

基于数据挖掘方法的草原放牧策略研究

胥 阳, 王义文, 游澳辉

上海理工大学, 机械工程学院, 上海

收稿日期: 2023年2月3日; 录用日期: 2023年3月2日; 发布日期: 2023年3月9日

摘 要

草原在生态系统中发挥着不可或缺的作用, 合理的放牧策略对保护草原生态环境有积极的作用。本文以典型的温带草原—内蒙古锡林郭勒草原为研究对象, 寻求该地区相对较优的放牧策略。首先, 分析放牧强度与土壤物理性质和植被生物量的联系, 以逻辑回归模型进行拟合, 通过混淆矩阵和回归结果证明了模型的合理性。并采用层次分析法建立指标体系分析草原的放牧强度和放牧方式的关系。然后, 采取主成分分析法对影响土壤沙漠化的因素进行分析, 得到不同放牧强度对应的土壤沙漠化程度指数; 接着分析影响土壤板结化的因素, 得到不同放牧强度对应的土壤板结化程度指数; 最后, 得到最佳的放牧策略为中度放牧强度——选择划区轮牧的方式, 使荒漠化板结化程度最低。本文的研究方法能为其他草原地区的放牧策略的制定提供参考。

关键词

放牧策略, 逻辑回归, 层次分析法, 主成分分析法, 土壤沙漠化

Research on Grassland Grazing Strategies Based on Data Mining Methods

Yang Xu, Yiwen Wang, Aohui You

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

Received: Feb. 3rd, 2023; accepted: Mar. 2nd, 2023; published: Mar. 9th, 2023

Abstract

Grasslands play an integral role in the ecosystem and sensible grazing strategies can have a positive effect on the conservation of grassland ecosystems. This paper takes a typical temperate grassland, the Xilinguole grassland in Inner Mongolia, as the subject of this study to seek a relatively optimal grazing strategy for the region. Firstly, the link between grazing intensity and the physical

properties of the soil and vegetation biomass was analyzed and fitted with a logistic regression model, which was justified by the confusion matrix and regression results. A hierarchical analysis was also used to establish a system of indicators to analyze the relationship between grazing intensity and grazing practices in grasslands. Then, the factors affecting soil desertification were analyzed by principal component analysis to obtain the index of soil desertification corresponding to different grazing intensities; then the factors affecting soil denudation were analyzed to obtain the index of soil denudation corresponding to different grazing intensities; finally, the best grazing strategy was obtained as moderate grazing intensity—choosing the zoned rotational grazing method to minimize desertification denudation. The methodology of this paper can provide a reference for the development of grazing strategies in other grassland areas.

Keywords

Grazing Strategy, Logistic Regression, Hierarchical Analysis, PCA, Soil Desertification

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

草原是世界上分布最广的重要的陆地植被类型之一，我国的草原资源也特别丰富。草原具有重要的生态功能，如维护生物多样性、涵养水土、净化空气、调节水土流失等。本文以温带草原中具有代表性和典型性的草原——内蒙古锡林郭勒草原为研究对象，该草原是国家重要的畜牧业生产基地，同时也是重要的绿色生态屏障。

合理的放牧可以改善草原土壤质量、提高草原生物的多样性。过度放牧会加速土壤沙漠化板结化，致使自然的生态系统平衡性遭到破坏。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。放牧方式可分为：全年连续放牧、禁牧、选择划区轮牧、轻度放牧、生长季休牧[1]。放牧强度可分为四种：对照(NG)、轻度放牧强度(LGI)、中度放牧强度(MGI)和重度放牧强度(HGI) [2]。土壤化学和物理性质是影响土壤肥力重要因素，化学性质包括：有机碳 SOC、无机碳 SIC、全碳 STC、全 N、土壤 C/N 比等；物理性质包括：土壤湿度、土壤容重等。放牧强度影响着土壤含水量、碳氮含量等，对草原生态系统具有很大影响[3] [4] [5] [6] [7]。所以在不破坏草原生态平衡前提下，尽可能的提高放牧强度，增加放牧数量，可以带来良好的经济和生态效益。

针对当前草原生态系统存在的问题，本文对放牧策略的问题进行了优化研究，目的是为了给草原牧区的放牧策略的研究提供一定的帮助。本文采用逻辑回归法和层次分析法建立了不同放牧策略(放牧方式和放牧强度)对锡林郭勒草原土壤物理性质和植被生物量影响的数学模型。并且建立了土壤沙漠化模型和土壤板结化的模型，确定了不同放牧强度下的沙漠化程度指数值和板结化指数，找到了最优的放牧策略使得沙漠化程度指数与板结化程度最小。

2. 不同放牧策略对草原土壤物理性质和植被生物量影响的模型

2.1. 研究方法的确定

已知放牧强度与草原土壤物理性质和植被生物量其对应关系数据，但数据量少，如果去训练传统的 BP 神经网络存在迭代次数低导致误差大网络模型欠拟合的问题，而采用结构简单，可解释性强的逻辑回

归模型只需要小样本就可以快速并到达较高的精度的表达，因此作为本文方案。

在进行数据分析时，应对数据进行预处理将放牧强度与草原土壤物理性质(土壤湿度，土壤容重等)和植被生物量(由于植被生长量越高而干重数值越大即与干重之间存在正比关系，植被生长量可由干重进行比拟)的数据进行合并，再利用该数据样本训练逻辑回归模型得到较优的数学模型。再利用层次分析法建立放牧方式与放牧强度之间的关系，即可得到放牧方式与土壤物理性质和植被生物量的关系。

2.2. 相关模型的建立

2.2.1. 放牧强度与草原土壤物理性质和植被生物量关系模型

综合考虑求解运行时间和分析结果的准确度，使用 Python 应用逻辑回归算法，设定算法的训练占比为 75%，验证占比 25%。对其进行训练得到最优模型，对模型进行分析得到以下结果，表 1 为逻辑回归的准确率统计结果，图 1 为该模型的混淆矩阵图。

Table 1. Accuracy of logistic regression models

表 1. 逻辑回归模型的准确度

实测 \ 预测	0	1	2	3	正确率
0	44	1	0	1	95.65%
1	1	96	3	3	93.20%
2	1	5	454	5	97.63%
3	1	1	2	113	96.58%

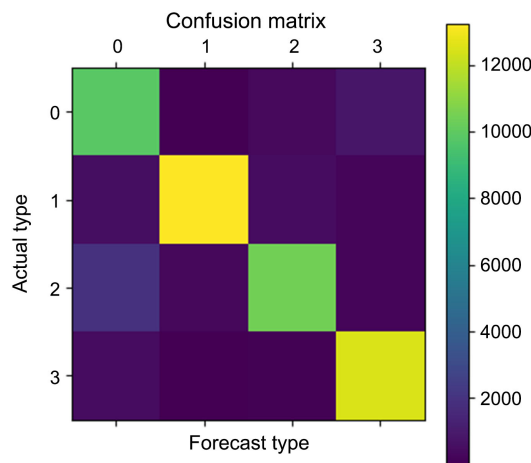


Figure 1. Confusion matrix diagram

图 1. 混淆矩阵图

由表 1 和图 1 可知模型的平均准确率达到 95.77%，能够很好反应放牧强度与草原土壤物理性质和植被生物量关系。上述混淆矩阵中横纵坐标表示各放牧强度，颜色的深浅代表模型的预测样本数量，可以清晰的看出对角线上的颜色越深，代表该模型表示关系准确度越高。该网络内部结构的计算如公式(1)所示：

$$\ln(Y_i/1-Y_i) = \alpha_{0i} + \alpha_{1i}x_1 + \alpha_{2i}x_2 + \dots + \alpha_{ki}x_k \quad (1)$$

其中 Y_i 表示各类放牧强度($i = 0, 1, 2, 3$)分别对应对照、轻度、中度和重度放牧强度， x_i 表示草原

土壤物理性质和植被生物量等参数， α_i 表示其对应的系数。

2.2.2. 层次分析法建立指标体系分析草原放牧强度等因素确定放牧方式

放牧方式无实验数据，而放牧方式又分为全年连续放牧、禁牧、选择划区轮牧、轻度放牧、生长季休牧，方式较多，放牧方式与草原土壤物理性质和植被生物量之间的关系无法对其精准的量化分析，因此采用层次分析法，利用层次分析法可解决难用定量方法解决的问题的优点。而直接正向求解以放牧策略作为自变量，草原土壤物理性质和植被生物量为因变量存在自变量少对因变量很难正确表达，所以反向求解之间关系，建立数学模型。上述已得到放牧强度和土壤物理性质和植被生物量的模型，应用层次分析法得到放牧强度和放牧方式的关系，即可得到放牧方式和土壤物理性质和植被生物量的关系模型。

层次分析法(AHP)是一种运用数学和心理学来组织和分析复杂决策的方法。一般包含三个部分：试图解决的最终目标或问题，所有可能的解决方案，称为备选方案，以及判断备选方案的标准。AHP通过量化其标准和备选方案，并将这些元素与总体目标联系起来，为所需要的决策提供了一个合理的框架[8]。

应用层次分析法得到该草原放牧强度和放牧方式的关系求解结果如表2所示。

Table 2. The relationship between grazing intensity and grazing practices

表 2. 放牧强度和放牧方式的关系

节点项	全年连续放牧	禁牧	选择划区轮牧	轻度放牧	生长季休牧
对照	0.304	0.039	0.3	0.101	0.256
中度放牧强度	0.153	0.272	0.366	0.113	0.096
轻度放牧强度	0.257	0.069	0.175	0.101	0.399
重度放牧强度	0.1	0.331	0.235	0.117	0.218

从上表可知放牧强度和放牧方式的具体关系为：全年连续放牧适合对照放牧强度，禁牧适合重度放牧强度，选择划分轮牧应选择中度放牧强度，轻度放牧适合各种放牧强度，生长季休牧应选择轻度放牧强度。

3. 利用土壤沙漠化和土壤板结化模型确定最优放牧策略

3.1. 土壤沙漠化模型建立求解

沙漠化程度指数(SM)是从数学的范畴去界定沙漠化程度，采用一定的分级标准使得其与沙漠化程度相对应[9]。沙漠化程度及沙漠化程度指数划分标准表3已经给出。沙漠化程度指数预测模型表达式为公式(2)所示[10]。

Table 3. Criteria for classifying the degree of desertification and the Desertification Index

表 3. 沙漠化程度及沙漠化程度指数划分标准

划分内容	全年连续放牧	禁牧	选择划区轮牧	轻度放牧	生长季休牧
沙漠化程度	非沙漠化	轻度沙漠化	中度沙漠化	重度沙漠化	极重度沙漠化
沙漠化程度指数	[0, 0.20]	(0.20, 0.40]	(0.40, 0.60]	(0.60, 0.80]	(0.80, 1.00]

$$SM = \eta \cdot \sum_{i=1}^n S_{Q_i} = \eta \cdot \sum_{i=1}^n (Q_i \cdot W_{c_i}) \quad (2)$$

沙漠化相关关系的指标因子可以考虑风速、降水、气温(三个气象因素)；植被盖度、地表水资源、地

下水位(三个地表因素); 人口数量、牲畜数量、社会经济水平(三个人文因素)等。
 沙漠化预警图如下图 2 所示。

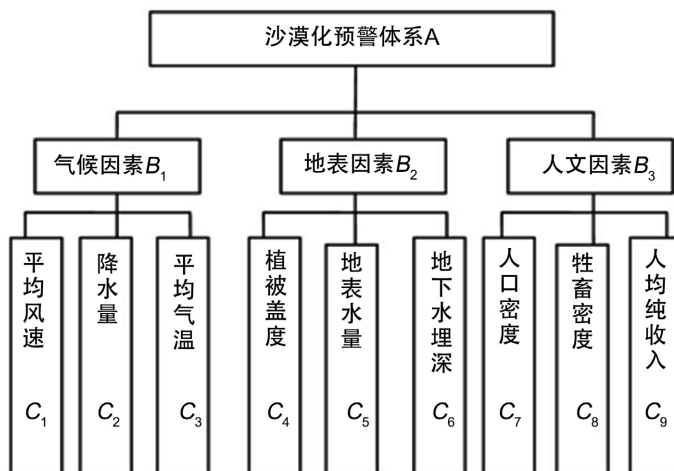


Figure 2. Desertification warning map
 图 2. 沙漠化预警图

依照上述沙漠化影响的因素，整合相关数据，确定了 8 个影响沙漠化因素指标的数据，分别是植被指数、径流量、平均气温、降水量、平均风速，畜牧量、人口、经济收入。然后对这 8 个指标利用主成分分析法进行降维操作，保留累积方差贡献率超过 90% 的 3 个主成分。求得的相关性矩阵和成分矩阵结果如下表 4、表 5 所示。

不同放牧强度对应畜牧量的计算，经查阅资料，得到该地区畜牧草原的面积为 192 公顷，得到无牧对应的畜牧量为 0 只，轻牧对应的畜牧量为 384 只，中牧对应的畜牧量为 768 只，重牧对应的畜牧量为 1536 只。

以 2020 年的气候、人口、地标数据为准，再将 4 种放牧强度对应的畜牧量组成 4 组数据，再与上述主成分分析法得到的各特征对应的影响系数相乘，得到出不同放牧强度对沙漠化指数，并对结果标准化，最终结果如表 6 所示。

Table 4. Correlation Matrix
 表 4. 相关性矩阵

指数	植被指数	径流量	平均气温	降水量	平均风速	畜牧量	人口	经济收入
植被指数	1.000	0.780	0.708	-0.168	0.686	0.663	-0.170	-0.171
径流量	0.780	1.000	0.764	-0.029	0.729	0.702	-0.206	-0.212
平均气温	0.708	0.764	1.000	-0.197	0.820	0.950	0.160	0.147
降水量	-0.168	-0.029	-0.197	1.000	-0.359	-0.166	-0.063	-0.041
平均风速	0.686	0.729	0.820	-0.359	1.000	0.683	0.044	0.003
畜牧量	0.663	0.702	0.950	-0.166	0.683	1.000	0.100	0.102
人口	-0.170	-0.206	0.160	-0.063	0.044	0.100	1.000	0.994
经济收入	-0.171	-0.212	0.147	-0.041	0.003	0.102	0.994	1.000

Table 5. Component matrix
表 5. 成分矩阵

指标	成分 1	成分 2	成分 3
植被指数	0.854	-0.185	0.044
径流量	0.878	-0.225	0.207
平均气温	0.948	0.196	0.089
降水量	-0.268	-0.134	0.945
平均风速	0.887	0.061	-0.171
畜牧量	0.893	0.151	0.120
人口	-0.021	0.991	0.066
经济收入	-0.035	0.988	0.092

注：提取方法——主成分分析法，提取了 3 个主成分。

Table 6. Desertification index values for monitoring sites at different grazing intensities
表 6. 不同放牧强度下监测点的沙漠化程度指数值

放牧强度	荒漠化指数
对照 NG	0.23
轻度 LGI	0.38
中度 MGI	0.51
重度 HGI	0.83

3.2. 土壤板结化模型建立求解

土壤板结化与土壤有机物、土壤湿度和土壤的容重有关，目前还没有明确的定量表达式，其数学模型可定性描述为如公式(3)。

$$B = f(W, C, O) \quad (3)$$

土壤湿度 W 越少，容重 C 越大，有机物含量 O 越低，土壤板结化程度 B 越严重。

经查阅资料，并未找到关于容重对土壤板结化影响的相关定量数据，所以本文只对土壤湿度 W 和有机物含量 O 考虑。选取四种放牧强度下对应牧场的土壤有机物含量平均值 NG-24.77、LGI-23.78、MGI-22.21、HGI-22.82。选取四种强度对应的 10 cm、40 cm、100 cm、200 cm 下土壤湿度值作为指标，取近 5 年的数据取平均值，得到土壤湿度值如表 7 所示。同理，对这 5 个指标进行分析，得到各个特征的影响系数，然后与其数据进行相乘，再对结果进行标准化，得到四种放牧强度对应的土壤板结化指数，结果如表 8 所示。

Table 7. Soil moisture values at different grazing intensities
表 7. 不同放牧强度下的土壤湿度值

指标	10 cm	20 cm	30 cm	40 cm
对照 NG	16.47	5.69	22.15	2.00
轻度 LGI	17.88	5.16	23.04	2.23
中度 MGI	13.94	4.61	18.55	1.91
重度 HGI	15.67	7.36	23.03	1.87

Table 8. Soil consolidation index for different grazing intensities
表 8. 不同放牧强度对应的土壤板结化指数

放牧强度	板结化指数
对照 NG	0.68
轻度 LGI	0.54
中度 MGI	0.41
重度 HGI	0.36

3.3. 放牧策略模型的确定

将四种放牧强度对土壤沙漠化和土壤板结化进行加权求和, 结果如表 9 所示。

Table 9. Weighted indices corresponding to different grazing intensities
表 9. 不同放牧强度对应的加权指数

放牧强度	加权指数
对照 NG	1.54
轻度 LGI	1.33
中度 MGI	1.14
重度 HGI	1.18

从表 9 可知: 中度 MGI 放牧强度对应的沙漠化程度指数与板结化程度指数的加权和是最小的; 结合上述 2.2.2 中的不同放牧策略对草原土壤物理性质和植被生物量影响的模型可知, 中度放牧强度时应该采用选择划区轮牧的放牧方式。最后得出结论: 采用中度放牧强度—选择划区轮牧的方式, 可以使得该地区沙漠化程度指数与板结化程度最小, 即为最优的放牧策略。

4. 结论与建议

本文采用逻辑回归法和层次分析法建立了不同放牧策略(放牧方式和放牧强度)对锡林郭勒草原土壤物理性质和植被生物量影响的数学模型。基于逻辑回归法建立放牧强度与草原土壤物理性质和植被生物量关系模型, 然后基于层次分析法建立指标体系分析草原的放牧强度等因素确定放牧方式, 得到放牧强度和放牧方式的具体关系为: 全年连续放牧适合对照放牧强度, 禁牧适合重度放牧强度, 选择划分轮牧应选择中度放牧强度, 轻度放牧适合各种放牧强度, 生长季休牧应选择轻度放牧强度。

并且建立了土壤沙漠化模型和土壤板结化的模型, 确定了不同放牧强度下的沙漠化程度指数值和板结化指数, 找到了最优的放牧策略为中度放牧强度——选择划区轮牧的方式, 该策略使得沙漠化程度指数与板结化程度最小。

由于数据样本数有限, 考虑到的因素可能不是很全面, 对结果有一定的影响, 后续可以进一步研究。本文所提到的方法模型能够为相关人员优化草原放牧策略, 更好地保护草原生态环境提供参考, 具备一定的研究意义。

参考文献

- [1] 徐智超, 祁瑜, 梅宝玲, 等. 放牧方式对人工草地植被生物量及碳密度的影响[J]. 内蒙古农业科技, 2018, 46(4): 110-117.

-
- [2] 刘亚军. 不同放牧强度对坝上草地植被和土壤理化性质的影响[D]: [硕士学位论文]. 保定: 河北农业大学, 2009.
- [3] 李颖, 龚吉蕊, 刘敏, 侯向阳, 丁勇, 杨波, 张子荷, 王彪, 朱趁趁. 不同放牧强度下内蒙古温带典型草原优势种植物防御策略[J]. 植物生态学报, 2020, 44(6): 642-653.
- [4] 何源, 李星锐, 杨晓帆, 等. 内蒙古锡林郭勒盟典型草原固碳量及固碳潜力估算[J]. 草地学报, 2021(10): 2274-2285.
- [5] 徐新影, 张卫青, 李金霞, 等. 克氏针茅(*Stipa krylovii*)草原土壤与优势植物碳氮含量对放牧强度的响应[J]. 草地学报, 2022, 30(9): 2255-2263.
- [6] 郭振宁, 孙世贤, 擅建国, 等. 放牧强度对荒漠草原土壤含水量及群落特征的影响[J]. 中国草地学报, 2022, 44(6): 27-35.
- [7] 陈瑜, 潮洛濛, 周延林, 等. 放牧强度对内蒙古温性草甸草原土壤碳、氮及其转化的影响[J]. 中国草地学报, 2022(2): 24-32.
- [8] 许学敏. 层次分析法在太阳镜产品质量评价中的应用[J]. 中国标准化, 2019(2): 158-159.
- [9] 孟现勇, 刘志辉, 李诚志, 蔡磊, 刘敦利. 基于栅格尺度的沙漠化预警模型研究——以塔里木河下游中段区域为例[J]. 中国沙漠, 2013, 33(1): 24-32.
- [10] 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.