

基于 GPS 与无人机遥感反演草地生物量的放牧场利用强度评估

汪传建, 江红红, 尹小君, 孙世泽, 张 雅, 李 冬

(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)

摘 要: 天然草地是放牧畜牧业生产赖以生存的物质基础。为了评估天然草地利用情况, 该文通过 GPS 获取牧群采食轨迹数据来估算采食强度, 利用无人机遥感估算模型反演草地生物量的时空分布, 将畜群采食强度与天然草地生物量进行融合, 探索不同区域畜群的采食强度与草地生物量; 分别将采食强度与生物量分类进行对比, 根据两者的取值情况, 获得各区域草地的利用情况, 采食强度与天然草地生物量分类满足以下关系可得草地利用情况: 若两者等级相等, 则草地利用适中; 若前者等级大于后者, 则草地过度利用; 若前者等级小于后者, 则草地轻度利用。以新疆生产建设兵团第八师一五一团紫泥泉牧场为例, 对研究区进行监测评估。结果表明, 研究区中区域 3 被合理利用的草地面积最大, 为 612 m², 其他区域草地被不合理利用的面积占所在区域面积的 50% 以上。该方法对合理利用草地, 实行划区轮牧, 促进畜牧业健康发展具有重要意义。

关键词: 无人机; 遥感; 植被; 放牧轨迹; 利用强度; 评估

doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.2018.19.011

中图分类号: TP79

文献标志码: A

文章编号: 1002-6819(2018)-19-0082-06

汪传建, 江红红, 尹小君, 孙世泽, 张 雅, 李 冬. 基于 GPS 与无人机遥感反演草地生物量的放牧场利用强度评估[J].

农业工程学报, 2018, 34(19): 82—87. doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.2018.19.011 <http://www.tcsae.org>

Wang Chuanjian, Jiang Honghong, Yin Xiaojun, Sun Shize, Zhang Ya, Li Dong. Evaluation for natural grassland utilization intensity based on GPS and UAV remote sensing for grassland biomass inversion[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2018, 34(19): 82—87. (in Chinese with English abstract)

doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.2018.19.011 <http://www.tcsae.org>

0 引 言

草地是地球上最重要的陆地生态系统之一, 在生态环境保护中举足轻重。放牧是天然草地利用的主要方式之一^[1], 对生态系统的可持续发展起着重要作用^[2], 但由于中国对天然草地缺乏有效管理, 草地承载力低, 超载现象严重, 平均超载率为 20%^[3]。长期过度放牧导致草地退化严重^[4], 因此, 及时、准确掌握草地利用情况, 并对草地利用进行合理规划显得尤为重要。

放牧是天然草地最主要的利用方式之一^[1], 通过 GPS(global positioning system)轨迹数据可获得放牧行为的时空演变模式, 进而间接反映草地利用情况。Schlecht 等^[5]使用 GPS 设备记录牛的轨迹数据, 并结合放牧行为(行走、休息和放牧)的实际观测数据, 利用线性判别函数对牛的行为进行识别。Henkin 等^[6]为了研究丘陵地区牛的觅食行为, 利用 GPS 记录轨迹数据, 发现平坦地区放牧压力高于其他地区。Amir 等^[7]以以色列北部内盖夫的半干旱地区为研究区, 利用空间分析技术与协方差分析方法, 分析了牧群的行走速度, 得出羊群的运动速度受畜圈距离的影响, 当距离畜圈最大或最小时行走速度最快; 且坡度也影响羊的速度, 随着坡度的增大而减

小。Dengler 等^[8-9]利用 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^[10]以 GPS 设备记录牧群的轨迹信息, 通过缓冲区和网格分析法获得放牧分布情况, 结合模拟采食法, 利用网格叠加获得牧群采食量分布。

天然草地是发展草地畜牧业的基础, 草地生物量是草地资源合理利用的重要依据^[11-12]。国内外学者利用遥感估算模型反演草地草量的时空分布, 以此推断草地的利用情况。Zhang 等^[13]将高时间分辨率的 MODIS 和中空间分辨率的 Landsat 数据融合, 提出了一种高时空分辨率的合成 NDVI 时间序列, 进而估算地上生物量。王新云等^[14]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; Yu 等^[15]通过 MODIS 和地理空间数据估算青海果洛藏族自治州草地生物量以及载畜量。无人机遥感因其低成本、高时效、高时空分辨率的特点^[16-17], 已被应用于畜牧业以实现草地生物量进行无人机遥感估产。与传统的卫星遥感相比, 无人机遥感具有云下低空飞行的能力, 弥补了卫星遥感受云层遮挡而获取不到影像的缺陷^[18-19], 即利用无人机遥感可实时获取草地生物量。孙世泽等^[20-21]利用多旋翼无人机获取的影像, 结合地面实测数据, 建立天然草地生物量估算模型。

天然草地利用过程是放牧行为与植被生长不断交互作用的过程, 通过畜群对牧草进行采食及草地的自我生长, 以畜群与草地之间的供求关系来反映草地的利用情

收稿日期: 2018-04-03 修订日期: 2018-07-30

基金项目: 国家重点研发计划(2017YFB0504203); 国家自然科学基金(41461088); 兵团空间信息创新团队(2016AB001)

作者简介: 汪传建, 副教授, 博士, 主要从事时空数据挖掘、时空数据安全技术及应用的研究。Email: wcj_inf@shzu.edu.cn

况。本文综合考虑天然草地植被和放牧过程 2 种因素对天然草地利用的交互影响, 利用 GPS 定位设备作为实时放牧数据的获取工具, 通过研究放牧时空轨迹数据, 获取畜群采食行为的时空演变模式, 结合现有天然草地产草量无人机遥感估测模型获取天然草地植被生长情况, 然后将畜群的采食量和天然草地产草量进行融合, 根据两者分类后的取值来评估天然草地利用情况。对天然草地利用进行评估, 以促进草地资源的合理利用、保证畜牧业的可持续发展, 为畜牧管理部门实施牧场建设提供决策依据。

1 研究区概况

研究区位于新疆生产建设兵团第八师一五一团紫泥泉内。其地理位置为 $85^{\circ}46'15.06''\text{E}$, $44^{\circ}00'13.23''\text{N}$, 其分布面积约 864.867 hm^2 。该地区为低山丘陵区, 平均海拔高度 $1\ 000\text{ m}$, 属半干旱型气候, 年降水量 $240\sim 380\text{ mm}$ 。草地植被类型单一, 群落类型为博洛塔绢蒿、针茅及苔草等, 其中绢蒿为优势种, 构成了温性荒漠化草地(土质荒漠亚类)。畜群放牧时间从每年的 4 月份到 10 月份共 7 个月, 牧场内无饮水设施。在放牧期间, 放牧开始是将羊群赶入牧场并由牧民跟随管理, 结束时赶回畜圈, 每日放牧分 2 个时间段, 分别为 $8:00\sim 11:30$ 与 $18:00\sim 21:00$ 左右。放牧绵羊为新疆细毛羊共 170 只。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/>)

2 数据获取与处理

2.1 轨迹数据的获取与处理

本文采用 GPS 项圈(GT03C, 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 $91.5\text{ mm}\times 57.0\text{ mm}\times 37.5\text{ mm}$ (长 \times 宽 \times 高), 设备整机质量为 202 g , Hullbert 等^[22]研究表明 GPS 设备的质量与羊质量之比小于 2.2%时, 不会对羊的生理活动与进食速度造成影响。每次随机选取 10 只具有代表性的绵羊佩戴 GPS。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 , 在工作模式下, GPS 设备可正常工作 120 h 。定位数据采集时间为 2015 年 7—10 月, 2016 年 4—9 月, 2017 年 4—8 月。每个月采集 $8\sim 29\text{ d}$ 的 GPS 数据, 采集期间通过 GPRS (general packet radio service, 通用分组无线服务技术)将 GPS 数据实时上传到超越位置服务平台(Exlive)并存入 Microsoft SQL Server2008 数据库。相应的数据包括: 绵羊的设备 ID、经纬度信息、发送时间等。

GPS 数据采用每年开始放牧到无人机拍摄之前的所有数据。利用 ArcGIS 软件进行处理, 首先, 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。然后, 通过擦除点工具将位于羊圈内无用轨迹点进行擦除, 并分别对研究区及轨迹数据进行投影。其次, 利用创建渔网工具对投影后的研究区进行处理, 并与投影后的轨迹数据进行空间连接。最后, 通过添加字段工具添加采食强度属性, 利用计算字段工具, 计算每个单

元格的采食强度。

2.2 无人机多光谱影像数据的获取与处理

本研究利用大疆 Spreading Wing S1 000+八旋翼无人机搭载美国 Tetracam 公司生产的 Micro MCA12 Snap 多光谱相机作为传感器, 该传感器质量轻、体积小, 共 12 个波段, 每个波段配备 1.3 兆像素 CMOS 传感器, 光圈 $F3.2$, 焦距 9.6 mm , 图像分辨率为 $1\ 280\times 1\ 024$ 像素。为了满足后期影像处理的需求, 在航线规划过程中尽量增加重叠度, 本研究飞行过程中航向重叠率为 80% , 旁向重叠率为 60% 。无人机多光谱影像获取之后, 利用 Pix4D Mapper 软件进行拼接输出正射影像, 然后使用 ENVI 软件对其进行几何校正、反射率校正、裁剪等处理。

2.3 GPS 数据与无人机影像数据的融合

为了将 GPS 数据与无人机影像数据(也即采食强度与草地生物量)进行融合。首先, 利用要素转点工具将处理后的采食强度分布图, 从面要素转化为点要素, 并对采食强度进行分类; 然后, 将处理后的无人机多光谱影像(草地生物量)加载到 GIS (geographic information system, 地理信息系统)中, 利用多值提取至点工具, 将影像中的草地剩余生物量加载到采食强度表中; 其次, 根据地形数据利用坡向工具对已获得的数据进行阴阳坡划分^[23], 并将计算所得的研究区不同坡向的生物量数据进行合并; 最后, 对草地剩余生物量进行分类。

生物量主要通过无人机多光谱影像与地面实测数据进行相关性分析获得, 精度主要由无人机多光谱的空间分辨率决定, 无人机多光谱的空间分辨率为 0.04 m 。轨迹数据在计算时并不考虑 GPS 设备定位精度且其精度不受限制。由于创建渔网的输出要素类有最大要素数目 ($2\ 147\ 483\ 647$) 的限制, 所以针对整个研究区允许的最小网格面积为 $0.5\text{ m}\times 0.5\text{ m}$ 。若针对飞行区域进行研究, 则可通过裁剪研究区进一步减小网格面积, 即以多光谱影像的空间分辨率为最小网格边长。虽然此种方法提高了生物量的精度, 但是却导致采食强度在计算时每个格网中轨迹点数基本为 0, 影响试验结果, 故本文以整个研究区所能划分的最小网格单元为单位进行研究。

2.4 地上生物量的获取

地面数据采集在无人机拍摄结束后立即展开, 对于拍摄区采用坡上、坡中、坡下等间距随机采样, 设置 $1\text{ m}\times 1\text{ m}$ 的样方, 共 60 个, 用手持 GPS 定位仪记录样方所在位置信息, 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湿质量, 并将其置于 $80\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的烘箱中 $24\sim 48\text{ h}$ 直到得到恒定的生物量, 最后, 称取每个样方的生物量干质量。地上生物量记录经纬度、海拔高度、时间、生物量的干湿质量等信息。

3 研究方法

本研究立足于“天然草地利用过程是放牧行为和植被生长相互作用的过程”这一主张, 借助 GPS 轨迹数据来研究放牧行为, 利用天然草地的无人机多光谱数据反演植被生物量, 提出融合 GPS 轨迹数据和无人机多光谱影像数据的天然草地利用评估方法。

3.1 草地利用评估方法

为了评估草地利用情况, 本文将畜群采食强度与草地生物量进行融合, 获取研究区任意区域的采食强度及其草地现存量, 根据自然间断点分级法具有对相似值进行最恰当地分组的特点, 利用 ArcGIS 中自带的自然间断点分级法对采食强度及产草量进行分类, 然后依据草地的补偿性生长原理, 若采食强度等级与生物量等级相等, 则草地利用适中, 若采食强度等级大于生物量等级, 则草地过度利用, 若采食强度等级小于生物量等级, 则草地轻度利用。草地利用情况 y 的基本函数形式如下

$$y=F(A, B, T)=\begin{cases} I_T > B_T, \text{过度利用} \\ I_T = B_T, \text{适度利用} \\ I_T < B_T, \text{轻度利用} \end{cases} \quad (1)$$

式中 A 为轨迹数据, B 为无人机遥感影像数据, T 为放牧周期, I_T 为采食强度分类等级, B_T 为生物量分类等级。

3.2 采食强度与生物量的计算

鉴于正常放牧情况下, 畜群日采食量无明显差异^[24], GPS 点所在位置即为畜群经过的采食区; GPS 点数越多, 说明采食强度越大。本文利用 GIS 中的创建渔网工具将研究区进行网格化处理, 然后根据每个网格中 GPS 点占研究区总的 GPS 点的比例, 计算畜群在每个区域的采食强度, 则不同区域的采食强度为

$$\sum FI = F \cdot T \cdot \frac{A_i}{\sum A_i} \cdot \frac{1}{S} \quad (2)$$

式中 $\sum FI$ 为畜群 T 天的采食强度, g/m^2 ; F 为畜群的日采食总量, g ; A_i 为畜群采食 T 天第 i 个单元格内的 GPS 轨迹点数; $\sum A_i$ 为畜群采食 T 天研究区总的 GPS 轨迹点数; S 为单元格面积, m^2 。

在高时空分辨率下准确地监测草地生物量对于草地生态农业利用的有效利用具有重要意义^[13]。孙世泽等^[20]利用无人机多光谱影像, 结合该研究区的实测地上草地生物量, 将坡向分为阴阳坡, 并利用 SPSS 软件, 运用回归分析法, 建立生物量和多种植被指数间的估算模型, 研究表明, 该研究区阴阳坡的草地生物量与比值植被指数 RVI 拟合效果较好 (阳坡 $R^2=0.89$, 阴坡 $R^2=0.907$), 草地生物量为

$$f(x)=\begin{cases} 2.659+12.583x, \text{阳坡} \\ 36.951+16.589x, \text{阴坡} \end{cases} \quad (3)$$

式中 x 为 RVI, $f(x)$ 为草地生物量。

$$RVI = \frac{\rho_{nir}}{\rho_{red}} \quad (4)$$

式中 ρ_{nir} 表示近红外波段反射率 (Band 10), ρ_{red} 表示红光波段反射率 (Band 5), RVI 为比值植被指数, 根据绿色健康植被覆盖地区的 RVI 远大于 1, 而无植被覆盖的地面 (裸地、人工建筑、水体、植被枯死或严重虫害) 的 RVI 在 1 附近, 植被的 RVI 通常大于 2, 所以本文中 RVI 取大于 2 的值。

4 结果与分析

本文采用 ArcGIS 软件, 利用上述建立的草地利用评

估方法, 对研究区的轨迹数据及无人机多光谱数据进行处理, 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。

4.1 草地利用情况分布

按照上述数据处理方法, 对研究区数据在 Pix4D Mapper 软件、ENVI 软件及 ArcGIS 中进行处理, 可得如图 1 所示结果。由图 1 可得, 阴阳坡草地被利用存在差异较大, 一般畜群在阴坡采食强度较大, 草地被利用的较为严重, 主要是由于坡向对植被生长产生影响; 阴坡太阳辐射柔和, 土壤较为湿润, 温度相对较低且水分蒸发量较少, 因此植被生长较好, 草地产草量较高; 而阳坡日照时间长, 水分蒸发量大, 土壤肥力较低, 草地产草量较低。由图 1 可得, 阴阳坡交界的区域草地被过度利用较为严重, 产生这种情况的主要原因是阴阳坡交界区地势平坦, 畜群喜欢在平坦的地方进行觅食, 此结果与王萨仁娜等^[25]的结论一致。由图 1a 可得, 在区域 1 畜群在阴坡对草地过度利用较多, 在阳坡部分区域产生过度利用的主要原因是该区域地势平坦为畜群喜食区。从图 1b 和 1c 可以看出, 在这 2 个区域中畜群在阴坡对草地过度利用比较严重, 适度利用较多, 轻度利用较少; 阳坡部分区域被过度利用, 少量区域被适度利用, 大部分区域被轻度利用。从图 1d 可知, 该区域草地被过度利用相对较少。

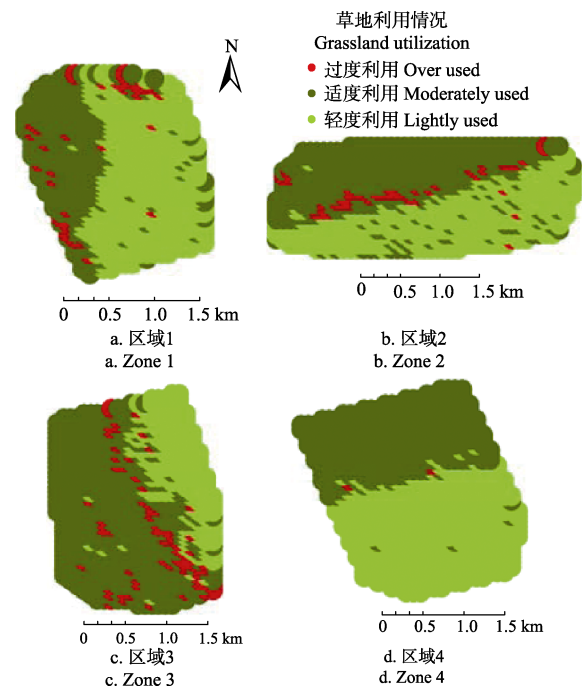


图 1 研究区草地利用情况分布

Fig.1 Grassland utilization distribution in study area

4.2 草地有效利用面积

对图 1 的数据进行统计, 可得表 1。由表 1 可得, 在研究区的不同区域草地利用情况存在差异。对比 4 个区域可以发现, 区域 1 草地利用适中的面积相对较少, 面积为 $286 m^2$, 所占比例为 36.53%。区域 3 草地利用适中的面积相对较多, 面积为 $612 m^2$, 占该区域总面积的

69.39%；草地被轻度利用的面积相对较少，为 202 m²，占该区域草地面积的 22.9%；草地被过度利用面积相对较多，有效利用面积为 68 m²，占该区域总面积的 7.71%。在区域 1 和区域 4 中，草地过度利用面积相对较少，分别为 33、2 m²，被轻度利用的草地面积较大，分别为 464 和 528 m²。

表 1 研究区草地有效利用面积及其在利用中所占比例
Table 1 Effective utilization area of grassland and its proportion in utilization area

区域 Zone	过度利用 Over used		利用适中 Moderately used		轻度利用 Lightly used	
	面积 Area/m ²	比例 Proportion /%	面积 Area/m ²	比例 Proportion /%	面积 Area/m ²	比例 Proportion /%
1	33	4.21	286	36.53	464	59.26
2	42	4.67	409	45.49	448	49.83
3	68	7.71	612	69.39	202	22.9
4	2	0.22	359	40.38	528	59.39

通过对表 1 中的数据进行归类即草地利用适中则为草地利用合理，而草地被过度利用及被轻度利用均属于不合理利用，可得表 2。由表 2 可得，在草地利用合理中，区域 3 草地被合理利用面积最大，为 612 m²，所占比例为 69.39%；而区域 1 的草地被合理利用的面积相对最少，为 286 m²，所占比例为 36.53%。在草地利用不合理中，区域 4 草地利用不合理的面积最大，为 530 m²；区域 1 草地被不合理利用的比例最大，为 63.47%；区域 3 草地被不合理利用的面积及比例均为最小，分别为 270 m²、30.61%。除区域 3，其余区域草地不合理利用的面积比例占 50%以上。

表 2 研究区草地利用合理情况

Table 2 Reasonable utilization of grassland in study area

区域 Zone	利用合理 Rational use		利用不合理 Irrational use	
	面积 Area/m ²	比例 Proportion/%	面积 Area/m ²	比例 Proportion/%
1	286	36.53	497	63.47
2	409	45.49	490	54.51
3	612	69.39	270	30.61
4	359	40.38	530	59.62

5 结论与讨论

根据无人机遥感的高精度特点，本文利用无人机遥感进行草地生物量估产。在此基础上，利用 GPS 轨迹数据反映畜群的采食情况。将不同区域畜群对草地的采食情况与草地的生物量情况进行分类对比，得到不同区域草地的利用情况及其有效利用面积。

1) 研究区草地不同坡向草地利用差异较大。从空间分布来看，总体上阴坡草地相对阳坡被过度利用较多，阴坡被适度利用的草地也相对较多。草地在利用过程中受到畜群采食行为和草地生长情况的影响，而畜群采食

行为受到坡度的影响，畜群喜食平坦区域牧草，导致研究区中平坦区域草地被利用的较为严重。

2) 研究区中区域 3 被合理利用的草地面积最大，为 612 m²，是区域 1 合理利用的草地面积的 2 倍多。除区域 3，其他区域草地被不合理利用的面积占所在区域面积的 50%以上。其中区域 4 草地利用不合理的面积最大，为 530 m²。区域 3 草地被不合理利用的面积及比例均为最小，分别为 270 m²、30.61%。

总的来说，研究区草地被不合理利用的情况较为严重。可通过获取畜群采食情况及草地生物量，计算不同区域草地利用情况，根据草地利用分布情况，采取相应策略，进行禁牧或者划区轮牧，为缓解草地退化，实现草畜平衡，促进草地可持续发展。

无人机受电池容量的限制，获得大范围的影像数据较为困难，所以下一阶段，将研究无人机遥感与卫星遥感的融合，进而获得高时间和高空间分辨率的影像，为获取大范围高精度的影像数据奠定基础。

致谢：新疆农垦科学院杨永林老师、紫泥泉种羊场工作人员提供轨迹数据采集的支持与帮助，谨此致谢！

[参 考 文 献]

[1] 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 with English abstract)
[2] Jansen V S, Kolden C A, Taylor R V, et al. Quantifying livestock effects on bunchgrass vegetation with Landsat ETM+ data across a single growing season[J]. International Journal of Remote Sensing, 2016, 37(1): 150—175.
[3] 沈海花, 朱言坤, 赵霞, 等. 中国草地资源的现状分析[J]. 科学通报, 2016(2): 139—154.
Shen Haihua, Zhu Yankun, Zhao Xia, et al. Analysis of current grassland resources in China[J]. Chinese Science Bulletin, 2016(2): 139—154. (in Chinese with English abstract)
[4] 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.
Yang Rurong. Studies on current situation of grassland degradation and sustainable development in Western China[J]. Pratacultural Science, 2002, 19(1): 23—27. (in Chinese with English abstract)
[5] Schlecht E, Hülsebusch C. The use of differentially corrected global positioning system to monitor activities of cattle at pasture[J]. Applied Animal Behaviour Science, 2004, 85(3): 185—202.
[6] Henkin Z, Ungar E D, Dolev A. Foraging behaviour of beef cattle in the hilly terrain of a Mediterranean grassland[J]. Rangeland Journal, 2012, 34(2): 163.

- [7] Amir Arnon, Tal Svoray, Eugene David Ungar. The spatial dimension of pastoral herding: A case study from the northern Negev[J]. *Israel Journal of Ecology & Evolution*, 2011, 57(1/2): 129—149.
- [8] Dengler J. Analysis of GPS trajectories to assess goat grazing pattern and intensity in Southern Morocco[J]. *Rangeland Journal*, 2012, 34(4): 415—427.
- [9] 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.
- [10] 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 Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE)*, 2016, 32(13): 125—130. (in Chinese with English abstract)
- [11] 李刚, 孙炜琳, 张华, 等. 基于秸秆补饲的青藏高原草地载畜量平衡遥感监测[J]. *农业工程学报*, 2014, 30(17): 200—211.
Li Gang, Sun Weilin, Zhang Hua, et al. Balance between actual number of livestock and livestock carrying capacity of grassland after added forage of straw based on remote sensing in Tibetan Plateau[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE)*, 2014, 30(17): 200—211. (in Chinese with English abstract)
- [12] 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.
- [13] 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*, 2015, 8(1): 10.
- [14] 王新云, 郭艺歌, 何杰. 基于多源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.
Wang Xinyun, Guo Yige, He Jie. Estimation of above-ground biomass of grassland based on multi-source remote sensing data[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE)*, 2014, 30(11): 159—166. (in Chinese with English abstract)
- [15] 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.
- [16] 李宗南, 陈仲新, 王利民, 等. 基于小型无人机遥感的玉米倒伏面积提取[J]. *农业工程学报*, 2014, 30(19): 207—213.
Li Zongnan, Chen Zhongxin, Wang Limin, et al. Area extraction of maize lodging based on remote sensing by small unmanned aerial vehicle[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE)*, 2014, 30(19): 207—213. (in Chinese with English abstract)
- [17] 赵庆展, 刘伟, 尹小君, 等. 基于无人机多光谱影像特征的最佳波段组合研究[J]. *农业机械学报*, 2016, 47(3): 242—248.
Zhao Qingzhan, Liu Wei, Yin Xiaojun, et al. Selection of optimum bands combination based on multispectral images of UAV[J]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2016, 47(3): 242—248. (in Chinese with English abstract)
- [18] 胡健波, 张健. 无人机遥感在生态学中的应用进展[J]. *生态学报*, 2018, 38(1): 20—30.
Hu Jianbo, Zhang Jian. Unmanned aerial vehicle remote sensing in ecology: Advances and prospects[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2018, 38(1): 20—30. (in Chinese with English abstract)
- [19] 高姣姣. 高精度无人机遥感地质灾害调查应用研究[D]. 北京: 北京交通大学, 2010.
Gao Jiaojiao. Application of High Precision UAV Remote Sensing in Geological Disaster Investigation[D]. Beijing: Beijing Jiaotong University, 2010. (in Chinese with English abstract)
- [20] 孙世泽, 汪传建, 尹小君, 等. 无人机多光谱影像的天然草地生物量估算[J]. *遥感学报*. [DOI:10.11834].
Sun Shize, Wang Chuanjian, Yin Xiaojun, et al. Estimating aboveground biomass of natural grassland based on multispectral images of Unmanned Aerial Vehicles[J]. *Journal of Remote Sensing*. [DOI:10.11834]. (in Chinese with English abstract)
- [21] 张正健, 李爱农, 边金虎, 等. 基于无人机影像可见光植被指数的若尔盖草地地上生物量估算研究[J]. *遥感技术与应用*, 2016, 31(1): 51—62.
Zhang Zhengjian, Li Ainong, Bian Jinhu, et al. Estimating aboveground biomass of grassland in Zoige by visible vegetation index derived from unmanned aerial vehicle image[J]. *Remote Sensing Technology and Application*, 2016, 31(1): 51—62. (in Chinese with English abstract)
- [22] Hulbert I A R, Wyllie J T B, Waterhouse A, et al. A note on the circadian rhythm and feeding behaviour of sheep fitted with a lightweight GPS collar[J]. *Applied Animal Behaviour Science*, 1998, 60(4): 359—364.
- [23] 赵文慧, 陈妮, 闫瑞, 等. 近 20 年来北洛河流域植被覆盖度随地形因子变化特征探究[J]. *水土保持研究*, 2016, 23(4): 10—14.
Zhao Wenhui, Chen Ni, Yan Rui, et al. Study on variation of the vegetation coverage based on terrain factors in the beiluo river basin in the past 20 years[J]. *Research of Soil and Water*

- Conservation, 2016, 23(4): 10—14. (in Chinese with English abstract)
- [24] Lin L, Dickhoefer U, Müller K, et al. Grazing behavior of sheep at different stocking rates in the Inner Mongolian steppe, China[J]. *Applied Animal Behaviour Science*, 2011, 129(1): 36—42.
- [25] 王萨仁娜, 韩国栋, 张圣微, 等. 基于 3S 技术的绵羊牧食行为与草地环境相互作用研究[J]. *中国生态农业学报*, 2015, 23(7): 860—867.
- Wang Sarenna, Han Guodong, Zhang Shengwei, et al. Analysis of sheep grazing behavior and interaction with grassland environment in desert steppes using 3S[J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2015, 23(7): 860—867. (in Chinese with English abstract)

Evaluation for natural grassland utilization intensity based on GPS and UAV remote sensing for grassland biomass inversion

Wang Chuanjian, Jiang Honghong, Yin Xiaojun, Sun Shize, Zhang Ya, Li Dong

(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)

Abstract: Natural grassland is the most important material basis for the survival of grazing livestock husbandry. Assessment of the utilization of natural grassland provides decision-making basis for livestock management department to implement the natural grassland development projects, and has important research and application value for promoting the sustainable development of the grazing livestock husbandry. However, grassland degradation is getting worse. And overgrazing is one of the main causes of grassland degradation. Therefore, it is particularly important to monitor natural grassland utilization timely and accurately. Grazing is one of the most important ways to utilize natural grassland and has an important impact on the sustainable development of the ecosystem. What's more, grassland is the basis for developing grassland animal husbandry, and grassland biomass is one of the important indicators to determine whether the utilization of natural grassland resources is reasonable. Hence, we put forward that the process of natural grassland utilization was an interactive process between grazing behavior and vegetation growth. Therefore, we studied the evaluation method of the utilization of natural grassland, during which we took grazing behavior and grassland vegetation growth into account at the same time. Firstly, the herd trajectory data acquired from global positioning system (GPS) weaned on the head of sheep was used to analyze feeding intensity. In order to quantify grazing pressure, a feeding intensities (FI) map was created using a grid cell method with the tracking data recorded by the global positioning system (GPS). Secondly, the grassland biomass data was gained by using unmanned aerial vehicle (UAV) remote sensing data. With the existing remote sensing estimation model, the grassland yield distribution of natural grassland was estimated. Thirdly, the feeding intensity and natural grassland biomass was fused by using the multi value extraction point method, and the feeding intensity and grassland biomass of different regions could be obtained. The feeding intensity and biomass were classified, respectively. Finally, according to the hierarchical relationship between the feeding intensity and the biomass, the information about utilization of grassland in various regions was obtained. When the feeding intensity and the natural grassland biomass could meet the following relationship, the information about utilization of grassland could be obtained. If the levels of feeding intensity and biomass were equal, the grassland was moderately used. If the level of feeding intensity was greater than that of biomass, the grassland was overused. If the level of feeding intensity was less than that of biomass, the grassland was light used. Taking pasture of Regiment 151 of the Eighth Division of the Xinjiang Production and Construction Corps as an example, the research area was monitored and assessed. The results showed that the area of grassland that was moderately used in Zone 3 in the study area was the largest, which was 612 m², while in other areas, more than 50% of the area was unreasonably used. The method is of great significance to the rational use of grassland, rotational grazing, and the healthy development of livestock husbandry.

Keywords: unmanned aerial vehicle; remote sensing; vegetation; grazing trajectory; utilization intensity; evaluation