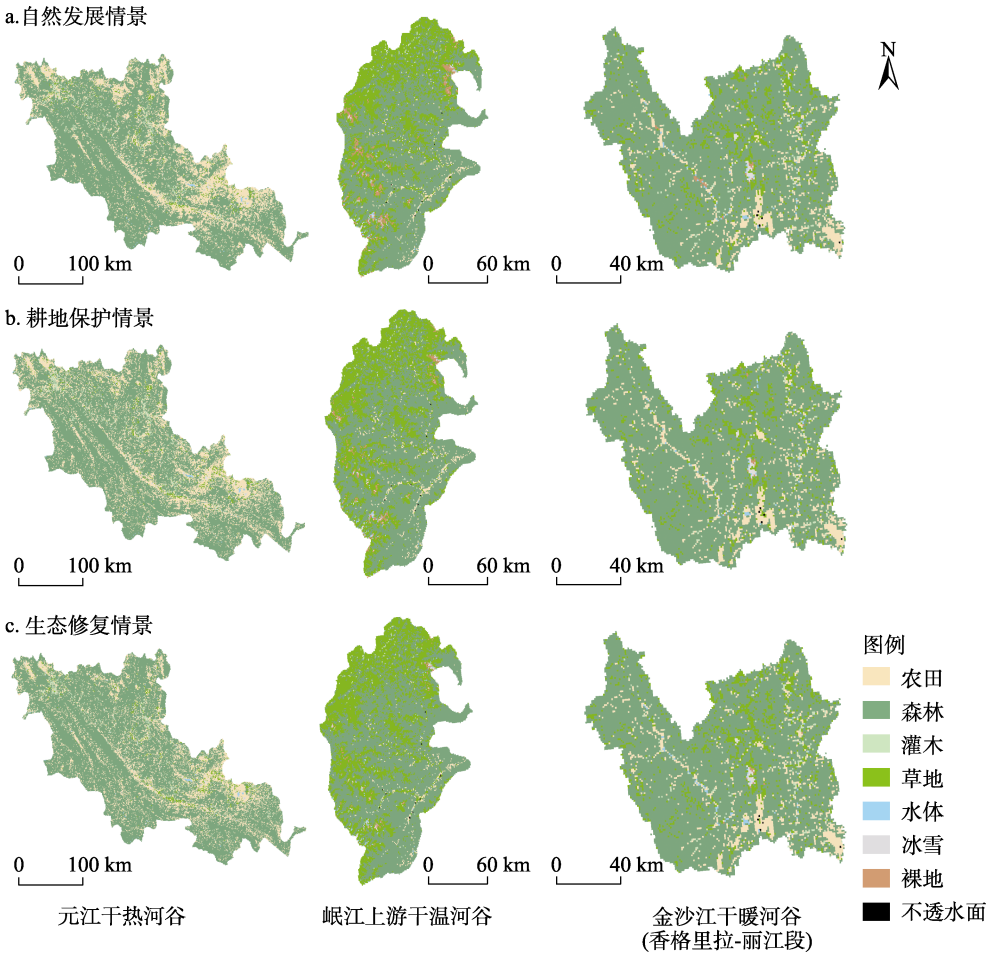


图 2 不同模拟情景下各区域土地利用类型空间分布图（2040）

（该图基于审图号为 GS(2023)2767 号的标准地图制作，底图无修改）

4.3.3 生境质量时空变化特征

采用等间距分级方法，将生境质量指数划分为 5 个等级：低质量（0–0.2）、较低质量（0.2–0.4）、中等质量（0.4–0.6）、较高质量（0.6–0.8）和高质量（0.8–1）。总体来看，元江干热河谷、岷江上游干温河谷与金沙江干暖河谷（香格里拉-丽江段）的生境质量呈现明显的时序演变与空间分异特征（图 3）。

2000–2020 年间，元江干热河谷生境呈退化趋势，较低质量生境增加 942.57 km^2，并出现中等质量生境（210.93 km^2），而高质量生境减少 1,054.63 km^2，生境质量指数由 0.828±0.304 降至 0.819±0.310。岷江上游干温河谷生境质量指数由 0.888±0.176 上升至 0.891±0.177，其中，高质量生境基本保持稳定（+17.18 km^2），较低质量生境减少 169.33 km^2，但低质量、中等质量生境分别增加 125.16 km^2、26.99 km^2，低质量生境扩张态势已显现。金沙江干暖河谷（香格里拉-丽江段），高质量生境退化（–167.82 km^2）为较低质量生境（+167.77 km^2），生境质量指数由 0.919 ± 0.196 降至 0.913±0.210。

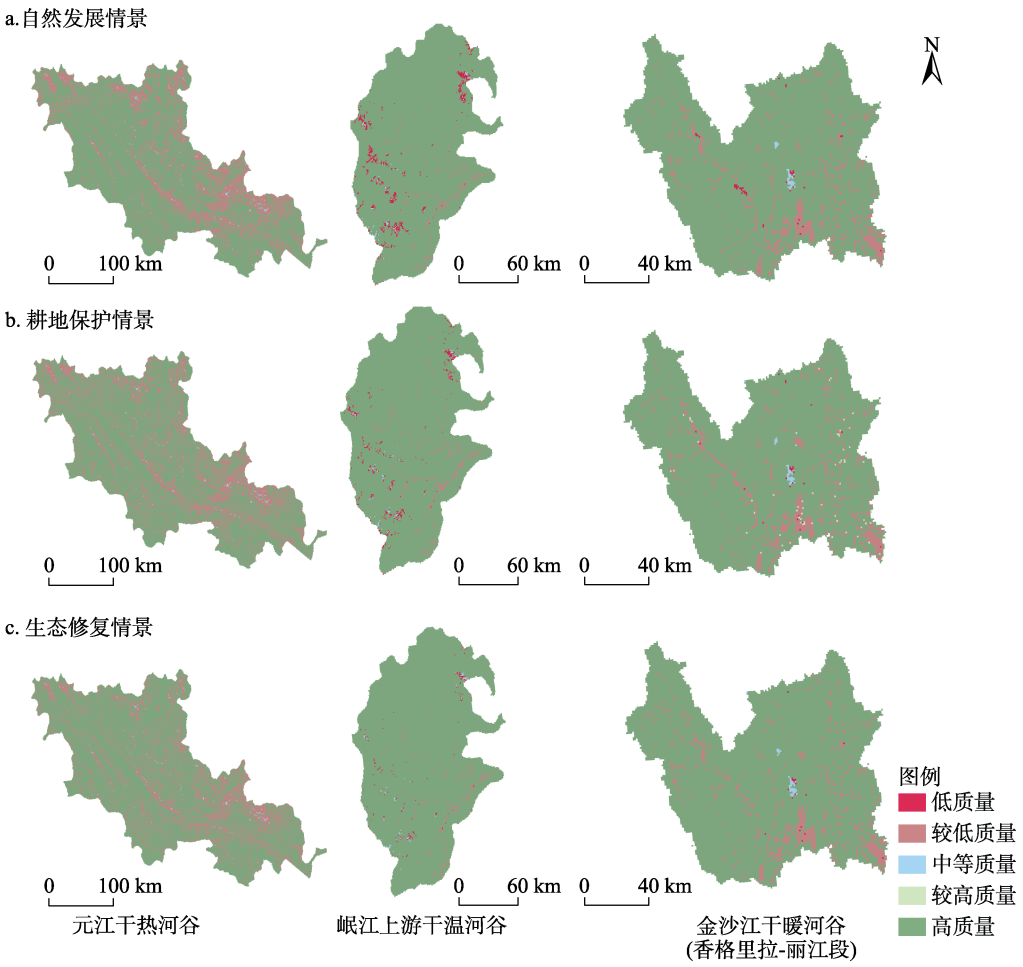


图 3　三种模拟情景下各区域生境质量等级分布图（2040）

（该图基于审图号为 GS(2023)2767 号的标准地图制作，底图无修改）

2020–2040 年，自然发展情景下 3 个区域生境质量均呈下降趋势。耕地保护情景在元江干热河谷（生境质量指数降至 0.807±0.319）和金沙江干暖河谷（香格里拉-丽江段）（生境质量指数降至 0.912±0.217）呈负面效应，但在岷江上游干温河谷呈小幅正向效果（生境质量指数升至 0.894±0.171），反映了政策效应的区域差异性。生态修复情景下，岷江上游干温河谷生境质量改善最为显著（生境质量指数+0.013），元江干热河谷次之（+0.012），而金沙江干暖河谷（香格里拉-丽江段）呈微弱下降（–0.001），表明生态修复的边际效益受区域本底条件制约，高海拔干暖河谷生态恢复空间有限。

5　讨论和总结

干旱河谷生境质量演变对区域生态安全具有重要指示意义。然而，受不同水热组合条件的影响，各类型干旱河谷生境质量对土地利用变化的响应存在较大区域差异，给多类型干旱河谷的横向对比研究带来一定不确定性。《元江-金沙江-岷江上游干旱河谷生境质量时

空演变及多情景模拟预测数据集（2000–2040）》基于 FLUS-InVEST 耦合模型，采用多源数据驱动，通过 Kappa 系数与总体精度双重指标验证模型可靠性。三个典型区域 Kappa 系数分别为 0.80、0.81、0.87，总体精度均高于 0.88，数据质量可信。该数据集的研发有效弥补了不同类型干旱河谷生境质量演变规律对比研究的不足，为揭示不同水热组合背景下生境质量退化差异的驱动机制提供了可靠的数据基础。

当前，本数据集仍存在一定局限，如土地利用变化模拟中采用的驱动因子未完全纳入政策实施强度等动态变量，情景设定基于现有政策框架亦存在理想化假设，InVEST 模型中威胁因子权重、最大影响距离及生境适宜度等参数设定具有一定经验性。未来研究可通过引入多源遥感数据、优化参数本地化率定及多模型集成方法，进一步提高模拟与评估精度，为干旱河谷区生态风险识别与分区管控提供更精准的数据支撑。

作者分工：郭亚琳对数据集的开发做了总体设计；王玉才、闫卫坡对数据进行了采集和处理、设计了模型和算法；王玉才、郭亚琳、王青做了数据验证；张玉进行了数据核查与校验工作；郭亚琳、王玉才撰写了数据论文。

利益冲突声明：本研究不存在研究者以及与公开研究成果有关的利益冲突。

参考文献

[1] 王子龙, 胡斌, 包维楷等. 西南干旱河谷植物群落组分生物量的纬度格局及其影响因素[J]. 植物生态学报, 2022, 46(5): 539–551.

[2] 张荣祖. 横断山区干旱河谷[M]. 北京: 科学出版社, 1992.

[3] 范建容, 杨超, 包维楷等. 西南地区干旱河谷分布范围及分区统计分析[J]. 山地学报, 2020, 38(2): 303–313.

[4] 张云芝, 胡云锋, 韩月琪等. 全球主要生态退化区和研究热点区的空间分布与演变[J]. 生态学报, 2021, 41(19): 7599–7613.

[5] 郭亚琳, 王玉才, 闫卫坡等. 元江-金沙江-岷江上游干旱河谷生境质量时空演变及多情景模拟预测数据集(2000–2040)[J/DB/OL]. 全球变化数据仓储电子杂志, 2026. https://doi.org/10.3974/geodb.2026.06.03.V1. https://cstr.escience.org.cn/CSTR:20146.11.2026.06.03.V1.

[6] 全球变化科学研究数据出版系统. 全球变化科学研究数据共享政策[OL]. https://doi.org/10.3974/dp.policy.2014.05 (2017 年更新).

[7] Li, Y. X., Liu, Z. S., Li, S. J., *et al*. Multi-scenario simulation analysis of land use and carbon storage changes in Changchun City based on FLUS and InVEST model [J]. *Land*, 2022, 11(5): 647.

[8] Lin, W. B., Sun, Y. M., Nijhuis, S., *et al*. Scenario-based flood risk assessment for urbanizing deltas using future land-use simulation (FLUS): Guangzhou Metropolitan Area as a case study [J]. *Science of the Total Environment*, 2020, 739: 139899.

[9] 苏建聪, 唐斌, 刘杨等. 基于 FLUS 模型的巴中市多情景土地利用变化模拟及其生态系统服务价值评估[J]. 环境生态学, 2023, 5(11): 17–25.

[10] 王立媛, 张勇. 甘肃省土地利用转型时空格局演化及多情景模拟[J]. 干旱区研究, 2025, 42(4): 695–707.

[11] Zuo, Q., Zhou, Y., Wang, L., *et al*. Impacts of future land use changes on land use conflicts based on multiple scenarios in the central mountain region, China [J]. *Ecological Indicators*, 2022, 137: 108743.

[12] 张徐, 李云霞, 吕春娟等. 基于 InVEST 模型的生态系统服务功能应用研究进展[J]. 生态科学, 2022, 41(1): 237–242.

[13] Wang, B. X., Cheng, W. M. Effects of land use/cover on regional habitat quality under different geomorphic types based on InVEST model [J]. *Remote Sensing*, 2022, 14(5): 1279.