

基于放牧时空轨迹的天然草地利用评估模型

汪传建^{1,2} 江红红^{1,2} 鲁为华³ 张雅^{1,2} 孙世泽^{1,2} 李冬^{1,2}

(1. 石河子大学信息科学与技术学院, 石河子 832000; 2. 兵团空间信息工程技术研究中心, 石河子 832000;

3. 石河子大学动物科技学院, 石河子 832003)

摘要: 为了快速大范围获取草地利用情况,提出了一种基于放牧时空轨迹的天然草地利用评估模型。该模型根据牧群的放牧轨迹数据集,利用网格分析法计算牧群采食强度,通过模糊数学中的降半梯形、升半梯形及中间对称型分布,建立简单隶属函数对采食强度进行识别,进而获得草地利用分布情况以及不同利用强度下的草地有效利用面积。以2015年和2016年为实例,对新疆生产建设兵团农八师一五一团紫泥泉牧场草地利用情况进行估算,并对模型进行验证,模型精度达86.67%。结果表明,该评估模型能较好地反映草地利用情况;2015年和2016年研究区均有45%以上的草地未被利用,仅有3.7%左右的草地被适度利用;在被利用的草地中,2015年7月,76.53%的草地利用较差,仅有4.77%的草地利用较好;2016年7月,48.84%的草地利用较差,11.92%的草地利用较好。

关键词: 草地; 利用情况; 轨迹; 采食强度; 定量; 模糊识别

中图分类号: S127 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2018)08-0181-06

Evaluation Model for Natural Grassland Utilization Based on Spatio-temporal Trajectory of Grazing Livestock

WANG Chuanjian^{1,2} JIANG Honghong^{1,2} LU Weihua³ ZHANG Ya^{1,2} SUN Shize^{1,2} LI Dong^{1,2}

(1. College of Information Science and Technology, Shihezi University, Shihezi 832000, China

2. Geospatial Information Engineering Research Center, Xinjiang Production and Construction Corps, Shihezi 832000, China

3. College of Animal Science and Technology, Shihezi University, Shihezi 832003, China)

Abstract: Grasslands are important ecological barriers and livestock production base. The study on the spatial distribution of grassland utilization and the effective use of grassland was of great significance for the rational planning of grassland and the sustainable utilization of grassland. To obtain the grassland utilization on a large scale, a natural grassland utilization evaluation model based on the temporal and spatial trajectories of grazing was proposed. In order to quantify grazing pressure, a feeding intensities (FI) map was created by using a grid cell method with the tracking data recorded by the global positioning system (GPS), because GPS can collect information in real time. In addition, feeding intensities were divided by fuzzy mathematics. So far, there was no standard for dividing the use of grassland, and different areas and types of grassland utilization cannot find the exact classification criteria. If it was strictly classified according to the classification interval, it would cause the boundary too rigid between the intervals. Therefore, fuzzy mathematics was used to evaluate grassland utilization. A simple membership function was established based on the lower semi-trapezoid distribution function, the semi-trapezoid distribution function and the middle symmetrical distribution in fuzzy mathematics, and the maximum membership degree principle were applied to determine grassland utilization. Therefore, the grassland utilization and the effective utilization area of grassland were obtained. Taking pasture of the 151 regiments of the Eighth Agricultural Division of Xinjiang and Construction Corps in 2015 and 2016 as an example, the grassland utilization was estimated, and the precision of the model was 86.67%. The result showed that the evaluation model could reflect the utilization of grassland better. More than 45% of the grassland was not used, and only about 3.7% of the grassland was used moderately. In the used meadows, in July 2015, the poor utilization of grassland accounted for 76.53%, and the good utilization

收稿日期: 2018-01-29 修回日期: 2018-03-02

基金项目: 国家自然科学基金项目(41461088)

作者简介: 汪传建(1977—),男,副教授,主要从事时空数据挖掘、时空数据安全及应用研究, E-mail: wcj_inf@shzu.edu.cn

of grassland only accounted for 4.77%. In July 2016, the poor utilization of grassland was 48.84%, and the good utilization of grassland only accounted for 11.92%. The model provided a scientific basis for the relevant departments on monitoring the utilization of grassland.

Key words: grassland; utilization; trajectory; grazing intensity; quantitative; fuzzy recognition

0 引言

草地是重要的生态屏障,也是畜牧业发展的基础。我国现有天然草地总面积约4亿 hm^2 ,其中90%的草地出现不同程度的退化^[1]。新疆是中国的五大天然牧场之一,草地资源丰富,然而80%以上的天然草地出现了不同程度的退化^[2],而长期过度放牧是导致草地退化的主要原因之一^[3]。因此,及时、准确地获取畜群对草地的利用情况,对有效管理草地畜牧业和保护草地具有重要意义。

近年来,国内外相关学者对草地利用情况进行大量研究。DENGLER^[4]、KAWAMURA等^[5]利用全球定位系统(Global positioning system, GPS)设备以一定时间间隔记录牧群的放牧轨迹,通过网格法计算每个单元格内的畜群数,以此得到放牧强度分布;汪传建等^[6]通过GPS设备记录牧群的轨迹信息,然后采用缓冲区和网格分析法获得放牧分布情况,结合模拟采食法,利用网格叠加获得采食量分布;谢芮等^[7]、王梦佳等^[8]和LI等^[9]通过遥感影像数据计算放牧强度;地上生物量与草地利用状况密切相关^[10],基于遥感数据估算草地生物量^[11-15]可大范围定量监测草地产量;XIE等^[16]利用人工神经网络和多元线性回归两种模型来评估内蒙古草地地上生物量;王新云等^[17]利用雷达数据和HJ1B数据,并结合野外实测生物量,估算荒漠草原地上生物量;ZHANG等^[18]将高时间分辨率的MODIS与中空间分辨率的Landsat数据融合,提出了一种高时空分辨率的合成归一化植被指数(Normalized difference vegetation index, NDVI)时间序列,进而估算地上生物量;FRANKE等^[19]利用遥感技术评估草地利用强度;朱桂林等^[20]研究放牧条件下草地植物的单枝重和分蘖情况,建立了草地合理利用的判别模型。以上研究在一定程度上反映了草地的利用情况,而对草地的有效利用面积及草地利用的空间分布情况相关研究甚少。

本文在采集GPS牧群轨迹数据的基础上,提出一种基于放牧时空轨迹的天然草地利用评估模型,通过GPS实时获取牧群轨迹,利用地理信息系统(Geographic information system, GIS)中的网格分析法计算畜群的采食强度,并依据模糊数学建立简单隶属函数模型,利用最大隶属度原则确定不同采食

强度下草地利用情况。

1 研究区与数据

1.1 研究区概况

研究区位于新疆生产建设兵团农八师一五一团紫泥泉牧场,其地理位置 $85^{\circ}46'15.06''\text{E}$, $44^{\circ}00'13.23''\text{N}$,如图1所示。该地区为低山丘陵区,平均海拔高度1000 m,属半干旱型气候,降水量240~380 mm。草地植被类型单一,群落类型为博洛塔绢蒿(*Seriphidium borotalense*)、针茅(*Stipa capillata*)及苔草(*Carex liparocarpos*)等,其中绢蒿为优势种,构成了温性荒漠化草地(土质荒漠亚类)。草层高度10~30 cm。畜群放牧时间从每年的4月到10月共7个月,每天放牧2次。放牧绵羊为新疆细毛羊共170只,放牧草地面积为864 hm^2 。研究区DEM数据来源于中国科学院计算机网络信息中心国际科学数据镜像网站(<http://www.gscloud.cn/>)。

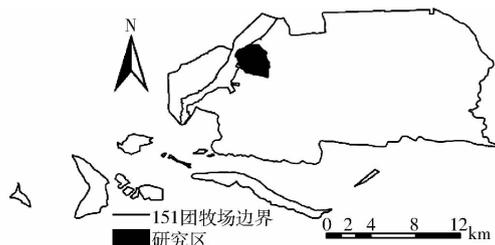


图1 研究区位置

Fig. 1 Location of study area

1.2 数据的获取与处理

在研究过程中,采用GPS项圈(GT03C型,深圳谷米)作为定位跟踪设备,定位误差小于10 m,机身尺寸为91.5 mm×57.0 mm×37.5 mm(长×宽×高),整机质量为202 g,记录时间间隔为3 min的工作模式下,可正常工作120 h。每次随机选择10只具有代表性的绵羊佩戴GPS项圈进行轨迹追踪。在综合考虑GPS轨迹数据与现实轨迹的拟合度以及GPS设备续航时间两大因素的情况下,将定位时间间隔设置为3 min。

轨迹数据采集时间为2015年7—10月、2016年4—9月、2017年4月至今。采集的轨迹数据被实时上传至服务器,上传的数据主要包括羊佩戴的设备ID、位置信息及发报时间等。

牧草采样时间为2015年7—10月、2016年4—9月、2017年4月至今,每月采样2次,每次采集

20~30 个样方。根据研究区群落类型的不同划分典型区域,研究区的典型区有 2 类,每个典型区设置 5~15 个 1 m×1 m 样方,用手持 GPS 定位仪记录样方所在经纬度,将样方内的植被齐地面剪下并对每个样方进行编号,分别测量各样方的生物量鲜质量,并将其置于干燥箱中干燥至恒定质量,称取每个样方的生物量干质量。

轨迹数据采用 ArcGIS 软件进行处理,处理步骤如下:①从数据库读取轨迹数据,利用创建 XY 事件图层工具使轨迹点进行显示。②通过擦除点工具将位于羊圈内无用轨迹点进行擦除。③分别对研究区及轨迹数据进行投影。④利用创建渔网工具对投影后的研究区进行处理。⑤将轨迹数据与网格化处理之后的研究区进行空间连接。⑥通过添加字段工具添加采食强度属性。⑦利用计算字段工具,计算每个单元格的采食强度。

2 草地利用评估模型

利用畜群的轨迹数据计算其在不同区域时的采食强度,建立隶属度函数并利用最大隶属度原则,对评估对象做出合理的评价,即畜群在不同区域对草地的利用情况。

2.1 评估模型的建立

针对如何评估草地的利用情况这一问题,本文选用利用强度作为评价指标,评判等级分为 3 级,确定模糊评语集为 $V = \{ \text{好, 中, 差} \}$,评语分别表示草地利用情况的程度。禁牧或极轻度放牧造成资源浪费,而极度放牧又会引起草地退化^[8],因此将采食强度超重以及禁牧或极轻度放牧情况下的草地利用等级归为差;适度放牧可促进牧草生长^[21],说明此种情况下草地利用较好;其余情况则为草地利用中等。

到目前为止对于草地的利用情况划分并没有给出一定的标准,而且不同地区不同类型的草地利用情况无法找出精确的分类标准,若是严格按照分类区间进行划分,会造成区间之间界限过于生硬,因此本文采用模糊数学对草地利用情况进行评估。模糊识别借助模糊数学的隶属度理论把定性评价转换为定量评价,能对蕴藏的模糊性信息做出比较科学、合理、贴近实际的量化评价。

在实际应用中对某一因素的评价往往难以以数学形式进行表达。模糊数学中通常采用专家打分法确定隶属函数。本文主要依据模糊数学中的降半梯形、升半梯形及中间对称型建立简单隶属函数模型,使之与实际情况尽可能相符。以采食强度作为论域,给出“差”、“中”、“好”3 个模糊集的隶属函数,简化模型如下:

将草地利用情况较差的分为两种不同的隶属函数(一种是畜群对草地利用较轻,一种为对草地利用较重)。

(1) 降半梯形分布,其隶属函数为

$$\mu_{11}(x) = \begin{cases} 1 & (x < b_1) \\ \frac{b_2 - x}{b_2 - b_1} & (b_1 \leq x \leq b_2) \\ 0 & (x > b_2) \end{cases} \quad (1)$$

(2) 升半梯形分布,其隶属函数为

$$\mu_{12}(x) = \begin{cases} 0 & (x < b_4) \\ \frac{-b_4 - x}{b_5 - b_4} & (b_4 \leq x \leq b_5) \\ 1 & (x > b_5) \end{cases} \quad (2)$$

草地利用适中以及利用较好的情况均采用中间对称型分布,其隶属函数为

$$\mu_{21}(x) = \begin{cases} \frac{x - b_1}{b_2 - b_1} & (b_1 \leq x \leq b_2) \\ \frac{b_3 - x}{b_3 - b_2} & (b_2 < x \leq b_3) \end{cases} \quad (3)$$

$$\mu_{22}(x) = \begin{cases} \frac{x - b_3}{b_4 - b_3} & (b_3 \leq x \leq b_4) \\ \frac{b_5 - x}{b_5 - b_4} & (b_4 < x \leq b_5) \end{cases} \quad (4)$$

$$\mu_3(x) = \begin{cases} \frac{x - b_2}{b_3 - b_2} & (b_2 \leq x \leq b_3) \\ \frac{b_4 - x}{b_4 - b_3} & (b_3 < x \leq b_4) \end{cases} \quad (5)$$

式中 b_i ——不同采食强度的边界, $i = 1, 2, \dots, 5$
 x ——采食强度, g/m^2

其隶属函数如图 2 所示。其中 $(0, b_1)$ 为基本没有采食, (b_1, b_2) 为轻度采食, (b_2, b_3) 为中度采食, (b_3, b_4) 为重度采食, (b_4, b_5) 为超重采食。根据模糊识别中的最大隶属度原则,通过

$$\max(\mu_{11}(x), \mu_{12}(x), \mu_{21}(x), \mu_{22}(x), \mu_3(x))$$

可得在不同采食强度下草地的利用情况。

根据 NY/T 635—2015 天然草地合理载畜量的计算,研究区 2015 年及 2016 年草地合理载畜量分

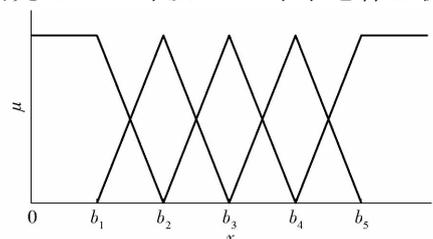


图 2 隶属函数

Fig. 2 Membership function

别为 0.427、0.524 羊单位/hm²,由此可得研究区整个畜群在 2015 年和 2016 年的合理采食强度分别为 15、18 g/m²。

2.2 采食强度的计算

草地的利用与畜群采食情况紧密相关。为了评估研究区的草地利用情况,需对畜群的放牧情况进行监控。在假设畜群日采食量无明显差异的情况下,根据畜群的轨迹数据集,从研究区的不同区域提取采食强度,则日采食强度为

$$I = \frac{F \sum C_i}{S} \quad (6)$$

式中 I ——日采食强度, g/m²

F ——畜群的日采食总量, g

C_i ——某天第 i 个单元格内的 GPS 轨迹点数

$\sum C_i$ ——某天研究区总的 GPS 轨迹点数

S ——单元格面积, m²

根据需求选取单元格面积,本文单元格面积在选取时以畜群总头数为依据,鉴于一头羊体长约 1 m,假设一头羊占地 1 m²,畜群总头数开方并向上取整,可得单元格的边长,以本研究区为例,共 170 头羊,则单元格边长为 14 m。

考虑到在实际应用中,放牧是阶段性的,对草地

的利用也是阶段性的,为了评估一段时间内畜群对草地的采食情况,其计算公式为

$$\sum I = \frac{FN \sum A_i}{S} \quad (7)$$

式中 $\sum I$ ——畜群 N 天的采食强度, g/m²

A_i ——畜群采食 N 天第 i 个单元格内的 GPS 轨迹点数

$\sum A_i$ ——畜群采食 N 天研究区总的 GPS 轨迹点数

3 试验结果与分析

采用 ArcGIS 软件,利用上述建立的草地利用评估模型,对研究区 2015—2017 年的轨迹数据进行处理,并对处理后的数据进行分类统计,获得研究区的草地利用情况分布图以及草地的有效利用面积。根据实际放牧情况与野外实测牧草生物量变化之间的关系,对模型进行验证。

3.1 研究区草地利用情况分布

根据已有的采食强度,在 ArcGIS 中,对已处理过的轨迹数据集,利用隶属函数识别不同区域草地的利用情况。为了使草地利用等级中部分成因更加直观,将草地等级差,细分为未利用、差 0 (利用较

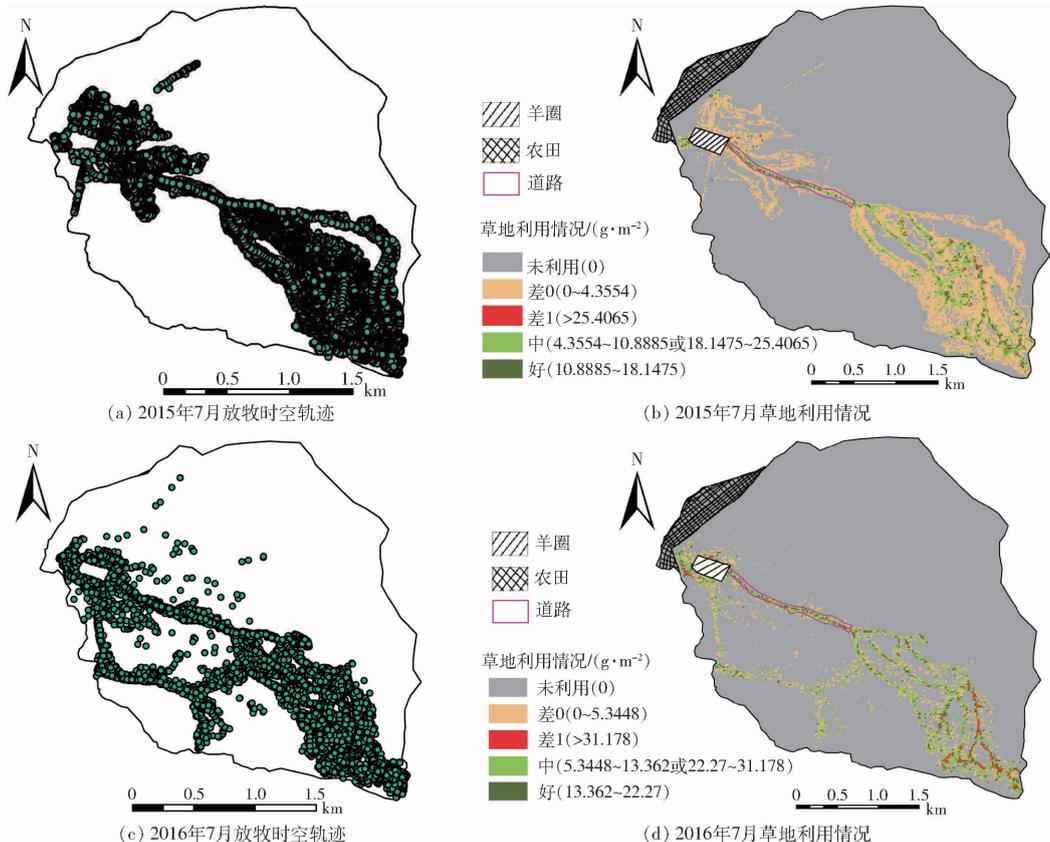


图3 2015年7月和2016年7月研究区草地利用情况分布

Fig.3 Distribution maps of grassland utilization in study area in July 2015 and July 2016

轻)、差 1(利用较重)。以 2015 年及 2016 年为例,结果如图 3 和图 4 所示。对图 3b、3d 及图 4 所得数据进行统计可得研究区草地在不同利用情况下的面积及所占比例,如表 1 所示。由表 1 可知,2015 年及 2016 年草地未利用及极轻度利用占研究区总面积的 80% 以上,表明研究区未进行采食的草地面积较大;2015 年和 2016 年过度放牧面积分别占研究区总面积的 1.50% 和 3.82%,2016 年较 2015 年放牧过度呈上升趋势。2015 年 7 月与 2016 年 7 月分别仅有 0.81%、1.19% 的草地利用较好。由表 1 计算可得,在被利用的草地中,2015 年 7 月 76.53% 的草地利用较差,仅有 4.77% 的草地利用较好;2016 年 7 月 48.84% 的草地利用较差,11.92% 的草地利用较好。

由图 3 可知,7 月牧群主要在研究区的东南方进行采食,西北角为羊圈所在地,羊群从西北向东南采食过程中,从羊圈出发,经河道,在中部时通过 3

条不同路径进行采食。从图 3 轨迹数据可以看出,轨迹中存在一些异常点,结合实际情况可以发现这些点的产生主要是由于羊离群采食或设备故障导致的。通过 2015 年 7 月与 2016 年 7 月的草地利用情况分布图(图 3b 和图 3d)对比,可以看出 2016 年 7 月草地过度放牧情况加剧。

图 4 为 2015 年和 2016 年研究区草地利用分布情况,由图 4 可以看出,羊圈(西北角)的东南方向的部分区域草地利用较差,在图 4b 中西南方向同样有一段草地利用较差,造成这些区域草地利用差的主要原因是该路段地势平坦位于山谷中,是畜群出羊圈之后经常活动的区域。对比图 4a、4b 可以发现,畜群的主要采食区域由东南向西南转移。同时对图 3a、3c 可以发现,2015 年 7 月和 2016 年 7 月的放牧轨迹整体情况具有一定共同性,结合研究区的实际情况可知,出现这些情况与人为规划有很大联系。

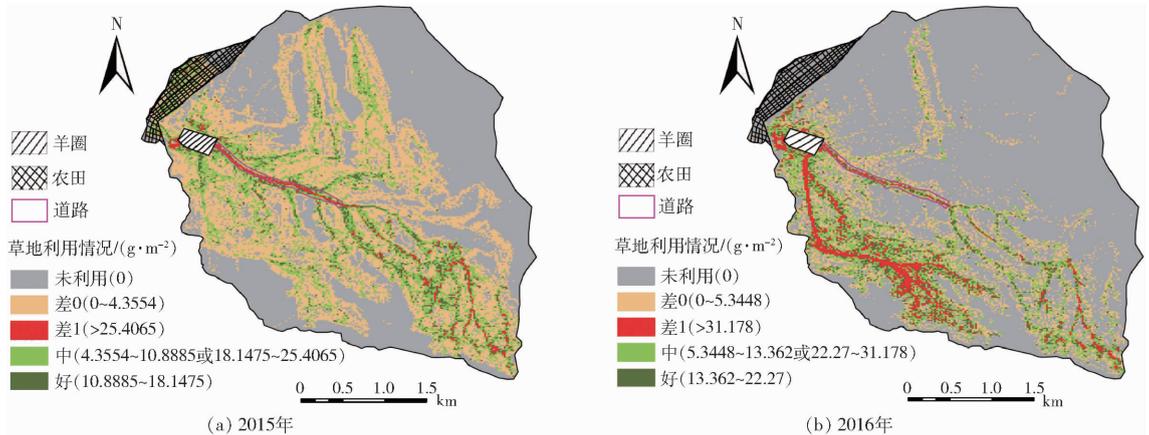


图 4 2015 年和 2016 年研究区草地利用情况分布

Fig. 4 Grassland utilization distribution maps in study area in 2015 and 2016

表 1 草地在不同利用情况下的面积及分布

Tab. 1 Area and distribution of different land uses in grassland

时间	未利用		差 0		差 1		中		好	
	面积/ (196 m ²)	比例/ %								
2015 年 7 月	36 952	83.12	5 656	12.72	88	0.20	1 403	3.16	358	0.81
2016 年 7 月	40 004	89.98	1 935	4.35	240	0.54	1 747	3.93	531	1.19
2015 年	20 451	46.00	15 738	35.40	667	1.50	5 979	13.45	1 622	3.65
2016 年	30 524	68.66	6 294	14.16	1 697	3.82	4 223	9.50	1 719	3.87

3.2 模型验证

利用研究区采样点的生物量变化验证模型的准确率。随机选取研究区 2015 年 6 月末与 7 月初以及 7 月末与 8 月初的数据,并将同一区域中的剩余生物量做差,即得 2015 年 7 月采样点的生物量变化,同理可以得到 2016 年 7 月采样点生物量变化,分别将每月的采样点生物量的变化量按照由高到底划分为 5 个等级,并将这 5 个等级与 3.1 节中根据

模型计算所得的 2015 年 7 月及 2016 年 7 月研究区草地利用分布情况进行对比,可得与模型结果相对应的采样点数占总样本数的 86.67%,即为草地利用评估模型准确率。

4 结论

(1) 基于模糊数学中的模糊识别原理,根据畜群放牧轨迹,通过牧群采食强度,对草地利用情况进

行定量评价,可及时准确获取大范围草地利用的空间分布及有效利用面积。

(2)所提出的模型验证方法不同于文献[6]中的采食量的验证方法,主要强调畜群采食中草地生物量的变化,而不是牧草的剩余量,使其与研究目的——草地利用情况更贴切,验证结果表明,评估模

型准确率达86.67%。

(3)利用本文方法计算不同区域畜群的采食情况,借助得到的不同区域的草地利用情况,对牧民的放牧行为进行合理规划,逐区采食,轮回利用,使过度利用的草地得以修整,合理均衡利用草地资源,进而提高草地生产力,实现草地的可持续利用。

参 考 文 献

- 1 钱拴,毛留喜,侯英雨,等. 青藏高原载畜能力及草畜平衡状况研究[J]. 自然资源学报, 2007, 22(3):389-397.
QIAN Shuan, MAO Liuxi, HOU Yingyu, et al. Livestock carrying capacity and balance between carrying capacity of grassland with added forage and actual livestock in the Qinghai-Tibet Plateau[J]. Journal of Natural Resources, 2007, 22(3):389-397. (in Chinese)
- 2 贾宏涛. 新疆退化草地围封的生态效应分析[D]. 乌鲁木齐:新疆农业大学, 2007.
JIA Hongtao. Ecological effect analysis of degraded grassland fencing in Xinjiang[D]. Urumqi: Xinjiang Agricultural University, 2007. (in Chinese)
- 3 杨汝荣. 我国西部草地退化原因及可持续发展分析[J]. 草业科学, 2002, 19(1):23-27.
- 4 DENGLER J. Analysis of GPS trajectories to assess goat grazing pattern and intensity in Southern Morocco[J]. Rangeland Journal, 2012, 34(4):415-427.
- 5 KAWAMURA K, AKIYAMA T, YOKOTA H O, et al. Quantifying grazing intensities using geographic information systems and satellite remote sensing in the Xilingol steppe region, Inner Mongolia, China[J]. Agriculture Ecosystems & Environment, 2005, 107(1):83-93.
- 6 汪传建,王伟强,鲁为华,等. 基于放牧时空轨迹数据的牧群采食量分布模型[J]. 农业工程学报, 2016, 32(13):125-130.
WANG Chuanjian, WANG Weiqiang, LU Weihua, et al. Feed intake distribution model for herd based on grazing spatio-temporal trajectory data[J]. Transactions of the CSAE, 2016, 32(13):125-130. (in Chinese)
- 7 谢芮,吴秀芹. 内蒙古草地放牧强度遥感估测[J]. 北京大学学报(自然科学版), 2014, 50(5):919-924.
XIE Rui, WU Xiuqin. Estimating grazing of Inner Mongolia grassland by using remote sensing method[J]. Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis, 2014, 50(5):919-924. (in Chinese)
- 8 王梦佳,孙睿,刘喆,等. 基于遥感数据的呼伦贝尔草原放牧强度研究[J]. 草业学报, 2017, 26(6):28-36.
WANG Mengjia, SUN Rui, LIU Zhe, et al. A study of grazing intensity in the Hulunbuir grasslands using remote sensing[J]. Acta Prataculturae Sinica, 2017, 26(6):28-36. (in Chinese)
- 9 LI F, ZHENG J, WANG H, et al. Mapping grazing intensity using remote sensing in the Xilingol steppe region, Inner Mongolia, China[J]. Remote Sensing Letters, 2016, 7(4):328-337.
- 10 张艳楠. 典型草原放牧强度遥感估测——以白音锡勒牧场为例[D]. 呼和浩特:内蒙古大学, 2011.
ZHANG Yannan. A remote sensing method of estimating grazing intensity of a typical steppe—the case study of Baiyinxile Ranch in Inner Mongolia[D]. Huhhot: Inner Mongolia University, 2011. (in Chinese)
- 11 JIA W, LIU M, YANG Y, et al. Estimation and uncertainty analyses of grassland biomass in Northern China: comparison of multiple remote sensing data sources and modeling approaches[J]. Ecological Indicators, 2016, 60(60):1031-1040.
- 12 YU L, ZHOU L, LIU W, et al. Using remote sensing and GIS technologies to estimate grass yield and livestock carrying capacity of alpine grasslands in Golog Prefecture, China[J]. Pedosphere, 2010, 20(3):342-351.
- 13 XU B, YANG X C, TAO W G, et al. MODIS-based remote sensing monitoring of grass production in China[J]. International Journal of Remote Sensing, 2008, 29(17-18):5313-5327.
- 14 除多,德吉央宗,普布次仁,等. 藏北草地地上生物量及遥感监测模型研究[J]. 自然资源学报, 2013, 28(11):2000-2011.
CHU Duo, DEJI Yangzong, PUBU Ciren, et al. Aboveground biomass in the North Tibet and estimate model using remote sensing data[J]. Journal of Natural Resources, 2013, 28(11):2000-2011. (in Chinese)
- 15 杨柳,孙金华,冯仲科,等. 基于 PSO-LSSVM 的森林地上生物量估测模型[J/OL]. 农业机械学报, 2016, 47(8):273-279. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?file_no=20160836&flag=1. DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2016.08.036.
YANG Liu, SUN Jinhua, FENG Zhongke, et al. Estimation model of forest above-ground biomass based on PSO-LSSVM[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2016, 47(8):273-279. (in Chinese)
- 16 XIE Y, SHA Z, MEI Y, et al. A comparison of two models with Landsat data for estimating above ground grassland biomass in Inner Mongolia, China[J]. Ecological Modelling, 2009, 220(15):1810-1818.
- 17 王新云,郭艺歌,何杰. 基于多元遥感数据的草地生物量估算方法[J]. 农业工程学报, 2014, 30(11):159-166.
- 18 ZHANG B, ZHANG L, XIE D, et al. Application of synthetic NDVI time series blended from Landsat and MODIS data for grassland biomass estimation[J]. Remote Sensing, 2016, 8(1):10.
- 19 FRANKE J, KEUCK V, SIEGERT F. Assessment of grassland use intensity by remote sensing to support conservation schemes[J]. Journal for Nature Conservation, 2012, 20(3):125-134.
- 20 朱桂林,卫智军,韩国栋,等. 天然草地合理利用的判别模型研究[J]. 生态学报, 2004, 24(3):464-468.
ZHU Guilin, WEI Zhijun, HAN Guodong, et al. Researches on judging model for reasonable utilization of rangelands[J]. Acta Ecologica Sinica, 2004, 24(3):464-468. (in Chinese)
- 21 LUO G, HAN Q, ZHOU D, et al. Moderate grazing can promote aboveground primary production of grassland under water stress[J]. Ecological Complexity, 2012, 11(3):126-136.