

# 基于灰色系统理论的挠力河流域净耕地面积预测

周浩<sup>1</sup>, 陈竹书<sup>2</sup>, 冯晓娟<sup>3</sup>

(1.湖南师范大学 资源与环境科学学院, 湖南 长沙 410081;

2.益阳市烟草专卖局, 湖南 益阳 413002; 3.嵩山少林武术职业学院, 河南 登封 452470)

**摘要:** [目的] 研究如何精准提取净耕地利用信息, 为农田管理与耕地科学利用提供理论支持。[方法] 基于灰色系统理论提出净耕地预测思路, 以典型粮食产区挠力河流域为研究区, 在土地利用变更调查数据支持下, 运用净耕地系数、突变检测模型、灰色动态模型(GM)等数理模型, 提取并验证净耕地(包括旱地和水田)利用信息。[结果] 挠力河流域土地利用斑块面积变化表现出显著的“灰色”特征, 对 20 hm<sup>2</sup> 等面积区间的非旱地和非水田斑块面积累加处理, 可增强数据列的规律性特征; GM(1,1)灰色系统模型和多项式预测方法均可较为准确地提取非旱地和非水田面积信息。2018年, 挠力河流域旱地和水田的净面积分别是  $1.06 \times 10^6$  hm<sup>2</sup> 和  $3.87 \times 10^5$  hm<sup>2</sup>, 对应的净系数为 97.65% 和 98.07%。[结论] 耕地斑块面积变化具有灰色特征, 可采用灰色系统理论进行净耕地面积预测。

**关键词:** 耕地面积; 灰色系统; 预测; 挠力河流域

**文献标识码:** B

**文章编号:** 1000-288X(2021)03-0159-07

**中图分类号:** F301.24

**文献参数:** 周浩, 陈竹书, 冯晓娟. 基于灰色系统理论的挠力河流域净耕地面积预测[J]. 水土保持通报, 2021, 41(3): 159-165. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2021.03.022; Zhou Hao, Chen Zhushu, Feng Xiaojuan. Calculation on effective area of cultivated land in Naoli River basin based on grey system theory [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2021, 41(3): 159-165.

## Calculation on Effective Area of Cultivated Land in Naoli River Basin Based on Grey System Theory

Zhou Hao<sup>1</sup>, Chen Zhushu<sup>2</sup>, Feng Xiaojuan<sup>3</sup>

(1. Department of Resources and Environment, Hunan Normal University,

Changsha, Hu'nan 410081, China; 2. Yiyang Tobacco Monopoly Administration, Yiyang,

Hu'nan 413002, China; 3. Songshan Shaolin Wushu College, Dengfeng, He'nan 452470, China)

**Abstract:** [Objective] The cultivated land use information was accurately extracted in order to provide theoretical support for farmland management and scientific use of cultivated lands. [Methods] Effective area of arable land in the Naoli River basin was determined using grey system theory and associated theoretical assumptions, mathematical models, mutation detection model, and empirical analysis. Data used in the study came from land use change survey data and the net cultivated land coefficient. [Results] Land use area showed significant grey characteristics. If accumulative treatments were applied to the area of the arable map within a certain area, the linear differential fitting equation could be used to predict the effective area of arable land in Naoli River basin. The grey system theory hypothesis could be applied for the accurate extraction of dryland and paddy fields. In 2018, the effective area of dryland and paddy fields was  $1.06 \times 10^6$  hm<sup>2</sup> and  $3.87 \times 10^5$  hm<sup>2</sup> in the Naoli River basin. The effective dryland coefficient and the paddy field coefficient were 97.65% and 98.07%, respectively. At the same time, the spatial distribution of effective arable land showed that more attention should be given to their actual utilization and development status in the downstream area of the outer Qixing River in the Naoli River basin, and in the northern part of Youyi County and the western part of Baoqing County. [Conclusion] Grey system theory was proposed for determining changes in effective

收稿日期: 2021-01-21

修回日期: 2021-04-04

资助项目: 国家自然科学基金项目“气候变化下挠力河流域耕地利用变化水土资源平衡效应研究”(41671520)

第一作者: 周浩(1990—), 男(汉族), 安徽省安庆市人, 博士, 讲师, 主要从事土地资源利用方面的研究。Email: zhouhao7404@163.com。

通讯作者: 陈竹书(1992—), 女(汉族), 湖南省益阳市人, 硕士, 主要从事资源利用管理研究。Email: 2668347446@qq.com。

area of arable land. Gray system theory was found to be feasible for extracting effective cultivated land and its coefficient.

**Keywords:** cultivated land area; grey system theory; prediction; Naoli River basin

耕地监测既是农作物产量估算、农业资源综合利用基础,又是政府部门对耕地利用与管理的依据<sup>[1]</sup>。遥感技术拥有信息丰富、覆盖面广、实用性强和可周期性获取等特点<sup>[2-3]</sup>,已成为当前对耕地监测的最主要手段。一方面受遥感影像空间分辨率、同物易谱和同谱异物等影响<sup>[4]</sup>,实际存在的小地物(主要包括:沟渠、小径、机耕道、简易公路、坟地和池塘等)易被纳入耕地<sup>[5]</sup>,另一方面,由于部分小地物遥感影像的像元宽度远大于实际宽度,耕地面积常被夸大<sup>[6]</sup>。因此,如何剔除小地物影响,实现净耕地提取具有重要现实意义<sup>[7-8]</sup>。

国内外学者针对净耕地提取做了大量工作,如运用实地抽样手段开展区域小地物信息提取工作,进而间接提取净耕地利用信息<sup>[9]</sup>;探索如道路等线状地物对实际耕地面积的影响机理,以提高耕地遥感监测精度<sup>[10-13]</sup>;开展遥感影像对小地物实际宽度和解译宽度影响的研究,通过扣除小地物实现农作物面积精准估算<sup>[1]</sup>;运用算法技术来自动提取农田线状工程地物信息,以实现耕地的精细化提取<sup>[14-15]</sup>。但纵观现有研究,学者们多通过实地抽样调查或结合高精度影像、航片来剔除小地物对耕地面积影响<sup>[16-19]</sup>,可推广性有限。如何在有限的条件下实现净耕地面积提取显得尤为重要。现代数理统计观认为<sup>[8]</sup>,客观系统总是有关联和有整体功能的,作为表征系统行为特征的数据,总是蕴涵着某种统计规律。中国实行国土用途管制及规划管理制度,土地利用面积具有内生“灰色”规律,通过对土地利用面积“部分”已知信息的二次生成和挖掘,去认识和研究土地利用面积变化规律。当前已有相关学者注意到灰色系统理论应用于土地或耕地利用信息提取的可行性,如通过灰色关联度模型分析耕地利用变化驱动因子并选用不同灰色系统模型定量模拟耕地需求量<sup>[9,16]</sup>;运用灰色系统 GM(1,1)模型预测和验证区域有效耕地面积<sup>[8]</sup>。但值得注意的是,以上灰色系统模型应用研究中多存在灰色区间划分偏主观、缺乏围绕净旱地和净水田提取的系统性方案等问题,不利于实际工作的推广。

挠力河流域为中国重要商品粮生产基地,自 21 世纪初以来,随着“两江一湖”土地整治和高标准基本农田建设工程的实施,该流域耕地及其内部结构快速变化,田间道路、沟渠系统等发生了较大改变<sup>[20]</sup>。鉴于此,本文以挠力河流域作为净耕地提取案例区,在基础土地利用调查数据支持下,运用灰色系统理论来提取该流域的净旱地和净水田利用信息。

## 1 研究区概况与数据来源

挠力河流域位于中国黑龙江省三江平原腹地,地理范围为 131°31′—134°10′ E,45°43′—47°45′ N,东南以完达山为界,东与乌苏里江相接,流域面积约为  $2.49 \times 10^6$  hm<sup>2</sup>(图 1)。挠力河流域历经了多次大规模土地利用开发,耕地面积持续上升,呈现出“三山一水六分田”的土地利用特点。该流域耕地分为旱地和水田,水浇地面积极少,主要分布于内外七星河腹地、干流沿岸及友谊地区<sup>[20]</sup>。

基础土地利用数据及道路、田间沟渠等小地物信息数据均获取自当地自然资源部门所提供的土地利用变更调查矢量数据库(2018 年)。通过对流域境内的 4 县(富锦县、友谊县、集贤县和宝清县)3 区(宝山区、尖山区和四方台区)数据库的拼接、裁剪等处理,得到基础耕地利用数据(即未进行耕地净提取的初始耕地利用数据)及线状地物信息;行政区划、水系等基础地理信息数据均来自于中国科学院资源环境科学数据中心(<http://www.resdc.cn>)。

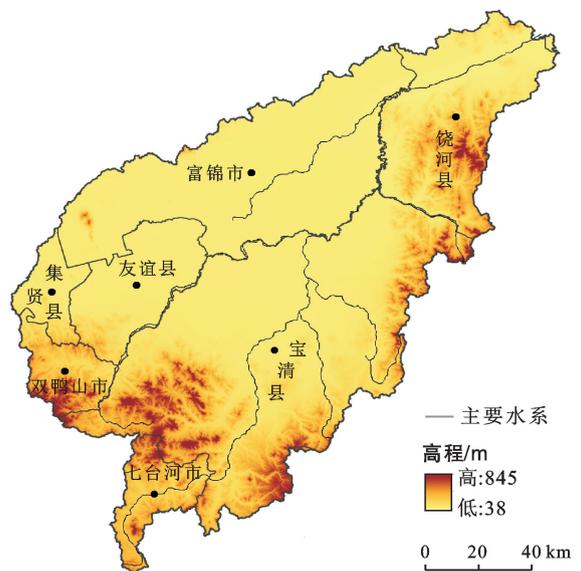


图 1 挠力河流域地形及水系分布

## 2 研究方法

### 2.1 研究思路

区别于经典数理统计论,灰色系统理论把一切随机变化过程视作一定范围内变化的、与时间有关的灰色量及灰色过程,其研究对象为“贫”信息不确定性系统<sup>[21]</sup>。通过对数据一定方式处理,使其成为有规律

的时间序列“模块”数据,进而找出其“灰色量”变化规律。考虑到净耕地原始斑块面积的未知性,通过对非耕地斑块(除耕地外的土地利用斑块)面积的一次或多次累加处理以增强数据列的规律性,进而构建灰色系统模型来预测非耕地面积,将区域总面积减去非耕地面积即可得到净耕地面积。同时,中国实行国土空间用途管制及规划管理制度,土地利用面积表征着对应用地的开发程度及利用方式,除建设用地中特殊地块外,部分建设项目由于其规模、性质等原因,占地面积较大,但从区域宏观角度来看,该部分地块面积比例较小,将其排除后,土地利用斑块面积将呈较强的规律性特征。

基于此,提出净耕地预测思路:①在土地利用变更调查数据支持下,提取非耕地斑块面积信息,根据系统建模需要,对范围内非耕地斑块面积从大到小或从小到大进行排序;②斑块面积区间的划分影响着预测结果的准确性,通过建立和比较不同突变模型的分析结果,以确定面积突变奇点(对应为建筑项目用地或大片林地);③确定合适等额间距并对其范围内的非耕地斑块面积进行一次或多次累加处理,将得到规律性递增的一组数据,选取不同阶灰色预测模型或其他预测模型进行非耕地面积预测,最终确定面积预测模型;④根据非耕地面积数据来测算净耕地面积,倘若不同预测模型的预测效果均较好,可综合预测结果以提高预测精度。基于净耕地系数数据,结合土地利用变更调查数据库中沟渠、农村道路等线状地物信息,对其进行空间信息加权处理,得到净耕地二次空间分布数据。技术流程见图 2。

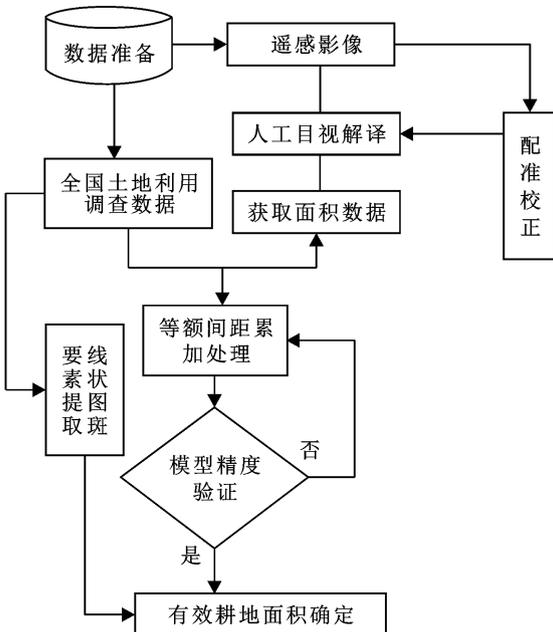


图 2 净耕地预测技术流程

## 2.2 数值方法

2.2.1 净耕地系数 净耕地系数是指单位面积空间内净耕地面积占耕地毛面积的比例系数<sup>[8]</sup>。计算公式为:

$$\eta = \frac{A_i}{A_m} \times 100\% = \frac{A_m - \sum_{f=1}^n A_f}{A_m} \times 100\% \quad (1)$$

式中: $\eta$ 为净耕地系数; $A_i$ 为单位面积的耕地或耕地斑块内净耕地面积( $\text{hm}^2$ ); $A_m$ 为耕地毛面积( $\text{hm}^2$ ); $f$ 为小地物类型; $A_f$ 为第 $f$ 种小地物的面积( $\text{hm}^2$ )。

2.2.2 突变检测 突变是指变量从某一统计特性到另一个统计特性的急剧变化过程,一般通过检验均值、方差、回归系数和事件发生概率等指数有无突然变化来判定<sup>[22]</sup>。土地利用斑块面积突变是指面积较大的建筑项目用地或大片林地导致的由非耕地斑块面积组成的序列数据统计特征急剧变化过程。考虑到需剔除的面积较大的非耕地斑块数量较小,且与其他用地斑块面积差异明显,多种方法均可实现面积序列突变检测。Pettitt 法为经典的非参数检验方法,该方法利用秩序列来检测数据序列突变点,当其秩处于最高水平,且通过对应的显著性检验( $p < 0.05$ ),则认为该秩所对应的点为数据序列突变点<sup>[23]</sup>,本文选用该方法进行斑块面积序列的突变点检测。

2.2.3 灰色动态(GM)建模 灰色 GM 建模以灰色模块理论为基础,通过对无规律的原始数据处理,形成有规律“模块”序列数据,其几何意义为生成的序列数据在时间和数据二维平面上所形成的连续曲线与其横坐标的总称。由已知数据构成的模块称为白色模块,由白色模块外推到未来的模块,即由预测值构成的模块,称为灰色模块<sup>[21]</sup>。

由于数据多为随机且无规律性,给定的原始数据列(公式 2)不能直接用于建模,若将该原始数据列进行一次累加处理,可获得新的数据列(公式 3),新生成的数据列为单调增长曲线,增强了原始数据的规律性,弱化了随机性。倘若累加次数越多,其规律性将更强,随机性更弱,为建立合适的数理动态模型提供了必要中间信息。其中随机量视作一定范围内变化的灰色量,随机过程为一定幅区和一定时区的灰色过程。通过灰数的生成、数据的不同取舍和不同级残差模型的补充,来调整、修正和提高模型的精度。对于高阶系统  $\text{GM}(n, h)$ ,可由一阶的  $\text{GM}(1, h)$  模型建立状态方程解决<sup>[22]</sup>。

$$X_0 = \{x_0^1, x_0^2, x_0^3, \dots, x_0^n\} \quad (2)$$

$$X_1 = \{x_1^1, x_1^2, x_1^3, \dots, x_1^n\} \quad (3)$$

式中: $X_0$ 为原始数据列,其中 $x_0^N$ 为原始数据列第 $N$

个数;  $X_1$  为一次累加数据列, 其中  $x_1^N$  为一次累加数据列第  $N$  个数, 其中

$$x_1^N = x_0^1, x_0^2, x_0^3, \dots, x_0^N$$

对模型模拟精度验证是研究模型可靠性的必要过程。当前常用的精度验证方法是对模型进行后验差检验, 即先计算数据离差  $s_1$  及残差的离差  $s_2$ , 再计算后验比  $c = s_1 / s_2$  及小误差概率  $p$ , 根据  $c$  和  $p$  完成模型诊断, 当  $p > 0.95$  和  $c < 0.35$  时, 模型可靠。模型的构建及精度验证均通过 DPS 7.5 软件实现<sup>[24]</sup>。

## 3 结果与分析

### 3.1 基础耕地分布特征分析

如图 3 所示, 2018 年, 挠力河流域基础耕地的总面积是  $1.48 \times 10^6 \text{ hm}^2$ , 垦殖率达到 62.61%。基础旱地面积为  $9.29 \times 10^5 \text{ hm}^2$ , 占耕地总面积的 62.67%, 且多位于流域的南部平原地区和内七星河上游地带。基础水田面积为  $5.53 \times 10^5 \text{ hm}^2$ , 对应的水田化系数是 37.33%, 处于水田化中期阶段。相对于旱地而言, 水田多分布于地势平坦、灌溉条件较好的地区(图 3): ①挠力河干流的下游北岸, 该地区以国营农场(主要为七星农场、创业农场、红卫农场和胜利农场)为主, 农业现代化程度较高; ②内外七星河流域腹地及友谊县境内, 该地区水田斑块破碎, 家庭农场和农户个体为主要的管理主体; ③挠力河干流的中段东岸, 该地区为八五二和八五三国营农场所在地, 坡度、灌溉条件较好。

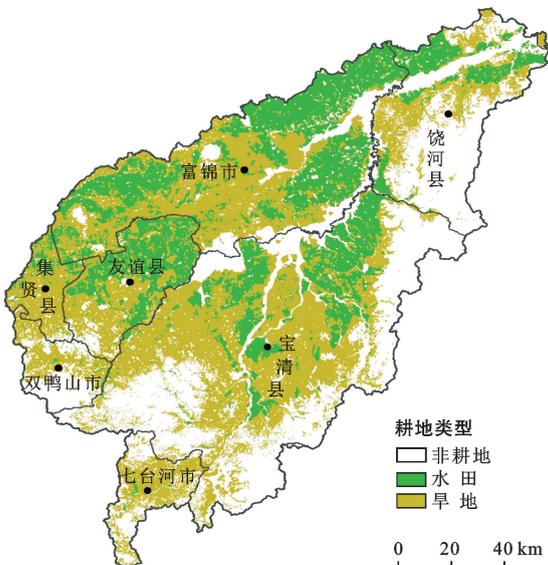


图 3 挠力河流域基础耕地空间分布特征

### 3.2 斑块面积区间划分特征分析

3.2.1 突变检测 对非水田斑块(除了水田的土地

利用斑块)和非旱地斑块(除了旱地的土地利用斑块)面积按从小到大顺序排列以构造对应面积数据序列, 采用 Pettitt 突变检测法进行非旱地和非水田斑块面积的突变检测。结果显示: ①挠力河流域非旱地斑块数为 19 813, 并于第 19 632 位序发生有效突变, 且  $p < 0.05$ , 具有统计学上的意义, 对应的斑块面积为  $2.01 \times 10^2 \text{ hm}^2$ ; ②非水田斑块对应的斑块数为 21 568, 在第 20 958 位序发生突变,  $p < 0.05$ , 对应的斑块面积为  $2.00 \times 10^2 \text{ hm}^2$ 。

3.2.2 划分数据区间 依据突变检测结果, 将非旱地和非水田斑块面积建模数据的突变点设为灰色动态建模的区间起始值, 并考虑数据测算量, 将二者区间间隔设为  $20.00 \text{ hm}^2$ , 进而确定对应区间段范围  $X_1^0$ (表 1)。

表 1 挠力河流域非旱地斑块的分区段面积统计

区间段	区间值/ $\text{hm}^2$	数据值/ $\text{hm}^2$
1	$X_1^0 > 200.56$	883 335.69
2	$200.56 \geq X_1^0 > 180.56$	5 749.72
3	$180.56 \geq X_1^0 > 160.56$	15 229.93
4	$160.56 \geq X_1^0 > 140.56$	9 061.89
5	$140.56 \geq X_1^0 > 120.56$	10 279.82
6	$120.56 \geq X_1^0 > 100.56$	10 900.38
7	$100.56 \geq X_1^0 > 80.56$	23 940.74
8	$80.56 \geq X_1^0 > 60.56$	24 535.62
9	$60.56 \geq X_1^0 > 40.56$	20 794.60
10	$40.56 \geq X_1^0 > 20.56$	32 538.63
11	$20.56 \geq X_1^0 > 0$	$X_1$

基础非旱地和非水田面积区间的统计规律性弱, 巨大斑块(位于 1 区间段的非旱地和非水田斑块)多位于流域南部、东南部以及东部地区, 一般为山地丘陵区的连片林地以及干流周边耕地地块, 斑块面积大(非旱地和非水田的 1 区间段面积分别占流域总面积的 37.33% 和 71.06%), 第 8 和第 10 区间段的斑块面积也较大(表 2 和图 4)。

表 2 挠力河流域非水田斑块的分区段面积统计

区间段	区间值/ $\text{hm}^2$	数据值/ $\text{hm}^2$
1	$X_2^0 > 200.39$	1 681 223.83
2	$200.39 \geq X_2^0 > 180.39$	5 506.14
3	$180.39 \geq X_2^0 > 160.39$	6 577.77
4	$160.39 \geq X_2^0 > 140.39$	7 399.19
5	$140.39 \geq X_2^0 > 120.39$	11 314.86
6	$120.39 \geq X_2^0 > 100.39$	17 081.08
7	$100.39 \geq X_2^0 > 80.39$	14 670.97
8	$80.39 \geq X_2^0 > 60.39$	21 356.26
9	$60.39 \geq X_2^0 > 40.39$	17 903.94
10	$40.39 \geq X_2^0 > 20.39$	31 877.51
11	$20.39 \geq X_2^0 > 0$	$X_2$

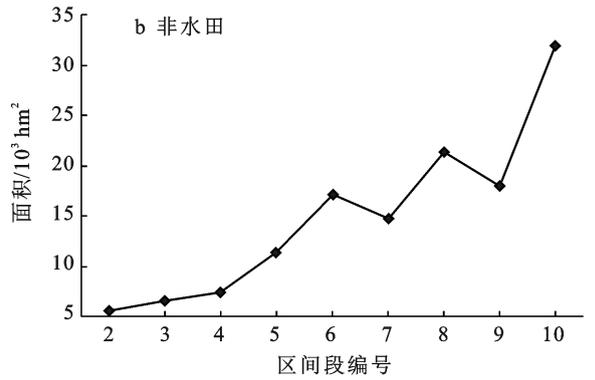
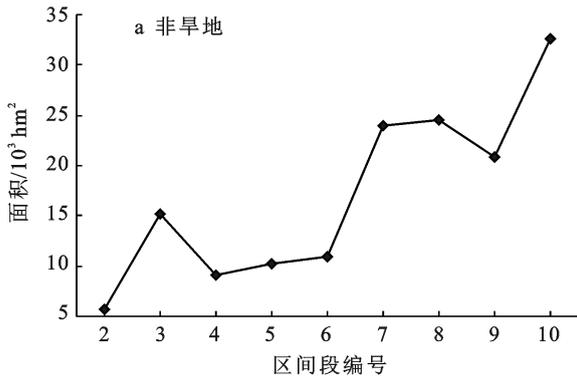


图 4 挠力河流域土地利用斑块面积变化特征

### 3.3 净耕地面积预测

对各区间段斑块面积进行一次累加处理,数据集

规律性特征显著增强(图 5)。因此,采用不同预测模型进行净耕地面积预测。

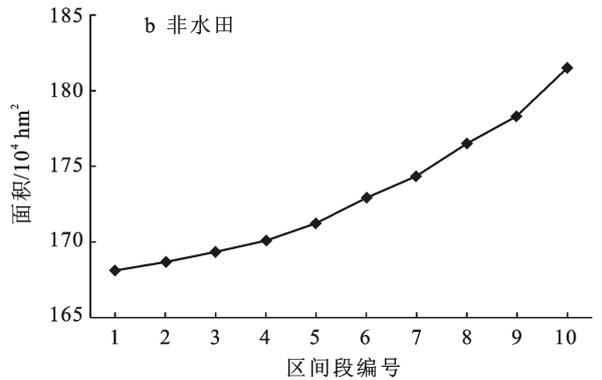
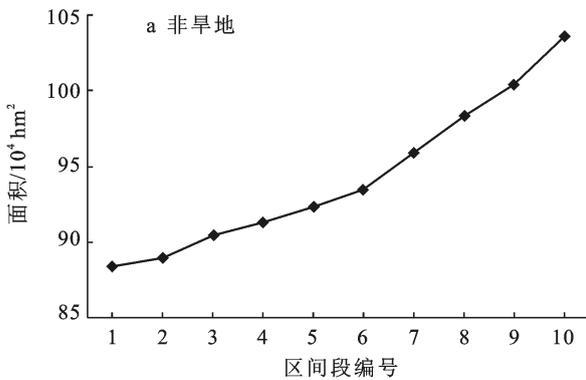


图 5 挠力河流域土地利用斑块面积累加特征

3.3.1 灰色系统预测 对累加处理后的区间数据进行单变量 GM 建模。但由于模型阶数的不同,导致预测精度存在差别,通过比较不同灰阶预测精度,确定最优灰色系统预测模型以进行非旱地和非水田面积预测。对于高阶灰色预测模型 GM(1, N)而言,数据样本数偏少(10 个),预测可信度差。因此选用 GM(1, 1)和 GM(2, 1)模型来进行非旱地和非水田的面积灰色预测。

GM(1, 1)预测显示,挠力河流域非旱地斑块的残差修正模型为  $x^{(t+1)} = (6.60 \times 10^{11})e^{0.02t} - (8.09 \times 10^{11})$ , 依据灰色系统精度评定标准,该模型验差比值:  $C = 0.17 < 0.35$ ,  $p = 1.00$ , 预测结果很好(Good), 预测值具有较高的可信度,可进行灰色系统预测,其中  $X_1^{(1)}(11) = 1.31 \times 10^{10} \text{ m}^2$ ; 非水田的残差修正模型表达式为  $x^{(t+1)} = (1.83 \times 10^{12})e^{0.01t} - (2.27 \times 10^{12})$ , 模型验差比值:  $C = 0.19 < 0.35$ ,  $p = 1.00$ , 预测结果很好(Good), 预测值同样具有较高的可信度,对应的  $X_2^{(1)}(11)$  为  $1.98 \times 10^{10} \text{ m}^2$ ; GM(2, 1)模型为单序列二阶线性动态模型,非旱地斑块的残差修正模型为  $x^{1(t+1)} = (2.03 \times 10^7)e^{15.93t} + (6.33 \times 10^{11})e^{0.02t} - (6.22$

$\times 10^7$ ), 该模型验差比值:  $C = 1.089.26$ ,  $p = 0.89$ , 预测可信度低, GM(2, 1)不适用于非旱地的灰色系统预测; 非水田的残差修正模型为  $x^{1(t+1)} = (1.58 \times 10^7)e^{22.23t} + (1.73 \times 10^{12})e^{0.01t} - (1.71 \times 10^{12})$ , 模型同样未通过可信度检验。因此,最终采用 GM(1, 1)灰色系统模型进行流域净耕地面积(非旱地和非水田)提取。

3.3.2 其他拟合预测 根据累加数据序列走势(图 5), 分别采用一元线性预测、二元线性预测和非线性预测中指数曲线预测方法对挠力河流域非旱地和非水田的斑块面积进行研究, 并对比验证不同趋势预测方法的精度(表 3)。预测结果显示, 线性预测和指数曲线预测方法均具有较高的可信度。非旱地面积预测的决定系数均超过 0.85, 其中二元线性预测的决定系数达到 0.96, 预测方程为  $y = (1.24 \times 10^7)x^2 + (1.33 \times 10^7)x + (1.31 \times 10^{10})$ , 指数曲线预测决定系数为 0.89, 精度偏低; 非水田的线性 and 指数曲线预测方法也具有较高的预测精度, 其中二元线性预测精度最高, 对应预测方程为  $y = (1.36 \times 10^7)x^2 - (5.58 \times 10^6)x + (1.98 \times 10^{10})$ ,  $R^2 = 0.97$ 。因此, 选用二元线性预测法进行非旱地和非水田面积趋势预测。

表 3 挠力河流域非旱地和非水田趋势测算对比特征

项目	拟合方式	拟合公式	拟合精度	测算值/hm <sup>2</sup>
非旱地	一元线性拟合	$y = (1.50 \times 10^8)x + (1.31 \times 10^{10})$	$R^2 = 0.91$	1 311 225.02
	二元线性拟合	$y = (1.24 \times 10^7)x^2 + (1.33 \times 10^7)x + (1.31 \times 10^{10})$	$R^2 = 0.96$	1 311 821.13
	指数曲线拟合	$y = (1.31 \times 10^{10})e^{0.01x}$	$R^2 = 0.89$	1 310 696.08
非水田	一元线性拟合	$y = (1.44 \times 10^8)x + (1.98 \times 10^{10})$	$R^2 = 0.93$	1 981 218.01
	二元线性拟合	$y = (1.36 \times 10^7)x^2 - (5.58 \times 10^7)x + (1.98 \times 10^{10})$	$R^2 = 0.97$	1 982 083.22
	指数曲线拟合	$y = (1.98 \times 10^{10})e^{0.01x}$	$R^2 = 0.88$	1 980 928.96

注:各预测方程均在  $p=0.95$  置信度下进行。

### 3.4 净耕地面积预测及验证

3.4.1 净耕地面积预测 从理论上讲,非旱地和非水田面积是灰色系统的  $N$  值无限趋近于 11 或趋势预测的  $x$  值无线趋近于 0 时的模型预测值。当 GM(1,1)的  $t$  值无限趋近于 11 时,非旱地和非水田面积预测值分别为 1 310 956.63 hm<sup>2</sup> 和 1 980 505.34 hm<sup>2</sup>。当多项式预测法的  $x$  值无限趋近于 0 时,非旱地和非水田的趋势预测值分别为 1 311 821.13 hm<sup>2</sup> 和 1 982 083.22 hm<sup>2</sup>。考虑到 GM(1,1)和多项式预测法预测精度均较高,综合二者结果将会有效提高净耕地面积预测精度,取二者平均值作为非旱地和非水田面积的预测结果,即分别是 1 311 388.88 hm<sup>2</sup> 和 1 981 294.28 hm<sup>2</sup>。

3.4.2 预测结果验证 土地利用变更调查数据中挠力河流域总面积为 2 368 135.35 hm<sup>2</sup>,其中达到图 4 标准的所有非旱地面积为 1 285 957.70 hm<sup>2</sup>,非水田面积 1 973 681.32 hm<sup>2</sup>,对应的旱地和水田面积依次为 1 082 177.64 hm<sup>2</sup> 和 394 454.03 hm<sup>2</sup>,而预测得到的非旱地和非水田面积依次为 1 311 388.88 hm<sup>2</sup> 和 1 981 294.28 hm<sup>2</sup>,净旱地和净水田面积为 1 056 746.47 hm<sup>2</sup> 和 386 841.07 hm<sup>2</sup>,对应的净旱地系数和净水田系数分别是 97.65%和 98.07%。挠力河流域位于三江平原腹地,境内垦区与农区并存,垦区内小径、简易公路等地物信息的空间分布密度低,且其水田分布率显著高于农区,即对应的净面积系数应高于旱地,与预测结果相符;流域境内垦区的耕地斑块规整,其田间沟渠面积为 25 102.74 hm<sup>2</sup>,占耕地和田间沟渠总面积的 1.67%,但倘若考虑其他田间信息影像,净耕地系数应低于 98.33%,而预测的净耕地系数均值为 97.91%,预测结果与实际情形基本相符。

## 4 讨论与结论

### 4.1 结论

在排除面积较大的特殊地块下,土地利用斑块面积存在“灰色”特点,可通过等额面积区间非耕地斑块

面积的一次或多次累加处理,以增强数据序列的数理回归特征,进而提取净耕地面积。本文以挠力河流域为研究区,在非旱地和非水田的斑块面积区间 Pettitt 突变检测基础上,划分合适的区间段以进行灰色模拟预测和多方法趋势拟合,最终预测流域旱地和水田的净面积依次为 1 056 746.47 hm<sup>2</sup> 和 386 841.07 hm<sup>2</sup>,对应的净旱地系数和净水田系数分别是 97.65%和 98.07%,预测结果与实际情形基本相符。因此,灰色理论假设可应用于旱地和水田面积精准提取,能较好地模拟净旱地和净水田面积信息,进而确定对应净旱地系数和净水田系数。

### 4.2 讨论

数量和空间管理是国土空间管理的战略方向。灰色系统理论能够较好地实现净耕地面积提取目标,但由于小地物尚未达到上图标准,净耕地的空间信息表达存在困难。本文仅从面积数值上对净耕地利用信息进行预测研究。但对于沟渠、田间道路等线状地物密度高的地区而言,其小地物信息更为丰富,因此可尝试结合土地利用变更调查数据库中现有道路、田间沟渠等数据信息来对净耕地分布信息间接表达,以进行耕地精细化研究。如在栅格尺度下来计算线状地物的空间密度,对该密度信息进行 min-max 标准化处理,然后运用栅格图层叠加算法,在保证空间化的净旱地系数和净水田系数均值不变前提下,实现净耕地系数空间表达,然后采用自然裂点分级法划分净耕地系数程度等级,以探索净耕地的空间分布特点。

《土地利用现状分类》中耕地一般包括南方宽度 <1.0 m,北方宽度 <2.0 m 固定的沟、渠、路和地坎(埂)等有机组成部分,然而传统实地抽样手段多难以准确区分上述耕地有机组成部分。本文提出的基于灰色系统理论净耕地提取思路,通过预测其他非耕地面积来间接预测净耕地面积,能够有效解决上述问题。同时,本文基于现有土地利用变更调查数据库中耕地数量及空间分布特征,来精细提取净耕地面积信息,但对应于土地利用调查中存在小地物易纳入耕地

的情形,其他非耕地调查中也存在小片耕地被纳入非耕地情形,后续可配合抽样调查以进一步完善净耕地提取的研究角度和思路。

### [参 考 文 献]

- [1] 曹鑫,陈学泓,张委伟,等.全球 30 m 空间分辨率耕地遥感制图研究[J].中国科学:地球科学,2016,46(11):1426-1435.
- [2] 辛蕊,陆忠军,刘洋,等. Landsat TM 8 及 GF-1 影像黑龙江省线状地物实际与解译宽度对比[J].农业工程学报,2015,31(16):196-205.
- [3] 肖国峰,朱秀芳,侯陈瑶,等.撂荒耕地的提取与分析:以山东省庆云县和无棣县为例[J].地理学报,2018,73(9):1658-1673.
- [4] 刘逸竹,吴文斌,李召良,等.基于时间序列 NDVI 的灌溉耕地空间分布提取[J].农业工程学报,2017,33(22):276-284.
- [5] 孙丽,吴全,张松龄,等.小地物比例提取在河北耕地遥感调查中的应用研究[J].农业工程学报,2006,22(2):79-82.
- [6] 王荣,王昭生,刘晓曼.多尺度多准则的遥感影像线状地物信息提取[J].测绘科学,2016,41(11):146-150,165.
- [7] 马尚杰,易湘生,游炯,等.基于 GF-1 影像的冬小麦种植面积核算及直补政策实施评价[J].农业工程学报,2016,32(18):169-174.
- [8] 张占录,殷秀云.基于灰色系统及趋势测算的有效耕地面积计算方法[J].农业工程学报,2011,27(3):288-294.
- [9] 海文静,刘学录,任君.土地整治中新增耕地认定及有效耕地面积测算[J].云南农业大学学报(自然科学),2018,33(3):539-546.
- [10] 曹卫彬,杨邦杰,宋金鹏.基于 Landsat TM 图像棉花面积提取中线状地物的扣除方法研究[J].农业工程学报,2004,20(2):164-167.
- [11] Senthilnath J, Sindhu S, Omkar S N. GPU-based normalized cuts for road extraction using satellite imagery [J]. Journal of Earth System Science, 2014,123(8):1759-1769.
- [12] Mirnalinee T T, Das S, Varghese K. An integrated multistage framework for automatic road extraction from high resolution satellite imagery [J]. Journal of the Indian Society of Remote Sensing, 2011,39(1):1-25.
- [13] Singh P P, Garg R D. Automatic road extraction from high resolution satellite image using adaptive global thresholding and morphological operations [J]. Journal of the Indian Society of Remote Sensing, 2013,41(3):631-640.
- [14] 张超,王志浩,杨建宇,等.基于 Canny 算子的农田线状工程地物自动提取方法[J].农业机械学报,2015,46(2):270-275.
- [15] 顾徐博君,虞思逸,金叶蒙,等.基于数学形态学和 Hough 变换的复杂形态线状地物提取方法[J].遥感技术与应用,2014,29(4):689-694.
- [16] 易湘生,马尚杰,游炯,等.遥感调查中耕地解译面积精准核算[J].农业工程学报,2016,32(S1):169-176.
- [17] 张建勇,赵艳玲,肖武,等.利用低空无人机摄影测量快速构建矿区线状地物信息[J].测绘通报,2017,63(10):106-110.
- [18] Kumar B K S. Image fusion based on pixel significance using cross bilateral filter [J]. Signal, Image and Video Processing, 2015,9(5):1193-1204.
- [19] Senthilnath J, Rajeshwari M, Omkar S N. Automatic road extraction using high resolution satellite image based on texture progressive analysis and normalized cut method [J]. Journal of the Indian Society of Remote Sensing, 2009,37(3):351-361.
- [20] 周浩,雷国平,杨雪昕,等. RCPs 气候情景下三江平原典型流域耕地动态模拟[J].农业机械学报,2017,48(10):121-133.
- [21] 刘思峰,杨英杰,吴利丰,等.灰色系统理论及其应用[M].北京:科学出版社,2014.
- [22] 陈藜藜,宋戈,邹朝晖.基于免疫机理的黑龙省耕地系统安全预警研究[J].中国土地科学,2017,31(5):79-88.
- [23] 李占玲,徐宗学.近 50 年来黑河流域气温和降水量突变特征分析[J].资源科学,2011,33(10):1877-1882.
- [24] 唐启义,冯明光. DPS 数据处理系统:试验设计、统计分析及模型优化[M].北京:科学出版社,2006.