

三江源高寒草地常见可食牧草在不同分布区的营养成分分析

陈懂懂^{1,2}, 赵亮^{1,2}, 贺福全^{1,2}, 陈昕^{1,2,4}, 霍莉莉^{1,2,3}, 赵新全^{1,2},
徐世晓^{1,2}, 李奇^{1,2}

(1. 中国科学院三江源国家公园研究院, 青海 西宁 810008; 2. 中国科学院西北高原生物研究所, 青海 西宁 810008; 3. 中国科学院大学, 北京 100049; 4. 中央民族大学, 北京 100081)

摘要: 为了解不同区域可食牧草的营养特征并在后期加以利用, 对三江源地区常见可食牧草进行概略养分分析, 采用随机取样方法并进行常规分析。结果表明: (1) 莎草科物种以及禾本科垂穗披碱草的养分含量与海拔存在一定的相关, 在三江源区域的分布为东部和南部较高而西部北部偏低; (2) 两种杂类草以及紫花针茅的综合营养价值为西部高于东部, 但主要营养物质粗蛋白的含量为东部高于西部; (3) 禾本科牧草在盛草期营养价值较低, 加之种子针芒的影响不适合放牧, 以紫花针茅和垂穗披碱草为优势种的草地可在开花结种前进行适度放牧; (4) 以矮嵩草和黑褐苔草为代表的莎草科牧草营养好又耐牧, 对于以此类物种为优势种的草地, 可根据实际情况进行划区轮牧以防止过度放牧。

关键词: 三江源; 高寒草地; 可食牧草; 概略养分

中图分类号: S812 **文献标志码:** A **文章编号:** 1009-5500(2021)04-0134-09

DOI: 10.13817/j.cnki.cyyep.2021.04.018



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, 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]。因此对草地主要牧草的品质进行研究, 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、实现草地永续利用具有重要意义^[8-9]。

三江源位于青海省南部, 是长江、黄河、澜沧江的发源地地区, 素有“江河源”之称, 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。由于近年来畜产品的经济效益不断提升, 草地出现不同程度的超载现象, 从而造成草地退化^[10], 牧草种类发生改变, 产草量与牧草品质降低, 同时牧草营养成分也发生变化^[11]。牧草的营养价值主要取决于蛋白质、矿物质以及纤维素含量的多少, 蛋白质、矿物质含量越高, 同时纤维素含量越低, 牧草的营养价值就会越高, 相反牧草的营养价值则越低^[12]。

紫花针茅 (*Stipa purpurea*) 隶属于禾本科针茅属, 是三江源区高寒草原中的优势物种^[13], 同时它与垂穗披碱草 (*Elymus nutans*) 也是高寒草甸的重要组成部分^[14]; 莎草科的嵩草属和苔草属物种则是高寒草甸的建群种和优势种^[14]; 而杂类草菊科的一些物种和蔷薇科的委陵菜属物种则是在高寒草甸和高寒草原植被群落组成中占比较大, 出现频率较高的伴生种。由于水热等环境要素不同, 导致不同地区植被生长具有差异^[14-15], 由此可引起同种牧草养分含量的变化^[13]。

收稿日期: 2020-07-24; **修回日期:** 2021-10-21

基金项目: 第二次青藏高原综合科学考察研究项目 (2019QZKK0302); 2018 年度中国科学院“西部之光”人才培养计划; 国家自然科学基金青年项目 (31700394); 青海省科技重点项目 (2019-SF-153)

作者简介: 陈懂懂 (1982-), 女, 山东广饶人, 博士, 工程师, 研究方向为草地生态学, 土壤生态学。

E-mail: chendd@nwipb.cas.cn

李奇为通讯作者。E-mail: liqi@nwipb.cas.cn

本研究通过对实地调查数据的整理分析,以三江源区常见可食牧草为对象研究其营养成分,以了解不同区域各类牧草的养分特征,为其放牧利用以及后期研究提供一定的理论依据。

1 材料和方法

1.1 研究区域

三江源区位于青藏高原的腹地,地理位置为

E 89°24′~102°23′, N 31°39′~36°16′, 总面积约为 36.3×10⁴ km², 平均海拔 4 000 m。行政区包括玉树、果洛、海南、黄南 4 个自治州的 16 个县及唐古拉乡。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^[16-17]。

表 1 采样地信息

Table 1 Sampling site information

地点	纬度/(°)	经度/(°)	海拔/m	优势物种
果洛州 玛沁县 MQ	34.355 6	100.483 9	3 817	线叶嵩草(<i>Kobresia capillifolia</i>), 黑褐苔草(<i>Carex atrofusca</i>), 西伯利亚蓼(<i>Polygonum sibiricum</i>)
班玛县(BM)	33.102 2	100.709 4	3 683	垂穗披碱草(<i>Elymus nutans</i>), 小花草玉梅(<i>Anemone rivularis</i>), 黑褐苔草
久治县(JZ)	33.455	101.494 2	3 595	垂穗披碱草, 黑褐苔草, 青海苜蓿(<i>Medicago archiducis-nicolai</i>)
玛多县(MD)	34.7542	98.131 1	4 250	紫花针茅(<i>Stipa purpurea</i>), 冷地早熟禾(<i>Poa crymophila</i>), 多裂委陵菜(<i>Potentilla multifida</i>)
黄南州 河南县(HN)	34.7147	101.596 4	3 519	矮嵩草(<i>Kobresia humips</i>), 垂穗披碱草, 黑褐苔草
泽库县(ZK)	35.0756	101.483 9	3 710	矮嵩草, 垂穗披碱草, 紫花针茅(<i>Stipa purpurea</i>)
海南州 同德县(TD)	35.252 8	100.669 2	3 300	矮嵩草, 紫花针茅, 白莲蒿(<i>Artemisia sacrorum</i>)
兴海县(XH)	35.870 6	99.947 5	3 376	矮嵩草, 紫花针茅, 垂穗披碱草
玉树州 称多县(CD)	33.350 3	97.152 8	3 926	矮嵩草, 蒲公英(<i>Taraxacum mongolicum</i>), 垂穗披碱草
巴塘(BT)	32.850 3	97.080 6	3 818	矮嵩草, 黑褐苔草, 紫花针茅
囊谦县(NQ)	32.292 8	96.457 5	3 642	矮嵩草, 垂穗披碱草, 披针叶黄华(<i>Thermopsis lanceolata</i>)
治多县(ZD)	33.685 8	95.873 6	4 097	西藏嵩草(<i>Kobresia tibetica</i>), 鹅绒委陵菜(<i>Potentilla anserine</i>), 黑褐苔草
曲麻莱县(QML)	34.993 3	94.488 9	4 350	矮嵩草, 高山嵩草(<i>Kobresia pygmaea</i>), 洛草(<i>Koeleria cristatata</i>)
可可西里 新生盐湖(KKXL)	34.209 4	92.438 9	4 474	紫花针茅, 无味苔草(<i>Carex pseudo</i>), 扇穗茅(<i>Littledalea racemosa</i>)

注:表中地点后括号内字母为缩写,下同

1.2 研究方法

1.2.1 样品采集 牧草养分含量的季节变异较大^[18-19],为了减少时间因素的影响,参考三江源植被物候结束期由东南向西北逐渐提前的空间分布特征^[20],在盛草期由西北向东南进行采样,且尽量缩短采样时间。于 2017 年盛草期(8 月)依次在玉树、果洛两州,海南州的同德、兴海以及黄南州的河南、泽库等

地的典型高寒草甸和高寒草原选择样地(每个地方对应一个取样地,样地空间尺度约为 1 km),根据群落调查,以研究区域内出现频次较高的可食牧草:莎草科的矮嵩草、黑褐苔草,禾本科的紫花针茅、垂穗披碱草,可食杂类草^[21]菊科的蒲公英和蔷薇科的鹅绒委陵菜为研究对象,齐地面采集地上部位(保证采集量干重>20 g)。所有样品带回实验室,于 80℃ 烘干后粉碎过

0.5 mm 筛,备用。

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(Dry Matter,DM)为基础。每个测定指标至少重复3次。干物质测定采用文献[22];粗蛋白(Crude Protein,CP)测定采用凯氏半微量定氮法^[23];粗脂肪测定(Crude Fat, Ether Extract,EE)采用 Soxhlet 脂肪提取法^[24];粗灰分(Ash)测定采用文献[25]的方法;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^[26];非纤维碳水化合物(Non-fiber carbohydrates,NFC)(%)=100-(NDF+CP+EE+Ash)%^[27]。

通过随机抽取不同地区的样品进行分析复检,以保证测定的准确性。

1.2.3 数据处理 所有测定指标均采用单因素 ANOVA 分析,LSD 检验分析在 $P < 0.05$ 比较平均值,Pearson 相关进行牧草养分与海拔、经度和纬度之间的相关性分析($P < 0.05$)。所有统计分析都在 SPSS 18.0 中进行。

2 结果与分析

2.1 矮嵩草不同区域之间的养分含量比较

三江源区矮嵩草 CP 含量为 8.95%~20.93%,曲麻莱县最低,最高值出现在称多县;Ash 含量为 6.40%~13.70%;EE 含量为 1.19%~2.16%,NFC 含量为 15.73%~31.24%,二者最高值均在玉树巴塘地区;NDF 含量为 45.59%~57.64%,ADF 含量为 20.87%~28.06%,ADL 含量为 1.49%~2.54%,均在同德县最高,而玉树县的巴塘地区最低(表 2)。

表 2 不同区域矮嵩草养分含量

Table 2 Nutrient content of *Kobresia humilis* from different regions

地点	CP	EE	Ash	NFC	NDF	ADF	ADL
TD	16.82±0.11 ^c	1.72±0.01 ^{bc}	6.45±0.03 ^e	17.37±0.48 ^e	57.64±0.61 ^a	28.06±0.32 ^a	2.54±0.13 ^a
XH	13.80±0.18 ^f	2.01±0.04 ^a	7.01±0.04 ^d	23.50±0.56 ^b	53.68±0.50 ^b	24.44±0.12 ^b	1.89±0.13 ^c
HN	19.47±0.10 ^b	1.61±0.03 ^c	11.23±0.13 ^b	15.73±0.48 ^e	51.96±0.56 ^b	24.12±0.50 ^{bc}	1.82±0.04 ^c
NQ	15.72±0.11 ^d	1.84±0.12 ^b	7.02±0.02 ^d	23.19±0.14 ^b	52.23±0.08 ^b	23.69±0.08 ^{bc}	1.90±0.03 ^c
ZK	16.34±0.12 ^c	1.85±0.02 ^b	8.51±0.12 ^c	24.89±0.99 ^b	48.40±1.06 ^c	23.22±0.68 ^c	1.75±0.05 ^c
BT	14.60±0.10 ^e	2.16±0.03 ^a	6.40±0.02 ^e	31.24±0.16 ^a	45.59±0.10 ^d	20.87±0.09 ^e	1.49±0.09 ^d
CD	20.93±0.09 ^a	1.57±0.02 ^c	6.67±0.07 ^{de}	16.13±0.12 ^c	54.70±0.07 ^b	22.16±0.04 ^d	2.28±0.03 ^b
QML	8.95±0.33 ^e	1.19±0.04 ^d	13.70±0.29 ^a	22.77±1.6 ^b	53.39±1.40 ^b	23.61±0.28 ^{bc}	1.84±0.09 ^c

注:表中数字代表均值±SE。同列不同小写字母表示差异显著($P < 0.05, n=3$)

将养分含量分别与海拔、经度、纬度进行相关分析发现:CP、EE、ADF 含量随海拔升高显著降低,仅 Ash 含量与海拔显著正相关(图 1);而除 ADF 含量随纬度升高而显著增加($R=0.550, P=0.005$),CP 和 ADF 含量与经度显著正相关外($R=0.510, P=0.011; R=0.422, P=0.040$),其他养分和经、纬度相关性不显著。综合来看,位置偏西偏北的地区(同德县、曲麻莱县)矮嵩草的营养价值偏低,而偏东偏南地区(玉树巴塘、泽库县、河南县)的价值较高(表 3)。

2.2 不同研究区黑褐苔草养分含量

三江源区黑褐苔草 CP 含量 15.54%~24.12%,

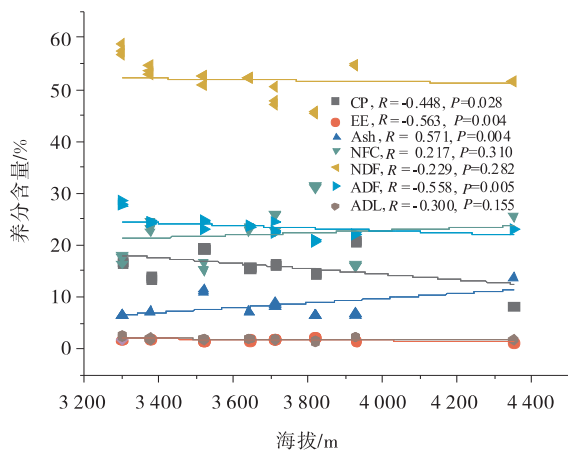


图 1 矮嵩草养分含量

Fig. 1 Nutrient content of *Kobresia humilis* varied with altitude

最高值出现在班玛县;EE 含量为 1.16%~2.12%, 久治县最高;Ash 含量为 6.17%~19.82%, 河南县最高;NFC 含量为 15.36%~25.95%, 久治县和巴塘地区高于其他地区;NDF 含量为 47.89%~60.20%, 河南县最低;ADF 含量为 22.65%~27.36%, ADL 含量为 1.11%~3.42%(图 2)。

将养分含量分别与海拔、经、纬度进行相关分析发

现;仅 CP 和 ADL 含量随海拔升高显著增加,其他养分在海拔梯度上无显著变化(图 2);此外,EE 含量与经度显著负相关($R=-0.513, P=0.029$),Ash 含量与经度显著正相关($R=0.595, P=0.009$)。在调查区域上,位置偏北偏西的地区(如玛沁、治多)黑褐苔草的营养价值偏低,而偏东偏南地区(河南、班玛等地)的价值较高(表 3)。

表 3 不同区域黑褐苔草养分含量

Table 3 Nutrient content of *Carex atrofusca* from different regions

地点	CP	EE	Ash	NFC	NDF	ADF	ADL
HN	15.54±0.17 ^f	1.16±0.03 ^c	19.82±0.37 ^a	17.91±1.08 ^{bc}	47.89±1.15 ^b	23.85±0.60 ^{bc}	1.76±0.04 ^{bc}
JZ	16.13±0.10 ^e	2.12±0.17 ^a	8.11±0.05 ^d	25.88±0.29 ^a	52.23±0.45 ^{ab}	24.21±0.15 ^b	1.40±0.08 ^{cd}
BM	24.12±0.01 ^a	1.63±0.02 ^b	9.12±0.03 ^c	17.51±0.57 ^c	50.88±0.56 ^a	22.77±0.28 ^c	1.11±0.03 ^d
MQ	22.09±0.00 ^c	1.40±0.05 ^{bc}	6.17±0.09 ^f	20.30±1.42 ^b	52.84±1.33 ^a	25.84±0.75 ^a	2.03±0.09 ^b
BT	16.55±0.11 ^d	1.60±0.12 ^b	7.41±0.01 ^e	25.95±0.65 ^a	51.69±0.78 ^a	23.44±0.17 ^c	1.62±0.09 ^c
ZD	23.08±0.10 ^b	1.17±0.08 ^c	10.98±0.04 ^b	15.36±0.40 ^c	51.76±0.60 ^a	22.65±0.23 ^c	3.42±0.17 ^a

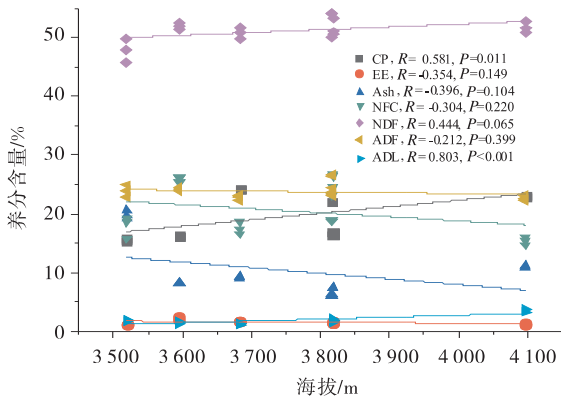


图 2 黑褐苔草养分含量

Fig. 2 Nutrient content of *Carex atrofusca* varied with altitude

2.3 不同研究区紫花针茅的养分含量

三江源区紫花针茅的 CP 含量为 9.66%~14.55%, 河南县较高;EE 含量为 1.30%~1.86%, 玛

多县高于其他地区;Ash 含量为 3.40%~14.10%, NFC 含量为 10.18%~24.01%, 玛多县高于其他地区;NDF 含量为 55.32%~70.73%, ADF 含量为 24.37%~37.31%, 纤维素含量为 22.06%~33.37%, 半纤维素含量为 29.02%~35.41%, 均在玛多县最低(表 4)。

将养分含量分别与海拔、经、纬度进行相关分析发现;仅 Ash 含量与海拔显著正相关,NDF、ADF 含量和 ADL 与海拔显著负相关(图 3);CP、NDF、ADF、ADL 含量与经度显著正相关,EE、Ash 和 NFC 含量则与经度呈负相关关系(图 3);在纬度上,只有 EE 含量随纬度上升而显著增加($R=0.518, P=0.010$)。紫花针茅养分含量与经度的相关性更强,其综合营养价值由高到低排序为 MD>KKXL>XH>HN>TD≈BT≈Zk≈JZ。

表 4 不同区域紫花针茅养分含量

Table 4 Nutrient content of *Stipa purpurea* from different regions

地点	CP	EE	Ash	NFC	NDF	ADF	ADL
TD	11.12±0.10 ^e	1.59±0.03 ^b	3.40±0.01 ^f	13.66±0.38 ^c	70.23±0.44 ^a	35.00±0.36 ^{bc}	4.61±0.08 ^{ab}
XH	10.59±0.00 ^f	1.69±0.02 ^b	4.78±0.02 ^d	19.06±0.02 ^b	63.87±0.04 ^c	32.17±0.09 ^d	3.56±0.06 ^b
HN	14.55±0.10 ^a	1.57±0.00 ^{bc}	4.39±0.02 ^e	11.81±0.53 ^{cd}	67.68±0.57 ^b	34.41±0.38 ^c	4.74±0.16 ^a
JZ	11.91±0.00 ^d	1.30±0.03 ^d	5.09±0.08 ^c	10.98±0.61 ^d	70.73±0.65 ^a	37.31±0.44 ^a	3.94±0.03 ^b
ZK	13.30±0.17 ^b	1.42±0.04 ^{cd}	4.46±0.05 ^e	10.18±0.30 ^d	70.64±0.19 ^a	35.23±0.35 ^{bc}	5.10±0.67 ^a
BT	11.46±0.22 ^{dc}	1.40±0.10 ^d	4.31±0.04 ^e	12.40±0.30 ^d	70.42±0.32 ^a	35.98±0.20 ^b	3.27±0.11 ^{bc}
MD	12.56±0.28 ^c	1.86±0.04 ^a	6.25±0.06 ^b	24.01±0.93 ^a	55.32±0.82 ^e	24.37±0.60 ^f	2.31±0.15 ^c
KKXL	9.66±0.00 ^g	1.65±0.09 ^b	14.10±0.07 ^a	15.12±1.23 ^c	59.47±1.12 ^d	30.45±0.41 ^e	2.67±0.03 ^c

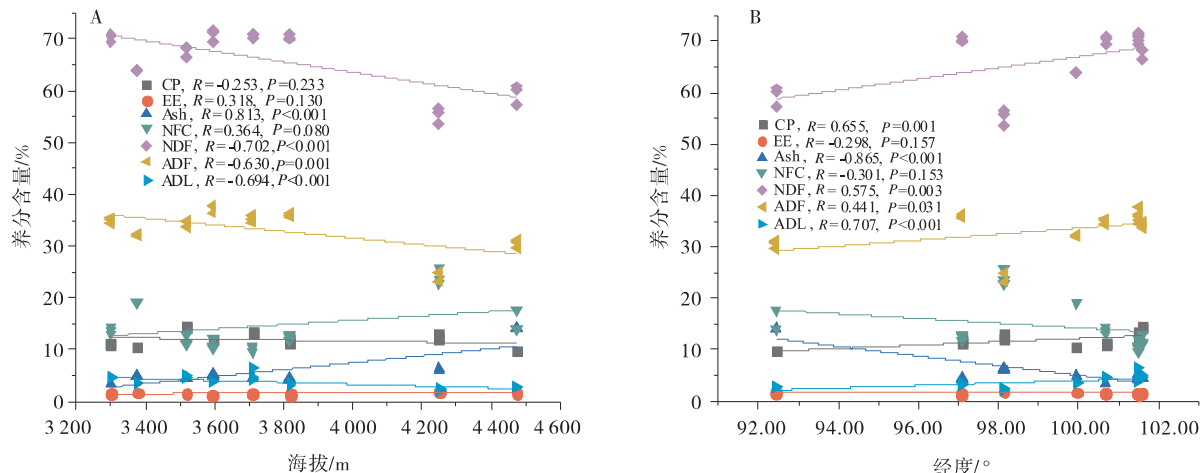


图3 紫花针茅养分含量

Fig. 3 Nutrient content of *Stipa purpurea* varied with altitude and longitude

2.4 不同研究区垂穗披碱草养分含量

三江源区垂穗披碱草, CP 含量为 9.09%~16.04%, 河南省高于其他地区; EE 含量为 1.11%~2.44%, Ash 含量 3.54%~6.44%, 班玛县高于其他;

NFC 含量为 12.32%~22.06%, 泽库>班玛>河南>其他地区; NDF 含量为 56.94%~71.94%, ADF 含量为 30.47%~41.78%, ADL 为 2.78%~4.67%, 纤维素含量 27.69%~37.77%, 河南省均最低(表 5)。

表 5 不同区域垂穗披碱草养分含量

Table 5 Nutrient content of *Elymus nutans* from different regions

地点	CP	EE	Ash	NFC	NDF	ADF	ADL
XH	9.98±0.01 ^f	1.80±0.11 ^b	3.54±0.02 ^f	16.86±0.25 ^c	32.18±0.21 ^d	39.05±0.19 ^b	4.67±0.18 ^a
HN	16.04±0.21 ^a	2.43±0.04 ^a	5.60±0.03 ^c	19.00±1.03 ^b	43.06±0.76 ^a	30.47±0.34 ^e	2.78±0.10 ^d
JZ	9.09±0.00 ^e	1.71±0.09 ^b	4.94±0.07 ^d	12.32±0.24 ^d	71.94±0.33 ^a	41.78±0.27 ^a	4.01±0.14 ^b
NQ	12.24±0.18 ^c	1.30±0.04 ^c	6.22±0.10 ^b	13.03±0.66 ^d	67.21±0.36 ^b	37.33±0.24 ^c	3.93±0.04 ^b
BM	14.05±0.00 ^c	2.44±0.12 ^a	6.44±0.03 ^a	19.27±0.17 ^b	57.80±0.21 ^e	32.89±0.16 ^e	2.93±0.04 ^{cd}
ZK	13.90±0.21 ^c	1.11±0.03 ^c	4.99±0.04 ^d	22.06±0.12 ^a	57.95±0.28 ^e	31.16±0.13 ^{fg}	2.99±0.11 ^{cd}
BT	13.11±0.10 ^d	1.64±0.04 ^b	4.21±0.01 ^e	18.87±0.47 ^b	62.16±0.40 ^c	35.57±0.33 ^d	3.32±0.22 ^c
CD	14.77±0.00 ^b	1.69±0.02 ^b	5.01±0.03 ^d	18.97±0.58 ^b	59.56±0.54 ^d	31.74±0.14 ^f	3.29±0.12 ^c

将养分含量分别与海拔、经、纬度进行相关分析发现: CP 含量与海拔显著正相关, ADF 和 ADL 含量与海拔显著负相关(图 4); 在经纬度上, 只有 Ash 含量随纬度上升而显著降低($R = -0.549, P = 0.006$)。整体来看, 垂穗披碱草的营养价值, 也是呈现东部高于西部的规律(表 5)。

2.5 不同研究区蒲公英养分含量

三江源区蒲公英, CP 含量为 16.50%~27.70%, 班玛县高于其他地区(表 6); EE 含量为 3.13%~5.07%, 其中称多县、巴塘地区高于其他; Ash 含量为 13.55%~25.81%, 囊谦县最高; NFC 含量为 28.91%~39.95%, 巴塘高于其他地区; NDF 含量为 25.87%~35.90%, ADF 含量为 18.30%~25.76%, 纤维素含量为 10.83%~13.83%, 半纤维素含量为 4.43%~

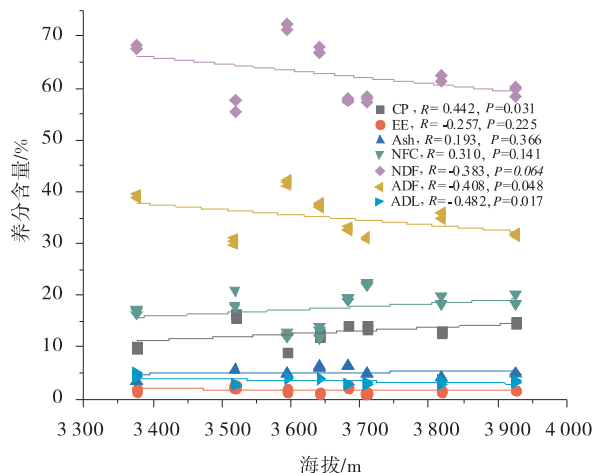


图 4 垂穗披碱草养分含量

Fig. 4 Nutrient content of *Elymus nutans* varied with altitude

表 6 不同区域蒲公英营养成分含量

Table 6 Nutrient content of *Taraxacum mongolicum* from different regions

	CP	EE	Ash	NFC	NDF	ADF	ADL
XH	21.52±0.11 ^c	4.79±0.02 ^b	13.55±0.02 ^f	39.52±0.24 ^a	20.62±0.30 ^{ab}	14.69±0.05 ^c	3.00±0.21 ^{bc}
JZ	24.29±0.10 ^b	4.13±0.01 ^c	14.91±0.02 ^d	36.22±0.28 ^b	20.44±0.20 ^b	15.04±0.06 ^{bc}	3.71±0.22 ^{ab}
BM	27.70±0.01 ^a	3.79±0.01 ^d	14.56±0.02 ^e	32.11±0.87 ^c	21.84±0.88 ^{ab}	15.86±0.35 ^{ab}	3.84±0.16 ^a
NQ	19.99±0.01 ^d	3.13±0.04 ^e	25.81±0.02 ^a	28.91±0.35 ^d	22.16±0.33 ^a	16.63±0.15 ^a	2.80±0.13 ^c
BT	16.50±0.11 ^e	5.00±0.02 ^a	18.35±0.07 ^c	39.95±0.51 ^a	20.20±0.38 ^b	15.54±0.32 ^{bc}	3.22±0.38 ^{abc}
CD	21.62±0.10 ^c	5.07±0.06 ^a	22.02±0.02 ^b	33.12±0.76 ^c	18.18±0.62 ^c	13.74±0.47 ^d	2.91±0.25 ^c

5.98%，称多县最低。

将养分含量分别与海拔、经、纬度进行相关分析发现：较之海拔，蒲公英养分含量与经纬度相关性较好，CP 和 ADL 含量与经度显著正相关，而 Ash 则相反；Ash 和 ADF 含量均与纬度显著负相关($R = -0.640, P = 0.004; R = -0.473, P = 0.048$)。蒲公英综合营养价值由高到低依次为：称多县 > 玉树巴塘 > 兴海县 ≈ 久治县 ≈ 班玛县 ≈ 囊谦县(图 5)。

2.6 不同研究区鹅绒委陵菜养分含量

调查区域中鹅绒委陵菜的 CP 含量为 12.12%~21.86%，班玛县最高，曲麻莱县最低；EE 含量为 1.44%~2.37%，其中久治县高于其他地区；Ash 含量为 7.73%~23.13%；NFC 含量为 24.37%~40.80%，久治县最高；NDF 含量为 25.87%~35.90%，ADF 含量为 18.30%~25.76%，二者均在曲麻莱县最低；ADL 含量为 2.63%~5.54%(表 7)。

将养分含量分别与海拔、经、纬度进行相关分析发

现：较之海拔和纬度，鹅绒委陵菜养分与经度相关性较好，CP、NDF 和 ADF 含量均与经度显著正相关(图 6)。鹅绒委陵菜的综合营养在区域上为西部(曲麻莱县、称多县)高于东部(班玛县、兴海县等)。

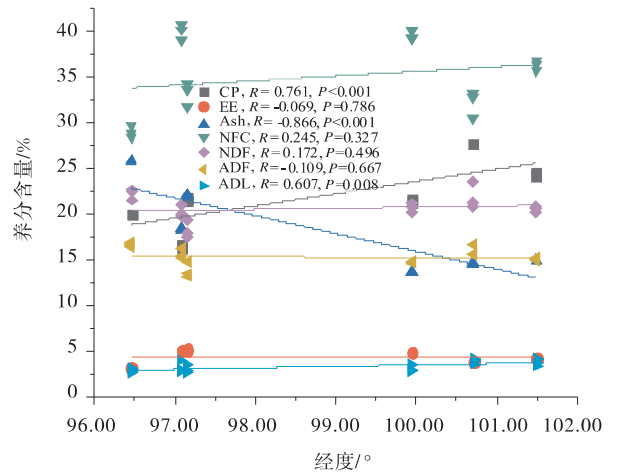


图 5 蒲公英养分随经度变化

Fig. 5 Nutrient content of *Taraxacum mongolicum* varied with longitude

表 7 不同区域鹅绒委陵菜养分含量

Table 7 Nutrient content of *Potentilla anserine* from different regions

地点	CP	EE	Ash	NFC	NDF	ADF	ADL
XH	20.42±0.11 ^b	1.81±0.01 ^b	13.03±0.11 ^d	35.43±0.52 ^b	29.31±0.69 ^{bc}	21.63±0.35 ^c	3.90±0.22 ^b
HN	20.08±0.00 ^b	1.61±0.17 ^b	23.13±0.03 ^a	24.69±0.70 ^d	30.49±0.56 ^b	23.43±0.20 ^b	2.63±0.15 ^c
JZ	13.89±0.00 ^c	2.37±0.26 ^a	7.73±0.01 ^e	40.80±0.31 ^a	35.22±1.23 ^a	25.55±0.15 ^a	5.54±0.34 ^a
NQ	15.89±0.10 ^d	2.13±0.03 ^{ab}	20.57±0.1 ^b	31.25±1.52 ^c	30.16±1.45 ^{bc}	23.37±0.91 ^{bc}	5.10±0.51 ^{ab}
BM	21.86±0.10 ^a	1.76±0.41 ^b	23.08±0.03 ^a	24.37±0.62 ^d	28.93±0.23 ^{bc}	22.17±0.29 ^{bc}	3.39±0.11 ^{bc}
MQ	19.96±0.01 ^b	1.55±0.04 ^b	15.67±0.07 ^c	26.92±1.30 ^d	35.90±1.28 ^a	25.76±0.35 ^a	4.15±0.29 ^b
CD	17.77±0.01 ^c	2.36±0.07 ^a	13.76±0.18 ^{cd}	39.04±0.16 ^a	27.06±0.28 ^c	20.56±0.16 ^c	4.83±0.23 ^{ab}
ZD	19.65±0.01 ^b	1.85±0.08 ^{ab}	19.12±0.02 ^b	28.92±1.11 ^{cd}	30.45±1.17 ^b	22.37±0.85 ^{bc}	5.05±0.34 ^{ab}
QML	12.12±1.23 ^f	1.44±0.01 ^b	21.16±2.44 ^{ab}	39.41±1.38 ^a	25.87±2.19 ^c	18.30±1.11 ^d	3.38±0.70 ^{bc}

2.7 三江源区域内 6 种植物之间的比较

整个研究区域内，与其他种相比，可食杂类草，尤其是蒲公英的 CP、EE、Ash 以及 NFC 含量均相对较

高，NDF、ADF 含量最低；而禾本科(紫花针茅和垂穗披碱草)养分含量与可食杂类草相反；莎草科牧草养分含量介于两者之间(表 8)。

表 8 整个区域不同物种养分含量比较

Table 8 Nutrient contents of different species in Sanjiangyuan region

物种	CP	EE	Ash	NFC	NDF	ADF	ADL
矮嵩草	16.00±0.71 ^c	1.70±0.06 ^{bc}	8.92±0.53 ^b	22.33±1.05 ^b	51.05±0.76 ^c	22.95±0.42 ^c	1.85±0.07 ^d
黑褐苔草	19.58±0.87 ^b	1.52±0.09 ^c	10.27±1.10 ^b	20.48±1.03 ^{bc}	51.18±0.48 ^c	23.79±0.30 ^c	1.89±0.18 ^d
紫花针茅	11.89±0.31 ^d	1.56±0.04 ^c	5.85±0.67 ^c	14.65±0.94 ^d	66.05±1.17 ^a	33.12±0.82 ^b	3.77±0.21 ^b
垂穗披碱草	12.90±0.46 ^d	1.76±0.09 ^b	5.12±0.19 ^c	17.55±0.67 ^c	62.67±1.11 ^b	35.00±0.81 ^a	3.49±0.13 ^{bc}
蒲公英	21.94±0.84 ^a	4.32±0.17 ^a	18.20±1.08 ^a	34.97±0.99 ^a	20.57±0.36 ^e	15.25±0.24 ^d	3.25±0.13 ^c
鹅绒委陵菜	17.96±0.62 ^b	1.88±0.08 ^b	17.47±1.00 ^a	32.31±1.24 ^a	30.38±0.69 ^d	22.57±0.46 ^c	4.22±0.21 ^a

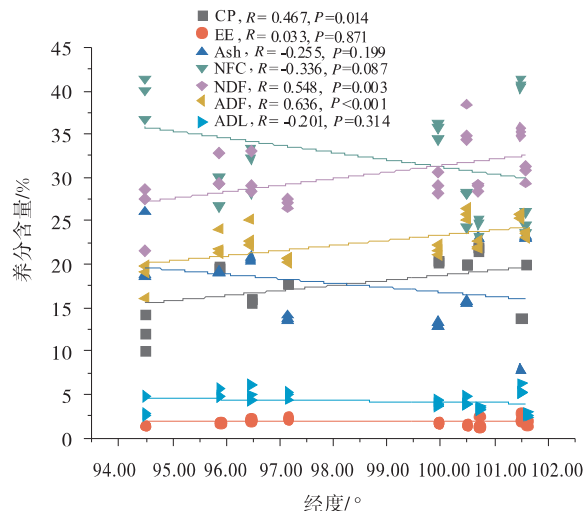


图 6 鹅绒委陵菜养分随经度变化

Fig. 6 Change of nutrient content of *Potentilla anserina* along with longitude

3 讨论

非纤维性碳水化合物是指在反刍动物瘤胃内能被快速发酵为机体供能的那部分碳水化合物^[27],粗蛋白质是牧草中的主要营养物质,粗脂肪是主要的热能物质,粗灰分中含有重要的矿物元素,其测定值越高,则牧草的营养价值越高、品质越好^[28];而纤维和木质素含量是影响牧草采食和消化的主要指标,与采食量和消化率往往呈成反比^[19-30],因此这几种营养成分的高低对家畜的生长有直接影响。本研究中以这些相关指标(NFC、CP、EE和Ash含量高,而NDF、ADF、ADL含量低)对可食牧草营养价值进行简单评价。

矮嵩草是高寒地区优良牧草之一,再生性强,耐践踏,马、牛、羊均喜食,牦牛和藏羊最喜食。综合养分含量与环境信息,三江源东南部的矮嵩草营养价值优于西北部。黑褐苔草也是三江源区的优良牧草之一,本研究中位于三江源东部河南县的黑褐苔草营养价值高

于其他地区。垂穗披碱草属中上等牧草,从返青至开花前,茎秆幼嫩,牲畜喜食;开花后至种子成熟,因茎秆变硬,饲用价值降低^[21]。本研究中盛草期河南县垂穗披碱草的粗蛋白、粗脂肪含量高而纤维含量低,其综合营养价值较高。紫花针茅虽然草质较硬,但在抽穗开花前,适口性好,营养价值较高;但其种子成熟后,尖锐的针芒会影响牛羊的采食^[21]。综合所有指标,与其他地区相比,玛多县和可可西里境内的紫花针茅其较高的综合营养价值,主要归因于粗灰分(代表矿物元素)和NFC的积累,以及较低的纤维含量。蒲公英虽然味微苦,但其蛋白质含量较高^[21],综合所有指标,研究区域内西部地区蒲公英综合营养价值较大。对鹅绒委陵菜而言,位于三江源东部和南部区域的该物种,粗蛋白和粗脂肪含量较高;而位置偏西的曲麻莱县,NDF和ADF含量较低,综合来看该地区鹅绒委陵菜的综合养分含量较高。

综合分析发现,莎草科物种以及禾本科垂穗披碱草的养分含量与海拔存在一定的相关,在三江源区域的分布为东部和南部较高而西部和北部偏低。两种杂类草以及紫花针茅养分含量在经度上有一定规律的变化:其综合养分(CP+EE+Ash+NFC)含量为西部高于东部,但粗蛋白含量为东部高于西部;同时由于三江源区域上的牧草产量由东南向西北逐渐减少^[31],故这三种牧草的综合养分产量仍然是东南部高于西北部。这是因为三江源区植被生长受到气温和降水的共同驱动,而海拔低于4 500 m的区域更偏向受降水的影响^[15-16]。尤其在牧草生长旺期的需水关键期,充足的水分利于牧草产量和养分含量的增加^[32-33],而三江源地区降水也为从东南到西北逐渐降低的空间分布^[34]。基于本课题组前期对群落牧草产量的研究^[31],以及牧草养分含量的空间分布特征,可根据需要让三江源西

北区的牧户减少家畜的养殖,或者将家畜迁移至东南部牧草产量和养分含量较高的地区,以缓解草场的退化。

对不同物种而言,从整个三江源区域看,可食杂类草—蒲公英的营养价值最高;禾本科(紫花针茅,垂穗披碱草)CP、EE、Ash 以及 NFC 含量最低,而纤维含量最高;莎草科的养分含量介于禾本科牧草和可食杂类草之间。虽然蒲公英和鹅绒委陵菜的 CP、EE 含量高而纤维含量低,但因其味涩、苦等原因,适口性较差,一般在草枯后供家畜采食^[21];而黑褐苔草和矮嵩草为代表的莎草科,营养价值高,又耐放牧践踏;而禾本科牧草虽然开花后营养价值较低,但在开花前是优良牧草^[21];由此可以根据不同草场的优势物种,在不同时期进行选择放牧。

4 结论

莎草科物种以及禾本科垂穗披碱草的养分含量,在三江源区域为东部和南部较高而西部和北部偏低;两种杂类草以及紫花针茅的综合营养价值为西部高于东部,但其粗蛋白含量为东部高于西部。结合前期对三江源草地牧草产量的研究,建议三江源西北部的牧户减少家畜养殖,或者将家畜迁至东南部牧草和养分产量较高的地区,可在一定程度上防止草场退化。对不同物种之间的比较发现,禾本科牧草在盛草期营养价值较低,加之种子针芒的影响不适合放牧,以紫花针茅和垂穗披碱草为优势种的草场可在开花结种前进行适度放牧;以矮嵩草和黑褐苔草为代表的莎草科牧草营养价值高又耐牧,对于以此类物种为优势种的草场,可根据实际情况进行划区轮牧以防止过度放牧。

参考文献:

[1] Hopkins A. Grass: Its Production and Utilization[M]. UK: British Grassland Society by Blackwell Science, 2000.

[2] Collins M, Nelson C J, Moore K J, *et al.* Forages. Volume 1: An introduction to grassland agriculture(7th Edition) [M]. USA Iowa State University Press, 2018.

[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,2016,61(2):139-154.

[4] 辛玉春.青海天然草地牧草营养成分分析[J].青海草业,2011,20(1):26-31+9.

[5] 梁建勇,焦婷,吴建平,等.高寒牧区天然草地牧草干物质的瘤胃降解率动态变化[J].草原与草坪,2015,35(5):

32-36.

[6] Bokdam J, Devries M F W. Forage quality as a limiting factor for cattle grazing in isolated dutch nature-reserves[J]. 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[J].现代农业科技,2012(11):268+274.

[8] Zhao D L, Starks P J, Brown M A, *et al.* Assessment of forage biomass and quality parameters of bermudagrass using proximal sensing of pasture canopy reflectance[J]. Grassland Science, 2007, 53(1): 39-49.

[9] 石岳,马殷雷,马文红,等.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[J].科学通报,2013,58(3):226-239.

[10] 孙鹏飞,崔占鸿,刘书杰,等.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[J].草业学报,2015,24(12):92-101.

[11] 宁静,郭红玉,陆阿飞.河南县不同经济类群牧草营养价值分析比较[J].畜牧兽医科技信息,2019(5):24-25.

[12] 吴克顺,傅华,张学英,等.阿拉善荒漠草地 8 种牧草营养物质季节动态及营养均衡价评价[J].干旱区研究,2010,27(2):257-262.

[13] 陆阿飞.三江源区不同地区天然草地牧草营养成分分析[J].黑龙江畜牧兽医,2015(8):139-141.

[14] 卢慧,丛静,刘晓,等.三江源区高寒草甸植物多样性的海拔分布格局[J].草业学报,2015,24(7):197-204.

[15] 范微维.2000-2014 年三江源区植被 NDVI 时空变化特征[D].成都:成都理工大学,2017.

[16] 王向涛,陈懂懂.三江源草地 GNDVI 年际波动及其海拔梯度敏感性分析[J].生态环境学报,2018,27(8):1411-1416.

[17] 许茜,李奇,陈懂懂,等.近 40 a 三江源地区土地利用变化动态分析及预测[J].干旱区研究,2018,35(3):695-704.

[18] 红敏.不同生长阶段天然牧草品质评定比较研究[J].饲料研究,2012(12):79-81.

[19] 马文文,马秉云.三江源三县优势牧草养分动态分析[J].青海草业,2019,28(2):45-47.

[20] 刘亚.基于 MODIS 植被指数的三江源植被物候变化及其对气候变化的响应[D].南昌:东华理工大学,2017.

[21] 马玉寿,徐海峰.三江源区饲用植物志[M].北京:科学出版社,2013.

[22] 全国饲料工业标准化技术委员会. GB/T 6435-2014 饲料中水分的测定[S].北京:中国标准出版社,2014.

[23] 全国饲料工业标准化技术委员会. GB/T 6342-2018 饲

- 料中粗蛋白的测定 凯氏定氮法[S]. 北京:中国标准出版社,2018.
- [24] 全国饲料工业标准化技术委员会. GB/T 6433—2006 饲料中粗脂肪的测定[S]. 北京:中国标准出版社,2006.
- [25] 全国饲料工业标准化技术委员会. GB/T 6348—2007 饲料中粗灰分的测定[S]. 北京:中国标准出版社,2007.
- [26] 张崇玉,王保哲,张桂国,等. 饲料中的粗纤维、NDF、ADF 和 ADL 含量的快速测定方法[J]. 山东畜牧兽医, 2015,36(9):20—22.
- [27] 宋善丹. 日粮不同的 NFC/NDF 比例和外源纤维素酶对山羊生长性能、养分表观消化率及瘤胃发酵参数的影响[D]. 成都:西南民族大学,2016.
- [28] 陈代文. 动物营养与饲料学(第二版)[M]. 北京:中国农业出版社,2015.
- [29] 徐世晓,赵新全,孙平,等. 青藏高原 5 种牧草木质素含量及其体外消化率研究[J]. 西北植物学报,2003,23(9):1605—1608.
- [30] 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[J]. 草业科学,2019,(4):34—37.
- [31] 贺福全,陈懂懂,李奇,等. 三江源高寒草地牧草营养时空分布[J]. 生态学报,2020,40(18):6304—6313.
- [32] 李银枝,乔文斌,王敏芝. 气象变化对天然牧草产量和品质的影响[J]. 现代农业科技,2009(13):331.
- [33] 魏永亮,韩方昕,解文璇. 玉树地区 1961—2015 年降水变化特征分析[J]. 中国农学通报,2017,33(4):124—130.
- [34] 强安丰,汪妮,魏加华,等. 近 50 年三江源地区云水资源分布及降水效率研究[J]. 应用基础与工程科学学报,2020,28(3):574—593.

Analysis of nutritional components of common edible forages from different area of Sanjiangyuan alpine grassland

CHAN Dong-dong^{1,2}, ZHAO Liang^{1,2}, HE Fu-quan^{1,2}, CHEN Xin^{1,2,4},
HUO Li-li^{1,2,3}, ZHAO Xin-quan^{1,2}, XU Shi-xiao^{1,2}, LI Qi^{1,2}

(1. Institute of Sanjiangyuan National Park, Chinese Academy of Sciences, Xining, Qinghai Province 810008; 2. Northwest Institute of Plateau Biology, Chinese Academy of Sciences/Key Laboratory of Adaptation and Evolution of Plateau Biota, Xining, Qinghai Province 810008; 3. Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049;
4. Minzu University of China, Beijing 100081)

Abstract: In order to understand the nutritional characteristics of edible forage in different regions and make full use of them at later stages, we adopted random sampling method and routine analysis to analyze the nutrition of common edible forages in the Sanjiangyuan Region(SJY). The results showed that, the nutrient content of both Cyperaceae species and *Elymus nutans* correlated with altitude, with forage nutrition being higher in southeast while lower in northwest of SJY. The nutrient content of the two hybrid grasses and *Stipa purpurea* changed with longitude, and the comprehensive nutritional values(CP+EE+Ash+NFC) in west was higher than those in east, while crude protein content showed the opposite trend. The nutritive value of Gramineae was low at the peak of greening season, and the grassland was unsuitable for grazing. The grassland dominated with *Stipa purpurea* and *Elymus nutans* could be grazed moderately before flowering and seed setting. Grasslands dominated with *Kobresia humilis* and *Carex nigrum* were nutritious and tolerant to grazing, therefore suitable for rotational grazing according to the actual situation to prevent overgrazing.

Key words: Sanjiangyuan; alpine grassland; edible forage; forage nutrient

放牧对高寒草地微尺度斑块及其构件特征的影响

林丽^{1,2}, 曹广民¹, 樊博¹, 柯浔^{1,2}, 李茜¹, 兰玉婷¹, 朋措吉^{1,2},
戴黎聪^{1,2}, 李以康¹, 周春丽^{1,2}

(1. 中国科学院西北高原生物研究所, 青海 西宁 810008; 2. 中国科学院大学, 北京 100049)

摘要: 斑块是放牧生态系统景观的固有组分, 是草地生态系统结构与功能体现的基础单元, 是生态系统过程、稳定性维持和退化生态系统恢复研究的核心内容。以高寒草地生态系统研究的重要工具之一微斑块为论述基础, 从微斑块属性特性、构件特征及动态特征 3 个角度阐述了高寒草地演替中微斑块及其构件(植物群落、植物根系、土壤养分及土壤微生物)与干扰的响应及变化过程, 梳理了微斑块镶嵌体空间资源配置与生态系统稳定性维持之间的耦合关系。对相关研究结果的概述有助于深刻了解草地生态系统维持机制、自组织形式及对干扰的应对策略, 以为受损高寒草地的恢复提供理论依据。

关键词: 微斑块; 根系分泌物; 植物群落特征; 土壤养分特征; 生态系统稳定性

中图分类号: S812 **文献标志码:** A **文章编号:** 1009-5500(2021)04-0143-11

DOI: 10.13817/j.cnki.cycp.2021.04.019



高寒草地是青藏高原的主体, 占青藏高原可利用草地面积的 50.9%^[1], 对青藏高原生态系统服务价值贡献率达 89.6%^[2-3], 具有生态、生产和生活的“三生”服务功能^[4]。高寒草甸和高寒草原是高寒草地生态系统的主体, 广布于青藏高原东部, 是高原地带性与山地垂直带谱的主要植被类型^[5], 对支撑高原畜牧业发展、维系农牧民生活、维护边疆稳定、保护生物多样性、涵养水源和维持碳素平衡具有不可替代的作用^[4]。高寒草地所处区域气候恶劣、生存环境严酷、生态系统结构简单、自我更新能力弱, 加之固有的“惰性”特征成为退化生态系统恢复的世界性难题^[4-6]。近年来, 受到气候、经济、政策、文化等多重因素的影响^[7], 高寒草地植

被发生不同程度的演化, 其演化的主流方向为退化, 尤其在围栏建设和家庭牧场自主经营模式下, 牧区草地景观破碎化日益加剧, 出现了草地多演替稳态并存的景观特征^[8]。植被斑块化分布是放牧生态系统的固有特性, 是系统结构与功能维持的表现形式^[9-10], 斑块镶嵌不仅是景观尺度草地的基本结构, 也是微尺度草地资源的赋存形式和草地演化的历史承载体。草地生态系统微尺度斑块(简称微斑块)的研究主要围绕斑块属性特征同系统之间的关系、斑块构件特征(斑块构件在生态过程中的功能及作用)以及斑块动态特征(即斑块属性特征及构件特征在时间尺度上的变化过程)开展^[11]。从生态学的角度出发对生态系统斑块的研究逐渐从宏观向微观尺度发展, 在此过程中研究者更关注微斑块的镶嵌结构、微斑块构件特征及其动态变化所引发的连锁反应对环境总体特征的影响。从微斑块尺度上进行试验研究的优点主要包括: 1) 测量方法精细; 2) 样本分级尺度自由, 可以根据研究需要在给定强度上进行取样分级设定, 反映观察对象局域和整体特征; 3) 试验处理相对易于操作; 4) 易于在样地内进行重复试验或观测^[12]。对微斑块及其构件特征的研究有助于较为全面的认识高寒草地生态系统构件属性, 剖析生态系统组织形式、资源配置过程及其应对干扰的

收稿日期: 2020-07-07; 修回日期: 2020-10-16

基金项目: 青海省科技厅应用基础研究项目: 青海省高寒嵩草草甸健康评估及可持续发展研究(2020-ZJ-720)

作者简介: 林丽(1980-), 女, 辽宁抚顺人, 博士, 副研究员, 主要从事高寒草地生态系统可持续发展研究。

E-mail: linli@nwipb.cas.cn

曹广民为通讯作者。

E-mail: caogm@nwipb.cas.cn