

云南草地资源地上生物量遥感分类建模方法研究

阙龙云¹, 沈金祥^{2*}, 刘洋¹, 李永进¹

(1. 云南省草原监督管理站, 云南 昆明 650225; 2. 云南国土资源职业学院, 云南 昆明 652501)

摘要:【目的】草地地上生物量(AGB)是衡量草地生产力和生态系统健康状况的重要指标。精准评估草地 AGB 对于科学指导草地资源的开发利用、生态功能维持与修复至关重要。云南省地形复杂、气候多样, 草地资源丰富且类型多样, 探索利用卫星遥感数据构建云南省的 AGB 分类建模方法。【方法】基于草地资源调查收集的 4 种草地类型实测样地数据, 构建了针对云南全域的 NDVI-VFC-AGB 分类建模方法体系: 首先, 利用坡向、海拔、纬度因子对全域草地资源进行 4 种类型划分; 其次, 对 4 种草地类型影像像元的 NDVI 与样方 VFC 建立 NDVI-VFC 反演模型; 接着, 利用样方实测数据建立 4 种类型的 VFC-AGB 拟合模型; 最后, 对反演出的 AGB 叠加全域草地资源图斑进行空间统计, 得到各统计单元的 AGB 数据。【结果】基于样本统计进行简单 4 类划分取得了约 82% 的分类精度, 基于此进行的 VFC 与 AGB 遥感建模反演, 经样本抽样检查偏差分别为 17.21% 和 18.87%, 取得了全省范围内草地资源 AGB 的数量与分布, 其统计结果与纯样地调查平均值基本一致。【结论】卫星遥感 NDVI 反映了植物的覆盖度与长势, 能够有效用于 NDVI-VFC 建模并取得较高的精度。VFC-AGB 分类建模较之于单一建模方法, 能够显著提升卫星遥感反演 AGB 的精度。

关键词: 草地资源; 遥感; 分类建模; NDVI; VFC; AGB

中图分类号: S812 文献标志码: A 文章编号: 1009-5500(2024)04-0242-10

DOI: 10.13817/j.cnki.cyycp.2024.04.028



草地资源是重要的自然生态系统之一, 在维护全球生态平衡、提供畜牧业产品和保护水土资源等方面起着至关重要的作用。然而, 由于气候变化、人类活动和土地利用的不断变化, 草地资源正面临数量减少、质量退化等严重问题。草地生物量作为草地资源可利用的数量指标, 能够有效反映草地资源开发利用潜力与生态系统维系能力^[1]。其中, 草地植被地上部分进行光合作用和生态固碳, 对于维系全球碳循环具有重要的作用^[2-3]。无土壤表层破坏性的草地资源地

上生物量(AGB)评估对于科学指导草地资源开发利用、生态功能维系与修复均具有极为重要的作用。

随着空天遥感技术的迅猛发展, 大量的学者针对不同地域利用多源多时空分辨率空天遥感对草地资源的类型、数量、质量、空间分布及开发利用状况进行了研究, 并取得了显著的成效^[4-6]。基于实测样地、样方 AGB 建立与遥感像元光谱信号间的线性与非线性拟合模型^[7-12], 利用 Modis^[7,13]、Landsat 序列^[8,10,13-15]、Sentinel-2^[16-17] 等卫星遥感数据反演全域草地 AGB 是目前常用方法。对于较为均质的草地, 拟合模型能够在研究区域取得较高精度的 AGB 评估结果, 然而, 对于具有多种草地植被类型的较大监测区域则难以取得理想的结果。不同类型的草地资源, 综合植被覆盖度(VFC)、高度与空间结构不尽相同, 而这些信息又是 AGB 的直接影响因子。在直接估算区域草地植被覆盖度、高度、空间结构等因子依然较为困难的情况下, 如何间接利用这些信息反演大区域草地资源

收稿日期: 2023-12-26; 修回日期: 2024-07-05

基金资助: 云南省教育厅科技创新团队项目高原生态农业地质调查与评价(培育); 学校自然资源时空大数据科技创新团队项目(2021KJTD03)

作者简介: 阙龙云(1965-), 男, 云南永善人, 学士, 高级畜牧师, 研究方向为草地资源调查与监测技术。

E-mail: 419120029@qq.com

*通信作者。E-mail: 1345945748@qq.com

AGB是当前草地资源管理中亟待解决的问题。

云南省的草地面积在我国南方省份中居第2位,其独特的地理位置、多样化的地形地貌和立体气候类型孕育了丰富的草地资源类型^[18]。近年来,草地资源调查获取了种类丰富的实测资料,据此挖掘各类型草地资源空间分布规律,以及VFC-AGB拟合模型,探索利用卫星遥感数据构建云南省的AGB分类建模方法,以解决云南省全域草地资源AGB常态化监测问题。

1 材料和方法

1.1 研究区概况

云南省位于中国西南边陲,地处 $21^{\circ}8' \sim 29^{\circ}15' N$, $97^{\circ}31' \sim 106^{\circ}11' E$,总土地面积为39.41万 km^2 。该地区地形复杂多样,地势南北高、东西低,气候属亚热带高原季风型,具有显著的立体气候特点,年温差小、日温差大、干湿季节分明,降水分布极不均匀,其中湿季集中于5-10月,占全年降水量的85%,而干季为11

月至次年4月,仅占15%^[19]。受复杂多样的地理条件和气候特点的影响,云南省囊括了除海洋外的所有生态系统类型。据云南省第3次全国国土调查主要数据公报^[20],云南省草地面积132.29万 hm^2 ,主要分布在迪庆、曲靖、红河、昆明、昭通5个州(市),大面积连片分布地块不多,多呈零星分布,草地资源为维系云南省生态系统功能以及畜牧业的发展提供了重要支撑。

1.2 方法

以国土三调云南草地图斑数据为本底,全域范围内布设野外样方,对草地植被类型、盖度、海拔、坡向、AGB等数据进行调查;统计草地植被类型与海拔、坡向信息间的对应关系以形成分类规则;根据实测样方VFC、AGB数据,通过建立盛期NDVI与VFC、VFC与AGB间的分类拟合模型;在全域数字高程模型(DEM)及坡向数据支撑下依照分类规则对全域草地图斑进行类型划分;基于全域NDVI反演得到全域VFC及AGB数据(图1)。

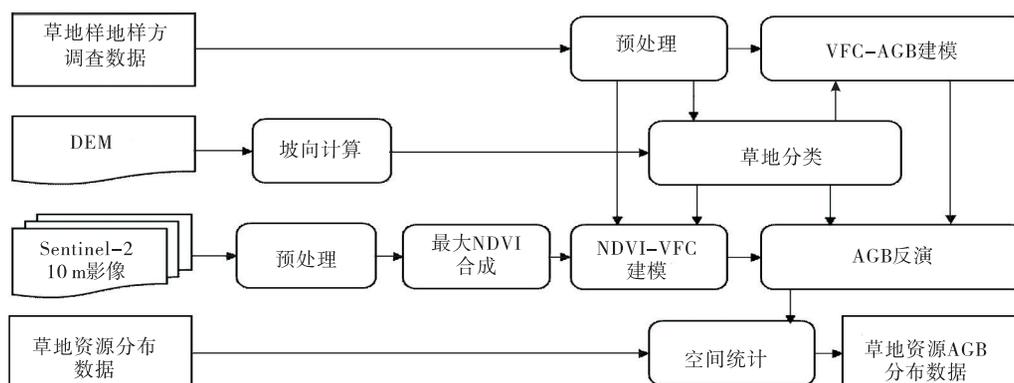


图1 AGB反演方法流程

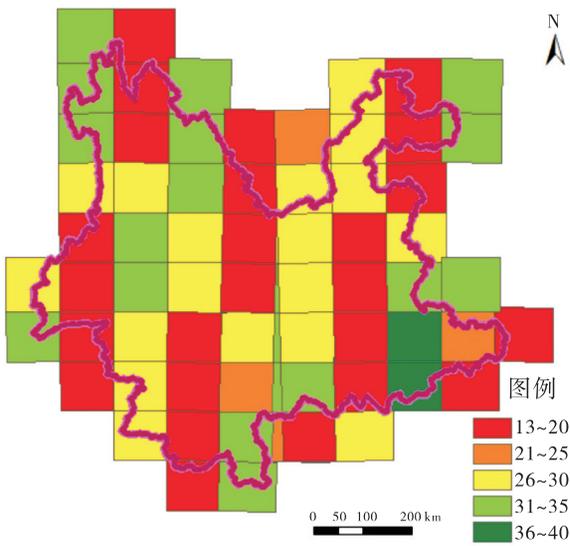
Fig. 1 AGB Inversion Methodology

1.3 数据及预处理

云南草地地块破碎,连片面积不大,需要较高空间分辨率的遥感影像才能满足地块监测需要。此外,遥感影像还需具有反演AGB所需的近红外波段。Sentinel-2具有可见光、近红外、短波红外13个光谱波段,其中红、绿、蓝和近红外4个波段的分辨率10 m,能够解决本研究中AGB的高精度反演问题^[21]。Sentinel-2遥感影像下载于哥白尼数据空间生态系统(<https://dataspace.copernicus.eu/>)。云南省范围内的Sentinel-2共涉及69个轨道分幅,选择2020年度草地植被生长盛期(7月1-9月30日)的2A

级影像数据产品,一共1732景用于本次AGB建模反演研究(图2)。

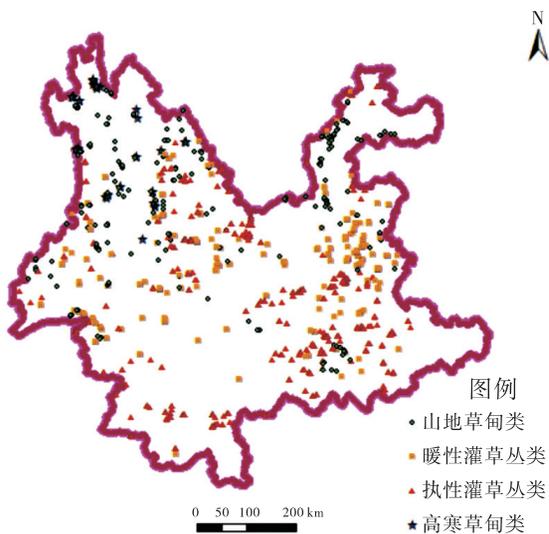
Sentinel-2 2A级数据产品已经过系统性的几何校正和辐射定标、大气校正。下载的safe文件,经过投影与格式转换,以及镶嵌与裁剪等预处理后,对时序影像数据逐像元计算NDVI最大值。对各地外业采集的样方数据进行整合处理,形成标准坐标、草地类、VFC、AGB记录集后矢量化形成点集。研究中使用的DEM为美国SRTM(Shuttle Radar Topography Mission),DEM数据,空间分辨率90 m,能够满足本研究中省域尺度地形分析的要求。



审图号: GS (2024) 0650号

图2 Sentinel-2数据分布

Fig. 2 Sentinel-2 data distribution map



审图号: GS (2024) 0650号

图3 2020年度样方分布图

Fig. 3 2020 Sample plot distribution map

根据《草地分类》标准^[22],云南草地可以划分为热性灌草丛、暖性灌草丛、山地草甸、高寒草甸4大类^[23]。2020年度全省采集有效样方数据1 248条,其中高寒草甸类63条,暖性灌草丛类335条,热性灌草丛类468条,山地草甸类382条,数据基本实现云南省域范围内全覆盖(图3)。

1.4 草地分类

云南省由于其复杂的地形和纬度跨度,使其兼具典型的垂直地带性与纬度地带性特点。针对2020年1 248条野外调查样本,对4种草地类型在海拔、坡度、

坡向3种地形因子及纬度因子空间中的分布特性进行统计。除坡度因子外(图4-A),海拔、坡向、纬度3个因子空间中4种草地类具有较为显著的分布差异性(图4-B、图4-C)。

根据样本统计,结合专家知识,形成4类分类规则如下:

(1) 热性灌草丛类:海拔1 500 m以下;纬度26°以北,海拔1 500~1 800 m,阳坡或半阳坡;纬度26°以北,海拔1 800~2 000 m,阳坡;纬度26°以南,海拔1 500~2 000 m,阳坡或半阳坡;纬度26°以南,海拔2 000~2 300 m,阳坡。

(2) 暖性灌草丛类:纬度26°以北,海拔1 500~1 800 m,阴坡或半阴坡;纬度26°以北,海拔1 800~2 000 m,半阳坡;纬度26°以南,海拔1 500~2 000 m,阴坡或半阴坡;纬度26°以南,海拔2 000~2 300 m,半阳坡;纬度26度以南,海拔2 300~2 500 m,阳坡。

(3) 山地草甸类:纬度26度以北,海拔1 800~2 000 m,阴坡、半阴坡湿润、半湿润地域;纬度26°以北,海拔2 000~3 800 m,湿润、半湿润地域;纬度26°以南,海拔2 000~2 300 m,阴坡、半阴坡,湿润、半湿润地域;纬度26°以南,海拔2 300~2 500 m,半阳坡、阴坡、半阴坡,湿润、半湿润地域;纬度26°以南,海拔2 500~3 800 m,湿润、半湿润地域。

(4) 寒草甸类:海拔3 800 m以上,湿润、半湿润地域。

4个类别划分的实现主要包括以下步骤:(1)ArcGIS中对省界按照26°N拆分后转换为与Sentinel-2一致的10 m分辨率栅格;(2)在ENVI中利用地形分析工具对DEM数据计算云南省范围内的坡向栅格;(3)对DEM、坡向重采样至10m分辨率栅格;(4)通过波段运算进行4个类别分类。

1.5 “NDVI-VFC-AGB”建模

AGB可以通过VFC、高度和密度等统计数据计算得出。在假定相同类型草地植被均质的情况下,AGB则主要由VFC决定。尽管VFC与遥感植被指数(NDVI)相关,并且可以通过NDVI建模反演出来,但NDVI在高密度植被下会表现出饱和效应。相比之下,VFC直接反映了植被在地表的覆盖比例,可以通

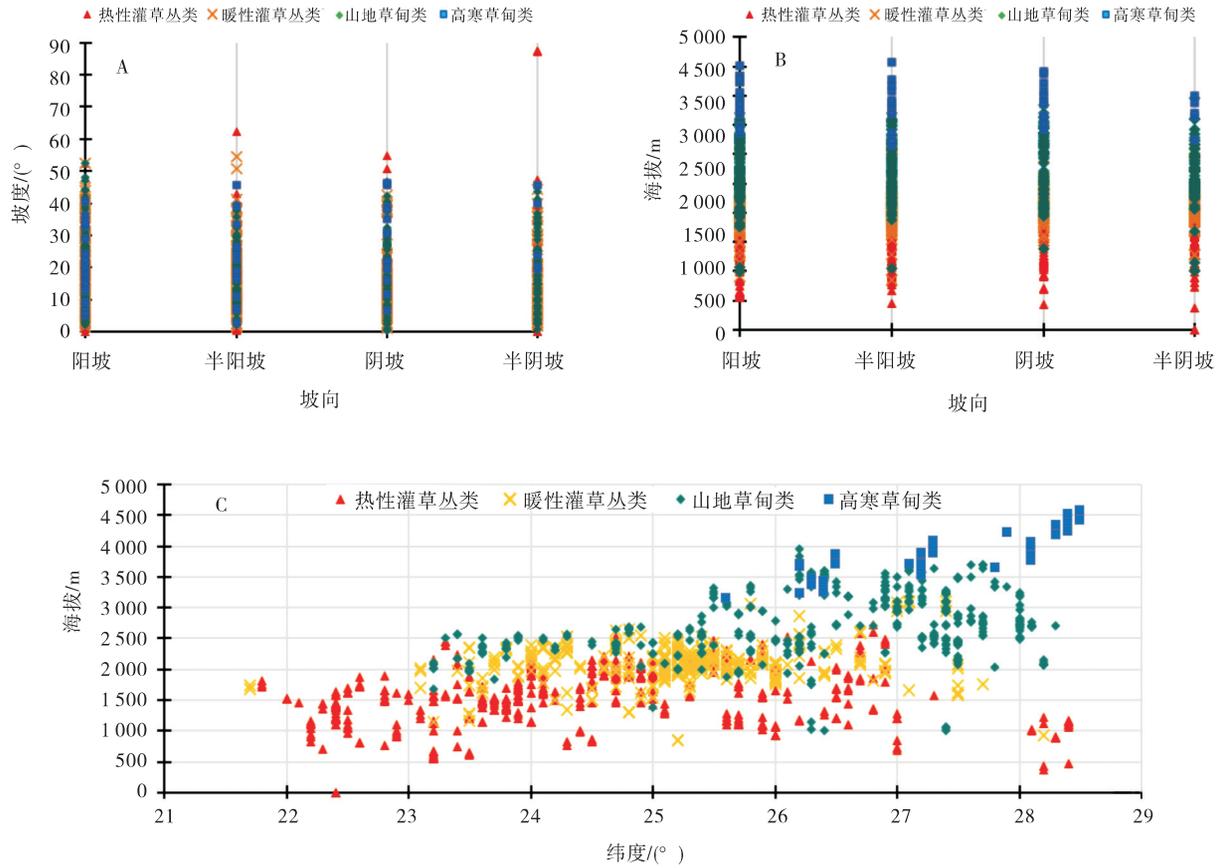


图 4 样本在特征空间中的分布状况

Fig. 4 Distribution of Samples in Feature Space

过野外实测数据获得。因此,可以在不涉及遥感数据的情况下,直接利用野外调查样方建立 VFC 与 AGB 间的拟合模型。

1.5.1 NDVI—VFC 建模 基于植被—土壤二分模型的 VFC 原理(图 5)^[18,24-26],对 4 类草地样本分别处理,具体步骤如下:

1) 确定 $NDVI_{soil}$:从每类草地样本中筛选出 VFC 小于 5% 的样本,并将这些样本与最大 NDVI 合成影像数据叠加,提取并取平均 NDVI 值作为 VFC 为 0 的 NDVI 取值,即 $NDVI_{soil}$ 。

2) 确定 $NDVI_{max}$:从每类草地样本中筛选出 VFC

大于 95% 的样本,将这些样本与最大 NDVI 合成影像数据叠加,提取 NDVI 平均值作为 VFC 为 100% 的 NDVI 取值,即 $NDVI_{max}$ 。

3) 计算其他样本的 VFC 值:对于其他样本,按照以下线性模型计算每个像元的 VFC 值: $VFC = (NDVI - NDVI_{soil}) / (NDVI_{max} - NDVI_{soil})$

4 类草地的 $NDVI_{soil}$ 和 $NDVI_{max}$ 取值见表 1。

1.5.2 VFC—AGB 建模 在实地样地调查数据的支持下,通过遥感植被指数能够有效建立生物量反演模型^[18,27]。由于不同类型草地的 VFC 和高度存在显著差异,AGB 也随之变化。在 VFC 建模的基础上,建立

表 1 4 类草地的 $NDVI_{soil}$ 及 $NDVI_{max}$ 取值

Table 1 $NDVI_{soil}$ and $NDVI_{max}$ values for four types of grasslands

热性灌草丛类		暖性灌草丛类		山地草甸类		高寒草甸类	
$NDVI_{soil}$	$NDVI_{max}$	$NDVI_{soil}$	$NDVI_{max}$	$NDVI_{soil}$	$NDVI_{max}$	$NDVI_{soil}$	$NDVI_{max}$
0.20	0.80	0.23	0.82	0.23	0.81	0.23	0.86

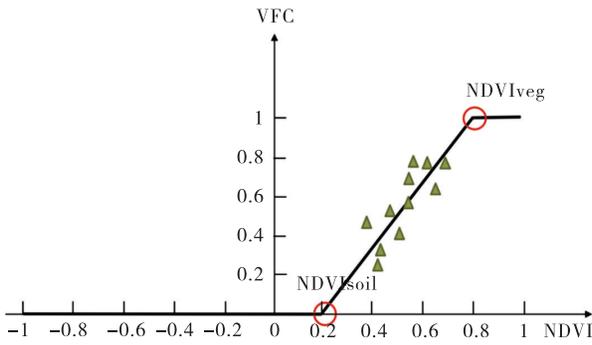


图5 NDVI-VFC模型参数取值示意图
Fig. 5 Illustration of "NDVI-VFC" model parameter values

VFC-AGB分类模型可以更准确地估算AGB。基于2020年度地面调查收集的1248个有效样方数据,针对4种草地类型分别建立了VFC-AGB指数模型,同时,对整体样本进行指数建模以作对比。

样本整体表现出典型的指数分布特征,虽然4类草地模型(图6-A、B、C和D)和整体模型(图6-E)的 R^2 值均不高,但4类草地模型比整体模型具有更高的拟合精度(R^2)。这表明,针对不同草地类型分别建模能够更有效地反映VFC与AGB之间的关系,提高AGB估算的准确性。

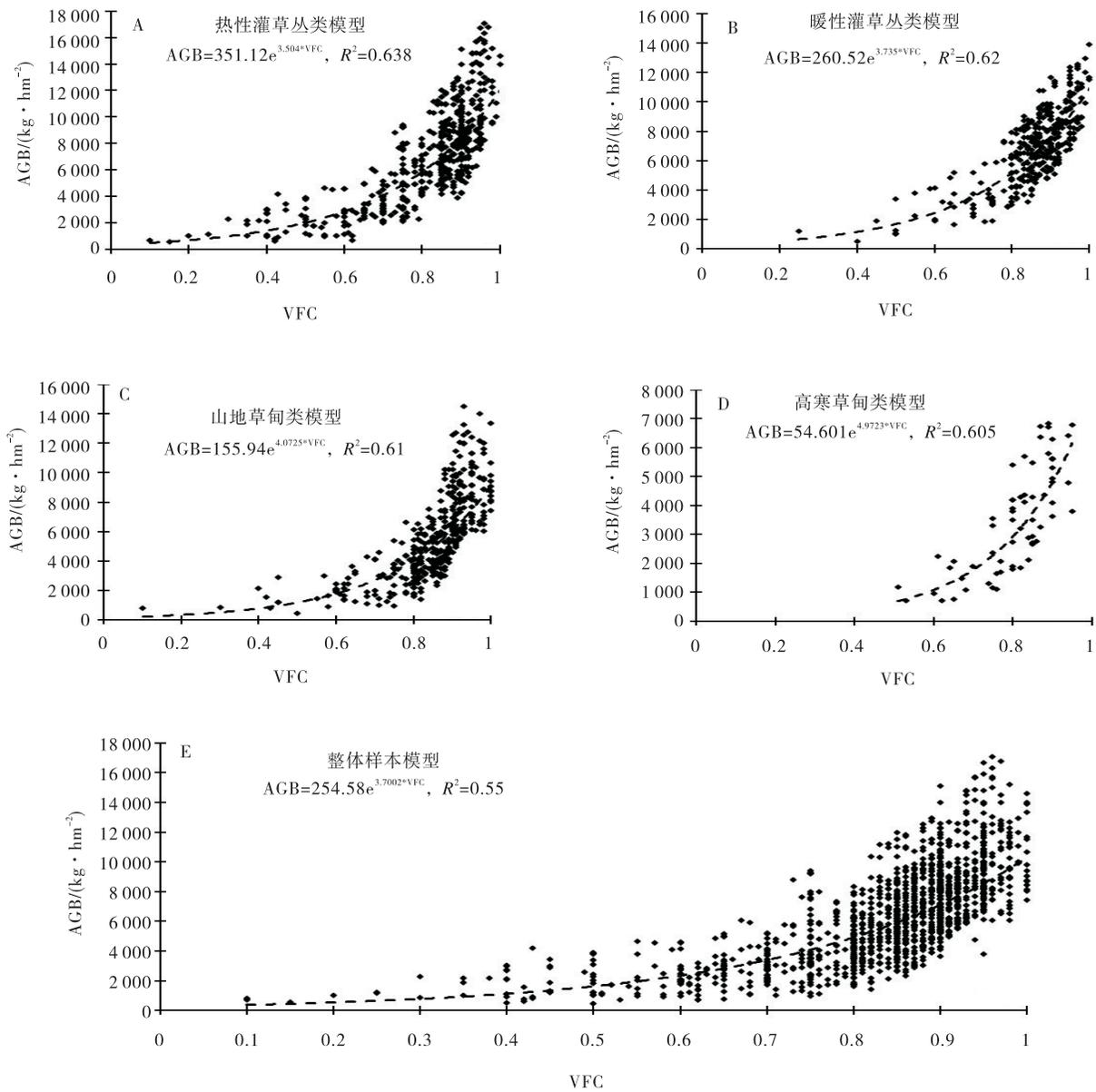


图6 VFC-AGB模型
Fig. 6 The VFC-AGB module

NDVI-VFC-AGB建模的实现主要包括以下步骤:1)对Sentinel-2计算NDVI;2)对上述4类别

栅格数据及NDVI数据通过波段运算分别计算VFC及AGB;3)在ArcGIS中叠加草地图斑进行空间均值

统计,得到省域草地图斑的加权 VFC 及 AGB 值。

2 结果与分析

2.1 全域草地类型划分结果

针对云南省全域草地图斑进行类型划分后形成的草地类型分布可以看出,高寒草甸类主要分布在滇西北迪庆州、怒江州一带高海拔区域;山地草甸类在全省范围内均有分布,其中曲靖市、昭通市、大理州分布更多;暖性灌草丛类在全省范围内均有分布,但总体数量不多;热性灌草丛类则在滇南、滇东南一带较大面积分布(图 7)。4 种类型分布状况与近年来样地调查结果基本一致(图 2),对照 2020 年度样本,分类精度约为 82%。

2.2 NDVI-VFC-AGB 反演结果

为检验 NDVI-VFC 模型精度,随机提取 100 个样方实测数据对照 VFC 预测值,可以看出其整体分布基本一致(图 8),进一步统计其偏差百分比:

$$\text{偏差百分比} = \text{ABS}(\text{真实值} - \text{预测值}) / \text{真实值}$$

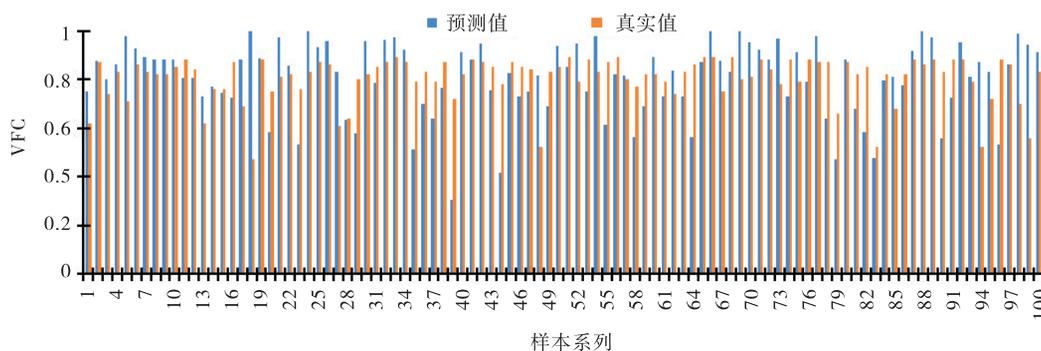


图 8 VFC 预测值与真实值对比

Fig. 8 Comparison of Predicted VFC Values with Actual Value

同样,随机提取 100 个样方实测数据对照 AGB 预测值,可以看出其整体分布也基本一致(图 9),其平均

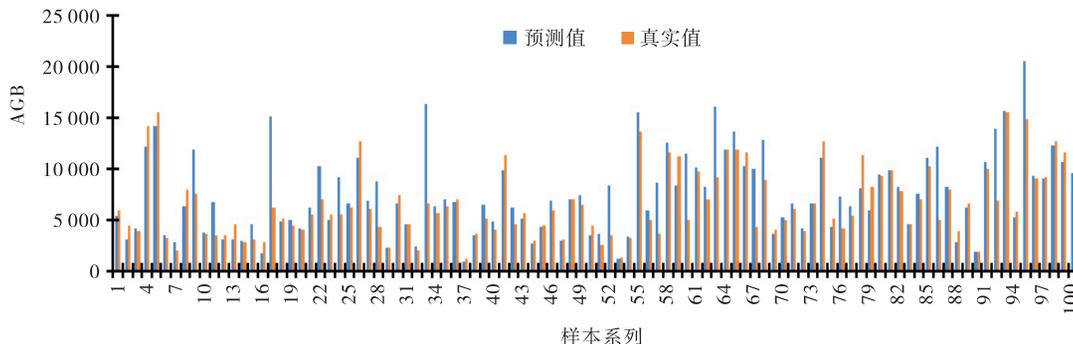
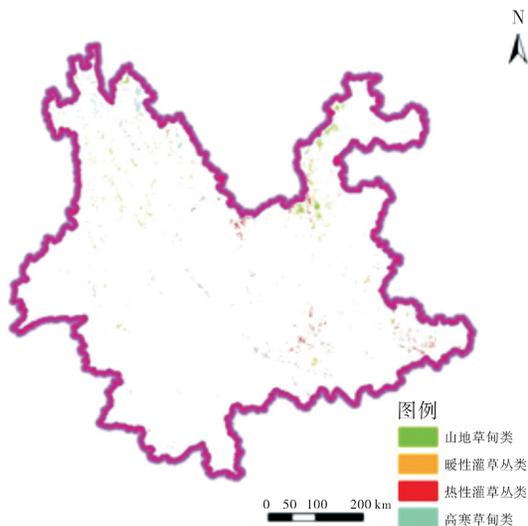


图 9 AGB 预测值与真实值对比

Fig. 9 Comparison of Predicted AGB Values with Actual Value



审图号: GS (2024) 0650号

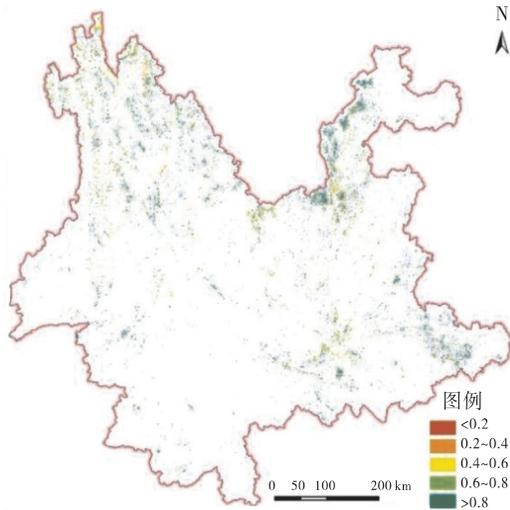
图 7 草地类型划分结果

Fig. 7 Results of Grassland Classification

其中,ABS 为取绝对值,平均偏差百分比为 17.21%。可以看出,分类“NDVI-VFC”模型具有较高的预测精度。

偏差百分比为 18.87%。分类 VFC-AGB 模型也具有较高的预测精度。

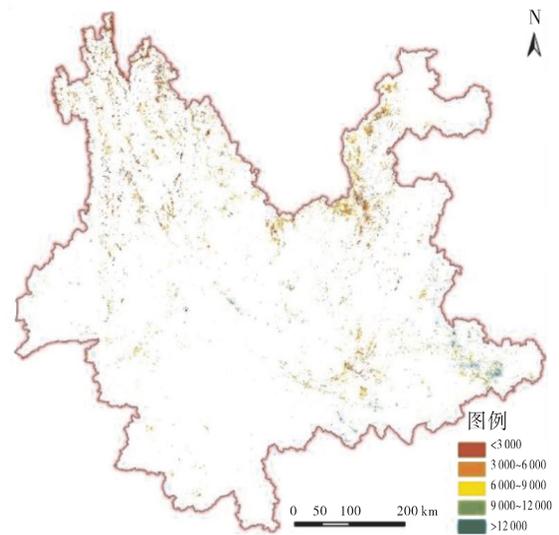
图 10 及图 11 分别为针对草地资源图斑利用 2020 年度卫星盛期卫星遥感影像 NDVI 的 VFC 及 AGB 计算结果。从分布上看,VFC 在全域范围内均有不同等级分布;AGB 则在滇东南、滇南区域较高,滇东北、滇西北区域则较低。



审图号: GS (2024) 0650号

图 10 VFC 计算结果
Fig. 10 VFC result

根据表 2 的统计结果,2020 年度,云南省共有 132.29 万 hm^2 的草地资源,其 AGB 总和为 773.11 万 t,平均鲜重为 5 844 kg/hm^2 。图 10 及表 2 的数据显示,云南省各州(市)的 VFC 总体较高,均超过了



审图号: GS (2024) 0650号

图 11 AGB 计算结果
Fig. 11 AGB result

70%。其中,文山和西双版纳州的 VFC 最高,均超过了 88%,比最低的怒江和迪庆高出 17%。与 VFC 相对应,文山和西双版纳的 AGB 也位居全省最高,分别为 10 927.40、10121.00 kg/hm^2 。

根据^[28]公布的 2022 年度基于 747 块样地的调查结果,云南省草地资源的平均鲜重为 7002.79 kg/hm^2 ,总和为 926.39 万 t。虽然两套数据之间存在一定的偏差,但数量级基本一致,这表明反演数据具有可靠性。

表 2 云南省各州(市)盛期 VFC 与 AGB 统计表

Table 2 Peak VFC and AGB in Various Cities of Yunnan Province

州(市)	VFC/%	AGB/($\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$)	州(市)	VFC/%	AGB/($\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$)	州(市)	VFC/%	AGB/($\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$)
怒江	71.28	3 311.40	大理	80.32	5 163.64	昭通	84.18	5 376.90
迪庆	71.98	3 419.40	昆明	80.74	5 993.36	普洱	86.80	8 652.80
楚雄	72.95	6 318.50	丽江	82.04	5 381.40	西双版纳	88.12	10 121.00
临沧	74.13	6 817.10	保山	82.71	7 759.80	文山	88.90	10 927.40
曲靖	76.79	5 240.00	德宏	83.33	6 666.00	全省	78.90	5 844.00
红河	79.09	7 449.50	玉溪	83.51	8 865.63			

3 讨论

研究得出的数据与^[28]公布的 2022 年度数据存在一定偏差。除了统计年度内草地植被长势的差异外,两套数据的统计方法本身也存在差异^[28]。基于 747 块

样地进行统计,与全域草地图斑相比样本数量较少,无法全面反映草地资源的整体状况。在建模精度较高的情况下,全域全覆盖统计更能精准摸清各级行政区草地资源的数量与质量。

由于云南草地类型多样,基于 2020 年度地面调查

样本及专家知识,仅利用了海拔与坡向等地形因子进行4大类草地划分。虽然操作便捷,但也存在相当部分的草地资源图斑分类错误的问题。更为精细的植物学分类法在精细化遥感草植物识别方面当前依然难以突破。

在难以有效获取植物高度信息的情况下,通过“VFC-AGB”分类建模能够显著提升卫星遥感反演AGB的精度。然而,由于每个类型内部的植被结构差异,仅利用分类建模仍不足以精准反演AGB。今后的研究应探索易于获取、表达和计算的多样化、高精度立地因子,建立更为有效的物理模型或基于样地调查和遥感大数据的AI推理模型,以取得更高的AGB估算精度。此外,还需进一步加强地面调查与遥感数据的结合,通过更多的地面样本数据,验证和校正遥感监测结果,提高模型的准确性和可靠性。

4 结论

较高时空分辨率遥感数据在草地资源调查与监测工作中的应用越来越广泛,尤其在草原面积、分布、质量与产量的获取中发挥了重要作用。在遥感影像上,相同草地类型的像元光谱计算出的植被指数与生物量显著相关;然而,不同类型草地的植被指数之间的异同则与生物量没有直接可比性。卫星遥感NDVI反映了植物的覆盖度与长势,能够有效用于“NDVI-VFC”建模并取得较高的精度。“VFC-AGB”分类建模较之于单一建模方法,能够显著提升卫星遥感反演AGB的精度。

基于遥感影像的AGB反演数据能够对所有草地图斑进行全覆盖计算,并利用图斑的行政区属性,计算各级行政区范围内的加权平均VFC、AGB以及AGB总和。这种方法对于准确掌握各级行政区域内草地资源的数量与质量变化具有极为重要的作用。

云南省各州市的AGB并未与VFC完全一致,主要原因在于AGB除了受VFC影响外,草地植被类型构成也是AGB的一大影响因素。例如,昭通、丽江和大理等州市,以山地草甸和高寒草甸为主,尽管VFC较高,但AGB却较低(仅为5000kg/ha左右);楚雄和临沧等州市,主要是热性灌草丛和暖性灌草丛类构成

为主,尽管VFC并不高,AGB却较高;南部和东南部地区的普洱、西双版纳和文山等地,水热条件充足,以热性和暖性灌草丛为主,VFC较高,AGB也较高。这些数据结果与野外样地调查结果基本一致。

参考文献:

- [1] 周晶. 草原草产量遥感估测研究进展[C]//中国国土经济学会. 全国国土资源与环境遥感应用技术研讨会论文集. 兰州大学草地农业科技学院,2009:5.
- [2] Scurlock J M O, Johnson K, Olson R. Estimating net primary productivity from grassland biomass dynamics measurements[J]. *Glob Change Biol*,2002,8:736-753.
- [3] Zhou W, Li H, Xie L J, *et al.* Remote sensing inversion of grassland aboveground biomass based on high accuracy surface modeling [J]. *Ecological Indicators*, 2021, 121: 107215.
- [4] 苏大学,刘建华,钟华平,等. 中国草地资源遥感快查技术方法的研究[J]. *草地学报*,2005,13(S1):4-9.
- [5] Ali I, Cawkwell F, Dwyer E, *et al.* Satellite remote sensing of grasslands: from observation to management [J]. *Journal of Plant Ecology*,2016,9(6): 649-671.
- [6] Griffiths P, Nendel C, Pickert J, *et al.* Towards national scale characterization of grassland use intensity from integrated Sentinel-2 and Landsat time series [J]. *Remote Sensing of Environment*,2020,238: 111124.
- [7] 除多,德吉央宗,普布次仁,等. 藏北草地AGB及遥感监测模型研究[J]. *自然资源学报*,2013,28(11):2000-2011.
- [8] 除多,普布次仁,德吉央宗,等. 西藏高原中部草地AGB遥感估算方法[J]. *山地学报*,2013,31(6):664-671.
- [9] Meshesha D T, Ahmed M M, Abdi Y, *et al.* Prediction of grass biomass from satellite imagery in Somali regional state, eastern Ethiopia [J]. *heliyon*,2020,6:e05272.
- [10] Xie Y C, Sha Z Y, Yu M, *et al.* A comparison of two models with Landsat data for estimating above ground grassland biomass in Inner Mongolia, China [J]. *Ecol Model*,2009,220:1810-1818.
- [11] Wang Y Y, Wu G L, Deng L, *et al.* Prediction of aboveground grassland biomass on the Loess Plateau, China, using a random forest algorithm [J]. *Sci Rep*, 2017, 7: 1-10.
- [12] Yang S X, Feng Q S, Liang T G, *et al.* Modeling grass-

- land above-ground biomass based on artificial neural network and remote sensing in the Three-River Headwaters Region [J]. *Remote Sens. Environ.*, 2018, 204: 448–455.
- [13] Zhou Y J, Liu T X, Batelaan O, *et al.* Spatiotemporal fusion of multi-source remote sensing data for estimating aboveground biomass of grassland [J]. *Ecological Indicators*, 2023, 146: 109892.
- [14] 杜自强, 王建, 沈宇丹. 山丹县草地 AGB 遥感估算模型 [J]. *遥感技术与应用*, 2006, 21(4): 338–343.
- [15] 张雅, 尹小君, 王伟强, 等. 基于 Landsat 8OLI 遥感影像的天山北坡草地 AGB 估算 [J]. *遥感技术与应用*, 2017, 32(6): 1012–1021.
- [16] Munyati C. Detecting the distribution of grass aboveground biomass on a rangeland using Sentinel-2 MSI vegetation indices [J]. *Advances in Space Research*, 2022, 69(2): 1130–1145.
- [17] Meshesha D T, Ahmed M M, Abdi Y, *et al.* Prediction of grass biomass from satellite imagery in Somali regional state, eastern Ethiopia [J]. *heliyon*, 2020, 6: e05272.
- [18] 尹俊. 云南草原 [M]. 昆明: 云南科技出版社, 2022.
- [19] 百中国大百科全书编辑委员会. 中国大百科全书云南卷 [M/OL]. 北京: 中国大百科全书出版社, 2018.
- [20] 云南省自然资源厅, 云南省第三次全国国土调查主要数据公报 [R/OL]. 2021. https://www.yn.gov.cn/sjfb/tjgb/202112/t20211221_231929.html
- [21] Copernicus, EAS. S2 Products [R/OL]. <https://sentinel-wiki.copernicus.eu/web/s2-products>, 2023-10-15.
- [22] 全国畜牧业标准化技术委员会. 草地分类: NY/T 2997–2016 [S]. 北京: 中国农业出版社, 2017.
- [23] 薛世明, 张美艳, 蔡明, 等. 云南草地资源的分类、数量特征及特点 [J]. *云南草业*, 2019(2): 4–10.
- [24] 刘广峰, 吴波, 范文义, 等. 基于像元二分模型的沙漠化地区植被覆盖度提取——以毛乌素沙地为例 [J]. *水土保持研究*, 2007(2): 268–271.
- [25] 周俊宏. 基于 Sentinel-2 的云南省草地分布及其覆被等级特征研究 [D]. 北京: 中国林业科学研究院, 2021.
- [26] 张颖, 章超斌, 王钊齐, 等. 三江源 1982–2012 年草地植被覆盖度动态及其对气候变化的响应 [J]. *草业科学*, 2017, 34(10): 1977–1990.
- [27] 全国畜牧总站, 草原生产力和工程效益监测操作手册 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2016.
- [28] 云南信息报. 云南完成 2022 年草原监测 [N/OL]. 2023-01-18.

Research on remote sensing classification and modeling methods for aboveground biomass of grassland resources in Yunnan

QUE Long-yun¹, SHEN Jin-xiang^{2*}, LIU Yang¹, LI Yong-jin¹

(1. *Yunnan Grassland Monitor and Management Station, Kunming 650225, China*; 2. *Yunnan Land and Resources vocational college, Kunming 652501, China*)

Abstract: **[Objective]** Above-Ground Biomass (AGB) is an important indicator for measuring grassland productivity and ecosystem health. Accurately assessing grassland AGB is crucial for scientifically guiding the development and utilization of grassland resources, as well as for maintaining and restoring ecological functions. Yunnan has a complex terrain and diverse climate, with abundant and varied grassland resources. Exploring the use of satellite remote sensing data to develop an AGB classification modeling method for Yunnan Province. **[Method]** Based on the field data of four grassland types collected from grassland resource surveys, a "NDVI-VFC-AGB" classification and modeling system was developed for the entire Yunnan region. First, the grassland resources were classified into four types using aspect, elevation, and latitude factors. Second, an "NDVI-VFC" inversion model was established by cor-

relating the NDVI of image pixels with the VFC from the sample plots for the four grassland types. Next, a "VFC—AGB" fitting model was constructed using field-measured data from the sample plots for the four grassland types. Finally, spatial statistics were performed by overlaying the inverted AGB onto the grassland resource pattern across the entire region, yielding AGB data for each statistical unit. **【Results】** A simple four-class classification based on sample statistics achieved a classification accuracy of approximately 82%. Utilizing this classification, remote sensing models for VFC and AGB were developed and inverted. Sampling inspection of the model results showed biases of 17.21% and 18.87% for VFC and AGB, respectively. The models provided estimates of the quantity and distribution of AGB for grassland resources across the entire province, with the statistical results being largely consistent with the average values obtained from pure field plot surveys. **【Conclusion】** Satellite remote sensing NDVI reflects vegetation coverage and growth and can be effectively used for "NDVI-VFC" modeling with high accuracy. Compared to single modeling methods, the "VFC—AGB" classification modeling can significantly improve the accuracy of satellite remote sensing inversion for AGB.

Key words: grassland resources; remote sensing; classification modelling; NDVI; VFC; AGB

(责任编辑:靳奇峰)