

草原放牧策略研究

金阳阳¹, 沈逸珺¹, 赵晴燕²

¹杭州师范大学数学学院, 浙江 杭州

²杭州师范大学经亨颐教育学院, 浙江 杭州

收稿日期: 2023年4月7日; 录用日期: 2023年4月29日; 发布日期: 2023年5月10日

摘要

草原面积辽阔, 是世界上分布最广的陆地植被类型之一, 合理的草原放牧策略是拉动经济增长和保障民生的关键, 科学合理的放牧形式是维护生态平衡、造福人类的重要手段。本文选取的单因子方差分析能考虑到全部的样本数据, 检验过程较为简易, 能规避t检验可能带来的错误累积的概率; 由于传统的ARIMA模型进行预测的误差较大, 采用加法季节模型或乘积季节模型来预测土壤中各种化学成分的含量, 预测的准确性高, 贴合现实情况, 对于草原放牧策略的研究与应用、降水量与土壤、植被等的相关影响具有一定的参考价值和实际意义。

关键词

草原放牧, 单因素方差分析, 结构方程模型, 加法季节模型, 乘积季节模型

Research on Grassland Grazing Strategies

Yangyang Jin¹, Yijun Shen¹, Qingyan Zhao²

¹School of Mathematics, Hangzhou Normal University, Hangzhou Zhejiang

²Jing Heng Yi College of Education, Hangzhou Normal University, Hangzhou Zhejiang

Received: Apr. 7th, 2023; accepted: Apr. 29th, 2023; published: May 10th, 2023

Abstract

The grassland covers a vast area and is one of the most widely distributed land vegetation types in the world. Reasonable grassland grazing strategy is the key to driving economic growth and ensuring people's livelihood. Scientific and reasonable grazing form is an important means to maintain ecological balance and benefit mankind. The one-way ANOVA selected in this paper can take

文章引用: 金阳阳, 沈逸珺, 赵晴燕. 草原放牧策略研究[J]. 应用数学进展, 2023, 12(5): 2067-2074.

DOI: 10.12677/aam.2023.125210

into account all the sample data, and the test process is relatively simple, which can avoid the probability of error accumulation caused by the t test; Due to the large error of the traditional ARIMA model in prediction, the additive season model or the product season model is used to predict the content of various chemical components in the soil, which has high accuracy and is close to the actual situation. It has certain reference value and practical significance for the research and application of grassland grazing strategy, and the related impact of precipitation and soil, vegetation, etc.

Keywords

Grassland Grazing, Single Factor Analysis of Variance, Structural Equation Model, Additive Seasonal Model, Multiplicative Seasonal Model

Copyright © 2023 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

草原作为陆地生态系统的重要组成部分,在维护生物多样性、预防土壤沙漠化等方面具有重要功能[1]。草原上丰富的植物群落,决定了草原的生态结构系统稳定和生态系统服务高效,植物群对草原水土的保持能力影响了草原生物的多样性。畜牧业在“三农”工作中具有重要意义,目前,我国的畜牧业已经占据全国农业生产总值的百分之三十五。畜牧业提供了丰富的肉、奶、蛋等动物性食品,为工业提供羊毛、皮、兽骨等原材料,增加了劳动就业机会。

对于草原放牧策略的相关研究,已有诸多的研究成果。许志信、陈玉琦指出畜牧业可持续发展的策略和措施有:走生态牧业发展道路,要注重畜草平衡,增草增畜,加强草原管理,保持生态平衡,增加植被数量,减少水土流失;坚决贯彻“草原法”,制止草原破坏现象[2]。凯撒·米吉提在研究中指出优化放牧策略应合理安排放牧时间,季节性调整放牧牧场;明晰草地产权制度,完善草原流转机制;以生态建设为切入点,发挥政府宏观调控[3]。古琛,赵天启研究了漠草原建群种短花针茅生长和繁殖策略对不同载畜率的响应[4],因此草原放牧策略的调整也要考虑各种草原植物对不同载畜量的响应。卫智军,白云军指出划区轮牧可以改变家畜对放牧地的空间选择行为,进一步使得使草地得以均匀利用[5]。辛定指出促进畜牧业可持续发展的主要策略有,根据草原的整体载畜量做出合理规划、科学放牧;也要提高草原虫鼠害的防治能力[6]。木拉提汗·哈吐汗对当前草原退化现状分析,认为解决草原退化问题需要做好草场种植工作,制定季节放牧策略,亦要完善牧区草场生产经营方式,为生态畜牧业发展奠定坚实的基础[7]。以上研究在改进草原放牧策略上均取得较为理想的效果,但缺乏定量的考究,故仍有很大的改进空间。

内蒙古锡林郭勒草原作为代表性温带草原,其植被状况良好,无大型自然灾害的毁坏,所采取的土地数据、植被数据、动物量等数据真实有效;土壤的渗透性较好,对降水量的吸收处于一稳定状态;草原上遭遇降水较大的情况时,会产生局部径流的情形,将草原上的出径流和入径流的差值记为零,即:草原上的出径流和草原上的入径流基本相等;假设草原中的水分在周而复始的循环过程之中不会受到人为的干扰,在锡林郭勒草原研究不同的放牧方式和不同的放牧强度组成的放牧策略下的土壤性质与生物量状况,对于草原放牧策略的研究与应用、降水量与土壤、植被等的相关影响,具有一定的参考价值和

实际意义。

2. 单因素方差分析和结构方程模型的建立

2.1. 单因素方差分析

单因素方差分析的基本思想是通过观察组间离差平方和所占据的比例大小来说明观测变量的变动是否主要是由控制变量引起的。若离差平方和占据的比例较大,则观测变量的变动主要是由控制变量引起的,观测变量由控制变量解释,控制变量为观测变量带来显著性影响;若离差平方和占据的比例较小,则观测变量的变动并不是主要由控制变量引起的,观测变量不能由控制变量解释,控制变量没有为观测变量带来显著性影响,因此,观测变量的变动是受随机变量因素改变的。

文中实验数据采用“‘中国光谷·华为杯’第十九届中国研究生数学建模竞赛”赛题 E 题的数据,将放牧强度分成对照、轻度放牧强度、中度放牧强度、重度放牧强度四种,首先,对土壤湿度样本数据进行误差分析,任何一种 $i(i=1,2,\dots,m)$ 类放牧强度下的土壤湿度的第 $j(j=1,2,\dots,n)$ 次分析检验结果可用如下式子表达[8]

$$x_{i,j} = \eta_i + \varepsilon_{ij} = \eta + \alpha_i + \varepsilon_{ij} \quad (1)$$

其中, $x_{i,j}$ 为任意一项土壤湿度样本数据, η_i 为某一放牧强度下土壤湿度样本数据结果的平均值, η 为检测结果的总平均值, $\alpha_i = \eta_i - \eta$ 为某一类放牧强度下的土壤湿度的平均值与总平均值的差, ε_{ij} 为随机影响因素。分析不同的土壤湿度样本数据误差造成的差异,将观测变量的总变异、组内变异与组间变异用离差平方和来表示,得出差异公式

$$SST = \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m (x_{ij} - \bar{\bar{x}})^2 \quad (2)$$

$$SSE = \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m (x_{ij} - \bar{x}_i)^2 \quad (3)$$

$$SSA = \sum_{i=1}^m (\bar{x}_i - \bar{\bar{x}})^2 \quad (4)$$

其中, SST 为总体样本数据的离差平方和, SSE 为组内离差平方和, SSA 为组间离差平方和, x_{ij} 为任意一项土壤湿度的检测结果, $\bar{\bar{x}}$ 为数据检测结果的总平均值, \bar{x}_i 为其中任意一组的组内检测结果的平均值。

针对样本数据,文中考虑到问题中给出的不同深度的土壤湿度的样本数量会对离差平方和产生一定的影响,因此需要将组间的离差平方和与组内的离差平方和转化为组间方差与组内方差,可以得出如下方差公式

$$MSE = \frac{SSE}{N - m} \quad (5)$$

$$MSA = \frac{SSA}{m - 1} \quad (6)$$

其中, N 为土壤湿度的样本数量的总数, $N - m$ 为组内方差的自由度, $m - 1$ 为组间方差的自由度。在讨论不同放牧强度下对植被生物量的影响中,将植被生物量用归一化的植被指数来代替,且归一化的植被指数能较为准确地反映出植物冠层的背景影响,沿用上述研究讨论不同放牧强度下的土壤湿度的分析方法,继续采用单因素方差分析方法来研究四种放牧强度下的植被指数情况,最终水平统计结果见表 1:

Table 1. Vegetation biomass under different grazing intensities
表 1. 不同放牧强度下植被生物量

Intensity	平均值	标准偏差
NG	0.09160	0.091603
LGI	0.22387	0.067743
MGI	0.46987	0.103691
HGI	0.21580	0.064270
总计	0.25028	0.160473

2.2. 结构方程模型的建立

结构方程模型是一种应用线性方程系统来表示观测变量与潜变量、潜变量之间的关系的方法，实质上是一种广义的一般线性模型，区别于传统的线性回归模型，结构方程模型的适用场合更加地多元化，其主要应用于两个方面：一方面对那些难以直接能观测到的潜变量使用一个可以观测与处理的方法，进一步研究该变量；另一方面是对不同变量之间可能存在的相关关系进行研究探讨。

本文通过对一个控制变量的不同水平的研究来观测对观测变量的显著性影响，分别研究某一因素对土壤的物理性质与植被生物量等观测变量的影响，使用单因素方差分析，采取 LSD 方法分析检验不同指标在不同的放牧强度下的差异显著性，通过 Person 相关性分析进而建立结构方程模型见图 1：

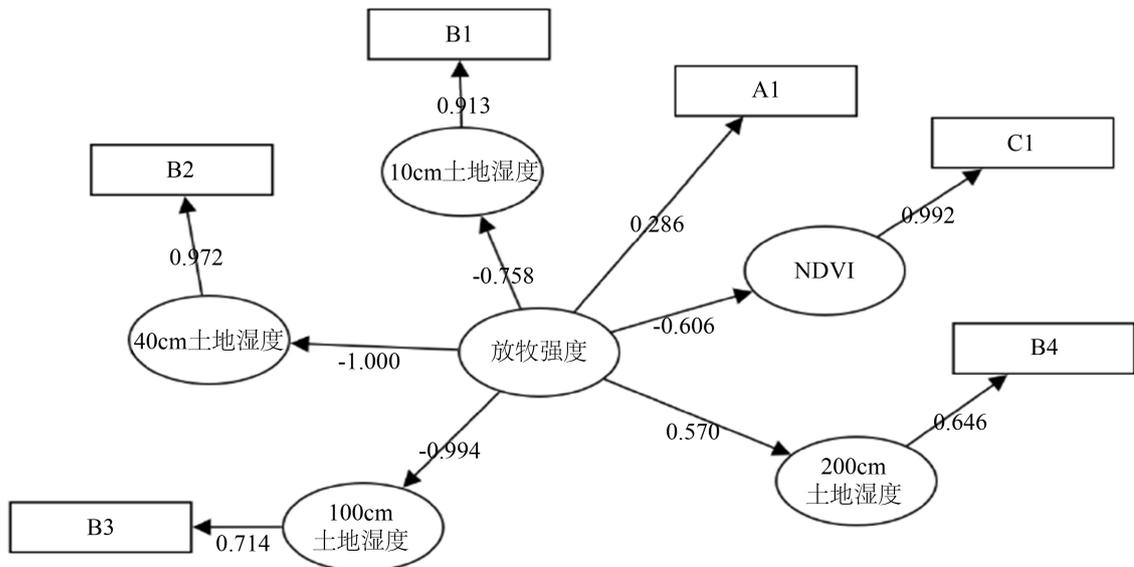


Figure 1. Final result of structural equation model
图 1. 结构方程模型的最后结果

观测变量分别是 10 cm 土壤湿度、40 cm 土壤湿度、100 cm 土壤湿度、200 cm 土壤湿度以及植被生物量，控制变量分别是放牧强度和放牧方式，放牧强度包含对照、轻度放牧强度、中度放牧强度、重度放牧强度四种，现对该观测变量与控制变量的关系使用结构方程模型来研究不同放牧策略对不同深度的土壤物理性质以及植被生物量的影响关系模型见表 2，残差项估计值意义相对较小，通常无实际意义可直接忽略。

Table 2. Summary of model regression coefficients
表 2. 模型回归系数汇总表

X	→	Y	非标准化回归系数	SE	z (CR 值)	p	标准化回归系数
放牧强度	→	10 cm 湿度	-6.133	2.853	-2.150	0.032	-0.758
放牧强度	→	40 cm 湿度	-23.298	10.527	-2.213	0.027	-1.000
放牧强度	→	100 cm 湿度	-22.172	10.272	-2.158	0.031	-0.994
放牧强度	→	200 cm 湿度	0.793	0.441	1.799	0.072	0.570
放牧强度	→	NDVI	-0.300	0.143	-2.093	0.036	-0.606

备注：→表示回归影响关系或者测量关系。

本文采用结构方程模型，相比较于传统的计量模型，传统的统计方法的自变量都可以直接观测到，且不存在观测误差，但是针对本文研究的问题，结构方程模型可以将测量误差纳入模型之中，提高模型的可解释性，最终确定总体思路见图 2：

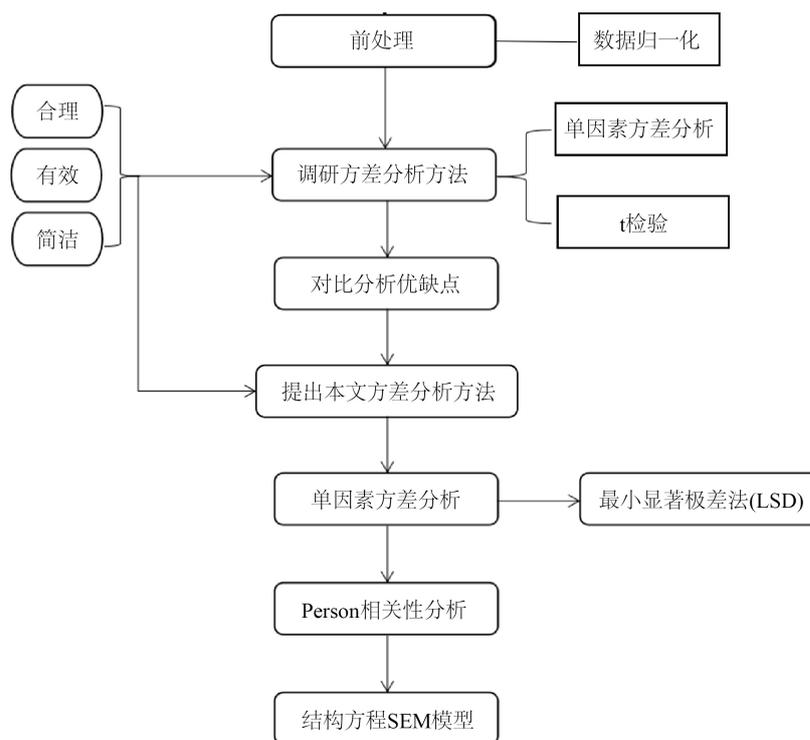


Figure 2. Flow chart of structural equation model
图 2. 结构方程模型的思路流程图

结构方程模型相比较于传统的计量模型，不存在观测误差，但是针对本文研究的问题，结构方程模型可以将测量误差纳入模型之中，提高模型的可解释性。结构方程模型允许一个模型中含有多个因变量的情况，在进行模型拟合时可以考虑所有的变量，加强模型的有效性，增强检验因素测量的信度和效度，得出不同放牧强度下对 STC 土壤全碳的含量的结果见表 3：

Table 3. Total carbon content of STC soil under different grazing intensities
表 3. 不同放牧强度下 STC 土壤全碳含量

Intensity	平均值	标准偏差
NG	22.3717	2.83043
LGI	22.9210	3.29528
MGI	21.2179	3.84440
HGI	23.2649	2.51479
总计	22.4439	3.22051

从上表中可以得出, 四种放牧强度 NG, LGI, MGI, HGI 对 STC 土壤全碳分别作用下, 可以得到不同放牧强度下的水平结果为: 在对照的放牧强度下 STC 土壤全碳的水平是 22.3717 ± 2.83043 , 在轻度放牧强度下 STC 土壤全碳的水平是 22.9210 ± 3.29528 , 在中度放牧强度下 STC 土壤全碳的水平是 21.2179 ± 3.84440 , 在重度放牧强度下 STC 土壤全碳的水平是 23.2649 ± 2.51479 。

3. 土壤有机碳含量预测模型

3.1. 季节模型的概述

ARIMA 模型又称为求和自回归移动平均模型, 简记为 ARIMA(p,d,q)模型。模型参数 p, d, q , 分别表示自回归项数、平稳序列所做的差分次数(阶数)、滑动平均数。ARIMA 模型预测精度较高, 是发展比较成熟的时间序列预测模型, ARIMA(p,d,q)模型的实质是对原序列进行 d 阶差分后, 把 $\Delta^d y_t$ 作为因变量所建立的 ARMA(p,q)模型。ARIMA 模型也可以对具有季节效应的序列建模。根据季节效应提取的方式不同, 又分为 ARIMA 加法模型和 ARIMA 乘法模型。本文对数据初步观察和分析, 初步判定为时间序列数据, 对各个数据集进行时间序列的平稳性、周期性分析, 检验结果表明数据集非平稳且具有明显的季节效应, 利用传统的 ARIMA 模型进行预测, 预测误差较大, 所以需采用加法季节模型或乘积季节模型进行预测。ARIMA 模型的一般形式为

$$\Phi(B)\nabla^d x_t = \Theta(B)\varepsilon_t \tag{7}$$

$$E(\varepsilon_t) = 0, \text{VAR}(\varepsilon_t) = \sigma_\varepsilon^2, E(\varepsilon_t \varepsilon_s) = 0, s \neq t \tag{8}$$

$$E(\varepsilon_t \varepsilon_s) = 0, \forall s < t \tag{9}$$

其中, $\nabla^d = (1-B)^d$, $\Phi(B) = 1 - \Phi_1 B - \dots - \Phi_p B^p$, $\Theta(B) = 1 - \theta_1 B - \dots - \theta_q B^q$, $\{\varepsilon_t\}$ 是均值为零的白噪声序列。故 ARIMA 模型可简记为

$$(1-B)^d x_t = \frac{\Theta(B)}{\Phi(B)} \varepsilon_t \tag{10}$$

加法季节模型的一般形式为

$$(1-B)^d \nabla^D x_t = \frac{\Theta(B)}{\Phi(B)} \varepsilon_t \tag{11}$$

乘法季节模型的一般形式为

$$U(B^s)(1-B)^d x_t = \frac{\Theta(B)}{\Phi(B)} V(B^s) \varepsilon_t \tag{12}$$

3.2. 模型建立与求解

本文旨在建立放牧策略对锡林郭勒草原土壤化学性质影响的数学模型，预测锡林郭勒草原监测样地不同放牧强度下土壤同期全碳的值。数据集为四种放牧强度下土壤全碳量，对数据初步观察和分析，初步判定为时间序列数据，将各种放牧强度下的数据集划分后，对各个数据集进行时间序列的平稳性、周期性分析；自相关和偏自相关检验，再建立不同的时间序列模型来预测土壤中全碳的含量。

以放牧强度(NG)下的 G17、G19、G21 三个放牧小区的 STC 土壤全碳的预测为例，首先根据数据的趋势图判断其平稳性和周期性，然后进行自相关和偏自相关检验，检验结果见图 3：

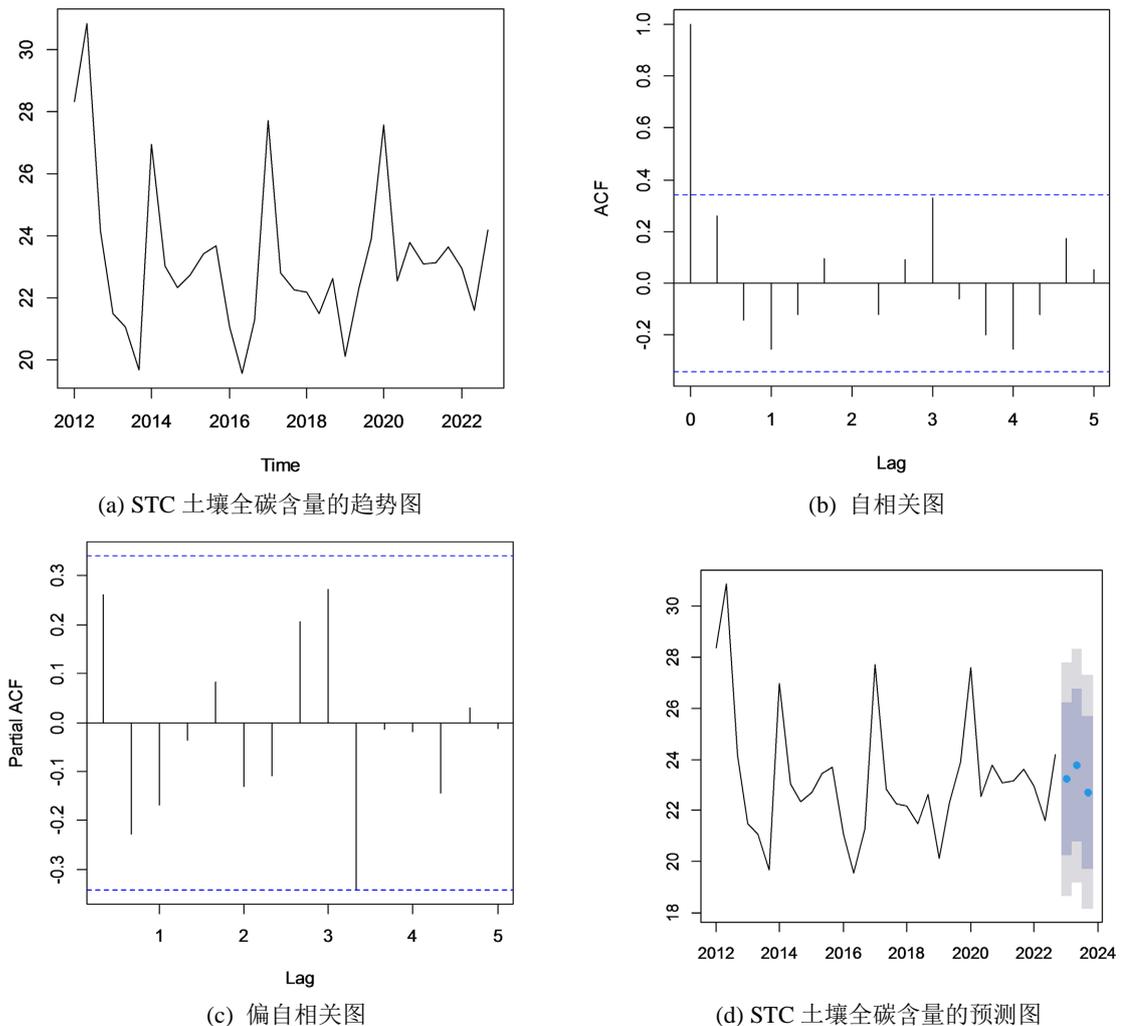


Figure 3. Time series diagram of total carbon content in STC soil

图 3. STC 土壤全碳含量的时间序列图

从趋势图可以初步判断该时间序列具有周期性且不稳，自相关图显示出序列的周期性，具有明显的季节效应，首先使用加法季节模型进行拟合，使用 `auto.arima()` 函数自动确定参数[9]，初步得到的模型为 $ARIMA(1,0,0)(0,0,1)$ [3]，优化后的模型为 $ARIMA(0,0,0)(0,0,1)$ [3]，并对模型的残差序列进行白噪声检验， p 值($p = 0.7682$)较大，说明加法季节模型很好的提取了数据信息，模型拟合效果很理想。根据模型预测出未来土壤全碳的含量。

Table 4. Prediction of STC in three grazing plots under grazing intensity (NG)
表 4. 放牧强度(NG)下三个放牧小区的 STC 的预测

放牧强度	放牧小区	STC 土壤全碳
NG	G17	22.72968
	G19	23.77165
	G21	22.72968

在放牧强度(NG)下三个放牧小区土壤全碳含量均在 22.7~23.8 之间, 见表 4, 对照预测结果符合 STC 土壤全碳含量的趋势图的走势。

4. 结语

本文建立结构方程模型得出不同放牧策略对土壤的物理性质与植被生物量的影响关系模型。首先对植被生物量数据进行预处理, 其次调研各种统计分析方法的优缺点进行比较, 综合考虑样本数据量大小、检验方式的复杂性等条件, 选取以单因素方差分析为基础, 进行 Person 相关性分析来构建结构方程模型。最终得到不同放牧策略对不同深度土壤的物理性质的影响方程以及不同放牧策略对植被指数的影响模型。旨在建立不同放牧策略对锡林郭勒草原土壤化学性质影响的数学模型, 预测锡林郭勒草原监测样地在不同放牧强度下土壤同期全碳含量值, 对于周期性的时间序列数据, 利用传统的 ARIMA 模型进行预测, 预测误差较大, 因此, 本文采用加法季节模型进行预测, 结果表明未来一年内放牧强度(NG)下三个放牧小区土壤全碳含量小范围内波动, 相对稳定。不同放牧策略既会影响土壤的物理性质与植被生物量, 也会影响土壤的化学性质。草原管理人员与牧民应制定适宜的放牧策略, 因地制宜, 合理放牧, 加强草原管理, 参考本文建立的数学模型, 采取相应措施, 避免草原土壤恶化, 促进草原可持续发展。

参考文献

- [1] 黄麟, 翟俊, 祝萍, 郑瑜晗. 中国草畜平衡状态时空演变指示的草地生态保护格局[J]. 地理学报, 2020, 75(11): 2396-2407.
- [2] 许志信, 陈玉琦. 草原管理与畜牧业持续发展[J]. 内蒙古草业, 1997(1): 1-4.
- [3] 凯撒·米吉提. 当前新疆草原畜牧及其可持续发展策略[J]. 中国畜禽种业, 2019, 15(12): 27.
- [4] 古琛, 赵天启, 王亚婷, 王玺, 贾丽欣, 赵萌莉. 短花针茅生长和繁殖策略对载畜率的响应[J]. 生态环境学报, 2017, 26(1): 36-42.
- [5] 卫智军, 白云军, 乌日图, 杨静, 杨尚明. 荒漠草原不同放牧方式绵羊牧食策略研究[J]. 草地学报, 2005(S1): 57-61.
- [6] 辛定. 加快草业建设保护草原生态促进畜牧业可持续发展[J]. 畜牧业环境, 2020(2): 28.
- [7] 木拉提汗·哈吐汗. 解决草原退化困境的有效途径[J]. 畜牧兽医科技信息, 2020(4): 181.
- [8] Hutson, A.D. (2003) Nonparametric Estimation of Normal Ranges Given One-Way ANOVA Random Effects Assumptions. *Statistics & Probability Letters*, **64**, 415-424. [https://doi.org/10.1016/S0167-7152\(03\)00207-4](https://doi.org/10.1016/S0167-7152(03)00207-4)
- [9] Fang, K.T. and Zhang, Y.T. (1990) *Generalized Multivariate Analysis*. Springer-Verlag, New York, 1990.