

基于灰色预测模型的昆仑山区土地利用时空变化研究——以和田地区为例

姜云璐^{1,2,3}, 曹月娥^{1,2,3,4*}, 贺忠发^{1,2,3}, 宗亚飞^{1,2,3}, 何浩天^{1,2,3}, 赵敏^{1,2,3}, 许仲林^{1,2,3}

(1. 新疆大学资源与环境科学学院, 新疆乌鲁木齐 830046; 2. 新疆大学干旱生态环境研究所, 新疆乌鲁木齐 830046; 3. 新疆大学教育部绿洲生态重点实验室, 新疆乌鲁木齐 830046; 4. 上海师范大学环境与地理科学学院, 上海 200234)

摘要 运用 2000、2005、2010 和 2015 年 LUCC 土地利用数据, 采用土地利用动态度模型及土地利用转移矩阵, 对处于昆仑山区的新疆和田地区 16 年来的土地利用变化情况进行分析, 并运用灰色预测模型对未来 2025、2030 年和田地区土地利用类型进行预测。结果表明, 近 16 年来和田地区为代表的昆仑山区土地利用处于快速变化时期。土地利用类型变化速度与幅度反映 2000—2015 年和田地区各类土地利用变化中耕地和建设用地面积增长较明显, 分别增加了 985.21 km², 其他各类用地面积都有不同程度的减少, 减少最多的是草地, 减少面积 555 km², 其次是未利用地, 减少面积 398 km²。从土地利用动态度来看, 2000—2015 年耕地和建设用地单一动态度较大, 其他地类单一动态度较小, 表明在研究期间耕地和建设用地面积增长较快, 其他地类面积都有不同程度减少。从土地利用转移方面来看, 土地利用类型转移主要发生在 2000—2005 和 2010—2015 年, 转移地类主要是发生在草地—耕地、未利用地—耕地和耕地—建设用地。土地利用转移空间变化主要表现在沿河流纵向分布, 发生在人类聚居的绿洲区域及城市周边。利用灰色预测模型对 2025 和 2030 年和田地区土地利用类型进行预测, 预测精度良好, 表明和田地区 2025 和 2030 年耕地和建设用地面积呈不断增加, 其他地类都有不同程度减少。

关键词 昆仑山区; 和田地区; 灰色预测模型; 土地利用; 时空变化

中图分类号 F301.2 文献标识码 A

文章编号 0517-6611(2022)01-0070-06

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2022.01.019



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

Research on Spatio-temporal Changes of Land Use in Kunlun Mountains Based on GM Model—Taking Hotan Area as an Example

JIANG Yun-lu^{1,2,3}, CAO Yue'e^{1,2,3,4*}, HE Zhong-fa^{1,2,3} et al (1. College of Resources and Environmental Science, Xinjiang University, Urumqi, Xinjiang 830046; 2. Institute of Arid Ecological Environment, Xinjiang University, Urumqi, Xinjiang 830046; 3. Key Laboratory of Oasis Ecology, Ministry of Education, Urumqi, Xinjiang 830046; 4. College of Environmental and Geographical Sciences, Shanghai Normal University, Shanghai 200234)

Abstract Based on the LUCC land use data of 2000, 2005, 2010 and 2015, the land use dynamics model and the land use transfer matrix were used to analyze the land use changes in the Hotan area of Xinjiang in the Kunlun Mountains for 16 years, and the gray prediction model was used to predict the land use types in Hotan area in the future 2025 and 2030. The results showed that in the past 16 years, land use in the Kunlun Mountains represented by the Hotan area had been in a period of rapid change. The change rate and extent of land use types reflected that the area of arable land and construction land had increased significantly during the various land use changes in Hotan from 2000 to 2015, increasing by 985 and 21 km², respectively. The area of other types of land had decreased to varying degrees. The largest decrease was grassland, with a reduction of 555 km², followed by unused land, with a reduction of 398 km². From the perspective of land use dynamics, the single dynamics of cultivated land and construction land from 2000 to 2015 were relatively large, while the single dynamics of other land types were relatively small, which indicated that the area of cultivated land and construction land increased rapidly during the study period, and the area of other land types decreased to varying degrees. From the perspective of land use transfer, the transfer of land use types mainly occurred in 2000–2005 and 2010–2015, and the transferred land types mainly occurred in grassland-cultivated land, unused land-cultivated land and cultivated land-construction land. The spatial changes of land use transfer were mainly manifested in longitudinal distribution along rivers, occurring in oasis areas where humans live and around cities. The gray prediction model is used to predict the land use types of Hotan in 2025 and 2030, and the prediction accuracy is good. The results show that the area of arable land and construction land in Hotan will continue to increase in 2025 and 2030, and other land types will decrease to varying degrees.

Key words Kunlun Mountains; Hotan area; Gray prediction model; Land use; Spatial-temporal change

土地利用变化是指在各种驱动力作用下土地利用的目的和方式发生改变的表现, 与人类活动密切相关^[1-2]。土地利用/覆被变化(LUCC)是人类活动与自然环境相互作用最直接的表现形式, 与人类活动紧密相关。20 世纪 90 年代以来 LUCC 已成为全球研究的核心课题之一^[3]。近年来对于土地利用动态变化的研究, 主要集中在时空分布及变化^[4-8]、驱动力机制^[8-15]及运用马尔科夫和灰色预测模型(GM 模型)对土地利用变化进行预测等研究^[16-20]。土地利用时空变化研究既能反映出研究区土地利用在时间序列上发生的

变化, 又可以直观反映空间变化的状况, 对区域土地利用变化作出更详细的描述。新疆和田地区由于其特殊地理条件和历史原因, 其生态环境对气候变化的响应及承受力具有较高的敏感性和脆弱性, 因此, 及时掌握该地区的 LUCC 变化, 有效预测未来土地利用类型变化, 对优化该区域土地利用模式, 促进当地社会、经济和生态环境协调发展具有重要参考价值。该研究对昆仑山区的典型干旱区绿洲即和田地区土地利用进行时空变化研究, 同时运用灰色预测模型对和田地区 2025、2030 年土地利用类型进行预测, 为未来土地资源优化配置及合理规划土地资源提供借鉴。

基金项目 国家青年基金项目(41601572); 中国科学院战略性先导科技专项(XAD20040400)。

作者简介 姜云璐(1997—), 男, 山东潍坊人, 硕士研究生, 研究方向: 人文地理与干旱区资源环境协调。* 通信作者, 副教授, 博士, 硕士生导师, 从事国土资源评价与国土空间规划研究。

收稿日期 2021-05-21; **修回日期** 2021-05-31

1 资料与方法

1.1 研究区概况 和田地区位于新疆维吾尔自治区南隅, 介于 78°17'~82°38'E、36°52'~37°19'N。南部为喀喇昆仑山及昆仑山, 北部为塔里木盆地, 地势自南向北倾斜, 呈南高北

低、西高东低的格局。仅有小部分的绿洲分布在昆仑山和塔克拉玛干沙漠之间的内流河流域附近,海拔 1 300~1 450 m。属暖带内陆荒漠型气候区,主要气候特点:四季分明、夏长秋短、冬不严寒,全年降水稀少蒸发量极大。春季、夏季多沙尘、浮尘天气,冬季少积雪,昼夜温差大,盛行西北风和西南风。年平均降水量为 33.7 mm,且分布不均,年际变化大,一年中降水以 5—7 月份最多,约占总量的 59%。年日照时数为 2 602.2 h,可照时数为 4 433.5 h,年平均日照百分率为 59%。

1.2 数据来源 该研究所选 2000、2005、2010、2015 年 4 期数据来自中国科学院资源环境科学数据中心 (<http://www.resdc.cn/>),根据研究区实际情况参考 LUCC 二级分类体系对数据进行分类,通过地统计分析方法获得土地利用转移矩阵及空间变化图。

1.3 研究方法

1.3.1 单一土地利用类型动态度。土地利用动态变化的研究方法主要是土地利用动态变化模型的建立,土地利用变化主要体现在土地利用类型变化、土地利用程度变化及土地利用变化的区域差异方面^[21]。单一土地利用动态度可描述区域一定时期内某种土地利用类型的变化速度,它对比较土地利用变化的区域差异和预测未来土地利用变化趋势都有积极的作用^[22]。其表达式如下:

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

式中, K 为研究期内研究区某一类土地类型动态度; U_a 、 U_b 分别为研究初期和研究末期土地类型的面积; T 为研究时段。当 T 的时段为年时, K 值是该土地利用类型的年变化率。

1.3.2 综合土地利用动态度。综合土地利用动态度反映某区域一段时期内土地利用变化的速度^[23]。其表达式如下:

$$LC = \frac{\sum_{i=1}^n \Delta LU_{i-j}}{2 \sum_{i=1}^n LU_i} \times \frac{1}{T} \times 100\% \quad (2)$$

式中, LC 表示该区域土地利用年变化率; ΔLU_{i-j} 表示研究时段内第 i 类土地利用类型转为非 i 类土地利用类型面积的绝对值; LU_i 表示研究初期某一土地利用类型的面积; T 的时段为年。

1.3.3 土地利用转移矩阵。土地利用转移矩阵能够描述各种土地利用类型之间的转换情况,不仅可以反映研究初期和研究末期的土地利用类型结构,同时还可以反映研究时段内各类用地之间的相互转移变化情况,用来刻画区域土地利用变化方向以及研究期末各土地利用类型的来源及构成。转移矩阵中的变量可以为土地利用类型面积,也可以生成区域土地利用变化的转移概率矩阵,从而可以推测一些特定情境下区域土地利用的变化趋势^[24]。其数学表达如下:

$$S_{ij} = \begin{bmatrix} S_{11} & \cdots & S_{1n} \\ \vdots & & \vdots \\ S_{n1} & \cdots & S_{nn} \end{bmatrix} \quad (3)$$

式中, S_{ij} 为研究期内土地利用状态; n 表示研究区内土地利

用类型数; i, j 分别为转移前和转移后的土地利用类型。

1.3.4 灰色预测模型。GM 模型是对原始数据系列进行一次累加生成,建立一阶线性微分方程模型,求得拟合曲线,从而对系统进行预测,过程如下^[25]:

设 $x^{(0)}$ 为原始数据系列,对 $x^{(0)}$ 进行一次累加生成,得到一个生成序列 $x^{(1)}$,由此可以建立白化形式的微分方程:

$$\frac{dx^{(1)}}{dt} + ax^{(1)} = u \quad (4)$$

用最小二乘法拟合得到参数 a 和 u :

$$\begin{bmatrix} a \\ u \end{bmatrix} = (B^T B)^{-1} B^T Y_M \quad (5)$$

$$B = \begin{bmatrix} -\frac{1}{2}(X^{(1)}(1) + X^{(1)}(2)) & 1 \\ -\frac{1}{2}(X^{(1)}(2) + X^{(1)}(3)) & 1 \\ \vdots & \vdots \\ -\frac{1}{2}(X^{(1)}(n-1) + X^{(1)}(n)) & 1 \end{bmatrix} \quad (6)$$

$$Y_M = \begin{bmatrix} X^{(0)}(2) \\ X^{(0)}(3) \\ \vdots \\ X^{(0)}(n) \end{bmatrix}^T \quad (7)$$

微分方程式(4)所对应的时间响应函数即为此次数列预测的基础公式,如下:

$$x^{(1)}(k+1) = \left[x^{(0)}(1) - \frac{u}{a} \right] e^{-ak} + \frac{u}{a} \quad (8)$$

为提高 GM(1,1) 模型预测值的可靠度,采用后验差检验方法进行模型精度检验,后验差比值 C 和小误差概率 P 定义为:

$$C = \frac{S_2}{S_1} \quad (9)$$

$$P = P(|\varepsilon(k) - \bar{\varepsilon}| < 0.674 5 S_1) \quad (10)$$

式中, S_1 为原始数据标准差; S_2 为预测数据标准差; ε 为预测数据误差; $\bar{\varepsilon}$ 为预测误差的均值。 C 的大小表明模型预测值和实际值之差的离散程度, C 越小越好,表示原始数据离散大,而预测误差离散性小,则预测精度高; P 越大越好,即小误差的概率越大,表示拟合精度较高。

2 结果与分析

2.1 土地利用变化幅度分析 区域土地利用面积和结构变化是研究土地利用变化的一个重要方面。对和田地区 2000、2005、2010、2015 年 4 个时期的土地利用面积变化幅度进行对比,结果发现(表 1),2000—2005 年和田地区耕地和建设用地面积呈不断增加的趋势,其中耕地变化幅度最大,为 13.85%,耕地面积增加了 387 km²,建设用地变化幅度为 1.43%,面积增加了 4 km²;林地、草地、水域和未利用地面积均呈减小趋势,其变化幅度分别为 -0.47%、-0.38%、-0.37%、-0.08%,其中草地面积减少最多,减少了 209 km²,其次是未利用地,面积减少了 135 km²,林地和水域面积分别

减少了6,41 km²。2005—2010年和田地区各地类面积变化较小,耕地、水域面积均有所增加,林地和建设用地面积保持不变,未利用地和草地面积不断减少;耕地变化幅度为1.51%,面积增加了48 km²,草地和未利用地变化幅度分别为-0.04%、-0.02%,面积分别减少20、29 km²。2010—2015年和田地区土地利用变化较剧烈,其中耕地和建设用地变化较大,面积分别增加了550、17 km²,增长幅度分别为

17.03%、6.01%;林地、草地和未利用地均有不同程度的减少,减少面积分别为15、326、234 km²,变化幅度分别为-1.19%、-0.59%、-0.13%。整体而言,和田地区2000—2015年土地利用变化中,耕地和建设用地面积持续增加,且增加幅度较大,土地利用变化主要发生在2000—2005和2010—2015年,尤其在2010—2015年和田地区各类土地面积变化较剧烈。

表1 2000—2015年和田地区土地利用面积变化幅度

Table 1 Changes of land use area in Hotan area from 2000 to 2015

| 土地利用类型 Land use type | 2000—2005年 | | | | 2005—2010年 | | | | 2010—2015年 | | | |
|---------------------------|--------------------------|--------------------------|--|-------------------------|--------------------------|--------------------------|--|-------------------------|--------------------------|--------------------------|--|-------------------------|
| | 2000年 km ² | 2005年 km ² | 变化值 Change value km ² | 变化幅度 Change range//% | 2005年 km ² | 2010年 km ² | 变化值 Change value km ² | 变化幅度 Change range//% | 2010年 km ² | 2015年 km ² | 变化值 Change value km ² | 变化幅度 Change range//% |
| 耕地 Cultivated land | 2 794 | 3 181 | 387 | 13.85 | 3 181 | 3 229 | 48 | 1.51 | 3 229 | 3 779 | 550 | 17.03 |
| 林地 Forest | 1 265 | 1 259 | -6 | -0.47 | 1 259 | 1 259 | 0 | 0.00 | 1 259 | 1 244 | -15 | -1.19 |
| 草地 Grassland | 55 242 | 55 033 | -209 | -0.38 | 55 033 | 55 013 | -20 | -0.04 | 55 013 | 54 687 | -326 | -0.59 |
| 水域 Waters | 11 155 | 11 114 | -41 | -0.37 | 11 114 | 11 115 | 1 | 0.01 | 11 115 | 11 123 | 8 | 0.07 |
| 建设用地 Construction land | 279 | 283 | 4 | 1.43 | 283 | 283 | 0 | 0.00 | 283 | 300 | 17 | 6.01 |
| 未利用地 Unused land | 175 746 | 175 611 | -135 | -0.08 | 175 611 | 175 582 | -29 | -0.02 | 175 582 | 175 348 | -234 | -0.13 |

2.2 土地利用动态度 从单一土地利用动态度(表1)来看,和田地区2000—2015年耕地和建设用地单一动态度呈正值,呈增长趋势;尤其是耕地,2000—2005年单一动态度为13.85%,2005—2010年为1.51%,2010—2015年为17.03%,表明耕地面积在2000—2005和2010—2015年增长显著,其中2010—2015年增长最快;建设用地在2000—2005年单一动态度为1.43%,2005—2010年单一动态度基本保持不变,2010—2015年单一动态度为6.01%,表明2010—2015年建设用地面积增长速度最快。林地、草地和未利用地单一土地利用动态度都呈负值,其中2000—2005年单一动态度分别为-0.47%、-0.38%、-0.08%,2005—2010年单一动态度分别为0、-0.04%、-0.02%,2010—2015年单一动态度分别为-1.19%、-0.59%、-0.13%;2000—2005和2010—2015年各类土地利用类型数量变化速度较2005—2010年快。

从综合土地利用动态度来看,2000—2005、2005—2010、2010—2015年综合土地利用动态度分别为8.32%、8.33%和8.31%,表明2005—2010年和田地区土地变化幅度较小,各

类用地变化较其他2个阶段平缓;2010—2015年和田地区土地利用变化速度大于2000—2005年,2000—2005年土地利用变化速度大于2005—2010年。

整体而言,2000—2015年和田地区耕地单一土地利用动态度最大,土地面积变化较剧烈且增加幅度较大;建设用地比重较小,但动态度在2000—2005和2010—2015年增长幅度较大,尤其在2010—2015年,建设用地扩张较大;林地、草地动态度呈负,呈减小趋势,但草地面积减小数量较大;未利用地比重最大,虽然动态度较小,但实际减少面积较大。

2.3 土地利用转移矩阵 由表2可看出,2000—2005年和田地区土地利用转移主要表现在耕地—草地、林地—草地、水域—草地和未利用地—草地,草地面积的增加中耕地占21.15%,林地占3.85%,水域占13.46%,未利用地占59.62%。建设用地的增加全部来自对耕地的侵占。水域—未利用地、草地—未利用地转移分别占未利用地面积增加的61.11%、38.89%。

表2 2000—2005年和田地区土地利用转移矩阵

Table 2 Land use transfer matrix in Hotan area from 2000 to 2005

| 2000年 | 2005年 | | | | | | | 转出 Transfer out |
|------------------------|-----------------------|--------------|-----------------|--------------|---------------------------|---------------------|-----|--------------------|
| | 耕地 Cultivated land | 林地 Forest | 草地 Grassland | 水域 Waters | 建设用地 Construction land | 未利用地 Unused land | 转出 | |
| 耕地 Cultivated land | 2 775 | 1 | 11 | 0 | 7 | 0 | 19 | |
| 林地 Forest | 5 | 1 258 | 2 | 0 | 0 | 0 | 7 | |
| 草地 Grassland | 239 | 0 | 54 981 | 1 | 0 | 21 | 261 | |
| 水域 Waters | 5 | 0 | 7 | 11 110 | 0 | 33 | 45 | |
| 建设用地 Construction land | 2 | 0 | 1 | 0 | 276 | 0 | 3 | |
| 未利用地 Unused land | 155 | 0 | 31 | 3 | 0 | 175 557 | 189 | |
| 转入 Transfer in | 406 | 1 | 52 | 4 | 7 | 54 | 524 | |

从表 3 可以看出,2005—2010 年整体来看各类土地之间的转化并不频繁,主要表现在草地—耕地和未利用地—耕地,其中增加的耕地中草地占 22.92%,未利用地占 77.08%。

其次为草地—未利用地,未利用地的增加全部来自草地面积的退化。

表 3 2005—2010 年和田地区土地利用转移矩阵

Table 3 Land use transfer matrix in Hotan area from 2005 to 2010

km²

| 2005 年 | 2010 年 | | | | | | |
|------------------------|-----------------------|--------------|-----------------|--------------|---------------------------|---------------------|--------------------|
| | 耕地 Cultivated land | 林地 Forest | 草地 Grassland | 水域 Waters | 建设用地 Construction land | 未利用地 Unused land | 转出 Transfer out |
| 耕地 Cultivated land | 3 181 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 林地 Forest | 0 | 1 259 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 草地 Grassland | 11 | 0 | 55 012 | 1 | 0 | 9 | 21 |
| 水域 Waters | 0 | 0 | 0 | 11 114 | 0 | 0 | 0 |
| 建设用地 Construction land | 0 | 0 | 0 | 0 | 283 | 0 | 0 |
| 未利用地 Unused land | 37 | 0 | 1 | 0 | 0 | 175 573 | 38 |
| 转入 Transfer in | 48 | 0 | 1 | 1 | 0 | 9 | 59 |

从表 4 可以看出,2010—2015 年和田地区土地利用类型转化主要表现在林地—耕地、草地—耕地、水域—耕地、建设用地—耕地和未利用地—耕地。其中增加的耕地中草地和未利用地面积较大,分别占增加面积的 58.39%和 37.32%,其次为林地和水域,分别占增加面积的 2.68%、1.25%,建设

用地占增加面积的 0.36%;草地面积的增加主要表现在耕地—草地、未利用地—草地的转移,其中增加的草地中耕地面积占 60.00%,未利用地面积占 30.00%;建设用地的增加主要来源于耕地—建设用地、未利用地—建设用地的转移,其中耕地占 10.53%,未利用地占 84.21%。

表 4 2010—2015 年和田地区土地利用转移矩阵

Table 4 Land use transfer matrix in Hotan area from 2010 to 2015

km²

| 2010 年 | 2015 年 | | | | | | |
|------------------------|-----------------------|--------------|-----------------|--------------|---------------------------|---------------------|--------------------|
| | 耕地 Cultivated land | 林地 Forest | 草地 Grassland | 水域 Waters | 建设用地 Construction land | 未利用地 Unused land | 转出 Transfer out |
| 耕地 Cultivated land | 3 219 | 0 | 6 | 1 | 2 | 1 | 10 |
| 林地 Forest | 15 | 1 244 | 0 | 0 | 0 | 0 | 15 |
| 草地 Grassland | 327 | 0 | 54 677 | 8 | 1 | 0 | 336 |
| 水域 Waters | 7 | 0 | 1 | 11 107 | 0 | 0 | 8 |
| 建设用地 Construction land | 2 | 0 | 0 | 0 | 281 | 0 | 2 |
| 未利用地 Unused land | 209 | 0 | 3 | 7 | 16 | 175 347 | 235 |
| 转入 Transfer in | 560 | 0 | 10 | 16 | 19 | 1 | 606 |

整体而言,2000—2015 年和田地区土地利用转移主要集中在草地—耕地、未利用地—耕地之间的相互转化。耕地主要表现为持续增加的趋势,且耕地的增加主要来自对草地和未利用地的大量开垦,造成了草地、未利用地的大面积减少;一部分耕地的减少主要发生在城区周围,为了满足城市的发展和扩张,城市周边一部分地理位置较好的耕地被开发为建设用地。这是由于一方面因为人口的持续增加,有限的耕地不能养活更多的人口,因此把矛头指向肥力和水资源条件较好的草地和未利用地,对草地和未利用地进行大面积的开垦;另一方面由于“耕地保护红线”和响应“退耕还林还草”等政策因素,部分耕地因生产力下降被撂荒转为草地,而“耕地保护红线”的政策和为促进经济的发展等需求促使耕地不断增加。未利用地的减少主导因素是垦荒,其次是转变为草地、水域和建设用地。

2.4 土地利用空间变化分析 2000—2015 年和田地区土地利用类型转移及空间变化主要表现出沿河流纵向分布和绿洲人类聚居区周围分布的特点,且主要集中在河流中游人类活动的绿洲区域,其主要呈现出如下特点:

(1) 草地—耕地。草地—耕地的转移主要在克里雅河、喀拉喀什河和玉龙喀什河中游,沿河流纵向呈片状及点状分布;另外尼雅河和皮山县境内发源于喀喇昆仑山的中小山溪性河流中游沿河流纵向呈小片及点状分布,其次在墨玉县城市周边及皮山县城市周围呈大片分布(图 1)。这是由于和田地区近 16 年来人口的不断增加和外来人口的大量涌入,对耕地需求加大,一些水肥条件较好的草地被不断开发,在增加耕地的同时,生态环境也遭到一定程度的破坏,更加剧了和田地区本不乐观的生态状况。

(2) 未利用地—耕地。耕地的增加一方面来源于对草地的大量开垦,其次是未利用地的大面积开垦。和田地区未利用地转化为耕地沿河流纵向呈点状分布,主要集中在民丰县城市周边,和田县北部,洛浦县南部、墨玉县南部与昆仑山交接的平原地带,在皮山县主要在沿河流及城市、乡镇周边呈大面积分布(图 1)。和田地区未利用土地资源广阔,在大量开发未利用地的同时,满足了农业和经济发展的要求。

(3) 其他各类用地空间变化。草地—未利用地的转化主要在田县城市东部及民丰县境内的牙通古孜河下游,呈片状

及点状分布;林地—耕地的转化主要集中在策勒县城市周边;耕地—建设用地的转化主要在和田市及于田县,呈点状分布;未利用地—草地的转化主要发生在于田县和皮山县。

总之,和田地区土地利用类型空间变化特征与和田地区特殊的地理环境关系巨大,主要分布在自然条件相对优越的

地理单元内。干旱区绿洲人类生产生活与水资源条件密不可分,因此土地利用空间变化主要沿河流呈片状及点状分布。耕地—建设用地的转化主要分布在于田县、和田市,呈点状分布。

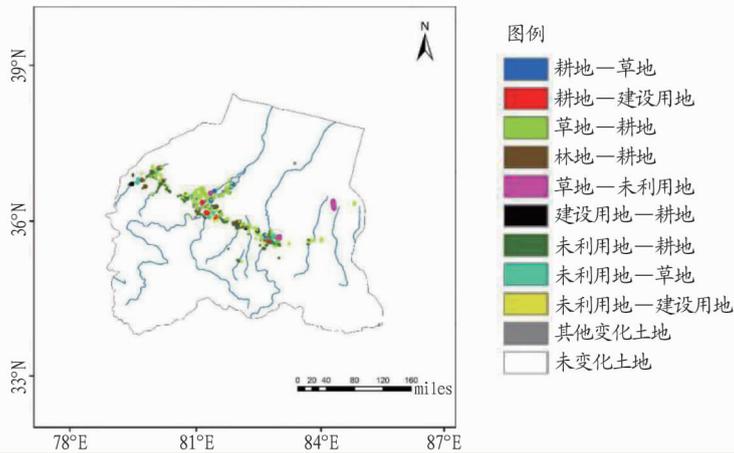


图1 2000—2015年和田地区土地利用空间变化

Fig. 1 Spatial changes of land use in the Hotan area from 2000 to 2015

2.5 土地利用灰色预测 基于和田地区实际情况,该区未利用地以较难利用的沙漠、戈壁和石质沙地为主,利用面积较稳定;水域包括河流湖泊等,季节性变化较大,在此不对这2种地类进行预测。选择2000、2005、2010、2015年4期数据,运用灰色GM模型,对未来2025和2030年土地利用类型面积进行预测(表5),参照灰色预测精度检验等级标准(表6),所有土地利用类型后验差比值 C 均小于0.65;林地、建设用地预测结果分别为0.57、0.62,勉强合格;草地 C 值为0.49,合格;耕地 C 值为0.28,精度等级为好。小误差概率 $P=1>0.95$,表明模型预测精度为合格,预测值有较高的可信度。

表5 2025—2030年和田地区各类土地利用变化预测

Table 5 Forecast of land use change in Hotan area from 2025 to 2030

| 土地利用类型 Land use type | 面积 Area/ km^2 | | 精度检验 Accuracy test | |
|-------------------------|------------------------|-----------|--------------------|-----|
| | 2025年 | 2030年 | C | P |
| 耕地 Cultivated land | 4 052.93 | 4 435.44 | 0.28 | 1 |
| 林地 Forest | 1 243.88 | 1 235.39 | 0.57 | 1 |
| 草地 Grassland | 54 675.57 | 54 475.95 | 0.49 | 1 |
| 水域 Waters | — | — | — | — |
| 建设用地 Construction land | 299.32 | 309.45 | 0.62 | 1 |
| 未利用地 Unused land | — | — | — | — |

表6 灰色预测精度检验等级标准

Table 6 Gray prediction accuracy test grade standard

| 精度等级 Accuracy class | 后验差比(C) | 小误差概率(P) |
|------------------------|-------------------|-------------------|
| 好 Good | <0.35 | >0.95 |
| 合格 Qualified | $0.35 \sim <0.50$ | $>0.80 \sim 0.95$ |
| 勉强 Reluctant | $0.50 \sim <0.65$ | $>0.70 \sim 0.80$ |
| 不合格 Unqualified | ≥ 0.65 | ≤ 0.70 |

3 结论

该研究选取干旱区典型区域和田地区为研究区,利用近16年土地利用数据,分析土地利用转移矩阵,并借助GM模型预测该研究区2025和2030年土地利用类型。主要结论如下:

(1)近16年和田地区各类土地利用变化较剧烈。从土地利用变化幅度来看主要表现为耕地和建设用地的持续增加及林地、草地和未利用地的不断减少,其中2000—2005和2010—2015年增减幅度较大。

(2)从单一土地利用动态度来看,2000—2005和2010—2015年耕地和建设用地单一动态度较高,而林地、草地和未利用地单一动态度较低,呈负值,但面积变化相对较大;2005—2010年单一土地利用动态度相对较小。从综合土地利用动态度看,和田地区土地利用变化速度较大,2005—2010年土地利用综合动态度较前后2个时段小,表明2005—2010年土地利用变化较小。但各研究时段相差不大,表明研究期间土地利用相对较稳定。

(3)土地利用转移发生在草地—耕地、未利用地—耕地、耕地—草地和耕地—建设用地之间。频繁转移时间在2000—2005和2010—2015年。耕地面积增加的主要来源是草地和未利用地的大量开垦,建设用地增加主要是对城区周边耕地的侵占和对未利用地的开发。

(4)和田地区土地利用空间变化主要沿河流以及沿交通线呈扁十字型分布的特点,与干旱区绿洲生产活动受水资源条件约束相契合,人类活动主要集中在面积较小的绿洲区域,耕地—建设用地、未利用地—建设用地空间变化呈点状分布的特点。

(5)利用GM灰色预测模型对和田地区2025和2030年土地利用类型进行了预测,预测精度良好,预测结果为2025、

2030年耕地和建设用地面积不断增加,林地、草地面积都有不同程度减少。

参考文献

- [1] BROGAARD S,ZHAO X Y. Rural reforms and changes in land management and attitudes; A case study from Inner Mongolia, China[J]. *Ambio*, 2002,31(3):219-225.
- [2] LAMBIN E F. Modelling and monitoring land-cover change processes in tropical regions[J]. *Progress in geographical*, 1997,21(3):375-393.
- [3] 陈佑启,杨鹏. 国际上土地利用/土地覆盖变化研究的新进展[J]. *经济地理*,2001,21(1):95-100.
- [4] 刘纪远,匡文慧,张增祥,等. 20世纪80年代末以来中国土地利用变化的基本特征与空间格局[J]. *地理学报*,2014,69(1):3-14.
- [5] 刘纪远,张增祥,徐新良,等. 21世纪初中国土地利用变化的空间格局与驱动力分析[J]. *地理学报*,2009,64(12):1411-1420.
- [6] 罗娅,杨胜天,刘晓燕,等. 黄河河口镇—潼关区间1998—2010年土地利用变化特征[J]. *地理学报*,2014,69(1):42-53.
- [7] 马才学,孟芬,赵利利. 1990—2005年武汉市土地利用时空变化及其政策驱动因素分析[J]. *水土保持研究*,2015,22(2):117-122.
- [8] 王薇,王昕,黄乾,等. 黄河三角洲土地利用时空变化及驱动力研究[J]. *中国农学通报*,2014,30(32):172-177.
- [9] 佟光臣,林杰,陈杭,等. 1986—2013年南京市土地利用/覆被景观格局时空变化及驱动力因素分析[J]. *水土保持研究*,2017,24(2):240-245.
- [10] 高凌寒,赵鹏祥,张晓莉,等. 西宁市主城区土地利用时空变化驱动力分析[J]. *水土保持研究*,2017,24(2):234-239.
- [11] 张月,郗睿卿,张蔚,等. 吉林市土地利用时空变化及驱动力分析[J]. *测绘科学*,2015,40(7):73-77.
- [12] 张军辉,顾蕾,岳永兵. 沧州市土地利用时空变化及驱动力分析[J]. *中国国土资源经济*,2014,27(12):69-72.

- [13] 于海影,韦安胜,陈竹君. 基于RS和GIS的杨凌区土地利用变化及驱动力分析[J]. *水土保持研究*,2014,21(5):79-83.
- [14] 吕桐,吴永波. 基于RS的崇明岛土地利用变化及驱动力分析[J]. *中国农学通报*,2014,30(5):203-207.
- [15] 史利江,王圣云,姚晓军,等. 1994~2006年上海市土地利用时空变化特征及驱动力分析[J]. *长江流域资源与环境*,2012,21(12):1468-1479.
- [16] 郭年冬,陈召亚,李恒哲,等. 基于土地利用变化下的县域生态敏感性及其灰色预测:以河北省平山县为例[J]. *水土保持研究*,2016,23(5):229-234.
- [17] 李正,王军,白中科,等. 贵州省土地利用及其生态系统服务价值与灰色预测[J]. *地理科学进展*,2012,31(5):577-583.
- [18] 闫沛祿. 基于信息熵的酒泉市土地利用结构分析及其灰色预测[J]. *甘肃农业大学学报*,2011,46(6):129-134.
- [19] 王晓娇,陈英,齐鹏,等. 基于信息熵的张掖市土地利用结构分析及其灰色预测[J]. *干旱区研究*,2011,28(1):92-97.
- [20] 严明,廖铁军. 基于Excel的灰色预测模型在土地利用规划中的应用[J]. *安徽农业科学*,2007,35(12):3627-3628.
- [21] 李宁,岳彩荣. 基于GIS与RS的肇源县土地利用变化分析[J]. *中国农学通报*,2011,27(29):224-228.
- [22] 唐家荣,张世熔,吴光碧,等. 基于RS和GIS的土地利用时空动态变化分析:以重庆永川区为例[J]. *山东农业大学学报(自然科学版)*,2014,45(4):552-558.
- [23] 李志锋,王一谋,冯毓芬,等. 基于RS与GIS的榆林地区土地利用变化分析[J]. *水土保持学报*,2003,17(2):97-99,140.
- [24] 韩会然,杨成凤,宋金平. 北京市土地利用变化特征及驱动机制[J]. *经济地理*,2015,35(5):148-154,197.
- [25] 徐建华. *现代地理学中的数学方法*[M]. 2版. 北京:高等教育出版社,2002:342-344.

(上接第49页)

性及提高产量的技术措施,筛选近缘作物优质种质资源,提高作物育种水平,筛选差异表达基因,进而完成蛋白质组和转录组关联分析,最终挖掘调控高粱抗性强弱及糖分积累的关键基因及解析其分子调控机制奠定坚实的理论基础。

从未来发展的角度而言,随着分子生物学与分子遗传学的迅猛发展及其在农业育种方面的广泛利用,传统的育种方案已不能满足当今对优质农作物选育的需求,而通过利用比较基因组学与功能基因组学等近些年来兴起的生物技术手段,加强对高粱高产高抗等相关优质性状的基因定位、基因克隆和分子标记等方面研究,在不久的将来,有理由相信优质高粱育种工作必将焕发新的活力。

参考文献

- [1] 阮班普,田福宽,马伯军,等. 水稻粒重的遗传与分子生物学研究进展[J]. *中国稻米*,2013,19(6):17-20,22.
- [2] 于晓宇. 辽宁地区高粱高产栽培技术[J]. *农业开发与装备*,2021(1):219-220.
- [3] 周其宣. 优质高粱“红缨子”高产栽培技术[J]. *安徽农学通报*,2014,20(15):47-48.

- [4] 邹剑秋,朱凯,张志鹏,等. 国内外高粱深加工研究现状与发展前景[J]. *杂粮作物*,2002,22(5):296-298.
- [5] 寇兴凯,徐同成,宗爱珍,等. 高粱的营养价值以及应用现状[J]. *安徽农业科学*,2015,43(21):271-273.
- [6] 薛薇,崔江慧,孙爱芹,等. 高粱可溶性糖含量与SS、SPS酶活性的相关性研究[J]. *中国农业科技导报*,2009,11(2):124-128.
- [7] 卢晓霞,康晓慧,付菊梅,等. 油菜根肿病对油菜光合作用及酶活性的影响[J]. *广东农业科学*,2013,40(24):71-73,81.
- [8] 朱广龙,韩蕾,陈婧,等. 酸枣生理生化特性对干旱胁迫的响应[J]. *中国野生植物资源*,2013,32(1):33-37,44.
- [9] 刘燕,伊伟贞,焦连魁,等. 高效液相色谱法测定地黄蔗糖合成酶、蔗糖磷酸合成酶活性[J]. *中国农学通报*,2011,27(15):245-248.
- [10] 丁霖,刘馨,钱美玲,等. 5个国外主栽甜高粱品种的抗性生理指标分析[J]. *贵州农业科学*,2017,45(6):34-36.
- [11] 李君,葛跃,孙向武,等. 硫对镉胁迫下蓖麻生理生化特性的影响[J]. *常州大学学报(自然科学版)*,2016,28(3):48-53.
- [12] 王丽红,陈惠茹,周青. 铜与锌对香樟、广玉兰及榉树生理生化特性的复合影响[J]. *生态环境学报*,2013,22(11):1819-1824.
- [13] 刘云芬,王薇薇,祖艳侠,等. 过氧化氢酶在植物抗逆中的研究进展[J]. *大麦与谷类科学*,2019,36(1):5-8.
- [14] 宋新华,赵凤云. 植物体内过氧化氢酶的研究进展[J]. *安徽农业科学*,2007,35(31):9824-9827.
- [15] 刘海波,魏玉清,周维松,等. 土壤盐胁迫对甜高粱茎秆糖分积累及蔗糖代谢相关酶活性的影响[J]. *西北农林科技大学学报(自然科学版)*,2017,45(5):41-47.