

多因素影响下对草原土壤影响的研究

刘佳辉, 胡方旭, 刘 磊

上海理工大学机械工程学院, 上海

收稿日期: 2023年2月18日; 录用日期: 2023年3月16日; 发布日期: 2023年3月24日

摘 要

本文建立了多因素影响下对草原放牧策略的影响模型, 给出了预测模型, 描述和计算未来的发展趋势及结果。建立不同放牧策略对土壤物理性质、植被生物量, 以及对土壤成分影响的数学模型, 并从土壤湿度, 降雨量, 土壤蒸发量出发, 结合决策树分析模型, 建立三者之间的关系。首先, 通过单因素方差分析, 以及多重比较法, 得到不同因素之间的影响值, 由此得到了不同放牧策略对土壤物理性质和植被生物量影响模型。然后, 基于ADF检验表, 采用时间序列分析模型建立预测模型, 检测样地不同放牧强度下的土壤成分。最后, 采用决策树对数据进行定量分析, 在SPSSPRO中设置参数, 对不同月份不同土壤湿度进行预测分析。

关键词

放牧策略, 单因素方差分析, 事后多重比较, ADF, 决策树

Study on the Influence of Grassland Soil under the Influence of Multi-Factors

Jiahui Liu, Fangxu Hu, Lei Liu

School of Mechanical Engineering, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai

Received: Feb. 18th, 2023; accepted: Mar. 16th, 2023; published: Mar. 24th, 2023

Abstract

In this paper, a multi-factor impact model on grassland grazing strategy is established, and a prediction model is given to describe and calculate the future development trend and results. A mathematical model of the effects of different grazing strategies on soil physical properties, vegetation biomass and soil components was established, and the decision tree analysis model was combined with the soil moisture, rainfall and soil evaporation, establish a relationship between the

three. First, the effects of different grazing strategies on soil physical properties and vegetation biomass were obtained by single-factor analysis of variance and multiple comparison. Then, based on the ADF checklist, time series analysis model was used to establish the prediction model, and the soil composition of the plots under different grazing intensities was detected. Finally, decision trees were used to Quantitative analysis the data, the parameters were set in SPSSPRO to predict different soil moisture in different months.

Keywords

Grazing Strategy, One-Way ANOVA, Post Hoc Multiple Comparisons, ADF, Decision Tree

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

草原生态系统具有着维持生物多样性、元素循环和碳固持的支撑功能，以及调节气候、防止水土流失和减少沙尘暴的调节功能。近十年来，人们对草原生态环境的保护愈发地关注。中国作为世界上拥有最丰富草原资源的国家之一，对草原资源的管理与规划极为重视。

关于草原放牧通常要考虑放牧方式和放牧强度(单位面积牲畜密度) 2 个因素。放牧方式可以分为多种，放牧方式分为以下五种，分别为：全年连续放牧、禁牧、选择划区轮牧、轻度放牧、生长季休牧。放牧强度可以分为四种，分别为：对照、轻度放牧强度、中度放牧强度、重度放牧强度。高质量的放牧政策，不但可以有效的节约国家经济成本，并且在满足畜牧业高效的生产下，还能在保护环境方面有着良好的表现。

放牧方式和放牧强度是影响草原放牧策略的两个重要因素，合理的放牧策略可以改善草原土壤质量，提高草原生物的多样性，不合理的放牧策略可能导致草原植被结构破坏，土壤盐碱化程度加重，造成草场退化、土壤沙漠化等严重后果。

现代草地资源的经营准则即在保证生态环境良性健康发展中寻求经济利益的最大化，良好的植被覆盖率可以适当提高放牧强度，意味着更多的放牧数量，代表更高的放牧收益。所以，通过挖掘各影响因素的关联性，以建立放牧策略对各因素的数学模型，预测和评估放牧策略的影响，具有十分重要的价值和意义[1] [2]。

2. 放牧策略对土壤性质与植被生物量的影响分析

如图 1 所示，从放牧策略与土壤物理性质和植被生物量的系统内部原因出发，研究分析不同的放牧策略对草原土壤物理性质和植被生物量影响规律，并建立对应的数学模型。首先，参考放牧方式与土壤湿度和植被生物量之间关系的模型，进行相关的推导分析。其次，通过单因素方差检验，判断各因素是否存在显著差异。最后通过事后多重比较，获得相应的数学模型。

2.1. 公式推导

关于放牧与植物生长的关系[3]:

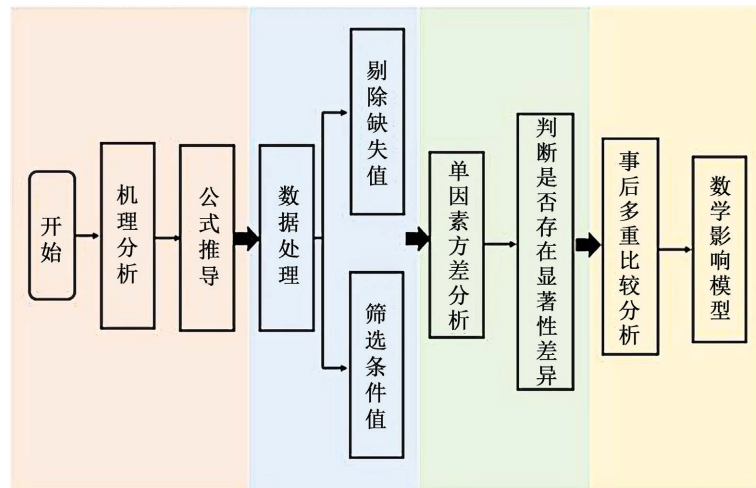


Figure 1. Ideas for solving problems
图 1. 解题思路

$$\frac{dw}{dt} = 0.049w - \frac{w}{4000} - 0.0047Sw \tag{1}$$

式中， w 为植被生物量， S 为单位面积的载畜率。

土壤 - 植被 - 大气系统的水平衡基本方程为[4]:

$$\Delta W = W_{t+1} - W_t = P + G_u + R_{in} - (Et_a + G_d + R_{out} + IC_{store}) \tag{2}$$

其中， ΔW 为土壤贮水变化量， W_{t+1} 和 W 分别为时间段内的始末土壤含水量， P 为降水量， G_u 和 G_d 分别为地下水毛管上升量和土壤水渗透量， Et_a 为实际蒸发量， R_{in} 和 R_{out} 分别为入和出径流量， IC_{store} 为植被截流量。

降水量小、植被覆盖度高、 LAI 大时植被截流量大，其表达式为:

$$IC_{store} = c_p \cdot IC_{max} \cdot [1 - \exp(-k \cdot R_{cum} / IC_{max})] \tag{3}$$

上式中， IC_{store} 为植被截流量(mm); c_p 为植被覆盖率; IC_{max} 特定植被的最大截流量(mm); k 为植被密度校正因子，与 LAI 有关; R_{cum} 为累积降雨量(mm)。 IC_{max} 可以通过 LAI 来估算:

$$IC_{max} = 0.935 + 0.498 \cdot LAI - 0.00575 \cdot LAI^2 \tag{4}$$

式中， LAI 为一个分布式的时变参数。

若将春季化冻后的土壤水分测定结果作为初始值，则 $W_t = W_0$ ，故(2)式可以简化为:

$$\Delta W = W_{t+1} - W_t = P(t) - (Et_a + G_d + IC_{store}) \tag{5}$$

由此可以得到(5)式为草原土壤水分动态模型。

题目中还提供了土壤含水量 - 降水量 - 地表蒸发模型:

$$\frac{d\beta}{dt} = P - E(\alpha) \tag{6}$$

式中， P 为该牧区供水率(主要为降水); E 为地表蒸散发率; β 为土壤含水量; α 为土壤植被覆盖率。

通过上述公式，即可得到不同放牧策略(放牧方式和放牧强度)对草原土壤物理性质(主要是土壤湿度)和植被生物量影响的数学模型:

$$\begin{cases} \frac{dw}{dt} = 0.049w - \frac{w}{4000} - 0.0047Sw \\ \Delta W = W_{t+1} - W_t = P + G_u + R_{in} - Et_a + G_d + R_{out} + IC_{store} \\ IC_{store} = c_p \cdot IC_{max} \cdot [1 - \exp(-k \cdot R_{cum} / IC_{max})] \\ IC_{max} = 0.935 + 0.498 \cdot LAI - 0.00575 \cdot LAI^2 \\ \Delta W = W_{t+1} - W_t = P(t) - Et_a + G_d + IC_{store} \\ \frac{d\beta}{dt} = P - E(\alpha) \end{cases}$$

2.2. 数据处理

为了方便观察不同的放牧策略对土壤物理性质和植被生物量影响，我们对数据进行了优化处理，如图2所示。

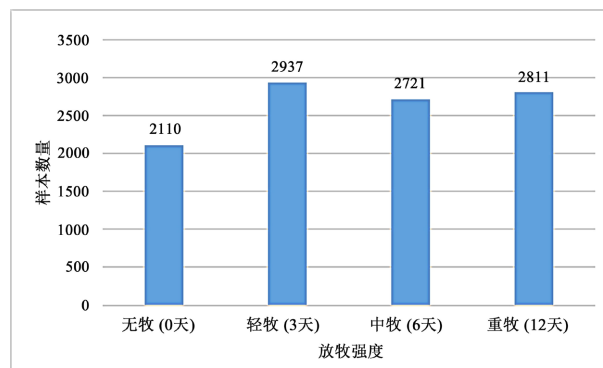


Figure 2. Number of samples at each grazing intensity

图 2. 各放牧强度下的样本数量

通过上图可以看出，各个放牧强度的样本数量的分布基本均匀。

将不同放牧强度下的植被生物量表征量与土壤湿度表征量的数据做成柱状图，如图3、图4所示；各分类下植被生物量表征量与土壤湿度表征量总值如图5、图6所示。

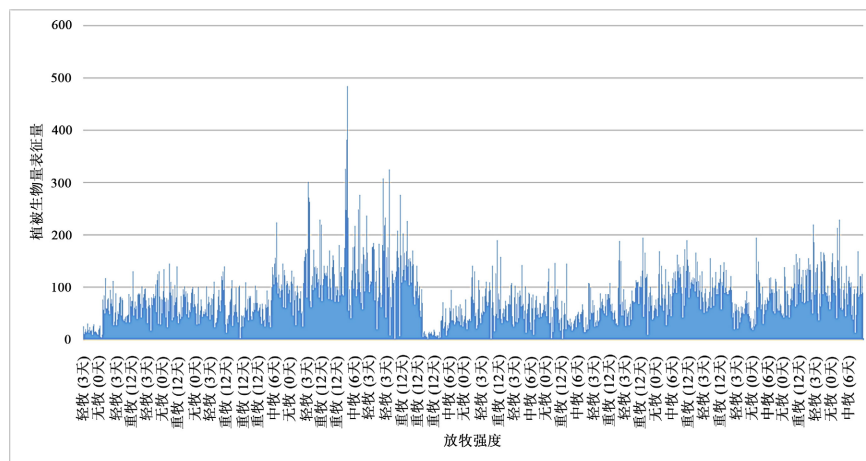


Figure 3. Vegetation biomass under different grazing intensities

图 3. 各放牧强度下的植被生物量表征量

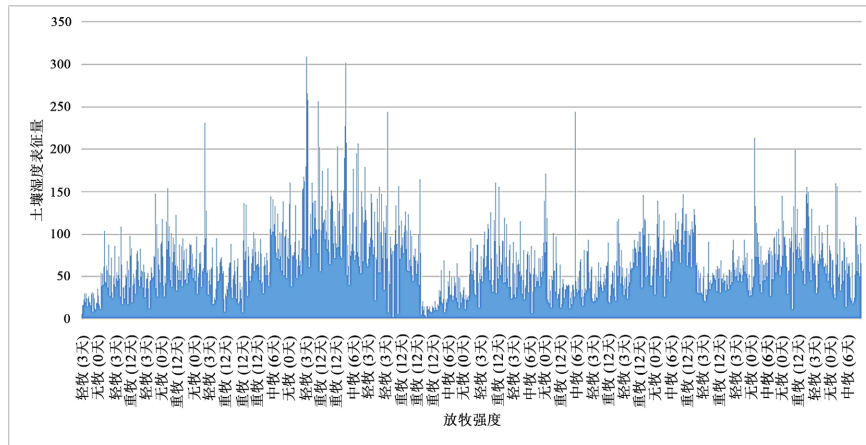


Figure 4. Soil moisture characterization under different grazing intensities
 图 4. 各放牧强度下的土壤湿度表征量

从上述两幅图可以看出，相同条件下的植被生物量表征量与土壤湿度表征量存在一定的差异。

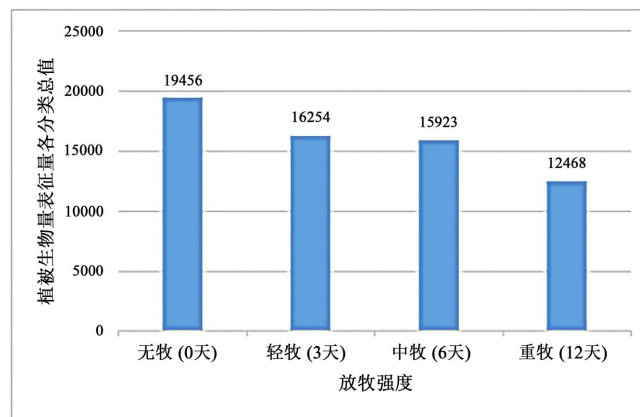


Figure 5. Total values of vegetation biomass under different grazing intensities
 图 5. 各放牧强度下的植被生物量表征量各分类总值

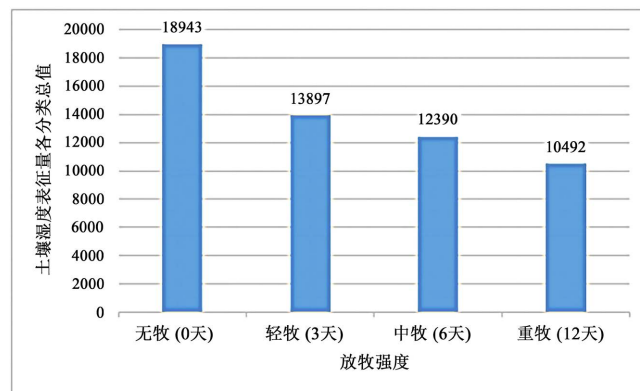


Figure 6. Soil moisture characterization values under different grazing intensities
 图 6. 各放牧强度下的土壤湿度表征量各分类总值

从上述两幅图可以看出各放牧强度确实会影响植被生物量与土壤湿度，造成差异。

2.3. 单因素方差分析

根据单因素方差分析法[4]，本文通过以下步骤来进行分析：

1) 根据定向性变化差异量(X)对定向性差异变量(Y)设标签分列组别，将正态性作为检验目标进行逐个检验，查看正态性分布是否以数据总体分布的范围呈现，假使正态性检验未能通过，可进入算法选择页面选择正态性检验进行进一步分析。

2) 根据定向性变化差异量(X)对定向性差异变量(Y)设标分组，采用方差齐性检验进行检测，以 0.05 为界限检测 P 值是否小于 0.05，假使 P 值大于 0.05，选用方差作为分析数据进行检测，观察 P 值是否呈现显著性变化($P < 0.05$) 3) 若数据检测后呈现显著性，针对显著差异分析时则采取均值 \pm 标准差的方式，反之则表明差异性不呈现。

4) 若数据在单因素方差分析的结果中呈现显著性，亦能针对差异性量化分析，分析过程可采取效应量化进行分析。

通过上述方法，对植被生物量表征量与土壤湿度表征量进行单因素方差检验。获得单因素方差对比图如图 7 所示，方差分析结果如表 1 所示。

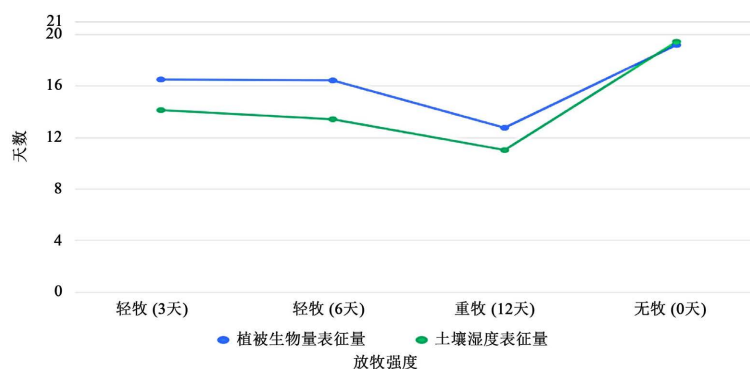


Figure 7. One-way ANOVA VS

图 7. 单因素方差对比图

Table 1. Analysis of variance results table

表 1. 方差分析结果表

变量名	变量值	样本量	平均值	标准差	F	P
植被生物量表征量	轻牧(3 天)	2937	16.498	33.131	16.139	0.000***
	中牧(6 天)	2721	16.431	38.191		
	重牧(12 天)	2811	12.753	29.879		
	无牧(0 天)	2110	19.174	28.267		
	总计	10,579	16.02	32.88		
土壤湿度表征量	轻牧(3 天)	2937	14.124	25.796	40.753	0.000***
	中牧(6 天)	2721	13.416	29.89		
	重牧(12 天)	2811	11.027	24.352		
	无牧(0 天)	2110	19.431	26.997		
	总计	10,579	14.177	26.936		

注：***、**、*分别代表 1%、5%、10%的显著性水平。

从上述图表的结果可以得到以下结论：

植被生物量表征量：方差分析结果 P 值为 $0.000^{***} \leq 0.05$ ，说明不同的处理在植被生物量表征量上存在着较为显著的差异。

土壤湿度表征量：方差分析结果 P 值为 $0.000^{***} \leq 0.05$ ，说明不同的处理在土壤湿度表征量上也存在着较为显著的差异。

2.4. 事后多重比较分析

通过 LSD [5]法进行分析，得到的结果如表 2 所示。

Table 2. Results of post hoc multiple comparisons (LSD)

表 2. 事后多重比较(LSD 法)结果表

	(I)名称	(J)名称	(I)平均值	(J)平均值	差值(I-J)	P
植被生物量表征量	中牧(6 天)	无牧(0 天)	16.431	19.174	-2.743	0.944
	中牧(6 天)	轻牧(3 天)	16.431	16.498	-0.067	0.000001
	中牧(6 天)	重牧(12 天)	16.431	12.753	3.678	0.003001
	无牧(0 天)	轻牧(3 天)	19.174	16.498	2.676	0.000001
	无牧(0 天)	重牧(12 天)	19.174	12.753	6.421	0.006001
	轻牧(3 天)	重牧(12 天)	16.498	12.753	3.745	0.000001
土壤湿度表征量	中牧(6 天)	无牧(0 天)	13.416	19.431	-6.014	0.339
	中牧(6 天)	轻牧(3 天)	13.416	14.124	-0.708	0.000001
	中牧(6 天)	重牧(12 天)	13.416	11.027	2.39	0.000001
	无牧(0 天)	轻牧(3 天)	19.431	14.124	5.306	0.001001
	无牧(0 天)	重牧(12 天)	19.431	11.027	8.404	0.000001
	轻牧(3 天)	重牧(12 天)	14.124	11.027	3.098	0.000001

对上表结果进行分析，得到以下结论：

对于植被生物量表征量，中牧(6 天)与轻牧(3 天)、中牧(6 天)与重牧(12 天)、无牧(0 天)与轻牧(3 天)、无牧(0 天)与重牧(12 天)、轻牧(3 天)与重牧(12 天)存在着显著性差异。

对于土壤湿度表征量，中牧(6 天)与轻牧(3 天)、中牧(6 天)与重牧(12 天)、无牧(0 天)与轻牧(3 天)、无牧(0 天)与重牧(12 天)、轻牧(3 天)与重牧(12 天)存在着显著性差异。

3. 放牧策略对草原土壤化学性质影响分析

3.1. 数据分类汇总

首先将土壤湿度，土壤蒸发，锡林郭勒盟气象数据表格进行数据优化，如图 8 所示。

然后，将不同放牧强度下土壤各成分均值汇总，如图 9~13 所示。

将不同放牧强度下土壤成分均值整理如表 3 所示，从表中数据可以得出，不同放牧强度在一定程度上会导致有机物含量存在少许差异。

3.2. 预测模型

对 2022 年 SOC 土壤有机碳预测过程与结果，如表 4 所示。

	B	C	D	E	F	G	H	I	J
	年份	经度 (lon)	纬度 (lat)	10cm湿度 (kg/m ²)	40cm湿度 (kg/m ²)	100cm湿度 (kg/m ²)	200cm湿度 (kg/m ²)	土壤蒸发量 (mm)	降水量 (mm)
2	2022	115.375	44.125	12.45	52.14	93.45	164.48	0.44	115.57
3	2022	115.375	44.125	12.1	52.14	93.45	164.48	0.27	796.04
4	2022	115.375	44.125	14.96	52.13	93.44	164.48	5.98	607.31
5	2021	115.375	44.125	15.17	50.4	82.44	165.92	1.13	193.8
6	2021	115.375	44.125	13.93	50.4	82.44	165.92	1.53	530.86
7	2021	115.375	44.125	14.37	50.38	82.43	165.92	7.5	4.83
8	2021	115.375	44.125	14.18	49.84	81.94	165.92	11.14	65.53
9	2021	115.375	44.125	14.77	47.77	79.86	165.91	16.38	37.34
10	2021	115.375	44.125	17.66	47.63	76.28	165.71	25.57	134.37
11	2021	115.375	44.125	22.1	61.7	85.27	165.46	30.88	52.07
12	2021	115.375	44.125	20.36	56.11	85.64	165.15	19.25	17.78
13	2021	115.375	44.125	21.01	59.26	87.32	164.85	17.94	10.67
14	2021	115.375	44.125	16.93	54.84	92.52	164.59	10.48	118.62
15	2021	115.375	44.125	13.91	52.17	93.43	164.49	1.44	240.03
16	2021	115.375	44.125	13.14	52.14	93.45	164.48	0.93	4.54
17	2020	115.375	44.125	12.21	33.85	47.07	166.7	0.36	2.29
18	2020	115.375	44.125	11.86	33.85	47.07	166.7	0.63	5.08
19	2020	115.375	44.125	11.95	33.84	47.07	166.7	2.78	5.84
20	2020	115.375	44.125	13.73	33.65	46.99	166.7	10.89	25.65
21	2020	115.375	44.125	16.51	34.02	46.68	166.7	21.31	83.31
22	2020	115.375	44.125	17.01	40.0	46.43	166.67	24.06	179.96
23	2020	115.375	44.125	21.31	56.6	54.24	166.62	32.37	35.81
24	2020	115.375	44.125	20.79	56.63	68.52	166.51	24.66	36.12
25	2020	115.375	44.125	20.04	56.67	76.04	166.32	17.58	10.67
26	2020	115.375	44.125	16.59	52.88	80.84	166.09	11.99	4.32
27	2020	115.375	44.125	15.04	50.66	82.25	165.95	2.52	8.64
28	2020	115.375	44.125	16.51	50.4	82.44	165.92	1.51	4.06
29	2019	115.375	44.125	10.27	46.07	63.68	167.03	0.79	20.57
30	2019	115.375	44.125	9.64	46.07	63.68	167.03	0.32	5.33
31	2019	115.375	44.125	10.02	46.05	63.66	167.03	1.28	28.54
32	2019	115.375	44.125	11.22	45.67	63.41	167.03	5.0	16.51
33	2019	115.375	44.125	15.88	44.71	62.31	167.02	22.68	113.54

Figure 8. Meteorological data sheet

图 8. 气象数据表

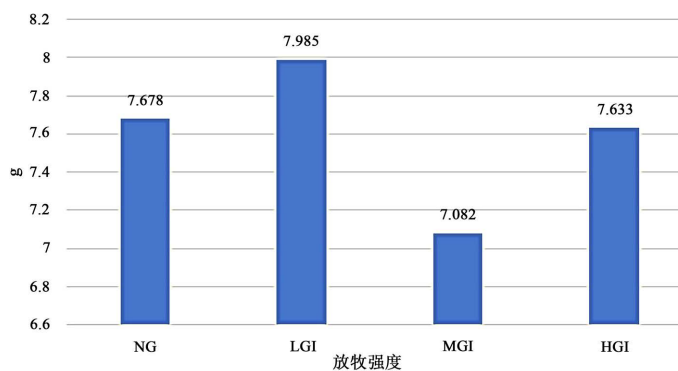


Figure 9. SOC histogram of soil organic carbon

图 9. SOC 土壤有机碳分类汇总均值柱状图

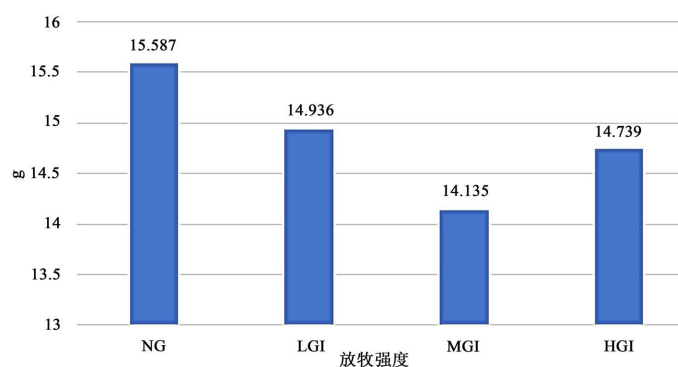


Figure 10. SIC summary mean of soil inorganic carbon

图 10. SIC 土壤无机碳分类汇总均值

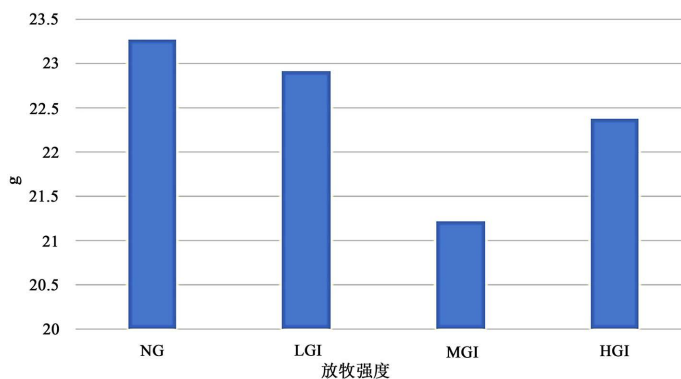


Figure 11. STC soil total carbon taxonomic summary mean
图 11. STC 土壤全碳分类汇总均值

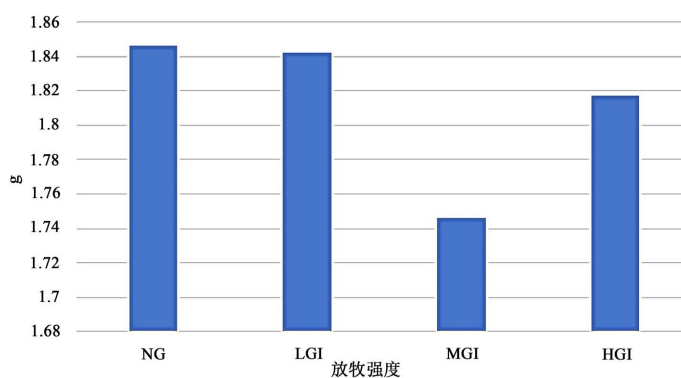


Figure 12. All-n taxonomic summary mean
图 12. 全 N 分类汇总均值

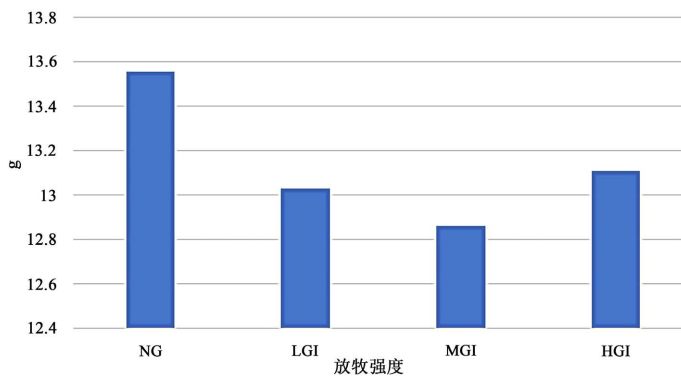


Figure 13. Soil c/N ratio taxonomic summary mean
图 13. 土壤 c/N 比分类汇总均值

Table 3. Mean values of soil composition under different grazing intensities
表 3. 不同放牧强度下土壤成分均值

放牧强度(intensity)	SOC 土壤有机碳	SIC 土壤无机碳	STC 土壤全碳	全 N	土壤 C/N 比
NG	15.587	7.678	23.265	1.846	13.555
LGI	14.936	7.985	22.921	1.842	13.032
MGI	14.135	7.082	21.218	1.746	12.863
HGI	14.739	7.633	22.372	1.817	13.109

Table 4. ADF test sheet

表 4. ADF 检验表

变量	差分阶数	t	P	AIC	临界值		
					1%	5%	10%
SOC 土壤有机碳	0	-3.967	0.002***	23.262	-4.473	-3.29	-2.772
	1	-5.327	0.000***	22.286	-4.665	-3.367	-2.803
	2	-12.083	0.000***	21.646	-5.354	-3.646	-2.901

注：***，**，*分别代表 1%，5%，10%的显著性水平。

时间序列分析模型要求序列必须是平稳的时间序列数据，通过分析 t 值，分析其是否可以显著的拒绝序列为一个不平稳的时间序列，若呈现显著性($P < 0.05$)，则说明拒绝原假设，该序列为一个平稳的时间序列[6]。

从上表序列检验可以得到，对于变量 SOC 土壤有机碳：

差分阶数为 0 时，显著性 P 的值为 0.002***，水平上呈现显著性，拒绝原假设，该序列为平稳的时间序列[7]。

同理，差分阶数为 1 时，显著性 P 的值为 0.000***，差分阶数为 2 时，显著性 P 的值为 0.000***，水平上呈现显著性，拒绝原假设，序列为平稳的时间序列，具体参数如表 5 所示。

Table 5. Model parameters table

表 5. 模型参数表

	系数	标准差	t	P > t	0.025	0.975
常数	15.143	0.337	44.965	0	14.483	15.804
ar.L1.SOC 土壤有机碳	-0.806	0.243	-3.311	0.001	-1.283	-0.329
ar.L2.SOC 土壤有机碳	-0.533	0.261	-2.043	0.041	-1.044	-0.022

对于变量 SOC 土壤有机碳，基于 AIC 信息准则寻求最优参数，模型结果为 ARIMA 模型(2, 0, 0)检验表且基于 0 差分数据，模型可用下式表示：

$$y(t) = 15.143 - 0.806 \times y(t-1) - 0.533 \times y(t-2)$$

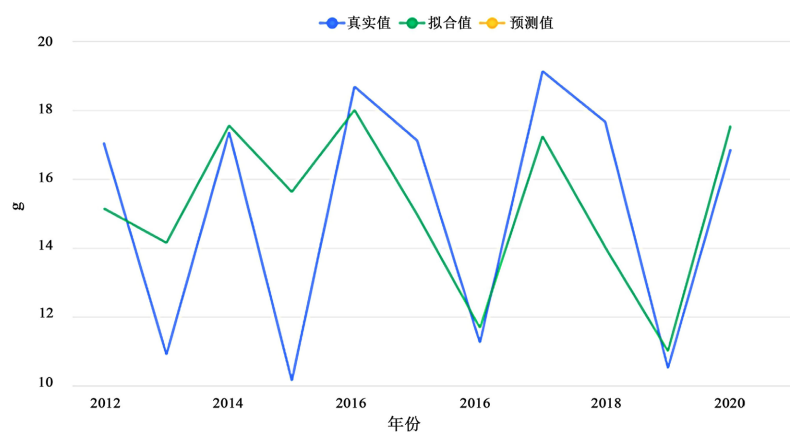


Figure 14. SOC soil organic carbon fitting and prediction map

图 14. SOC 土壤有机碳拟合与预测图

上图 14 表示了该时间序列模型的原始数据图、模型拟合值、模型预测值。

根据上面的拟合方程,得出 2022 年 G17 放牧小区 SOC 土壤有机碳的时间序列预测表,如表 6 所示。

Table 6. SOC time series prediction table of soil organic carbon

表 6. SOC 土壤有机碳的时间序列预测表

预测值	
阶数(时间)	预测结果
1	16.234951815413662

通过重复上面的计算过程,即可计算检测样地不同放牧强度下 2022 年的土壤同期有机碳、无机碳、全 N 等成分的数值,并整理到表 7。

Table 7. Soil status under different grazing intensities

表 7. 不同放牧强度下的土壤状态

放牧强度	Plot 放牧小区	SOC 土壤有机碳	SIC 土壤无机碳	STC 土壤全碳	全 N	土壤 C/N 比
NG	G17	16.235	8.875	25.296	1.834	14.734
	G19	15.634	7.102	22.902	1.663	13.562
	G21	15.814	7.055	22.868	1.902	14.696
LGI	G6	16.478	7.737	18.870	1.818	12.672
	G12	14.655	7.216	21.862	1.982	13.473
	G18	15.635	9.005	23.373	1.713	12.932
MGI	G8	15.395	5.804	18.503	1.852	11.526
	G11	14.086	7.075	20.035	1.737	12.666
	G16	13.675	9.815	23.493	1.977	15.590
HGI	G9	13.976	1.934	22.221	1.793	13.355
	G13	14.533	6.901	21.433	1.777	12.765
	G20	16.322	8.418	23.484	2.036	13.206

通过对土壤成分化验分析,预测结果精度达到 92.3%,表明预测结果达到较高的准确性。

4. 土壤湿度预测分析

4.1. 决策树回归

决策树模型就是由决策点、策略点(事件点)及结果构成的树形图,一般应用于序列决策中,通常以最大收益期望值或最低期望成本作为决策准则,通过图解方式求解在不同条件下各类方案的效益值,然后通过比较,做出决策。

4.2. 数据预处理

对数据进行可视化处理,如图 15~18 所示。

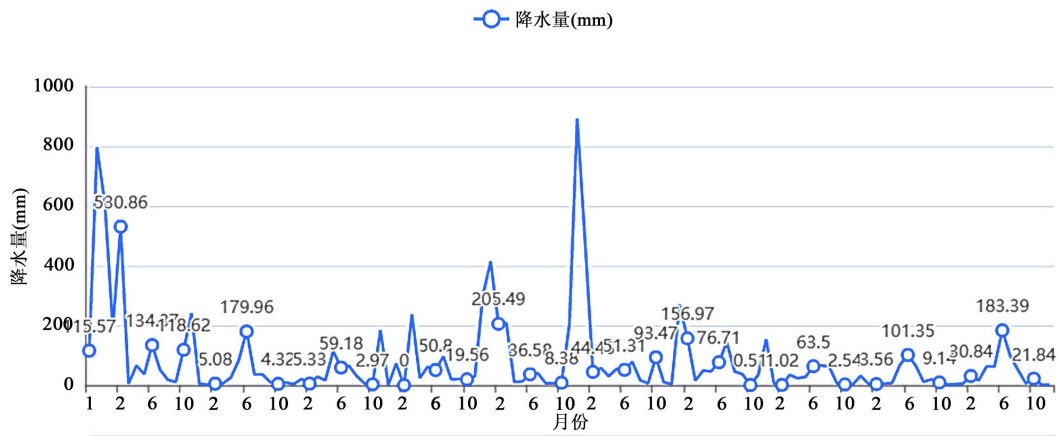


Figure 15. Precipitation view
图 15. 降水量可视图

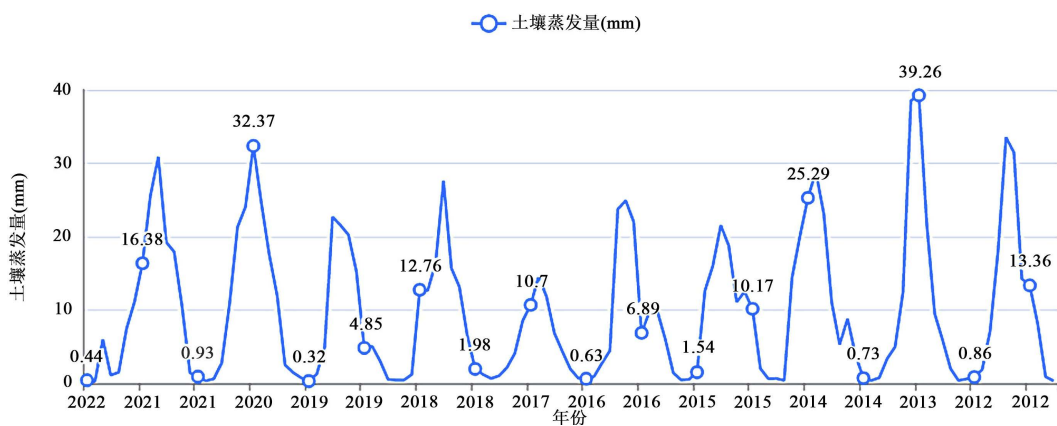


Figure 16. Visual view of soil evaporation
图 16. 土壤蒸发量可视图

以 200 湿度(kg/m^2)为例可以发现数据差异较大, 存在其他两个量年度分部差异较大导致其年度分布差异也较大的可能性。

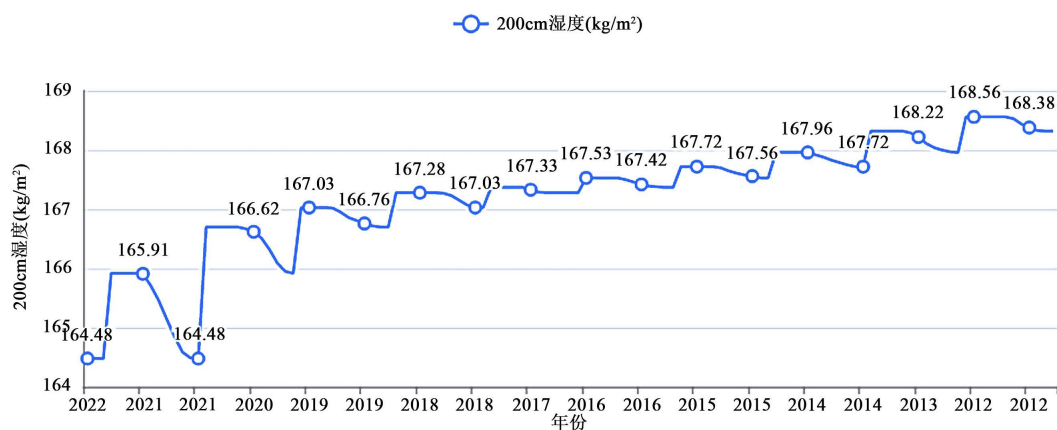


Figure 17. Humidity view
图 17. 湿度可视图

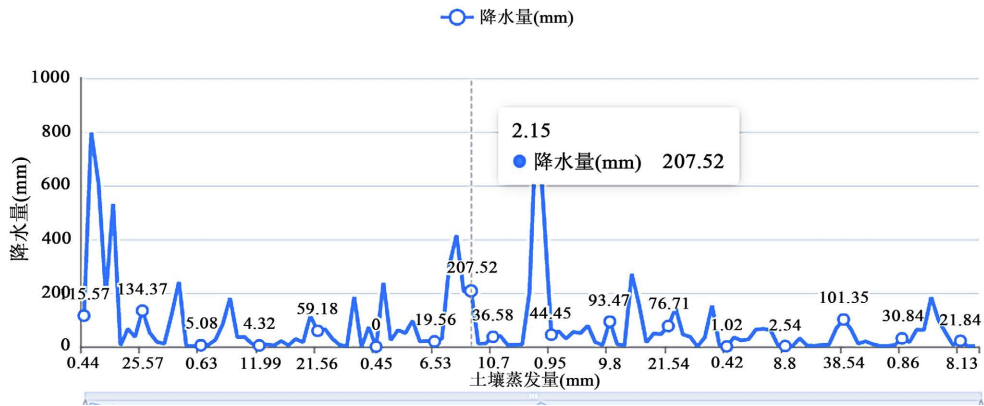


Figure 18. Relationship between soil evaporation and precipitation
 图 18. 土壤蒸发量与降水量关系图

4.3. 模型评估结果

测试数据预测图如下图 19、图 20 所示。

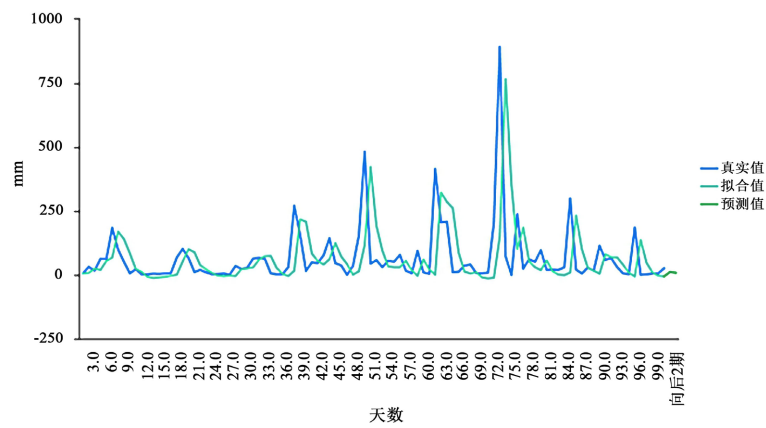


Figure 19. Precipitation model fitting and forecast map
 图 19. 降水量模型拟合和预测图

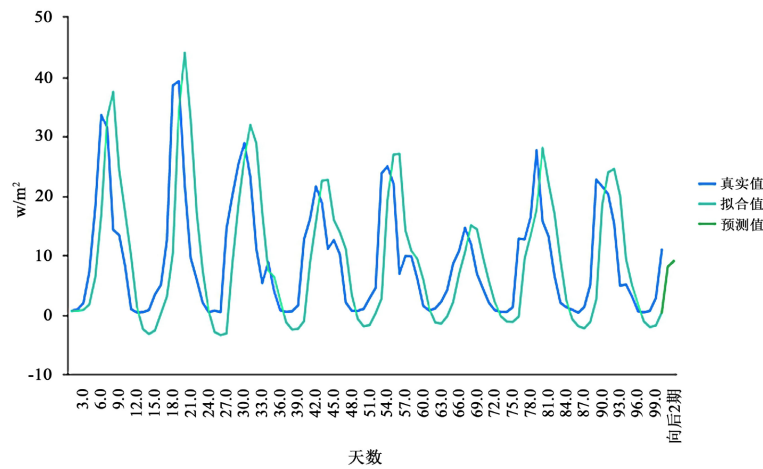


Figure 20. Soil evaporation model fitting and prediction
 图 20. 土壤蒸发量模型拟合和预测

将得到的降水量和蒸发量数据模型导入决策树回归模型里面得到结果如表 8 所示:

Table 8. Table of predicted results

表 8. 预测结果表

年份	月份	10 cm 湿度 (kg/m ²)	40 cm 湿度 (kg/m ²)	100 cm 湿度 (kg/m ²)	200 cm 湿度 (kg/m ²)	
2022	04	12.159	52.128	93.435	164.48	
	05	13.98	50.05	76.935	166.208	
	06	17.20	49.635	76.938	166.544	
	07	18.527	49.751	79.674	166.438	
	08	18.527	49.349	81.003	166.231	
	09	12.003	46.947	78.917	166.045	
	10	15.510	46.466	74.015	165.688	
	11	15.510	63.638	88.113	165.278	
	12	14.883	60.715	89.87	164.837	
	2023	01	14.882	62.348	90.873	164.477
		02	18.5271	56.42	97.167	164.154
		03	15.5103	51.105	97.209	164.098
04		17.100	49.919	95.21	164.203	
05		18.580	28.26	74.148	166.996	
06		14.883	24.5	63.432	167.627	
07		12.189	26.516	64.822	167.51	
08		17.2097	29.318	53.441	167.22	
09		13.9897	32.175	47.453	166.962	
10		17.100	41.041	48.683	166.749	
11		18.563	35.985	47.532	166.984	
12		17.522	37.954	46.32	166.325	

通过对 2022 年的数据对比分析, 预测精度达到 87.6%, 具有很好的鲁棒性。

5. 结束语

针对不同放牧策略对土壤物理性质、植被生物量的影响, 本文首先从系统内部原因出发, 研究分析不同的放牧策略对草原土壤物理性质和植被生物量影响规律, 并建立对应的数学模型。然后, 通过单因素方差分析和多重比较分析法对数据进行了处理, 并很好的刻画多个影响指标的综合影响力度。针对土壤化学性质影响分析, 基于 ADF 检验表, 通过分析 t 值及 P 值得出该序列为平稳的时间序列数据, 并检测样地不同放牧强度下的土壤成分。针对土壤湿度的预测, 采用采用决策树对数据进行定量分析, 预测精度较高, 具有很好的鲁棒性。

参考文献

- [1] 梁虹. 寒冷地区绿色建筑运行性能的影响因素及能耗预测研究[D]: [硕士学位论文]. 北京: 北方工业大学, 2021.

<https://doi.org/10.26926/d.cnki.gbfgu.2021.000683>

- [2] 刘敦利. 基于栅格尺度的土地沙漠化预警模式研究[D]: [硕士学位论文]. 乌鲁木齐: 新疆大学, 2010.
- [3] Woodward, S.J.R., Wake, G.C. and McCall, D.G. (1995) Optimal Grazing of a Multi-Paddock System Using a Discrete Time Model. *Agricultural Systems*, **48**, 119-139. [https://doi.org/10.1016/0308-521X\(94\)00013-H](https://doi.org/10.1016/0308-521X(94)00013-H)
- [4] 安宏伟, 孟昕娜, 贡丽霞, 主编. 概率论与数理统计(独立院校用) [M]. 北京: 中国铁道出版社, 2016.
- [5] 周玉敏. SPSS 16.0 与统计数据分折[M]. 成都: 西南财经大学出版社, 2009.
- [6] 侯琼, 王英舜, 杨泽龙, 等. 基于水分平衡原理的内蒙古典典型草原土壤水动态模型研究[J]. 干旱地区农业研究, 2011, 29(5): 197-203.
- [7] Woodward, S.J.R., Wake, G.C., Pleasants, A.B. and McCall, D.G. (1993) A Simple Model for Optimizing Rotational Grazing. *Agricultural Systems*, **41**, 123-155. [https://doi.org/10.1016/0308-521X\(93\)90037-3](https://doi.org/10.1016/0308-521X(93)90037-3)