科学通报 2020 年 第 65 卷 第 32 期: 3610 ~ 3618
论 文
《中国科学》杂志社
SCIENCE CHINA PRESS

三江源国家公园典型高寒草地冷季牧草营养特征与食草动物承载力

徐田伟[1,2†], 王循刚[1,2,3†], 赵新全[1,2*], 毛绍娟[4], 刘宏金[1,2,3], 胡林勇[1,2], 耿远月[1,2,3], 张晓玲[1,2,3], 赵娜[1,2], 康生萍[1,2,3], 赵亮[1,2], 徐世晓[1,2*]

1. 中国科学院三江源国家公园研究院, 西宁 810008;
2. 中国科学院西北高原生物研究所, 高原生物适应与进化重点实验室, 西宁 810008;
3. 中国科学院大学生命科学学院, 北京 100049;
4. 青海大学生态环境工程学院, 西宁 810016

† 同等贡献

* 联系人, E-mail: xqzhao@nwipb.cas.cn; sxxu@nwipb.cas.cn

2020-04-06 收稿, 2020-06-08 修回, 2020-06-09 接受, 2020-06-10 网络版发表

中国科学院-青海省人民政府三江源国家公园联合研究专项(YHZX-2020-7)、中国科学院A类战略性先导科技专项(XDA23060603)、国家重点研发计划(2018YFD0502301, 2016YFC0501905)和中国科学院"西部之光"人才培养引进计划(2017)资助

摘要 揭示三江源国家公园典型高寒草地的冷季牧草营养特征和食草动物承载力, 对园区内草地与食草动物平衡管理具有重要意义, 然而相关地面研究鲜有报道. 本研究于2019年12月对三江源国家公园长江源园区的紫花针茅草原、藏嵩草草甸和青藏苔草草原进行调查取样, 分析了该地区冷季牧草地上现存量和营养品质, 同时结合农业行业标准(NY/T635-2015)核算了冷季数量承载力、可消化蛋白承载力和代谢能承载力. 结果表明: (1) 冷季牧草干物质现存量表现为藏嵩草草甸(103.03 g DM/m^2)>紫花针茅草原(72.24 g DM/m^2)>青藏苔草草原(21.08 g DM/m^2) (P<0.01); (2) 冷季牧草粗蛋白含量表现为藏嵩草草甸(5.16%)极显著高于紫花针茅草原(3.95%)和青藏苔草草原(4.32%)(P<0.01); (3) 冷季牧草干物质、粗蛋白和代谢能的单位草地面积输出总量均表现为藏嵩草草甸>紫花针茅草原>青藏苔草草原(P<0.01); (4) 三类典型草地冷季承载力均表现为代谢能承载力>数量承载力>可消化蛋白承载力, 表明代谢能承载力可以满足食草动物需求, 采用可消化蛋白承载力有助于缓解国家公园内天然草地放牧压力, 更符合生态保护的目标. 紫花针茅草原、藏嵩草草甸和青藏苔草草原冷季的可消化蛋白承载力分别为0.84±0.04、1.57±0.07和0.27±0.02 SHU/ha(标准羊单位/公顷), 对应草地代表性食草动物承载力分别为0.17±0.01家牦牛/ha、0.39±0.02藏野驴/ha和0.22±0.02藏羚羊/ha; (5) 三江源国家公园高寒草地冷季食草动物承载力整体偏低, 建议在国家公园内牧业生产区, 通过转变畜牧业经营方式(如放牧家畜暖季末期适时出栏、冷季异地舍饲出栏等)加快家畜周转速率, 减少国家公园内放牧家畜存栏数量, 为野生动物保护释放草地资源和生态空间.

关键词 三江源国家公园, 典型高寒草地, 冷季牧草营养品质, 食草动物承载力, 草地与食草动物平衡, 适应性管理

三江源国家公园是我国第一个国家公园体制试点, 对我国生态文明建设和美丽中国建设具有重要的示范意义[1,2]. 三江源国家公园试点区面积123100 km^2, 平均海拔4500 m以上, 自然景观、生态系统和生态服务功能具有独特、稀有和典型等特点, 保护价值极高[3,4]. 因地处青藏高原高寒草甸区向高寒荒漠区的过渡区, 三

引用格式: 徐田伟, 王循刚, 赵新全, 等. 三江源国家公园典型高寒草地冷季牧草营养特征与食草动物承载力. 科学通报, 2020, 65: 3610–3618
Xu T W, Wang X G, Zhao X Q, et al. Standing herbage nutrition characters and herbivore carrying capacities of typical alpine grasslands in Sanjiangyuan National Park during cold season (in Chinese). Chin Sci Bull, 2020, 65: 3610–3618, doi: 10.1360/TB-2020-0118

© 2020《中国科学》杂志社

江源国家公园植被类型以高寒草甸、高寒草原和荒漠化草原为主[5]. 高寒草地是家畜生产和食草野生动物生存的重要基础, 近年来三江源国家公园体制试点区环境质量和生态功能稳步提升, 野生动物种群数量稳步恢复, 呈现出物种多样性高、特有种类多、珍稀濒危物种多等特点[6]. 《中国三江源国家公园体制试点方案》明确指出, 探索人与自然和谐发展模式, 实现国家公园自然资源的严格保护和永续利用, 其核心就是处理好园区内牧民全面发展与资源环境承载力的关系. 食草动物牧食(放牧家畜和食草野生动物)是三江源国家公园高寒草地利用的最主要方式[7], 开展典型高寒草地生产力、营养供给和食草动物承载力研究, 对推动三江源国家公园草地与食草动物平衡管理具有重要意义.

草地与食草动物平衡是实现三江源国家公园草地可持续管理的核心, 草地营养供给和食草动物需求是影响"草地-食草动物平衡"的主要要素. 由于气候、海拔、土壤等环境条件差异, 不同类型高寒草地的牧草产量、营养品质和承载力差异较大[8~10]. 三江源国家公园属高原大陆性气候, 自然条件严酷, 牧草生长期短, 高寒草地生产力低[11~13], 进入冷季后, 食草动物依靠啃食枯草维持生命, 草地与食草动物供需矛盾突出, 轻度时食草动物体况下降, 严重时(雪灾等)可能导致食草动物死亡[14]. 因此, 研究三江源国家公园典型高寒草地的冷季牧草营养特征和食草动物承载力, 对认识客观自然规律和制定适宜的草地管理措施均具有一定的启示作用. 由于地处高寒脆弱区, 且自然条件严酷, 相关地面研究鲜有报道. 本研究于2019年12月在三江源国家公园长江源园区选择紫花针茅草原、藏嵩草草甸和青藏苔草草原, 系统分析了典型高寒草地冷季牧草数量和营养特征, 核算了典型高寒草地的冷季食草动物承载力, 以期为三江源国家公园草地与食草动物平衡管理提供基础数据支撑.

1 研究区域概况

研究区位于三江源国家公园长江源园区, 平均海拔4300 m以上, 属典型的高原大陆性气候[15], 具有高寒缺氧、少雨多风的气候特征, 年均气温–10~–4.4°C, 冷季长达7~8个月, 牧草生长期短, 天然牧草5月下旬萌发, 8月中下旬开始枯黄[16]. 研究选取3类典型高寒草地: (1) 紫花针茅高寒草原, 冷季群落高度6.0~8.4 cm, 植被覆盖度39%~60%; (2) 藏嵩草草甸, 冷季群落高度4.2~5.8 cm, 植被覆盖度70%~85%; (3) 青藏苔草草原, 冷季群落高度3.2~4.6 cm, 植被覆盖度15%~23%. 研究区有关信息详见表1, 采样点地理位置见图1.

2 研究方法

2.1 牧草样品采集与处理

于2019年12月21~29日开展的中国科学院三江源国家公园冬季科学考察中, 完成上述3类典型高寒草地的牧草取样. 开展典型草地牧草取样时, 记录地理坐标和海拔等信息; 采用50 cm×50 cm样方框取样, 目测法测定典型草地的植被覆盖度, 用刈割法齐地面获取地上现存生物量, 随即装入档案袋保存; 每类高寒草地的样方重复数量为9个. 由于天气十分寒冷, 群落高度测定在室内完成(每份样品中选取高度相对一致的植株进行测量, 每份样品测量5个高度重复). 样品带回实验室后置于65°C烘箱内烘干至恒重, 粉碎过0.1 mm孔径筛后待测. 由于本次采样处于牧草枯草期, 且在样品中未发现毒杂草, 故认为牧草均可食(可食牧草比例为100%).

2.2 营养指标测定与计算

牧草营养指标测定以牧草干物质(dry matter, DM)为基础, 干物质含量依据GB/T 6435-86测定, 牧草粗蛋

表 1 研究区基本概况

Table 1 The background of the study (sampling) area

指标类型	紫花针茅草原	藏嵩草草甸	青藏苔草草原
经度坐标	95°36′34″E	93°57′24″E	93°08′48″E
纬度坐标	34°23′16″N	35°09′59″N	35°15′41″N
海拔高度(m)	4345.4±31.4	4410.3±13.2	4594.6±13.3
代表性食草动物	家牦牛(多)、藏原羚(少)	藏野驴(多)、家牦牛(少)	藏羚羊(多)、藏野驴(少)
主要物种组成	紫花针茅、早熟禾	藏嵩草、黑褐苔草	青藏苔草、紫花针茅、早熟禾

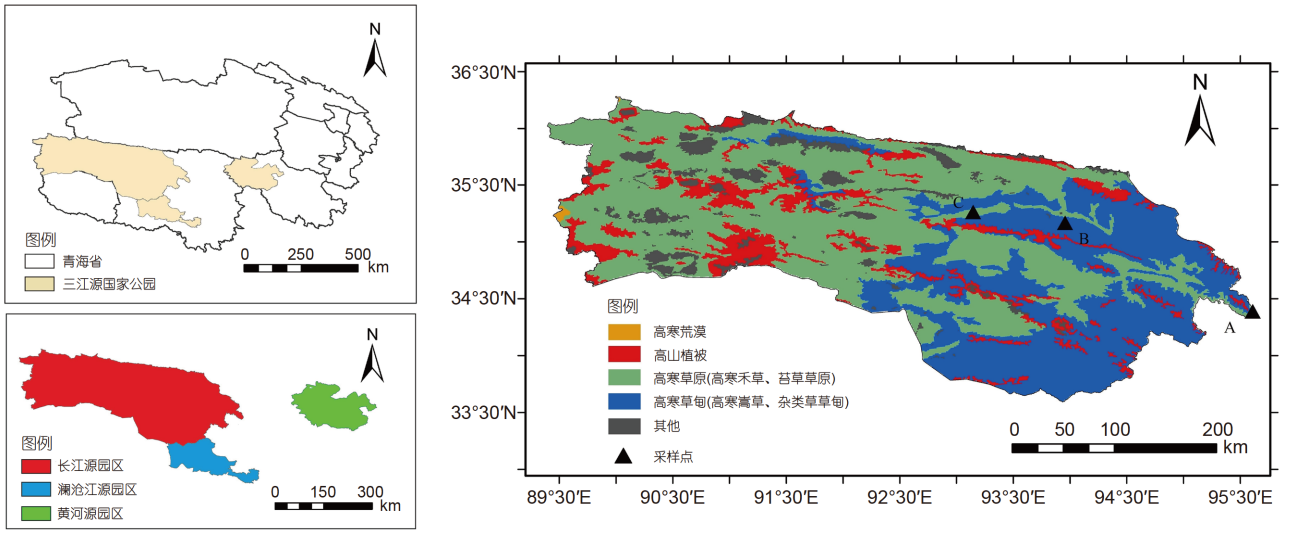


图 1 采样点位置信息. A, 紫花针茅草原; B, 藏嵩草草甸; C, 青藏苔草草原
Figure 1 Information of sampling areas. A, *Stipa purpurea* steppe; B, *Kobresia tibetica* meadow; C, *Carex moorcroftii* steppe

白(crude protein, CP)采用凯氏定氮法测定(CP=6.25×N)[13], 粗脂肪(ether extract, EE)采用索氏提取法测定[17], 中性洗涤纤维(neutral detergent fiber, NDF)和酸性洗涤纤维(acid detergent fiber, ADF)采用范氏(VanSoest)纤维分析法测定[18]. 同时, 参考孙鹏飞等人[19]方法计算冷季牧草的代谢能(metabolic energy, ME):

ME=0.1456×GP+0.07675%×CP+0.1642%×EE+1.198,

式中: ME为代谢能(MJ/kg), GP为24 h产气量(mL/200 mg牧草, 采用39.67 mL)[19], CP为牧草粗蛋白含量(%), EE为粗脂肪含量(%).

根据研究区冷季牧草地上现存量和牧草营养品质, 计算典型高寒草地冷季的DM、CP、NDF、ADF、EE和ME的单位草地面积营养输出总量(kg/hm^2).

2.3 冷季食草动物承载力计算

采用冷季牧草数量承载力(quantity carrying capacity)、冷季可消化蛋白承载力(digestible crude protein (DCP) carrying capacity)和冷季代谢能承载力(metabolic energy (ME) carrying capacity)表征三江源国家公园典型高寒草地的冷季食草动物承载力, 按照下列公式计算[19,20]:

牧草数量承载力＝草场可食牧草干物质输出总量(kg DM/ha)×草场放牧利用率(%)/(放牧天数(d)×标准羊单位的干物质日需要量(kg DM/d)).

可消化蛋白承载力＝草场可消化蛋白输出总量(kg DCP/ha)×草场放牧利用率(%)/(放牧天数(d)×标准羊单位的可消化蛋白日需要量(kg DCP/d)).

代谢能承载力=草场代谢能输出总量(MJ/ha)×草场放牧利用率(%)/(放牧天数(d)×标准羊单位的代谢能日需要量(MJ/d)).

承载力计算主要依据中华人民共和国农业行业标准《天然草地合理载畜量的计算》NY/T635-2015[21]. 首先根据标准计算标准羊单位(sheep unit, SHU)的承载力, 标准羊单位是指1只体重45 kg、日消耗1.80 kg标准干草的成年绵羊, 本研究中按照标准干草含水量(14%)将日食量转换为干物质日食量(1.548 kg DM). 参考标准NY/T635-2015提供的草地标准干草折算系数, 紫花针茅草原、藏嵩草草甸和青藏苔草草原的标准干草折算系数分别为0.95、1.00和0.90. 参考标准NY/T635-2015提供的草地合理利用率, 紫花针茅草原、藏嵩草草甸和青藏苔草草原的冷季合理放牧利用率分别为60%、70%和55%. 本研究将冷季放牧(牧食)时间设定为214 d(11月至翌年5月底). 每个标准羊单位的可消化蛋白日需要量为0.0539 kg[20], 冷季牧草粗蛋白消化率采用56.70%[22], 每个标准羊单位的代谢能日需要量为8.38 MJ[20].

采用对应典型草地的代表性食草动物(出现频率高、种群数量大)核算冷季食草动物承载力. 紫花针茅草原、藏嵩草草甸和青藏苔草草原的对应代表性食草动物分别是家牦牛、藏野驴和藏羚羊. 参考行业标准NY/T635-2015提供的标准羊单位转化系数, 家牦牛(参照玉树牦牛: >350 kg)为5个标准羊单位, 藏野驴(参照

大型驴: >200 kg)为4个标准羊单位, 藏羚羊(成年藏羚羊体重45~60 kg)为1.2个标准羊单位.

2.4 数据处理

采用Microsoft Excel 2010进行数据整理, 数据以均值±标准误(Mean±SE)的形式表述. 使用SPSS 20.0按单因素方差分析(One-way ANOVA)和Duncan比较法进行差异性检验, 以P<0.05作为差异显著的标准, 以P<0.01作为差异极显著的标准.

3 结果与分析

3.1 植被群落特征与冷季牧草地上现存量

如表2所示, 群落高度表现为紫花针茅草原>藏嵩草草甸>青藏苔草草原, 组间差异极显著(P<0.01). 植被覆盖度和冷季牧草干物质现存量均表现为藏嵩草草甸>紫花针茅草原>青藏苔草草原, 组间差异极显著(P<0.01).

3.2 典型高寒草地的冷季牧草营养特征

如表3所示, 藏嵩草草甸的冷季牧草干物质、中性洗涤纤维和酸性洗涤纤维含量均极显著低于紫花针茅草原和青藏苔草草原(P<0.01). 藏嵩草草甸的冷季牧草粗蛋白和代谢能均极显著高于紫花针茅草原和青藏苔草草原(P<0.01). 紫花针茅草原的冷季牧草粗脂肪极显著低于藏嵩草草甸和青藏苔草草原(P<0.01).

3.3 典型高寒草地的冷季营养输出总量

如表4所示, 冷季牧草的干物质、粗蛋白、粗脂肪和代谢能的单位草地面积输出总量(kg/ha)均表现为藏嵩草草甸>紫花针茅草原>青藏苔草草原, 组间差异极显著(P<0.01). 青藏苔草草原冷季牧草的中性洗涤纤维和酸性洗涤纤维的单位草地面积输出总量极显著低于藏嵩草草甸和紫花针茅草原(P<0.01).

3.4 典型高寒草地冷季食草动物承载力

如表5所示, 长江源园区紫花针茅草原、藏嵩草草甸和青藏苔草草原的冷季牧草数量承载力分别为1.24±0.06、2.18±0.10和0.31±0.02 SHU/ha; 冷季DCP承载力分别为0.84±0.04、1.57±0.07和0.27±0.02 SHU/ha; 冷季ME承载力分别为1.69±0.08、2.81±0.13和0.45±0.03 SHU/ha. 3类冷季承载力的结果均表现为藏嵩草草甸>紫花针茅草原>青藏苔草草原, 且组间差异极显著(P<0.01).

长江源园区紫花针茅草原、藏嵩草草甸和青藏苔草草原对应的代表性食草动物冷季数量承载力分别为0.25±0.01家牦牛/ha、0.54±0.03藏野驴/ha和0.26±0.02藏羚羊/ha; 对应冷季DCP承载力分别为0.17±0.01家牦

表 2 三类典型高寒草地的冷季植被群落特征与牧草地上现存量[a)]

Table 2 Community characters and standing herbage biomasses of three typical alpine grasslands during cold season

指标类型	紫花针茅草原	藏嵩草草甸	青藏苔草草原	P值
群落高度(cm)	7.24 ± 0.25^{Aa}	5.16 ± 0.19^{Bb}	3.84 ± 0.15^{Cc}	0.000
植被覆盖度(%)	49.11 ± 2.42^{Bb}	77.56 ± 1.67^{Aa}	19.44 ± 0.85^{Cc}	0.000
牧草干物质(g/m^2)	72.24 ± 3.39^{Bb}	103.03 ± 4.71^{Aa}	21.08 ± 1.48^{Cc}	0.000

a) 表中数据为平均值±标准误差. 同行数据后不同大写字母表示差异极显著(P<0.01), 不同小写字母表示差异显著(P<0.05), 下同

表 3 三类典型高寒草地的冷季牧草营养特征(干物质基础)

Table 3 Herbage nutrition characters of three typical alpine grasslands during cold season (dry matter basis)

营养指标	紫花针茅草原	藏嵩草草甸	青藏苔草草原	P值
干物质(%)	90.65 ± 0.56^{Aa}	87.53 ± 1.08^{Bb}	92.01 ± 0.58^{Aa}	0.001
粗蛋白含量(%)	3.95 ± 0.07^{Cc}	5.16 ± 0.08^{Aa}	4.32 ± 0.09^{Bb}	0.000
中性洗涤纤维(%)	62.36 ± 1.07^{Aa}	48.40 ± 1.77^{Bb}	59.04 ± 0.33^{Aa}	0.000
酸性洗涤纤维(%)	32.56 ± 0.57^{Aa}	23.84 ± 0.88^{Bb}	33.30 ± 0.23^{Aa}	0.000
粗脂肪含量(%)	1.59 ± 0.04^{Bb}	2.03 ± 0.05^{Aa}	2.12 ± 0.07^{Aa}	0.000
牧草代谢能(MJ/kg)	6.9796 ± 0.00006^{Cc}	6.9812 ± 0.00011^{Aa}	6.9807 ± 0.00011^{Bb}	0.000

表 4 三类典型高寒草地的冷季单位草地面积营养输出总量

Table 4 Herbage nutrient yields of three typical alpine grasslands during cold season

营养指标	紫花针茅草原	藏嵩草草甸	青藏苔草草原	*P*值
干物质(kg/ha)	723.42 ± 33.92^{Bb}	1030.31 ± 47.07^{Aa}	210.77 ± 14.78^{Cc}	0.000
粗蛋白(kg/ha)	28.54 ± 1.36^{Bb}	53.08 ± 2.35^{Aa}	9.10 ± 0.67^{Cc}	0.000
中性洗涤纤维(kg/ha)	452.46 ± 26.06^{Aa}	499.90 ± 32.71^{Aa}	124.55 ± 8.88^{Bb}	0.000
酸性洗涤纤维(kg/ha)	236.05 ± 13.15^{Aa}	246.43 ± 16.24^{Aa}	70.37 ± 5.23^{Bb}	0.000
粗脂肪(kg/ha)	11.48 ± 0.55^{Bb}	20.85 ± 0.96^{Aa}	4.44 ± 0.30^{Cc}	0.000
牧草代谢能(MJ/ha)	5049.19 ± 236.74^{Bb}	7192.84 ± 328.58^{Aa}	1471.35 ± 103.16^{Cc}	0.000

表 5 三类典型高寒草地的冷季食草动物承载力

Table 5 Herbivores carrying capacities of three typical alpine grasslands during cold season

指标	紫花针茅草原	藏嵩草草甸	青藏苔草草原	*P*值
牧草数量承载力(SHU/ha)	1.24 ± 0.06^{Bb}	2.18 ± 0.10^{Aa}	0.31 ± 0.02^{Cc}	0.000
DCP承载力(SHU/ha)	0.84 ± 0.04^{Bb}	1.57 ± 0.07^{Aa}	0.27 ± 0.02^{Cc}	0.000
ME承载力(SHU/ha)	1.69 ± 0.08^{Bb}	2.81 ± 0.13^{Aa}	0.45 ± 0.03^{Cc}	0.000
对应草地代表性食草动物	家牦牛	藏野驴	藏羚羊	
牧草数量承载力(animal/ha)	0.25±0.01	0.54±0.03	0.26±0.02	
DCP承载力(animal/ha)	0.17±0.01	0.39±0.02	0.22±0.02	
ME承载力(animal/ha)	0.34±0.02	0.70±0.03	0.38±0.03	

牛/ha、0.39±0.02藏野驴/ha和0.22±0.02藏羚羊/ha; 对应ME承载力分别为0.34±0.02家牦牛/ha、0.70±0.03藏野驴/ha和0.38±0.03藏羚羊/ha.

4 讨论

4.1 三江源国家公园典型高寒草地的冷季牧草营养特征

牧草地上现存生物量反映了草地的冷季营养物质输出能力, 本研究中典型高寒草地的冷季牧草地上现存量的变化范围为21.08~103.03 g/m^2(采样时样方内未发现被采食痕迹, 也可认为是牧草产量), 低于青藏高原的低海拔区域高寒草地[23]. 主要归因于研究区海拔高、自然条件严酷、土壤发育差、有机质含量低、年均降水少、牧草生长季短等特点[16]. 对不同高寒草地类型而言, 藏嵩草草甸的冷季地上现存生物量(103.03 g/m^2)极显著高于紫花针茅草原(72.24 g/m^2)和青藏苔草草原(21.08 g/m^2). 由于枯草期的天然牧草基本风干, 牧草地上现存生物量在一定程度上与植被覆盖度相关[8]. 从表2中可以看出, 研究区藏嵩草草甸的植被覆盖度(77.56%)极显著高于紫花针茅草原(49.11%)和青藏苔草草原(19.44%), 因此藏嵩草草甸的冷季牧草干物质量高于其他两类草原.

冷季牧草营养品质反映了天然草地的冷季营养物质供给能力, 粗蛋白和纤维含量是决定牧草营养品质的重要指标, 优质牧草一般有粗蛋白高和粗纤维低等特点[24~27]. 粗蛋白含量正面反映了牧草营养品质, 本研究中三类典型高寒草地的冷季牧草粗蛋白含量变化范围是3.95%~5.16%, 藏嵩草草甸的冷季牧草粗蛋白含量极显著高于其他两类草原(表3), 对比之下藏嵩草草甸的冷季牧草粗蛋白供给潜力更大. 牧草营养品质随纤维含量的升高呈降低趋势[28], 研究发现, 藏嵩草草甸冷季牧草的NDF和ADF含量(48.40% NDF、23.84% ADF)极显著低于紫花针茅草原(62.36% NDF、32.56% ADF)和青藏苔草草原(59.04% NDF、33.30% ADF). NDF和ADF含量升高会降低牧草的适口性和动物采食量, 影响食草动物消化[10,29,30]. 冷季牧草代谢能表现为藏嵩草草甸>青藏苔草草原>紫花针茅草原, 表明嵩草草甸牧草具有粗蛋白高、代谢能高和纤维含量低等优点[25].

单位草地面积冷季营养物质输出总量决定了食草动物承载力. 本研究中冷季牧草干物质、粗蛋白和代谢能的单位草地面积输出总量均表现为藏嵩草草甸>

紫花针茅草原>青藏苔草草原. 藏嵩草草甸的冷季单位面积干物质输出总量较紫花针茅草原和青藏苔草草原分别高出42.42%和388.83%; 冷季单位面积粗蛋白输出总量较紫花针茅草原和青藏苔草草原分别高出85.98%和483.30%; 冷季单位面积代谢能输出总量较紫花针茅草原和青藏苔草草原分别高出42.48%和388.93%. 冷季牧草营养特征分析结果表明, 三江源国家公园长江源园区典型高寒草地的生产力较低, 冷季牧草地上现存量低, 冷季牧草营养品质较差.

4.2 三江源国家公园典型高寒草地的冷季食草动物承载力

承载力是指在可持续的基础上, 某一给定区域单位面积草地生态系统所提供的生物产量在单位时间内可以承载的食草动物数量. 食草动物放牧(牧食)是三江源国家公园草地最主要的利用方式[31], 合理放牧(牧食)对于草地资源可持续利用, 保障家畜生产、野生动物保护和维持草地生态系统服务至关重要[32]. 本研究发现, 长江源园区紫花针茅草原、藏嵩草草甸和青藏苔草草原的冷季牧草数量承载力分别为1.24、2.18和0.31 SHU/ha, 冷季DCP承载力分别为0.84、1.57和0.27 SHU/ha, 冷季ME承载力分别为1.69、2.81和0.45 SHU/ha. 3类典型草地的冷季承载力均表现为ME承载力>数量承载力>DCP承载力, 这与孙鹏飞等人[19]在三江源区(玉树州称多县)高寒草地开展的冷季研究结论一致. 主要归因于牧草粗蛋白含量随着季节变化明显, 进入冷季后, 枯草期牧草营养品质迅速下降, 导致牧草粗蛋白含量迅速降低, 草地粗蛋白供给能力不足; 此外, 冷季牧草粗蛋白的消化率低也是导致DCP承载力低的重要原因.

在青藏高原高寒地区, 牧草生长季光、温、水、热等条件充足, 天然草场牧草产量和营养品质能够满足食草动物需求[13], 此时牧草产量是影响草地承载力的主要因素. 进入冷季后, 牧草地上现存量和营养品质逐月快速下降, 同时食草动物需面对风雪等灾害天气[33]. 在国家公园冷季放牧管理中, 需充分考虑当地气候条件(严酷寒冷), 饲草供给特征(饲草匮乏), 畜牧业经营方式(设施滞后、无补饲条件). 本研究表明, 在冷季放牧管理中采用数量承载力和DCP承载力完全可以满足食草动物代谢能需求, 而采用代谢能承载力则会加大草地放牧压力. 在此背景下, 将可消化蛋白设定为冷季承载力限制因子[19], 一方面可以保障放牧家畜采食足够的饲草, 另一方面有助于降低国家公园内家畜存栏数量, 为野生动物保护释放草地资源和生态空间. 因此, 三江源国家公园长江源园区紫花针茅草原、藏嵩草草甸和青藏苔草草原的冷季适宜承载力(DCP承载力)分别为0.84、1.57和0.27 SHU/ha, 对应典型高寒草地代表性食草动物的冷季适宜承载力(DCP承载力)分别为0.17家牦牛/ha、0.39藏野驴/ha和0.22藏羚羊/ha.

4.3 三江源国家公园高寒草地适应性管理建议

目前, 综合考虑放牧家畜和食草野生动物, 三江源国家公园的载畜压力指数为1.21(即超载21%), 随着食草野生动物数量持续增加, 家畜与食草野生动物争夺草地资源的潜在矛盾突出[34]. 在此背景下, 按DCP承载力开展冷季高寒草地牧食管理, 对草地生态保护、草地资源合理利用和野生动物保护均有利. 然而, 在草地畜牧业生产中采用DCP承载力需核减家畜数量, 势必影响牧民经济收益; 若采用数量承载力和代谢能承载力开展冷季放牧(牧食)管理, 会导致高寒草地超载过牧, 而且不利于家畜抵抗冬春降雪等自然灾害(天然草地长期被降雪覆盖, 食草动物无法采食). 为促进三江源国家公园生态保护和草地畜牧业协调发展, 基于本研究提出以下4点建议: (1) 在国家公园牧业生产区(本研究中紫花针茅草原区和藏嵩草草甸区, 家畜和食草野生动物的重叠区域较多), 以草地生态保护和适度利用为重点, 积极推行季节畜牧业模式, 及时出售符合市场需求的家畜, 切实降低公园内家畜的存栏数量, 降低天然草地冷季放牧强度, 为食草野生动物保护释放生态空间. (2) 在食草野生动物重点保护区(本研究中青藏苔草草原及周边), 加强退化栖息地修复和保育技术研究, 扩大保护区的有效面积, 积极开展野生动物巡护和珍稀濒危野生动物救助等. (3) 在三江源国家公园外围生产承接区(农牧交错区), 大力发展草产业和养殖业, 积极吸收国家公园内转移出来的牦牛和藏系绵羊等资源, 通过异地舍饲出栏等方式提高饲草转化效率、生产效率和经营收益. (4) 积极完善生态补偿机制, 通过增加生态管护岗位等措施, 鼓励园区内农牧民融入草地生态保护, 稳步增加农牧民的家庭收入, 切实推进三江源山川秀美国家公园建设.

5 结论

三江源国家公园长江源园区藏嵩草草甸的冷季牧草地上现存量、营养品质和食草动物承载力均优于紫

花针茅草原和青藏苔草草原. 藏嵩草草甸、紫花针茅草原和青藏苔草草原的冷季适宜承载力分别为1.57、0.84和0.27 SHU/ha; 对应草食动物的冷季适宜承载力分别为0.39藏野驴/ha、0.17家牦牛/ha和0.22藏羚羊/ha. 三江源国家公园典型高寒草地的冷季牧草营养供给能力和食草动物承载力整体偏低, 在野生动物种群数量逐步恢复的背景下, 建议在国家公园内牧业生产区通过转变草地畜牧业生产方式加快放牧家畜周转速率, 降低国家公园内家畜存栏数量, 为食草野生动物保护释放生态空间. 同时, 通过完善生态补偿和奖励等措施, 提高国家公园内农牧民经济收入, 协调推进生态保护和民生改善.

参考文献

1 Huang B R, Wang Y, Su L Y, et al. Pilot programs for National Park System in China: Progress, problems and recommendations (in Chinese). Bull Chin Acad Sci, 2018, 33: 76–85 [黄宝荣, 王毅, 苏利阳, 等. 我国国家公园体制试点的进展、问题与对策建议. 中国科学院院刊, 2018, 33: 76–85]

2 Tang F L, Yan Y, Liu W G. Construction progress of national park system in China (in Chinese). Biodivers Sci, 2019, 27: 123–127 [唐芳林, 闫颜, 刘文国. 我国国家公园体制建设进展. 生物多样性, 2019, 27: 123–127]

3 Huang C, Wang L, Li X C, et al. Analysis on the spatial pattern of natural ecosystem service function value in Three-River-Source National Park (in Chinese). J Shandong Agric Univ (Nat Sci), 2019, 50: 202–205 [黄超, 王亮, 李西灿, 等. 三江源国家公园自然生态系统服务功能价值空间格局分析. 山东农业大学学报 (自然科学版), 2019, 50: 202–205]

4 Lu H. The significance of developing ecotourism in Sanjiangyuan National Park (in Chinese). Guangxi Qual Superv Guid Periodic, 2018, 10: 55 [鲁华. 三江源国家公园发展生态旅游的现实意义. 广西质量监督导报, 2018, 10: 55]

5 National Development and Reform Commission, People's Republic of China. Overall planning of Sanjiangyuan National Park (in Chinese). 2018 [中华人民共和国国家发展和改革委员会. 三江源国家公园总体规划. 2018]

6 Cai Z Y, Qin W, Gao H M, et al. Species diversity and fauna of mammals in Sanjiangyuan National Park (in Chinese). Acta Theriol Sin, 2019, 39: 410–420 [蔡振媛, 覃雯, 高红梅, 等. 三江源国家公园兽类物种多样性及区系分析. 兽类学报, 2019, 39: 410–420]

7 Yang F, Shao Q Q, Guo X J, et al. Effects of wild large herbivore populations on the grassland-livestock balance in Maduo County (in Chinese). Acta Pratac Sin, 2018, 27: 1–13 [杨帆, 邵全琴, 郭兴健, 等. 玛多县大型野生食草动物种群数量对草畜平衡的影响研究. 草业学报, 2018, 27: 1–13]

8 Hao L Z, Wang W B, Wang X, et al. Evaluation of nutritional value and carrying capacity of *Kobresia* grassland during the period of withered grass in Sanjiangyuan region (in Chinese). Acta Agrect Sin, 2013, 21: 56–64 [郝力壮, 王万邦, 王迅, 等. 三江源区嵩草草地枯草期牧草营养价值评定及载畜量研究. 草地学报, 2013, 21: 56–64]

9 Hao L Z, Liu S J, Wu K X, et al. Study on the evaluation of grass nutrition and carrying capacity in alpine grassland of *Kobresia* hastily in Maduo County (in Chinese). Chin J Grassl, 2011, 33: 84–89 [郝力壮, 刘书杰, 吴克选, 等. 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: 84–89]

10 Fan X H, Yang D Y, Hao L Z, et al. Annual analysis of nutritional quality of pasture in Haiyan County, Qinghai Province (in Chinese). Pratac Sci, 2017, 34: 2359–2365 [范小红, 杨得玉, 郝力壮, 等. 青海省海晏县牧场牧草营养品质全年动态. 草业科学, 2017, 34: 2359–2365]

11 Wei J, Guo Y M, Sun L, et al. Evaluation of ecological environment vulnerability for Sanjiangyuan area (in Chinese). Chin J Ecol, 2015, 34: 1968–1975 [韦晶, 郭亚敏, 孙林, 等. 三江源地区生态环境脆弱性评价. 生态学杂志, 2015, 34: 1968–1975]

12 Sheng H Y, Yang G H, Wang D X, et al. Current status of grassland resources utilization and the corresponding solutions in a sustainable development context in the regions of three river source (in Chinese). J Northwest A&F Univ (Nat Sci), 2007, 35: 147–153[盛海彦, 杨改河, 王得祥, 等. 江河源区草地资源利用状况与可持续发展对策. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2007, 35: 147–153]

13 Xu T W, Xu S X, Hu L Y, et al. Effect of dietary types on feed intakes, growth performance and economic benefit in Tibetan sheep and yaks on the Qinghai-Tibet Plateau during cold season. PLoS One, 2017, 12: e0169187

14 Long R J, Ding L M, Shang Z H, et al The yak grazing system on the Qinghai-Tibetan Plateau and its status. Rangel J, 2008, 30: 241–246

15 Wang Y P, Zheng Z C, Chao S Y, et al. Study on nutritive value of two type alpine meadow in Hoh Xili area during cold season (in Chinese). Grassl Turf, 2005, 4: 30–33 [王艳萍, 郑中朝, 晁生玉, 等. 青海可可西里国家自然保护区草地牧草营养成分测定. 草原与草坪, 2005, 4: 30–33]

16 Guo K. Vegetation of Qinghai Hoh Xili region (in Chinese). Chin J Plan Ecol, 1993, 17: 120–132 [郭柯. 青海可可西里地区的植被. 植物生态学报, 1993, 17: 120–132]

17 Zhang L Y. Feed Analysis and Feed Quality Detection Technology (in Chinese). Beijing: China Agricultural University Press, 2007. 1–435 [张丽英. 饲料分析及饲料质量检测技术. 北京: 中国农业大学出版社, 2007. 1–435]

18 He X Y, Yang Z A, Zhang Q Y. Comparison of nutritional components and feeding value of three forages in an alpine meadow of Qinghai Tibet (in Chinese). J Grassl Forage Sci, 2019, 4: 34–37 [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]

19 Sun P F, Cui Z H, Liu S J, et al. Seasonal evaluation of nutrition and carrying capacity of grazing pastures in the Three-River Source Region (in Chinese). Acta Pratac Sin, 2015, 24: 92–101 [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. 草业学报, 2015, 24: 92–101]

20 Li C Y, Xue X, Lai C M, et al. Growing season bearing capacity of degraded alpine meadow in the Qinghai-Tibet Plateau (in Chinese). J Desert Res, 2018, 38: 1330–1338 [李成阳, 薛娴, 赖炽敏, 等. 青藏高原退化高寒草甸生长季承载力. 中国沙漠, 2018, 38: 1330–1338]

21 Ministry of Agriculture and Rural Affairs of the People's Republic of China. Calculation of Rangeland Carrying Capacity (in Chinese). Agricultural Industry Standard of the People's Republic of China, NY/T 635-2015 [中华人民共和国农业部. 天然草地合理载畜量的计算. 中华人民共和国农业行业标准, NY/T 635-2015]

22 Li Y X, Wang J Z, Li L, et al. Research of grazing sheep feed intake and digestibility in Northern Tibet cold pastoral areas in different seasons (in Chinese). Acta Ecol Anim Domast, 2009, 30: 41–45 [李瑜鑫, 王建洲, 李龙, 等. 不同季节藏北高寒牧区放牧藏绵羊采食与消化率的研究. 家畜生态学报, 2009, 30: 41–45]

23 Du X Y, Chai S T, Wang X, et al. Study on nutritional value and carrying capacity of *Kobresia pygmea* pasture in Henan county (in Chinese). J Henan Agric Sci, 2015, 44: 141–146 [杜雪燕, 柴沙驼, 王迅, 等. 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: 141–146]

24 Shi Y, Ma Y L, Ma W H, et al. Large scale patterns of forage yield and quality across Chinese grassland (in Chinese). Chin Sci Bull, 2013, 48: 226–239 [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. 科学通报, 2013, 48: 226–239]

25 Zhao X Q, Zhang Y S, Zhou X M. Theory and practice for sustainable development of animal husbandry of the alpine meadow pasture (in Chinese). Resour Sci, 2000, 22: 50–61 [赵新全, 张耀生, 周兴民. 高寒草甸畜牧业可持续发展: 理论与实践. 资源科学, 2000, 22: 50–61]

26 Xin Y C. The analysis of nutrition ingredient of grass in Qinghai natural grassland (in Chinese). Qinghai Pratac, 2011, 20: 26–31 [辛玉春. 青海天然草地牧草营养成分分析. 青海草业, 2011, 20: 26–31]

27 Zhang Y P, Jiang Y, Liu Q R, et al. Impacts of grazing on herbage quality of the alpine and subalpine meadows within Wutai Mountain (in Chinese). Acta Ecol Sin, 2011, 31: 3659–3667 [章异平, 江源, 刘全儒, 等. 放牧对五台山高山, 亚高山草甸牧草品质的影响. 生态学报, 2011, 31: 3659–3667]

28 Zhou X L, Du Y H, Li G Q, et al. Production of *Poa crymophila* cv. Qinghai in Qinghai-Tibet alpine region (in Chinese). Pratac Sci, 2014, 31: 296–299 [周学丽, 杜玉红, 李桂全, 等. 青海冷地早熟禾在青藏高寒地区的生产性能. 草业科学, 2014, 31: 296–299]

29 Cui Z H, Liu S J, Chai S T, et al. The determination of feed intake for yak grazing on alpine meadow in the Region of the Source of Yangtze,Yellow and Lantsang Rivers (in Chinese). China Herbivore, 2017, 27: 20–22 [崔占鸿, 刘书杰, 柴沙驼, 等. 三江源区高寒草甸草场放牧牦牛采食量的测定. 中国草食动物, 2007, 27: 20–22]

30 Xie B, Zhang N F, Cui K, et al. Effects of different levels of dietary neutral detergent fiber on growth performance, serum parameters, slaughter performance and tissue and organ development of early-aeaned Hu lambs (in Chinese). Chin J Anim Nutri, 2018, 30: 963–972 [解彪, 张乃锋, 崔凯, 等. 不同中性洗涤纤维水平饲粮对早期断奶羔羊生长性能、血清指标、屠宰性能和组织器官发育的影响. 动物营养学报, 2018, 30: 963–972]

31 Zhang W L, Xian Z. The effect of Sanjiangyuan National Park on original inhabitants of pastoral community (in Chinese). Forest Invent Plan, 2017, 42: 152–155 [张文兰, 仙珠. 三江源国家公园对当地牧区社区原住民的影响. 林业调查规划, 2017, 42: 152–155]

32 Xu M Y, He J S. A review of grassland carrying capacity: Definition, theoretical consideration and model (in Chinese). Acta Pratac Sin, 2014, 23: 313–324 [徐敏云, 贺金生. 草地载畜量研究进展: 概念、理论和模型. 草业学报, 2014, 23: 313–324]

33 Shao Q Q, Liu G B, Li X D, et al. Assessment of the defense capability of spring snow disaster and grassland animal husbandary in 2019 in the Three-River Source Region (in Chinese). Acta Agrest Sin, 2019, 27: 1317–1327 [邵全琴, 刘国波, 李晓东, 等. 三江源区2019年春季雪灾及草地畜牧业雪灾防御能力评估. 草地学报, 2019, 27: 1317–1327]

34 The Second Tibetan Plateau Scientific Expedition and Research Group. Ecosystem in Sanjiangyuan National Park: Status, Changes and Managements (in Chinese). Beijing: Science Press, 2020 [第二次青藏高原综合科学考察研究队. 三江源国家公园生态系统: 现状、变化及管理. 北京: 科学出版社, 2020]

Summary for “三江源国家公园典型高寒草地冷季牧草营养特征与食草动物承载力”

Standing herbage nutrition characters and herbivore carrying capacities of typical alpine grasslands in Sanjiangyuan National Park during cold season

Tianwei Xu[1,2†], Xungang Wang[1,2,3†], Xinquan Zhao[1,2*], Shaojuan Mao[4], Hongjin Liu[1,2,3], Linyong Hu[1,2], Yuanyue Geng[1,2,3], Xiaoling Zhang[1,2,3], Na Zhao[1,2], Shengping Kang[1,2,3], Liang Zhao[1,2] & Shixiao Xu[1,2*]

[1] *Institute of Sanjiangyuan National Park, Chinese Academy of Sciences, Xining 810008, China;*
[2] *Key Laboratory of Adaptation and Evolution of Plateau Biota, Northwest Institute of Plateau Biology, Chinese Academy of Sciences, Xining 810008, China;*
[3] *College of Life Sciences, University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China;*
[4] *College of Eco-Environmental Engineering, Qinghai University, Xining 810016, China*
* Corresponding authors, E-mail: xqzhao@nwipb.cas.cn; sxxu@nwipb.cas.cn

Sanjiangyuan National Park is the first and biggest of 10 pilot national parks in China. Systematically investigating the herbage nutrition features and herbivore carrying capacity in typical alpine grasslands during cold season is of great significance to promote the balanced management of grasslands-herbivores in the National Park. However, there was few reports that focus on the ground research, due to harsh alpine conditions in highland plateau. In late December 2019, we collected the standing herbage samples of *Stipa purpurea* steppe, *Kobresia tibetica* meadow, and *Carex moorcroftii* steppe located in the Yangtze River Source Park of the Sanjiangyuan National Park, analyzed the herbage biomass and nutritional quality, and calculated the herbivore quantity carrying capacity and nutrition carrying capacity (digestible crude protein carrying capacity and metabolic energy carrying capacity) based on the agricultural industry standard of China (calculation of rangeland carrying capacity, NY/T635-2015). The results showed that: (1) Standing herbage biomasses of typical alpine grasslands were revealed as *Kobresia tibetica* meadow (103.03 g DM/m^2) > *Stipa purpurea* steppe (72.24 g DM/m^2) > *Carex moorcroftii* steppe (21.08 g DM/m^2) (P<0.01). (2) Herbage in *Kobresia tibetica* meadow shared higher crude protein content (5.16%) than that of *Stipa purpurea* steppe (3.95%) and *Carex moorcroftii* steppe (4.32%) (P<0.01). (3) Total nutrient output (kg nutrient yield per hectare grassland) of crude protein, ether extract and metabolic energy were revealed as *Kobresia tibetica* meadow > *Stipa purpurea* steppe> *Carex moorcroftii* steppe (P<0.01). (4) Compared with quantity carrying capacity and metabolic energy carrying capacity, the digestible crude protein (DCP) carrying capacity is more consistent with the ecological protection goal in the National Park. The suitable cold season DCP carrying capacities for *Stipa purpurea* steppe, *Kobresia tibetica* meadow, and *Carex moorcroftii* steppe were 0.84±0.04, 1.57±0.07 and 0.27±0.02 SHU/ha (standard sheep unit per hectare grassland), respectively. Regional suitable cold season DCP carrying capacities for corresponding herbivores were 0.17±0.01 Yak/ha (*Stipa purpurea* steppe), 0.39±0.02 Kiang/ha (*Kobresia tibetica* meadow) and 0.22±0.02 Tibetan antelope/ha (*Carex moorcroftii* steppe), respectively. (5) We found that the standing herbage biomass and herbivore carrying capacity of typical alpine grasslands in Sanjiangyuan National Park were quite low during cold season. We suggested that pastoralists in the livestock production area of the National Park should transform livestock husbandry management to increase the livestock production efficiency, turnover rate and economic returns, then effectively reduce the grazing livestock population in Sanjiangyuan National Park, and finally release more grassland resource and ecological space for the wildlife in Sanjiangyuan National Park.

Sanjiangyuan National Park, typical alpine grassland, cold season herbage nutritional quality, herbivore carrying capacity, grasslands-herbivores balance, adaptive management

doi: 10.1360/TB-2020-0118