

DOI: 10.5846/stxb201911092364

贺福全, 陈懂懂, 李奇, 陈昕, 霍莉莉, 赵亮, 赵新全. 三江源高寒草地牧草营养时空分布. 生态学报, 2020, 40(18): 6304-6313.

He F Q, Chen D D, Li Q, Chen X, Huo L L, Zhao L, Zhao X Q. Temporal and spatial distribution of herbage nutrition in alpine grassland of Sanjiangyuan. Acta Ecologica Sinica, 2020, 40(18): 6304-6313.

三江源高寒草地牧草营养时空分布

贺福全¹, 陈懂懂¹, 李奇¹, 陈昕^{1,2}, 霍莉莉^{1,2}, 赵亮^{1,*}, 赵新全¹

1 中国科学院西北高原生物研究所 中国科学院三江源国家公园研究院, 西宁 810008

2 中国科学院大学, 北京 100049

摘要: 草地的产草量和牧草品质影响着草地载畜量和草食动物的营养状况、生命活动及生产性能。以三江源及其周边地区的天然草地不同生长期(返青期、盛草期、枯黄期)牧草为对象, 分析草地产草量及牧草品质的时空格局。结果显示: 从整个区域看, 草地生产力、可食牧草产量以及粗蛋白产量(Crude Protein, CP)分布均具有较明显的地域差异性, 三者的高值区大多分布在三江源东部及南部的高寒草甸区, 三者的低值区主要在三江源中部和西部的草甸及高寒草原区; 大部分地区总生产力和可食牧草产量盛草期显著高于枯黄期, 枯黄期显著高于返青期。粗蛋白产量在大部分地区呈现出盛草期显著高于返青期和枯黄期, 返青期和枯黄期差异不明显, 少数地区返青期显著高于盛草期和枯黄期, 盛草期显著高于枯黄期(如: 可可西里); CP含量及产量在三江源区空间上的分布, 均为南部地区高于北部地区, 东部农牧交错区高于西部无人区; 所有区域CP含量的返青期为最高, 枯黄期为最低, 而其他养分含量在不同区域的季节波动并不一致; 盛草期牧草CP含量随海拔升高先增加后减小, 粗灰分随着海拔升高而显著增加, 中性洗涤纤维、酸性洗涤纤维和酸性洗涤木质素含量随着海拔升高呈降低趋势。结论: 三江源及周边地区牧草生产力、可食牧草产量以及CP产量较高, 可食性较好; 三江源多数地区高寒草地牧草营养质量相对较好, 牧草在返青期营养价值最高(蛋白高, 纤维低), 到盛草期, 牧草产量及营养物质输出量达到最高峰, 进入枯黄期的牧草营养质量低劣, 此时应进行补饲, 以提高家畜生产性能。三江源区可利用草地主要集中在东部、南部和东南部, 该区牧草品质较高、利用潜力(粗蛋白产量)较大, 可适度利用开发。

关键词: 三江源; 天然草地; 生产力; 营养成分; 季节动态; 空间分布

Temporal and spatial distribution of herbage nutrition in alpine grassland of Sanjiangyuan

HE Fuquan¹, CHEN Dongdong¹, LI Qi¹, CHEN Xin^{1,2}, HUO Lili^{1,2}, ZHAO Liang^{1,*}, ZHAO Xinquan¹

1 Northwest Institute of Plateau Biology, Chinese Academy of Sciences, Institute of Sanjiangyuan National Park, Chinese Academy of Sciences, Xining 810008, China

2 College of Life Science, University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China

Abstract: The standing herbage yield and quality affect the carrying capacity of grassland, the nutritional status and performance of herbivores. In this study, we chose the natural grasslands in Sanjiangyuan region and its surrounding areas, analyzed the temporal and spatial patterns of grassland primary productivity and herbage quality throughout one growing season (i.e. start, peak and end of the growing season). The results showed that aboveground herbage biomass, edible herbage and crude protein (CP) yields had apparent regional differences. Values of above three indexes were higher in the east and south parts than those in the middle and west parts of the Sanjiangyuan region. In most research areas, the gross

基金项目: 中国科学院战略性先导科技专项(A类)(XDA23060604); 国家重点研发计划(2016YFC0501805); 国家自然科学基金(31700394); 青海省重点研发与转化计划(2019-SF-153)

收稿日期: 2019-11-09; **修订日期:** 2020-07-15

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: lzha@nwipb.cas.cn

primary productivity and edible herbage yields were the highest at the peak of growing season, and the lowest in the start of growing season. CP yield was the highest in the peak of growing season, and did not differ between the start and the end of growing season. While CP yield was the highest in the start of growing season, and was the lowest in the end of growing season in Kekexili district. In the whole Sanjiangyuan region, both CP content and CP yield were higher in the south part than those in the north part, and showed higher in the eastern agro-pastoral area than that in the western depopulated zone. Herbage CP content was the highest in the start of growing season, and the lowest in the end of growing season in all studied areas, while the seasonal fluctuations of other nutrient contents in different regions were not consistent. CP content of edible grass increased first and then decreased with the elevation increment. Crude ash content increased significantly, while neutral detergent fiber, acid detergent fiber and neutral detergent lignin decreased with elevation increment. In summary, standing herbage productivity, edible herbage yield and CP yield were higher in Sanjiangyuan region and its surrounding areas, and this kind of grass had better edibility. The herbage quality was relatively better in most areas of the Sanjiangyuan region, and the nutritional value of herbage was the highest (high protein, low fiber) in the end of growing season. The herbage yield and nutrient output peaked in the start of growing season. The nutrition quality of grass were poor during withering period, supplementary feeding should be carried out during this period to promote livestock performance. The available grassland was mainly distributed in the east, south and southeast parts of Sanjiangyuan region. The herbage quality and utilization potential (crude protein yield) are high in this region, where can be moderately utilized.

Key Words: Sanjiangyuan; natural grassland; productivity; nutritional components; seasonal dynamics; spatial distribution

草地是最重要、分布最广的陆地生态系统之一,也是重要的自然资源^[1-3]。牧草是家畜和野生动物的食物来源,是草地畜牧业可持续发展的物质基础^[4-5]。草地的产草量和牧草品质是评价草地资源最为重要的两个指标:产草量代表了草地的生产状况和生产潜力,影响着草地载畜量^[4-7];而牧草品质高低决定了牧草利用率,直接影响草食动物的营养状况、生命活动及生产性能,与畜牧业生产直接相关^[4-7]。因此对草地的产草量和牧草品质进行研究,有助于合理利用草地、改进放牧制度并科学规划畜牧业生产,对退化草地恢复、实现草地永续利用有着重要意义^[8-9]。已有文献研究表明,牧草产量及营养物质的多少在时间和空间上有很大差异^[3,9-12],这些研究在空间尺度上或者缺少地面数据的验证,或者缺少一个完整生长季的牧草数据;在小尺度或者发生在特定区域或是对单一物种的分析,而缺少大尺度上对混合牧草时空格局的调查。

三江源位于青海省南部,是长江、黄河、澜沧江的发源地区,素有“江河源”之称,面积 $33.63 \times 10^5 \text{ km}^2$,是中国江河中下游地区和东南亚国家生态环境安全和区域可持续发展的生态屏障。草地生态是三江源区生态环境的主体,维系着“中华水塔”的生态安全。多年来,草地的长期超载放牧,使这一地区草地退化严重,草地生态趋于恶化,草畜矛盾突出^[12]。为此,天然草地资源的保护和合理利用受到重视,不断进行天然草地资源评价的相关研究。近年来对三江源草地不同区域和不同植被类型的产草量和牧草品质进行的研究较多。王艳萍等^[13]对青海可可西里国家自然保护区内的草地牧草营养品质进行评价,表明:高山嵩草草地型牧草优于紫花针茅草地型牧草;颜亮东等^[14]利用遥感技术对青海省草地资源进行了评估,认为青海省近 20 年来天然草地资源的分布规律没有发生变化,但草地生产力在逐步下降,草地资源在逐年减少;吴海艳^[15]分析了黄河源区藏嵩草沼泽化草甸地上生物量及放牧草地的营养成分;孙鹏飞等^[12]和郝力壮等^[16]分别研究了三江源区玉树州、果洛州主要草地类型的天然牧草营养价值,并对草场产草量和载畜量进行了综合评价。但这些研究多关注某个特定区域特定时期(7月末至9月初)^[13,16-21],或者是小区域范围牧草营养成分的季节动态^[12,22]。少有关于天然草地牧草产量及养分在整个三江源区域上的调查。因此,本研究以三江源 16 个县/区及与临近的甘南州(玛曲县和碌曲县)内天然草地在不同生长期(返青期,盛草期,枯黄期)的牧草为对象,分析草地产草量及牧草品质的季节变化和时空格局,为认识三江源天然草地资源的整体特征及对草地资源的利用和保护

提供科学依据,为综合评价三江源草地畜牧业潜力提供参考,从而实现高寒草地永续利用和草地畜牧业的可持续发展。

1 材料和方法

1.1 研究区域

三江源区位于青海省南部、青藏高原的腹地,地理位置介于 89°24'—102°23'E, 31°39'—36°16'N 之间,总面积约为 $36.3 \times 10^4 \text{ km}^2$,平均海拔 4000 m 以上。行政区包括玉树、果洛、海南、黄南、甘南 5 个自治州的 17 县/区及唐古拉山镇。研究区为典型的高原大陆性气候,冷热两季交替,干湿分明,气温年较差小、日较差大,太阳辐射强烈、四季区分不明显。三江源地区主要草地类型为高寒草甸和高寒草原,植物种类有莎草科嵩草属(*Kobresia*)、苔草属(*Carex*)和禾本科披碱草属(*Elymus*)等^[23-24]。

1.2 研究方法

1.2.1 样品采集

于 2017 年返青期(5—6 月),盛草期(8—9 月),枯黄期(10—11 月)在三江源区域内的可可西里地区、曲麻莱县、治多县、称多县、囊谦县、玉树县、杂多县、玛多县、玛沁县、达日县、久治县、班玛县、同德县、兴海县、泽库县、河南县,以及甘南州的玛曲县和碌曲县的典型高寒草甸/高寒草原选择样地(表 1),采集混合牧草,样地空间尺度为 100—200 m,每个样地内随机选取 5—8 个重复样方,样方大小为 50 cm×50 cm,样方框内进行齐地面刈割,区分可食与不可食部分,分别称重并记录。每个样方间隔距离为 30—50 m。对群落结构物种等的调查于 8 月份取样的同时进行。所有样品带回实验室后,于 80℃ 烘干后再次称重,然后粉碎过 1.00 mm 筛,备用。

表 1 采样地信息

Table 1 Sampling sites information

地点 Site	纬度 Latitude/N	经度 Longitude/E	海拔 Altitude/m	优势物种 Dominant species
果洛州	玛沁县 MQ	34°21'20"	100°29'02"	3817 黑褐苔草,线叶嵩草,西伯利亚蓼 <i>Carex atrofusca, Kobresia capillifolia, Polygonum sibiricum</i>
	班玛县 BM	33°6'8"	100°42'34"	3683 垂穗披碱草,小花草玉梅,黑褐苔草 <i>Elymus nutans, Anemone rivularis, Carex atrofusca</i>
	久治县 JZ	33°27'18"	101°29'39"	3595 线叶嵩草,青海苜蓿,垂穗披碱草 <i>Kobresia capillifolia, Medicago archiducis-nicolai, Elymus nutans</i>
	玛多县 MD	34°45'15"	98°07'52"	4250 紫花针茅,冷地早熟禾,多裂委陵菜 <i>Stipa purpurea, Poa crymophila, Potentilla multifida</i>
海南州	达日县 DR	33°22'12"	100°18'03"	4268 黑褐苔草,线叶嵩草,西伯利亚蓼 <i>Carex atrofusca, Kobresia capillifolia, Polygonum sibiricum</i>
	河南县 HN	34°42'53"	101°35'47"	3519 矮嵩草,垂穗披碱草,冷地早熟禾 <i>Kobresia humips, Elymus nutans, Poa crymophila</i>
	泽库县 ZK	35°4'32"	101°29'02"	3710 矮嵩草,垂穗披碱草,冷地早熟禾 <i>Kobresia humips, Elymus nutans, Poa crymophila</i>
海南州	同德县 TD	35°15'10"	100°40'09"	3300 矮嵩草,紫花针茅,白莲蒿 <i>Kobresia humips, Stipa purpurea, Artemisia sacrorum</i>
	兴海县 XH	35°52'14"	99°56'51"	3376 矮嵩草,紫花针茅,青海苜蓿 <i>Kobresia humips, Stipa purpurea, Medicago archiducis-nicolai</i>
玉树州	称多县 CD	33°21'01"	97°09'10"	3926 矮嵩草,青海苜蓿,蒲公英 <i>Kobresia humips, Medicago archiducis-nicolai, Taraxacum mongolicum</i>
	巴塘 BT	32°51'01"	97°04'50"	3818 矮嵩草,钉柱委陵菜,紫花针茅 <i>Kobresia humips, Potentilla saundersiana, Stipa purpurea</i>
	囊谦县 NQ	32°17'34"	96°27'27"	3642 矮蒿草,高山紫菀,披针叶黄华 <i>Scirpus pumilus, Aster alpinus, Thermopsis lanceolata</i>

续表

地点 Site	纬度 Latitude/N	经度 Longitude/E	海拔 Altitude/m	优势物种 Dominant species
治多县 Zhiduo	33°41'09"	95°52'25"	4097	西藏嵩草, 鹅绒委陵菜, 矮蒿草 <i>Kobresia tibetica, Potentilla anserine, Scirpus pumilus</i>
曲麻莱县 QML	34°59'36"	94°29'20"	4350	矮嵩草, 高山嵩草, 洛草 <i>Kobresia humips, Kobresia pygmaea, Koeleria Cristatata</i>
杂多县 ZD	32°56'24"	95°50'24"	4418	矮嵩草, 高山嵩草 <i>Kobresia humips, Kobresia pygmaea</i>
甘南州				
玛曲县 MaQu	33°40'12"	101°28'48"	3499	线叶嵩草, 垂穗披碱草 <i>Kobresia capillifolia, Elymus nutans</i>
碌曲县 LQ	34°36'36"	102°16'12"	3209	线叶嵩草, 垂穗披碱草 <i>Kobresia capillifolia, Elymus nutans</i>
唐古拉山镇				
可可西里 KKXL	34°12'34"	92°26'20"	4474	紫花针茅, 无味苔草, 扇穗茅 <i>Stipa purpurea, Carex pseudo, Littledalea racemosa</i>

文中的表中出现的地点缩写,均与此表相同

1.2.2 常规营养成分测定方法与指标

牧草营养成分的测定均以干物质为基础。粗蛋白(Crude Protein, CP)测定:GB/T 6432—2018《饲料中粗蛋白测定方法凯氏定氮法》^[25];粗脂肪测定(Crude Fat, Ether Extract, EE):GB/T 6433—2006《饲料中粗脂肪的测定》^[26];中性洗涤纤维(neutral detergent fiber, NDF)、酸性洗涤纤维(acid detergent fiber, ADF)、酸性洗涤木质素(acid detergent lignin, ADL)含量采用滤袋法(美国 ANKOM A2000i 全自动纤维仪)进行测定^[27],粗灰分(Crude Ash)测定:GB/T 6438—2007《饲料中粗灰分的测定》^[28];干物质(Dry Matter, DM)测定:GB/T 6435—2014《饲料中水分的测定方法》^[29]。

1.2.3 数据处理

首先对返青期、盛草期和枯黄期的 CP 含量进行经度和纬度带上的聚类 and 回归分析,两种分析方法发现同一时期的 CP 含量在经度和纬度带上均没有显著差异,同一地域的不同时期的 CP 含量有明显差异。通过回归分析发现,返青期、盛草期和枯黄期的 CP 含量随海拔升高有变化趋势但不明显。因此,我们认为在整个三江源面上,不同区域的同一时期、同一植被群丛 CP 含量是没有差异的。利用 1:100 万植被类型图,运用 ArcGIS 软件估算出盛草期三江源区域上的 CP 含量。

归一化植被指数(Normalized Difference Vegetation Index, NDVI)是应用最为广泛的植被指数,它是植物生长状态和植被空间分布的指示因子,与地表植被的覆盖率成正比关系,对于同一种植被,NDVI 越大,表明植被覆盖率越高。它是用于监测植被变化的经典植被指数,适用于大区域的植被监测。NDVI 的计算公式为:

$$NDVI = (NIR - R) / (NIR + R)$$

式中,NIR 为近红外波段反射率,R 为红波段反射率。并利用时间域上的滤波处理—S-G 滤波对数据集进行重构,以降低噪声水平。利用 NDVI 计算植被覆盖度(Fractional Vegetation Cover, FVC),根据像元二分模型,一个像元的 NDVI 值可以表达为绿色植被部分所贡献的信息 $NDVI_{veg}$ 与裸土部分所贡献的信息 $NDVI_{soil}$ 两部分组成,因此植被覆盖度可表示为:

$$FVC = (NDVI - NDVI_{soil}) / (NDVI_{veg} - NDVI_{soil})$$

式中,FVC 为植被覆盖度;NDVI 为像元的 NDVI 值; $NDVI_{soil}$ 为完全裸土或无植被覆盖区域的 NDVI 值; $NDVI_{veg}$ 为植被完全覆盖像元的 NDVI 值。

基于已估算归一化植被指数与植被覆盖度数据,对于稀疏草地植被区,有效的提高植被信号,减弱背景信息如土壤等的影响,对于草地植被的探测将很有意义。根据光谱混合分析方法,对植被信息进行分解:

$$VR = MR - (1 - FVC) \times SR$$

式中,VR 表示分解后的植被反射信号;MR 表示像元的原始状态,通常理解为一种混合信息;FVC 表示植被覆盖度;SR 表示土壤的反射信号。

由于对背景信号或者说无植被信号进行了过滤,因此可利用常用的线性模型或者指数模型对草地地上生物量(Above ground biomass)进行估算:

$$AGB = \alpha \times VR$$

为了进一步的以上模型进行优化,用植被指数来替换像元的反射率。另外,根据草地植被生长的特点,在生长季早期,地表完全由土壤与干枯植被覆盖,而这些背景信息即使在生长季的旺季也依然存在,因此,可以选择生长季早期的数据作为土壤背景的信息 SR 以简化模型参数的估算:

$$AGB = a \times VI(t, FVC)$$

式中, a 为转换系数,单位为 g/m^2 。

然后根据 NDVI 推算出的 250 m 牧草地上生物量鲜重(AGB),根据调查数据计算出干/鲜比,用 ArcGIS 计算出盛草期粗蛋白产量。

$$\text{粗蛋白产量} = b \times AGB \times \text{粗蛋白含量}$$

式中, b 牧草干/鲜比,AGB 为地上生物量鲜重,粗蛋白产量单位为 g/m^2 。

所有的统计分析用 R 4.0.0,用 ArcGIS 10.4.1 和 Origin 2016 空间分析和作图。

2 结果与分析

2.1 三江源高寒草地不同时期牧草及粗蛋白产量

从整个区域看,单位面积生物量、可食牧草产量以及 CP 产量分布均具有较明显的地域差异性,三者的高值区大多分布在三江源东部及南部的高寒草甸区,总生物量、可食牧草产量以及 CP 产量的低值区主要在三江源中部和西部的草甸及高寒草原区(表 2)。大部分地区总生产力和可食牧草产量盛草期显著高于枯黄期,枯黄期显著高于返青期,而少数地区差异不显著(如:可可西里、玛多县)。同一地域 CP 产量在盛草期、枯黄期和返青期 3 个时期差异不如总生产力和可食牧草产量明显,大部分地区呈现出盛草期高于返青期和枯黄期,返青期和枯黄期差异不明显,而个别地区返青期显著高于盛草期和枯黄期,盛草期显著高于枯黄期(如:可可西里)。也有的地区 3 个时期 CP 产量差异不显著(如:曲麻莱县)。返青期牧草总产量/可食牧草产量最高区域为久治县,CP 产量最高为班玛县,牧草总产量及 CP 产量最低为同德县;盛草期牧草总产量及 CP 产量最高区域为玛沁县,最低为可可西里地区;枯黄期牧草总产量/可食牧草产量最高区域为班玛县,牧草产量最低为可可西里地区,而 CP 产量最低在玛多县(表 2)。

2.2 三江源天然草场牧草营养成分的季节变化

不同区域牧草不同营养成分含量的季节动态有所不同(图 1)。不同区域 CP 含量的季节变化均为返青期>盛草期>枯黄期,而其他养分含量在不同区域的季节波动并不一致。整个区域上从返青期至枯黄期,CP 含量均值变化为 $17.29\% \pm 2.09\% > 10.43\% \pm 1.99\% > 5.60\% \pm 2.04\%$; EE 含量平均值为返青期($1.47\% \pm 0.42\%$)<盛草期($1.84\% \pm 0.45\%$) \approx 枯黄期($1.83\% \pm 0.62\%$);粗灰分含量随生长季延长为下降的趋势,变化为返青期($10.45\% \pm 4.42\%$)>盛草期($10.09\% \pm 3.52\%$)>枯黄期($8.29\% \pm 2.26\%$);NDF 和 ADF 含量均随生长季显著增加,分别为返青期($44.84\% \pm 10.96\%$)<盛草期($50.29\% \pm 7.31\%$)<枯黄期($54.02\% \pm 8.36\%$)和返青期($22.66\% \pm 4.04\%$)<盛草期($27.69\% \pm 3.99\%$)<枯黄期($29.42\% \pm 5.02\%$);ADL 含量变化,返青期($2.49\% \pm 0.81\%$)<盛草期($3.49\% \pm 0.94\%$) \approx 枯黄期($3.40\% \pm 3.20\%$)。

2.3 三江源牧草盛草期粗蛋白含量及产量的空间分布

从整个区域上看,CP 含量和产量在空间上的分布(图 2),均为南部地区高于北部地区,东部农牧交错区高于西部无人区,二者从东南到西北,均呈现出递减的趋势。

整体而言,三江源盛草期粗灰分(Ash)含量,随着海拔升高而显著增加($R^2 = 0.73, P < 0.01$)(图 3)。粗脂肪(EE)与海拔不存在显著的相关性($R^2 = 0.01, P = 0.4$)。中性洗涤纤维(NDF)、中性洗涤木质素(ADL)含量随着海拔升高显著降低($R^2 = 0.24, P = 0.03; R^2 = 0.83, P < 0.01$),而酸性洗涤纤维(ADF)随着海拔升高

有降低的趋势但不显著 ($R^2 = 0.16$, $P = 0.09$)。然而,牧草 CP 含量随着海拔的升高先增加后减小,在海拔 4000 m 附近达到最大,随后下降。

表 2 三江源高寒草地不同时期牧草及粗蛋白产量

Table 2 Herbage and crude protein yield in different periods of Alpine Grassland in Sanjiangyuan

地点 Site	总生产力 Total yield/(g/m ²)			可食牧草 Edible grass yield/(g/m ²)			粗蛋白 Crude protein yield/(g/m ²)		
	返青期	盛草期	枯黄期	返青期	盛草期	枯黄期	返青期	盛草期	枯黄期
	Start of	Peak of	End of	Start of	Peak of	End of	Start of	Peak of	End of
	greening	greening	greening	greening	greening	greening	greening	greening	greening
season	season	season	season	season	season	season	season	season	
TD	20.75±3.15a	144.38±43.90b	63.62±17.06b	20.75±3.15a	104.48±31.96c	55.32±11.81b	3.23±0.54a	9.53±2.62b	4.38±0.94a
MQ	38.89±15.05a	399.56±23.30c	112.11±31.52b	38.89±15.06a	358.74±93.44c	107.62±30.29b	7.55±2.31a	42.01±13.1b	9.01±3.75a
DR	23.25±4.49a	247.73±58.44b	69.5±38.01a	23.53±4.49a	143.37±72.11c	60.07±35.18b	3.33±0.73a	17.11±9.38b	4.19±2.43a
BM	118.65±19.68a	389.97±54.88c	270.46±71.02b	118.65±19.68a	281.91±99.31c	251.31±56.42b	21.29±3.86a	28.54±9.89b	20.24±2.83a
JZ	133.29±19.88a	275.91±33.55c	231.16±44.27b	127.81±20.15a	192.11±64.59b	194.27±45.37b	21.15±3.76a	20.69±7.37a	16.06±4.51a
HN	75.81±21.62a	387.89±137.76c	256.62±36.11b	74.81±20.59a	342.55±141.79c	236.16±36.67b	12.69±4.23a	30.88±6.32b	17.39±2.25a
ZK	95.08±18.48a	391.81±139.67b	153.95±51.98a	93.88±17.22a	359.12±142.85c	146.15±49.58b	20.89±5.01b	35.41±11.04c	7.84±2.71a
XH	88.64±12.35a	289.72±121.94b	232.24±5.39b	78.41±14.02a	248.52±107.61b	216.09±44.18b	13.78±2.73a	24.81±11.25b	11.31±3.27a
MD	35.11±5.34a	76.67±18.07b	30.65±5.36a	35.11±5.34a	34.72±13.35a	25.16±6.14a	5.29±1.06b	3.71±1.38b	0.91±0.18a
Zhiduo	78.94±14.23a	253.78±48.69c	131.83±32.43b	78.56±14.14a	251.41±49.19c	125.98±30.63b	12.56±2.15b	29.78±5.99c	3.81±1.34a
CD	42.96±14.55a	175.61±58.85c	109.99±38.83b	42.51±14.53a	146.12±69.44c	87.91±34.57b	7.68±2.44a	20.39±10.34b	6.49±1.85a
NQ	128.35±17.31a	160.54±33.55ab	197.85±78.39b	118.35±17.44a	126.32±48.26a	197.48±78.65b	17.52±3.54b	13.38±5.95ab	8.57±3.95a
ZD	73.47±11.67a	134.03±41.22b	101.07±16.67b	66.28±10.97a	132.48±40.99b	101.07±16.67b	13.38±3.49b	13.44±3.69b	2.39±0.39a
BT	77.52±12.87a	173.25±63.35c	130.89±29.91b	77.04±12.78a	125.75±64.72b	121.31±35.58b	13.54±2.94b	13.51±7.63b	6.18±2.37a
QML	51.18±13.93a	98.70±43.52b	51.71±10.85a	51.18±13.93a	93.82±46.57b	51.46±10.72a	9.59±2.63a	11.12±8.89a	2.15±0.54a
KKXL	25.91±6.55a	24.30±13.14a	26.94±6.19a	21.42±8.38ab	18.60±7.13b	26.07±6.94a	4.19±1.49c	1.48±0.41b	0.98±0.19a
MaQu	107.91±10.75a	325.77±35.10c	247.93±33.07b	84.85±14.43a	244.93±60.46b	203.12±23.46b	14.16±2.93b	21.53±5.29c	10.32±1.41a
LQ	102.81±14.77a	342.56±109.56c	194.31±60.38b	94.23±13.96a	262.89±92.25c	161.98±59.62b	14.99±3.02b	20.63±6.61c	8.88±1.57a

同一列中不同的小写字母代表不同处理间的差异显著性 ($P < 0.05$)

3 讨论

3.1 三江源高寒草地牧草产量及粗蛋白产量变化

天然牧草的产草量可反映出草地营养物质输出的基本能力,一般由牧草产量等指标来描述^[16]。本研究结合放牧实际,将地上生物量分为可食与不可食牧草,其中三个时期可食牧草占总产草量的 79%—95%。盛草期平均产草量(238.45 ± 119.61) g/m²,可食牧草(192.66 ± 105.68) g/m²,CP 产量(19.89 ± 10.76) g/m²,均高于石岳等^[9]对内蒙古草地生产力的调查结果,呼伦贝尔市天然草原牧草的产量及 CP 产量^[30],以及藏北高原高寒草甸(4300—4700 m 海拔范围内)的产草量等^[30],说明三江源区整体上可食牧草产量高,可食性较好。可食牧草比例的变化与样品采集时记录的优势物种的种类相对应:返青期和枯黄期禾本科和莎草科占优势,可食牧草比例较高,而盛草期不可食阔叶类比例增加,导致可食牧草比例下降(数据未展示)。这可能与当地牧草的生长规律以及气候等因素相关^[18]。

牧草的营养价值主要取决于蛋白质、矿物质及纤维素含量的多少。蛋白质、矿物质含量越高,纤维素含量越低,牧草的营养价值就越高,反之牧草的营养价值就越低^[11]。其中 CP 是放牧家畜生命活动的重要功能物质,反映了牧草能够满足动物蛋白质需求的能力^[18,31],CP 产量高低由其含量及产草量共同决定。

对玛多县高山嵩草草地的调查显示,7—8 月份其干草产量及可食草占干草的比例均高于本研究中玛多县的结果(表 2),而 CP 含量(9.45%)低于本研究的结果($10.70\% \pm 1.11\%$)^[16]。对河南县高山嵩草草地的调查结果显示,牧草产量在返青期比本研究的结果稍高,青草期和枯黄期均低于我们的结果,而 3 个时期 CP 产

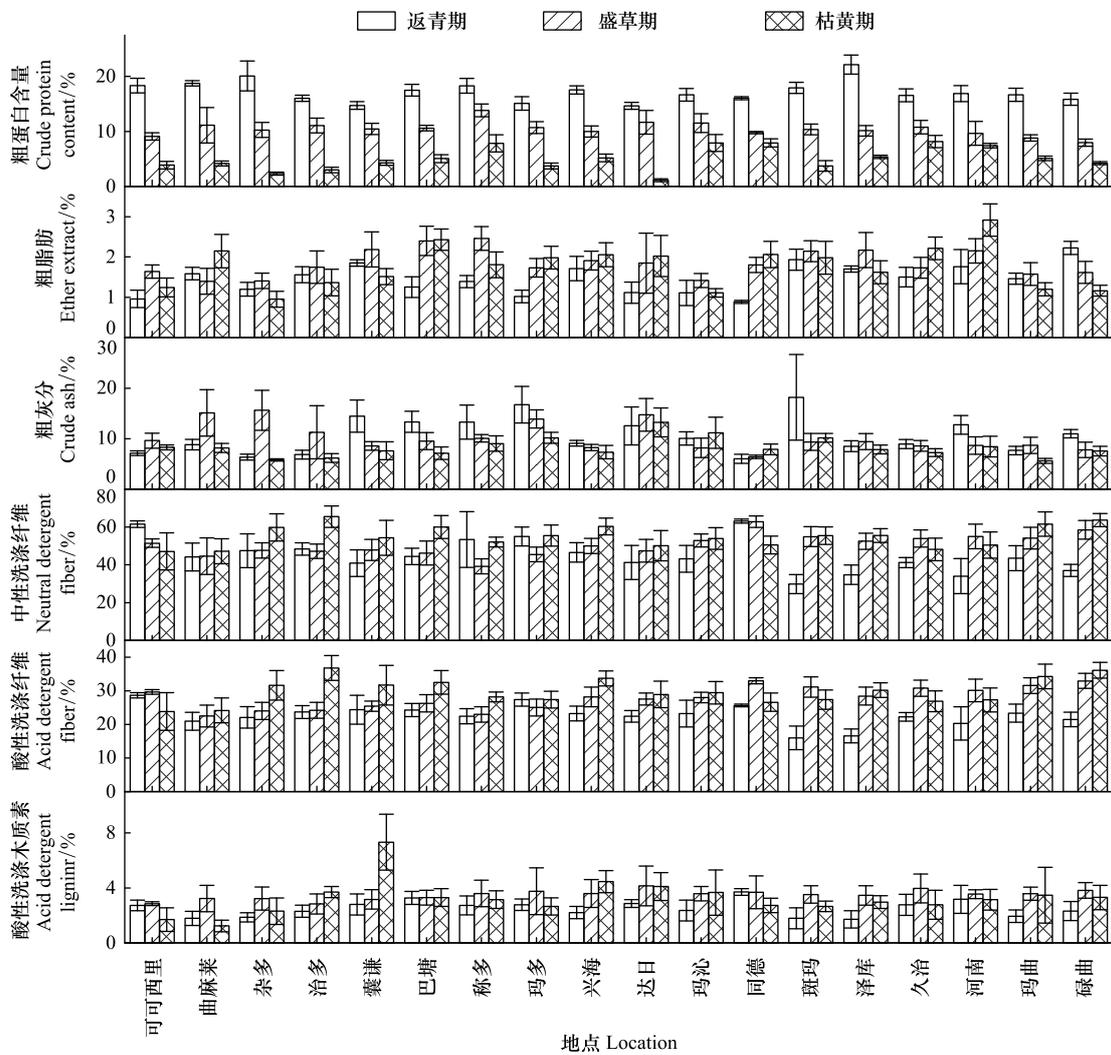


图 1 三江源各营养成分含量不同时期变化

Fig.1 Changes in the nutrient content of Sanjiangyuan in different periods

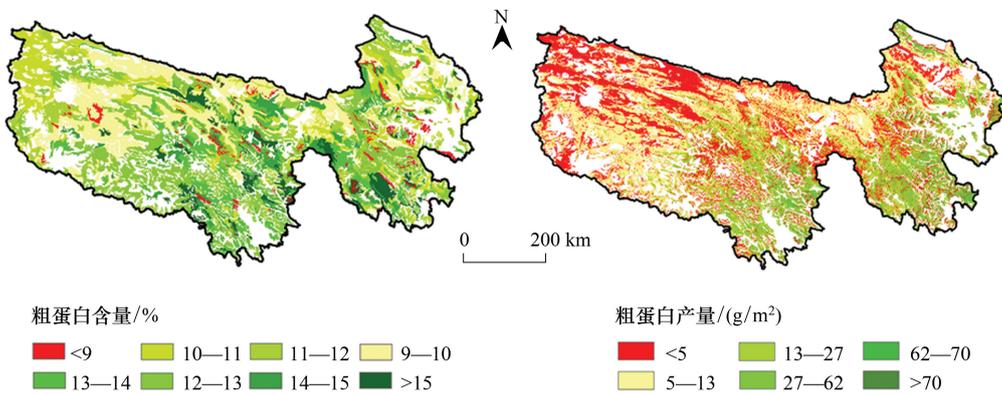


图 2 三江源区盛草期粗蛋白含量和粗蛋白产量的空间分布

Fig.2 The spatial distribution of crude protein contenta and crude protein yieldb during the peak of the growing season in Sanjiangyuan

量均低于我们的结果(表 2)^[18]。对玉树州藏高草草地的调查显示牧草生产力、可食牧草产量均远高于我们对藏高草草地(杂多县)的调查结果^[20],但 CP 含量(10.16%)及可食牧草比例(97.8%)与我们的结果相似

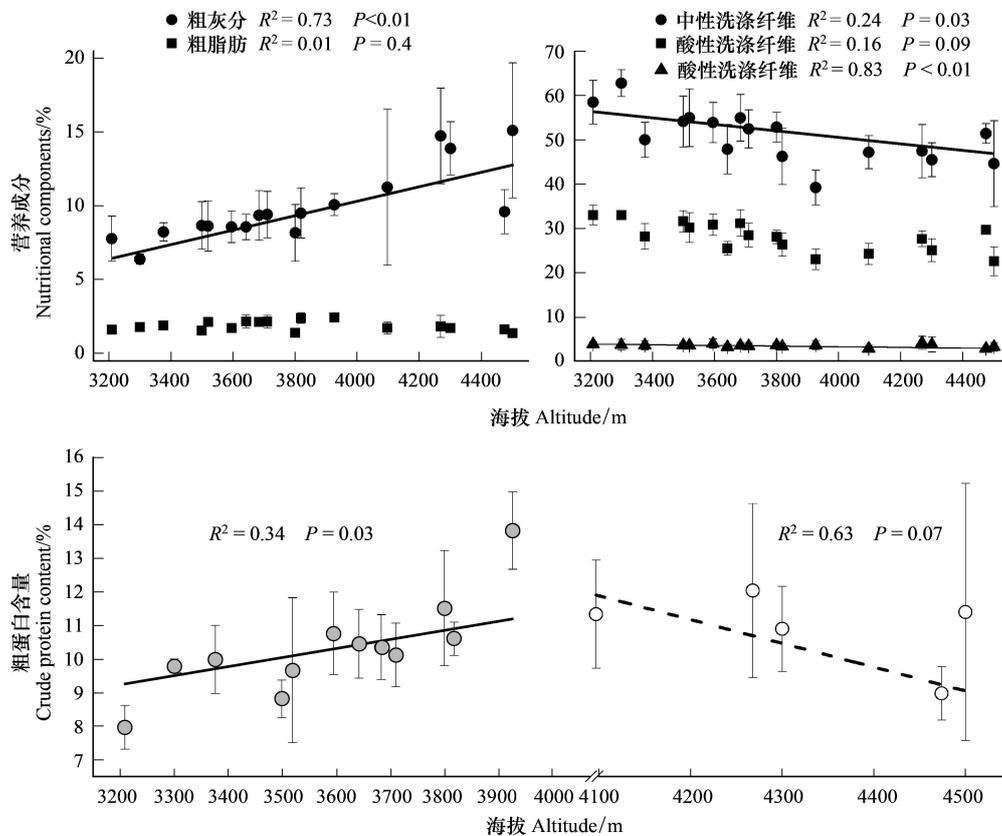


图3 盛草期牧草营养成分含量与海拔的关系

Fig.3 Relationship between nutrient content and altitude of herbage grass

(CP 含量及可食牧草比例分别为 $10.47\% \pm 1.40\%$ 和 98%)。从与其他研究的结果对比来看,虽然针对同一地区开展调查,但由于或者调查年份不同,天然草地牧草生长存在年际差异;或者定点调查范围较小,并未涵盖所有的草地类型,不同研究样品采集区的草地类型不同;或者采集样本量的差异,从而导致最终结果存在差异。

3.2 高寒草地不同养分的季节变化

牧草的营养物质含量随生长期变化,生长快时,营养价值高,随着季节的推移,牧草生长速度减慢直至停止,养分也减少。牧草生长末期,牧草的茎叶逐渐老化枯萎,细胞壁成分增加,使牧草地上株从木质素和其他结构性支撑物质质量分数增高,NDF 和 ADF 增加,细胞内容物逐渐减少,从而导致 CP 相应地减少^[32]。这与我们整个区域上 CP 和 NDF,ADF 的变化相一致。牧草在返青期营养价值最高(蛋白高,纤维低)(图1),但处于这个时期的牧草没有得到充分生长,到盛草期,牧草产量及营养物质输出量达到最高峰,此时为放牧的最佳时期^[33]。进入枯黄期的牧草营养价值和质量低劣,此时只靠放牧会严重阻碍家畜的生长发育以及生产性能,故在此时应进行补饲,以提高家畜生产性能,防止掉膘^[34]。

本文测定的牧草 CP 按照任继周^[35]牧草化学成分 CP 等级指数划分($\geq 16\%$ 为上等、 $10\%—15\%$ 为中等、 $\leq 10\%$ 为下等),三江源高寒草地返青期牧草营养品质处于上等,盛草期为中等,枯黄期为下等。而根据曲艳^[36]对草地牧草饲用价值评定标准,返青期和盛草期蛋白质含量占干物质的 10% 以上,粗脂肪 $>1.5\%$,而粗纤维素的含量 $<35\%$,均属良等牧草。有资料表明如果饲料中 ADF 含量 $\geq 30\%$ 时,会影响到饲料蛋白的消化,本研究中整个区域 3 个时期,ADF 的平均含量均低于 30% ,尤其是返青期所有采样区,以及盛草期和枯黄期海拔 $>3800\text{ m}$ 的地区;考虑到 ADF 是粗纤维中除去半纤维素等易被反刍动物消化利用的部分后的物

质^[16],可推知三江源多数地区高寒草地牧草营养质量相对较好。

3.3 高寒草地牧草养分空间变化

研究发现,青藏高原 2200—4000 m 不同海拔梯度内,高寒草地矮嵩草(*Kobresia humilis*)地上部分的 CP 质、脂肪含量随海拔高度增加^[37];而在海拔 4000—5100 m 草地 CP 质含量随海拔先降低后升高,临界点大概在 4300—4600 m 之间;但纤维和灰分含量持续降低^[38]。这与我们的研究结果类似,海拔低于 4000 m 时,CP 含量随海拔增加而增加,而在 4000—4470 m 梯度内,CP 含量随海拔增加而降低(图 3)。不同的是,我们的结果显示,脂肪含量与海拔之间不存在显著的相关性,且粗灰分含量随海拔升高呈增加的趋势。这可能是由于以海拔高度为主的地形因子造成高寒草地适生优势种(群)以及植被构成的不同,从而造成不同海拔草地养分合成量上的差异。CP 含量和产量东南向西北递减的趋势,这可能与草地适生优势种(群)以及植被构成密切相关,三江源东部地区(河南县,泽库县,兴海县)和东南部(泽库县和称多县)主要以莎草科的矮嵩草和豆科的青海苜蓿为优势种,而西北地区(唐古拉山镇和治多县)等地区主要以禾本科的紫花针茅、扇穗茅和少部分的莎草科的西藏嵩草为优势种(表 1)。研究也发现豆科植物 CP 含量高于莎草科和禾本科,而莎草科 CP 含量高于禾本科(数据未展示)。同时,水热因子与牧草的质量密切相关^[39]。青藏高原因海拔高度的隆升水热因子显现出明显的分异性,从而决定了高寒草原牧草产量、质量沿海拔梯度分布的格局^[30]。有研究发现牧草营养与产草量之间存在相关关系,随着产草量的升高,牧草粗纤维含量增加、CP 和粗脂肪含量下降的趋势,这反映产草量较大时对营养元素的“稀释”现象^[9]。而我们的结果并未发现此类关系。

4 结论

三江源区整体上单位面积牧草总产量、可食牧草产量以及粗蛋白产量较多,可食性较好。多数地区高寒草地牧草营养质量相对较好,牧草在返青期营养价值最高(蛋白高,纤维低),到盛草期,牧草产量及营养物质输出量达到最高峰,进入枯黄期的牧草营养价值和品质低劣,此时应进行补饲,以提高家畜生产性能。三江源区可利用草地主要集中在东部、南部和东南部,该区牧草品质较高、利用潜力(粗蛋白输出量)较大,可适度利用开发。

参考文献(References):

- [1] Hopkins A. Grass: Its Production and Utilization. 3rd ed. Oxford, UK: British Grassland Society by Blackwell Science, 2000: 456-457.
- [2] Collins M, Nelson C J, Moore K J, Barnes R F. Forages. Volume 1: An Introduction to Grassland Agriculture. 7th ed. Iowa, USA: Iowa State University Press, 2017.
- [3] 沈海花,朱言坤,赵霞,耿晓庆,高树琴,方精云. 中国草地资源的现状分析. 科学通报, 2016, 61(2): 139-154.
- [4] 辛玉春. 青海天然草地牧草营养成分分析. 青海草业, 2011, 20(1): 26-31, 9-9.
- [5] 张春林 韩向敏,郎侠,王彩莲. 青藏高原东北缘不同草地类型牧草营养品质动态. 草业科学, 2019, 36(3): 763-771.
- [6] Bokdam J, De Vries Wallis M F. Forage quality as a limiting factor for cattle grazing in isolated Dutch nature reserves. Conservation Biology, 1992, 6(3): 399-408.
- [7] 旦正吉. 三江源天然草地资源评价研究进展. 现代农业科技, 2012, (11): 268-268, 274-274.
- [8] Zhao D L, Starks P J, Brown M A, Phillips W A, Coleman S W. Assessment of forage biomass and quality parameters of bermudagrass using proximal sensing of pasture canopy reflectance. Grassland Science, 2007, 53(1): 39-49.
- [9] 石岳,马殿雷,马文红,梁存柱,赵新全,方精云,贺金生. 中国草地的产草量和牧草品质: 格局及其与环境因子之间的关系. 科学通报, 2013, 58(3): 226-239.
- [10] 郭彦军,龙瑞军,张德罡,陈建纲. 东祁连山高寒草甸灌木和牧草营养成分含量季节变化动态. 草业科学, 2001, 18(6): 36-39.
- [11] 陆阿飞. 三江源区不同地区天然草地牧草营养成分分析. 黑龙江畜牧兽医, 2015, (8): 139-141.
- [12] 孙鹏飞,崔占鸿,刘书杰,柴沙驼,郝力壮,王迅. 三江源区不同季节放牧草场天然牧草营养价值评定及载畜量研究. 草业学报, 2015, 24(12): 92-101.
- [13] 王艳萍,郑中朝,晁生玉,张力,张纪元. 青海可可西里自然保护区草地牧草营养成分测定. 草原与草坪, 2005, (4): 30-33.
- [14] 颜亮东,殷青军,张海珍,闵庆文,吴素霞,伏洋. 遥感资料在青海草地资源监测及评价中的应用研究. 自然资源学报, 2007, 22(4):

640-648.

- [15] 吴海艳. 黄河源区藏嵩草沼泽化草甸植物量及营养季节动态研究[D]. 西宁: 青海大学, 2008.
- [16] 郝力壮, 刘书杰, 吴克选, 赵月平, 张晓卫. 玛多县高山嵩草草地天然牧草营养评定与载畜量研究. 中国草地学报, 2011, 33(1): 84-89.
- [17] 林莉. 兴海同德两县天然牧草营养价值综合评定及草地载畜量确定[D]. 西宁: 青海大学, 2010.
- [18] 杜雪燕, 柴沙驼, 王迅, 刘书杰, 张晓卫. 河南县高山嵩草草地牧草营养价值与载畜量研究. 河南农业科学, 2015, 44(11): 141-146.
- [19] 郝力壮, 韩小东, 牛建章, 张晓卫, 项洋, 王迅, 柴沙驼, 龙瑞军, 刘书杰. 三江源区河南县天然草场草畜营养平衡关系研究. 草地学报, 2018, 26(2): 520-524.
- [20] 薛艳锋, 郝力壮, 刘书杰. 玉树州藏嵩草草地牧草营养价值评定与营养载畜量. 草业科学, 2015, 32(10): 1660-1667.
- [21] 刘慧丽, 郝力壮, 刘书杰, 柴沙驼, 张晓卫. 青海矮生嵩草和垂穗披碱草草地牧草营养价值与载畜量的比较. 河南农业科学, 2018, 47(2): 114-118, 124-124.
- [22] 王向涛, 陈懂懂, 李奇, 徐世晓, 赵新全, 赵亮. 青海湖南岸天然草场牧草生产力和养分季节动态. 兰州大学学报: 自然科学版, 2019, 55(2): 199-203.
- [23] 王向涛, 陈懂懂. 三江源草地 GNDVI 年际波动及其沿海拔梯度敏感性分析. 生态环境学报, 2018, 27(8): 1411-1416.
- [24] 许茜, 李奇, 陈懂懂, 罗彩云, 赵新全, 赵亮. 近 40a 三江源地区土地利用变化动态分析及预测. 干旱区研究, 2018, 35(3): 695-704.
- [25] 国家市场监督管理总局, 国家标准化管理委员会. GB/T 6432—2018 饲料中粗蛋白的测定 凯氏定氮法. 北京: 中国标准出版社, 2018.
- [26] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. GB/T 6433—2006 饲料中粗脂肪的测定. 北京: 中国标准出版社, 2006.
- [27] 张崇玉, 王保哲, 张桂国, 尹朋辉, 路绪明. 饲料中的粗纤维、NDF、ADF 和 ADL 含量的快速测定方法. 山东畜牧兽医, 2015, 36(9): 20-22.
- [28] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. GB/T 6438—2007 饲料中粗灰分的测定. 北京: 中国标准出版社, 2007.
- [29] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. GB/T 6435—2014 饲料中水分的测定. 北京: 中国标准出版社, 2015.
- [30] 付刚, 周宇庭, 沈振西, 张宪洲, 武建双. 藏北高原高寒草甸地上生物量与气候因子的关系. 中国草地学报, 2011, 33(4): 31-36.
- [31] 何旭阳, 杨振安, 张桥英. 青藏高寒草甸 3 种牧草营养成分和饲用价值比较. 草学, 2019, (4): 34-37.
- [32] 红敏. 不同生长阶段天然牧草品质评定比较研究. 饲料研究, 2012, (12): 79-81.
- [33] 王斐. 典型草原地区放牧肉羊采食量预测模型建立[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2011.
- [34] Ma L, Xu S X, Liu H J, Xu T W, Hu L Y, Zhao N, Han X P, Zhang X L. Yak rumen microbial diversity at different forage growth stages of an alpine meadow on the Qinghai-Tibet Plateau. PeerJ, 2019, 7(11): e7645.
- [35] 任继周. 草业科学研究方法. 北京: 中国农业出版社, 1998: 441-442.
- [36] 曲艳. 草地牧草的饲用价值评价. 饲料博览, 2017, (5): 63.
- [37] 韩发, 贲桂英, 师生波. 青藏高原不同海拔矮嵩草蛋白质、脂肪和淀粉含量的变异. 植物生态学报, 1997, 21(2): 97-104.
- [38] 张晓庆, 罗黎明, 金艳梅, 张雅莉, 潘影, 武俊喜. 拉萨河谷山地灌丛草地优势种营养物质含量变化规律. 中国草地学报, 2017, 39(3): 90-95.
- [39] 张晓庆, 罗黎明, 吴尧, 潘影, 武俊喜, 张雪凤. 海拔高度对拉萨山地灌丛草地优势牧草体外消化率的影响. 中国草地学报, 2017, 39(6): 79-83.