

基于 CA-MarKov 模型的县域土地利用时空演变分析及预测研究

陈晓晓^{1,2}, 张永福^{1,2*}

(1. 新疆大学资源与环境科学学院, 新疆乌鲁木齐 830046; 2. 新疆大学绿洲生态教育部重点实验室, 新疆乌鲁木齐 830046)

摘要 基于 2005、2010、2015 年 Landsat OLI/TM 土地利用分类数据, 依托土地利用转移矩阵、土地利用幅度变化模型、土地利用速度变化模型, 辅以 CA-MarKov 未来土地利用预测模型, 探讨干旱区渭库绿洲土地利用时空演变规律, 预测未来土地利用类型。结果表明: 2005—2015 年耕地、水域和建设用地的面积增加, 林地、草地未利用地面积减少; 各地类相互转化中耕地、林地和建设用地绝对值变化幅度大, 变化速度较快; 预测模型精度 0.782 9, 能有效揭示研究区时空演变趋势, 在自然影响因素、气象因素影响下 2005—2015 年变化趋势与 2005—2025 年土地利用变化趋势较一致。

关键词 土地利用 CA-MarKov 模型; 渭库绿洲

中图分类号 F301.2 文献标识码 A

文章编号 0517-6611(2020)18-0065-05

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2020.18.019



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

Research on Land Use Changes and Prediction in County Scale Based on CA-Markov Model

CHEN Xiao-xiao^{1,2}, ZHANG Yong-fu^{1,2} (1. College of Resources and Environment Science, Xinjiang University, Urumqi, Xinjiang 830046; 2. Key Laboratory of Oasis Ecology of Ministry of Education, Xinjiang University, Urumqi, Xinjiang 830046)

Abstract Based on the land use classification data of Landsat OLI / TM in 2005, 2010 and 2015, relying on land use transfer matrix, land use change model, land use speed change model, supplemented by CA-Markov future land use prediction model, the temporal and spatial evolution of land use and the prediction of future land use types in Ugan-Kuche River Deita Oasis were discussed. The results showed that: During 2005-2015, the farmland, water area and construction land area increased, while the unused land area of forest land and grassland decreased; the transformation among different classes, the absolute value of farmland, forest land and construction land changed greatly and rapidly; the accuracy of the prediction model is 0.782 9, it can effectively reveal the temporal and spatial evolution trend of the study area, under the influence of natural and meteorological factors the change trend of 2005-2015 is consistent with that of 2005-2025.

Key words Land use; CA-MarKov model; Ugan-Kuche River Deita Oasis

土地利用/覆盖变化 LUCC (land use and land cover change) 与全球变化、生态环境、可持续发展等密切相关。其时空演变影响碳循环、水循环和生物多样性等重要系统, 进而影响区域的可持续发展^[1]。自“国际地圈生物圈计划”(IGBP)和“国际全球环境变化人文因素计划”(IHDP)发表的土地利用/覆被变化(LUCC)研究计划以来, LUCC 的研究热潮在国际上持续至今^[2]。国内外学者在相关方面进行了大量的研究, 如 LUCC 的时空演变分析以及模型模拟预测未来土地利用变化等。袁子坤^[3]对土地利用变化的概念、驱动因子及预测进行了综合分析; 李黎黎等^[4]结合 GIS 和 RS 技术对洋河流域 1995、2000 年土地利用/土地覆被变化进行分析; Musa Tarawally 等^[5]研究非洲 2 个重要城市 2000—2015 年的土地利用变化情况; 预测未来土地利用变化的研究也较丰富, Sanat Das^[6]、朱荫萌等^[7]使用 MarKov 模型与地理空间技术相结合有效地反映研究区景观格局的时空变化趋势; 郭燕燕^[8]借助 CLUE-S 模型以深圳市为例, 模拟精度达 0.896, 较精确地模拟了未来土地利用变化; 靳含等^[9]以新疆玛纳斯河流域典型绿洲为例, 刻画时间跨度与 CA-MarKov 之间的内在影响。CA 模型能有效地模拟空间变化, MarKov 模型在有限时序模拟上运用广泛两者结合, 能有效提高土地利用预测精度^[10]。新疆是“一带一路”战略中的五大省份之一, 且我国向西开放的主要陆路通道包含了渭库绿洲, 是国家“一带

一路”倡议的实施建设的重要支点, 对渭库绿洲土地利用变化进行研究和模拟, 有助于保护区域生态环境, 及推进“丝绸之路经济带”发展建设。基于此, 笔者以渭库绿洲为靶区, 对 2005—2015 年土地利用时空演变情况分析, 并结合 CA-MarKov 模型对 2025 年土地利用情况进行模拟研究, 以期对区域环境的管理朝着可持续方向发展, 为土地利用相关应用提供科学的理论支持。

1 数据来源和研究方法

1.1 研究区概况 渭库绿洲位于 39°29'51"~42°38'01"N, 81°28'30"~84°05'06"E, 北接天山山脉, 且位于塔里木河流域及塔里木盆地以北, 隶属阿克苏地区, 在库车县、沙雅县、新和县 3 县境内(图 1)。季节特点是冬季寒冷干燥, 夏季炎热年平均气温约 14.2℃, 年平均日照约 2 884.43 h, 水资源来源于降水、降雪及地下水等年平均降水量约 65.57 mm。2015 年末人口达 96 万, 地方生产总值约 1 613 672 万元。

1.2 数据来源与处理 土地利用分类数据使用 Landsat 系列遥感影像数据, 分别为 Landsat 8 OLI—2005 年 7 月和 Landsat 5 TM—2010 年 8 月、2015 年 7 月, 源于 USGS 网站。分辨率 30 m, 云量均在 10% 以下。通过 ENVI 5.3 软件对遥感数据进行辐射定标、大气校正、影像增强、影像裁剪等预处理, 根据《土地利用现状分类标准》(GB/T 21010—2007)中的土地用地分类方法^[11]采用监督分类的最大似然分类, 分为耕地、林地、水域、草地、建设用地和未利用地。分类精度验证数据于 2019 年 7、8 月份使用国土调查云在线监管软件进行野外实地勘察验证, 核实近 6 000 个样点, 分类精度达 80% 以上。

作者简介 陈晓晓(1992—), 女, 河南周口人, 硕士研究生, 研究方向: 国土资源信息技术。* 通信作者, 副教授, 硕士生导师, 从事国土资源评价方向的研究。

收稿日期 2020-03-22

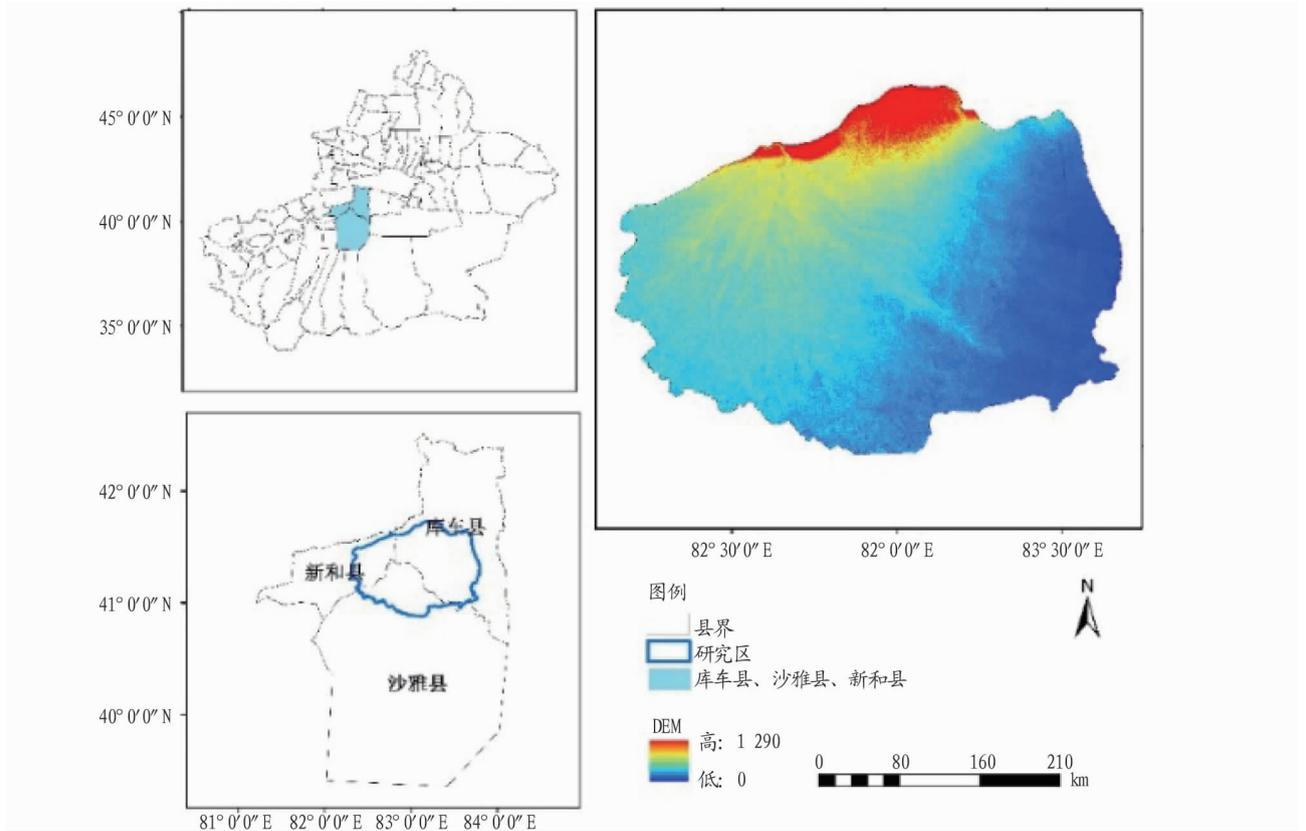


图1 研究区概况

Fig.1 The location of study area

CA-MarKov 模型构建的适宜性数据使用年均日照、年均降水量、年均温度、高程、坡度、地形起伏度等气象数据与自然地形数据,气象数据:数据来自中国气象科学数据共享服务网,中国地面气候资料月值数据集 (<http://data.cma.cn/site/index.html>)。DEM:在地理空间数据云 (<http://www.gscloud.cn>)平台,坡度与地形起伏度基于 DEM 数据在 ArcGIS 空间分析模块获取。

1.3 研究方法 为科学研究干旱区绿洲时空演变及预测未来土地利用变化,拟采用转移矩阵、土地利用幅度变化模型、土地利用速度变化模型对土地利用空间格局定量分析,CA-MarKov模型预测 2025 年土地利用变化。

1.3.1 转移矩阵。转移矩阵反映一段时间内某一类土地利用类型转入转出的面积及相互转化方向,运用 ENVI 转移矩阵模块获取。

1.3.2 土地利用幅度变化模型。土地利用变化幅度从各类土地利用类型的面积变化上反映了不同地类总量的变化。表达式如下:

$$R_d = \frac{(U_b - U_a)}{U_a} \times 100\% \quad (1)$$

式中, R_d 表示研究年间某一土地利用地类的变化幅度; U_a 表示研究年间的起始年 a 的某一地物的地物类型量; U_b 与 U_a 同,表示研究年间末尾年 b 的某一地物的地类面积。

1.3.3 土地利用速度变化模型。土地利用变化中单一土地利用动态可以在土地利用变化速度上定量解读,不仅能比

较区域间土地利用变化的差异性,对未来土地利用变化的模拟占有重要地位^[12]。对干旱区土地利用变化速度的描述指在某段时间范围内,某地类在数量上的变化情况。

$$K = \frac{(U_b - U_a)}{U_a} \times \frac{1}{T} \times 100\% \quad (2)$$

式中, K 表示研究年间内某类土地利用类型的变化速度; U_a 表示研究年间的起始年 a 的某一地物的地物类型量; U_b 与 U_a 同,表示研究年间末尾年 b 的某一地物的地类面积; T 表示研究研究年的长度,当 T 为跨度时间年数,则 K 值表示研究区内某种某地物类型的年变化。

1.3.4 耦合 CA-MarKov 模型。MarKov 模型的操作是将 2 期土地利用数据进行对比研究,最终分析得到 2 个模块,转移矩阵和适宜性栅格文件集,CA 操作是将 MarKov 模型操作得到的转移矩阵用图形的方式模拟在图像上。将 CA 模型和 MarKov 模型一起用在土地利用变化预测中,耦合过程中 MarKov 模型的操作是 CA-MarKov 操作的一部分,结合 2 个模型的优点,以期得到与实际地物类型相符合的预测模型。

耦合 CA-MarKov 模型借助 IDRISI 软件,以 2005 和 2015 年土地利用分类数据为基础,预测 2015 年的土地利用数据且与 2015 年分类数据进行对比,验证模型预测精度,最终以 2015 年土地利用分类数据为基础,预测 2025 年干旱区渭库绿洲土地利用类型。对预测的土地利用数据进行精度验证,运行 IDRISI 软件中的 Crosstab 模块获得 Kappa 值。

2 结果与分析

2.1 土地利用类型分析 通过土地利用变化分类得到土地利用相关数据,如表 1 和图 2 所示:2005 年占地较多的是草地、未利用地和耕地,占比 37.66%、29.86%和 18.33%,占地面积分别是 325 096.20、257 826.69 和 158 205.33 hm^2 。2010 和 2015 年土地利用面积变化及综合占比趋势与 2005 年相似。可以看出 2005—2015 年各个地类间发生较大变化。其中建设用地虽然占地面积比较小,但是面积增长较快。总体耕地、水域、建设用地面积在逐年增加,相反林地、草地和未利用地在逐年减少。

2.2 土地利用空间格局分析

2.2.1 转移矩阵分析。通过 ENVI 软件得出 2005—2015 年

渭库绿洲土地利用转移矩阵(表 2)。通过分析表 2 揭示各地类之间转化的内在联系,转入面积最多的是耕地 158 551.29 hm^2 ,主要由草地、林地和未利用地转入,转入面积分别是 88 212.06、41 738.22、23 969.79 hm^2 ;虽然草地转入面积为 113 581.98 hm^2 ,但是转出面积为 165 968.73 hm^2 ,比转入面积多,主要转为耕地、未利用地和建设用地;林地转入转出趋势与草地相同都是转入面积小于转出面积;建设用地转入面积 42 360.39 hm^2 与转出面积 6 622.92 hm^2 相比,转入量较大,主要由草地、林地、耕地和未利用地转入,其中草地转入最多为 18 290.07 hm^2 ;水域转入转出面积相对其他地类较均衡,总体来说土地利用变化内部间保持守恒,2005—2015 年土地利用变化总体情况相对稳定。

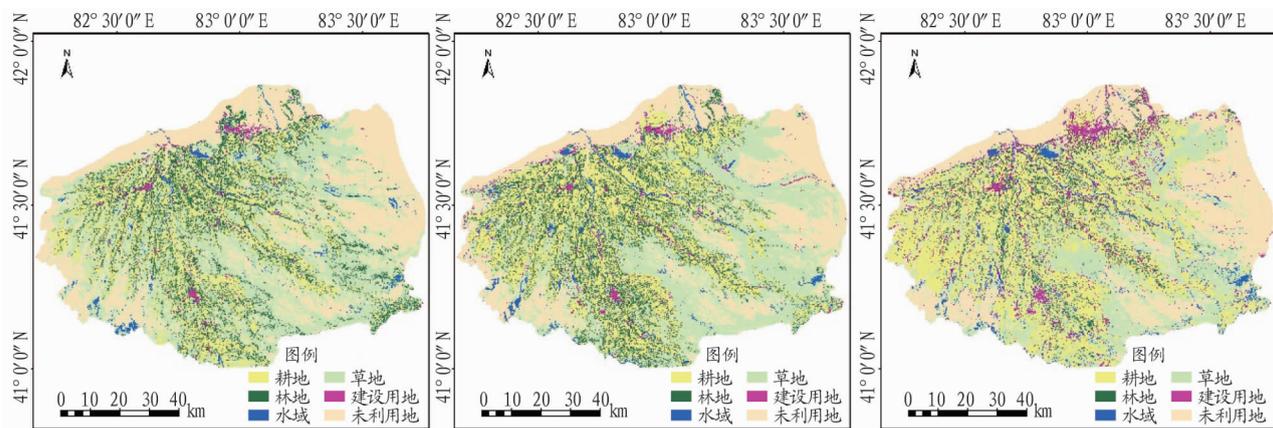


图 2 2005—2015 年土地利用分类

Fig.2 Land Use classification in 2005-2015

表 1 2005—2015 年土地覆被类型面积变化

Table 1 Land use area change in 2005-2015

土地利用类型 Land use type	2005 年		2010 年		2015 年		2005—2015 年 面积变化 2005-2015 area change// hm^2
	面积 Area// hm^2	比例 Proportion//%	面积 Area// hm^2	比例 Proportion//%	面积 Area// hm^2	比例 Proportion//%	
耕地 Cultivated land	158 205.33	18.33	230 493.60	26.70	265 091.94	30.71	106 886.61
林地 Woodland	95 181.03	11.02	97 011.09	11.24	43 104.15	4.99	-52 076.88
水域 Waters	15 487.29	1.79	18 764.10	2.17	21 189.24	2.45	5 701.95
草地 Grassland	325 096.20	37.66	285 693.66	33.09	272 709.45	31.59	-52 386.75
建设用地 Construction land	11 532.42	1.34	17 556.03	2.03	47 269.89	5.48	35 737.47
未利用地 Unused land	257 826.69	29.86	213 810.48	24.77	213 964.29	24.78	-43 862.40

表 2 2005—2015 年渭库绿洲土地利用转移矩阵

Table 2 Land use transition matrixes in 2005-2015

2000—2015	耕地	林地	水域	草地	建设用地	未利用地	转入面积 Transfer area
	Cultivated land	Woodland	Waters	Grassland	Construction land	Unused land	
耕地 Cultivated land	106 540.65	41 738.22	2 490.03	88 212.06	2 141.19	23 969.79	158 551.29
林地 Woodland	14 021.82	17 100.63	271.71	9 811.71	604.17	1 294.11	26 003.52
水域 Waters	414.54	1 310.31	4 590.45	10 883.43	384.75	3 605.76	16 598.79
草地 Grassland	29 640.78	29 045.79	5 301.00	159 127.47	2 832.93	46 761.48	113 581.98
建设用地 Construction land	7 275.15	5 337.27	990.90	18 290.07	4 909.50	10 467.00	42 360.39
未利用地 Unused land	312.39	648.81	1 843.20	38 771.46	659.88	171 728.55	42 235.74
转出面积 Transfer area	51 664.68	78 080.40	10 896.84	165 968.73	6 622.92	86 098.14	

2.2.2 土地利用幅度变化。根据公式(1),得到渭库绿洲土地利用幅度变化率(表 3)。如表 3 所示:2005—2010 年各地

类变化幅度较稳定,相比较建设用地与耕地略显活跃,草地和未利用地的幅度在减小。2010—2015 年间变化幅度最大

的是建设用地,增幅为 1.69%,林地和草地幅度在减小分别为 0.05%、0.56%,耕地、水域、和未利用地变化幅度较小。2005—2015 年绝对值增幅由大到小依次为建设用地、耕地、林地、水域、未利用地和草地,幅度变化率分别为 3.10%、0.68%、0.55%、0.37%、0.17%和 0.16%。可见在研究年间建设用地、耕地和林地变化率较明显,其他地类变化率相对稳定。

表 3 2005—2015 年渭库绿洲土地利用幅度变化率

Table 3 Land-use amplitude change of arid oasis in 2005—2013 %

土地利用类型 Land use type	2005— 2010 年	2010— 2015 年	2005— 2015 年
耕地 Cultivated land	0.46	0.15	0.68
林地 Woodland	0.02	-0.56	-0.55
水域 Waters	0.21	0.13	0.37
草地 Grassland	-0.12	-0.05	-0.16
建设用地 Construction land	0.52	1.69	3.10
未利用地 Unused land	-0.17	0.01	-0.17

2.2.3 土地利用速度变化。根据公式(2)计算出的土地利用年变化率见表 4。2005—2010 年各类土地利用变化率相对较小。2010—2015 年各地类变化率同样相对较小,值得注意的是林地从前 5 年的升高趋势,转变为降低趋势,未利用地与之相反。分析 2005—2015 年变化率情况,变化率相对较大的是建设用地,变化率为 0.77%,同样增高的地类还有耕地和水域。林地、草地和水域变化率较小且面积都有减少的趋势。

表 4 2005—2015 年干旱区渭库绿洲库绿洲土地利用年变化率

Table 4 Land-use annual change of arid oasis in 2005—2015 %

土地利用类型 Land use type	2005— 2010 年	2010— 2015 年	2005— 2015 年
耕地 Cultivated land	0.11	0.04	0.17
林地 Woodland	0.01	-0.14	-0.14
水域 Waters	0.05	0.03	0.09
草地 Grassland	-0.03	-0.01	-0.04
建设用地 Construction land	0.13	0.42	0.77
未利用地 Unused land	-0.04	0.01	-0.04

2.3 耦合 CA-Markov 模型预测未来土地利用类型 根据 CA-Markov 模型模拟预测 2015 年土地利用数据,精度达 0.782 9,能较真实的预测土地利用变化情况,由图 3 中 2015 年土地利用数据与 2015 年模拟数据对比可知,细节部分用地相比较接近模拟图像在某一位置没有体现发展差异,这是由于模拟前限制数据不足,只有自然因素与气候因素。虽然有部分地物在空间上存在差别,但总体分布较一致,由此可以运用模型预测 2025 年渭库绿洲土地利用变化。由表 5 和图 3 中 2025 年土地利用现状预测图分析可知,2025 年土地利用面积耕地 291 855.16 hm^2 、林地 56 982.39 hm^2 、水域 24 936.52 hm^2 、草地 252 230.4 hm^2 、建设用地 83 145.58 hm^2 和未利用地 154 178.91 hm^2 。与 2005—2015 年变化趋势相同,耕地、水域和建设用地增加,林地、草地和未利用地减少。但与 2005—2015 年相比耕地和建设用地占比增加较多,耕地由 30.71% 升至 33.81%,建设用地由 5.48% 升至 9.63%,未利用地在大幅度减少,由 24.78% 降至 17.86%。

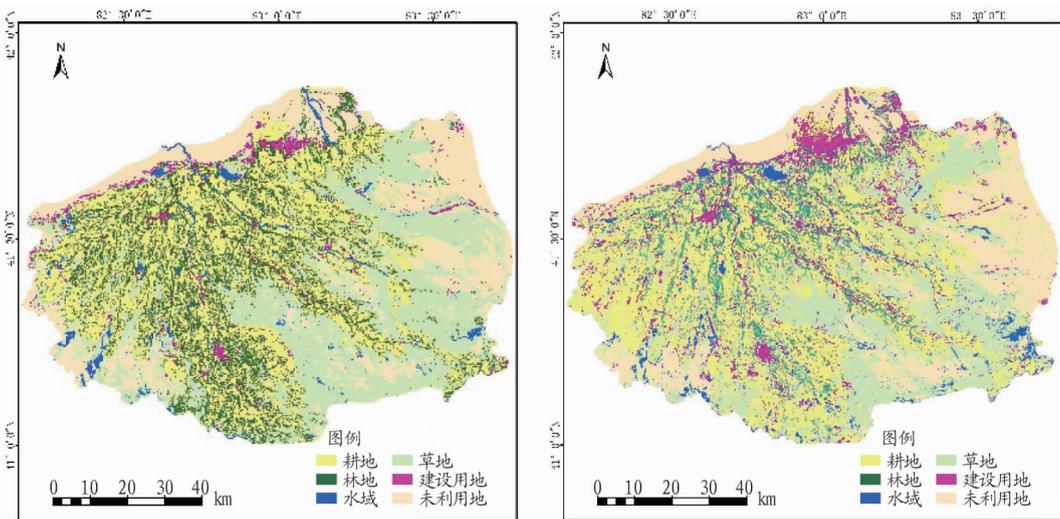


图 3 2015 和 2025 年土地利用现状预测

Fig.3 Acquired land use simulating map in 2015 and forecasting map in 2025

3 结论

对土地利用空间演变综合分析及 2025 年土地利用预测可知:

(1) 2005—2015 年耕地、建设用地和水域在增加具体增到 106 886.61、35 737.47 和 5 701.95 hm^2 ,草地、林地和未利用地在降低,具体减少了 52 386.75、52 076.88 和 43 862.4 hm^2 。

(2) 空间格局分析中转移矩阵反映出耕地和建设用地转入面积与转出面积相比转入面积明显大于转出面积,具体耕

地转入 158 551.29 hm^2 ,转出 51 664.68 hm^2 ,建设用地转入 42 360.39 hm^2 ,转出 6 622.92 hm^2 ,与之相反的草地与未利用地转入面积明显小于转出面积,草地转入 113 581.98 hm^2 ,转出 165 968.73 hm^2 ,未利用地转入 42 235.74 hm^2 ,转出 86 098.14 hm^2 。各个地类的变化幅度和变化率较稳定,变化幅度与变化率相对较大的为建设用地与耕地,具体变化幅度为 3.10%、0.68%,具体变化率为 0.77%和 0.17%。

表 5 2005—2025 年土地覆被类型面积变化

Table 5 Land use area change in 2005—2025

hm²

土地利用类型 Land use type	2005 年		2025 年		2005—2015 年面积变化 2005—2015 area change/hm ²
	面积 Area/hm ²	比例 Proportion/%	面积 Area/hm ²	比例 Proportion/%	
耕地 Cultivated land	158 205.33	18.33	291 855.16	33.81	133 649.83
林地 Woodland	95 181.03	11.02	56 982.39	6.60	-38 198.64
水域 Waters	15 487.29	1.79	24 936.52	2.89	9 449.23
草地 Grassland	325 096.20	37.66	252 230.40	29.22	-72 865.80
建设用地 Construction land	11 532.42	1.34	83 145.58	9.63	71 613.16
未利用地 Unused land	257 826.69	29.86	154 178.91	17.86	-103 647.78

(3) CA-Markov 模型模拟精度为 0.782 9,能较准确地模拟未来土地利用空间分布及数量范围,耕地与建设用地增加较多,2025 年增加至 291 855.16 和 71 613.16 hm²,未利用地被大量转化为其他用地,25 年间减少 103 647.78 hm²。其他用地变化规律与 2005—2015 年相似,林地和草地逐年减少,水域面积逐年增加。

绿洲一直是中国西部地区重要的生产生活场所,对当前土地利用变化研究及未来土地利用预测,进而把握土地利用发展方向,既能推动国土规划、国土空间规划、土地集约利用、基本农田储备区、耕地储备库等相关国土项目,同时各个项目影响土地利用变化。同时相关研究中 LUCC 的发展受人文因素、自然因素等的复杂影响^[13]。在今后的研究中将深入探讨影响土地利用的驱动力因素。

参考文献

- [1] 范泽孟,李赛博.新亚欧大陆桥经济走廊土地覆被变化及驱动力分析[J].生态学报,2019,39(14):5015-5027.
- [2] 李秀彬.全球环境变化研究的核心领域——土地利用/土地覆被变化的国际研究动向[J].地理学报,1996,51(6):553-558.

- [3] 袁子坤.土地利用/土地覆被变化研究综述[J].甘肃农业科技,2016(9):73-77.
- [4] 李黎黎,马振刚,王宝钧.基于遥感和 GIS 技术的洋河流域土地利用/土地覆被变化特征分析[J].安徽农业科学,2008,36(16):6924-6926.
- [5] TARAWALLY M,XU W B,HOU W M,et al.Land use/land cover change evaluation using land change modeller:A comparative analysis between two main cities in Sierra Leone[J].Remote sensing applications: Society and environment,2019,16:100262.
- [6] DAS S,SARKAR R.Predicting the land use and land cover change using Markov model:A catchment level analysis of the Bhagirathi-Hugli River [J].Spatial information research,2019,27(4):439-452.
- [7] 朱萌,马孝义,刘雪娇.基于马尔科夫模型的武功县土地利用/覆被动态变化研究[J].水土保持研究,2013,20(5):64-68.
- [8] 郭燕燕.基于 CLUE-S 模型的深圳市土地利用变化模拟[D].武汉:武汉大学,2017.
- [9] 靳含,杨爱民,夏鑫鑫,等.基于 CA-Markov 模型的多时间跨度土地利用变化模拟[J].干旱区地理,2019,42(6):1415-1426.
- [10] 王耕,王泽.基于 CA-Markov 模型的大连市旅顺区土地利用变化及预测研究[J].国土与自然资源研究,2016(5):10-15.
- [11] 白立敏,修春亮,冯兴华.基于土地利用变化的长春市生态风险评价[J].生态科学,2019,38(3):26-35.
- [12] 崔颖.乌鲁木齐市土地利用变化及驱动力研究[D].乌鲁木齐:新疆大学,2009.
- [13] 李少英,刘小平,黎夏,等.土地利用变化模拟模型及应用研究进展[J].遥感学报,2017,21(3):329-340.

(上接第 64 页)

- [6] 赵永成.55%西草净可湿性粉剂防除水稻田杂草药效试验[J].北方水稻,2017,47(6):24-26.
- [7] 侯志广,密东林,赵晓峰,等.25%西草净 WP 在水稻、田水和土壤中的残留动态分析[J].农药,2014,53(7):506-508.
- [8] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局,中国国家标准化管理委员会.化学农药环境安全评价试验准则 第 12 部分:鱼类急性毒性试验:GB/T 31270.12—2014[S].北京:中国标准出版社,2014.
- [9] OECD.OECD guideline for testing of chemicals, test No.203: Fish, acute toxicity test[S].Paris:OECD,1992.
- [10] 程艳红,葛婧,胡高洁,等.3 种酰胺类除草剂对斑马鱼不同生长阶段

- 的急性毒性效应[J].生态毒理学报,2017,12(6):171-178.
- [11] 郝明娇,王静慧,王丰,等.除草剂阿特拉津对斑马鱼胚胎毒性的研究[J].科技视界,2018(22):68-69.
- [12] 姜罡丞.苄嘧磺隆对斑马鱼的急性毒性和遗传毒性研究[J].安徽农业科学,2009,37(32):15879-15881.
- [13] SAKA M. Acute toxicity of rice paddy herbicides simetryn, mefenacet, and thiobencarb to *Silurana tropicalis* tadpoles[J]. Ecotoxicology and environmental safety, 2010, 73(6):1165-1169.
- [14] SAKA M,TADA N,KAMATA Y.Application of an amphibian (*Silurana tropicalis*) metamorphosis assay to the testing of the chronic toxicity of three rice paddy herbicides: Simetryn, mefenacet, and thiobencarb[J]. Ecotoxicology and environmental safety, 2013, 92:135-143.