

# 人为干扰对藏北高寒草原群落生物量 及其碳氮磷含量特征的影响

鄢燕<sup>1</sup>, 马星星<sup>1,2</sup>, 鲁旭阳<sup>1</sup>

(1. 中国科学院水利部成都山地灾害与环境研究所山地表生过程与生态调控重点实验室, 四川 成都 610041;

2. 中国科学院大学, 北京 100049)

**摘 要:** 退牧还草工程是国家为改善草原生态环境和促进牧区经济持续发展而实行的一项战略性工程, 禁牧和休牧措施是其主要措施。以藏北高寒草原申扎区域的退牧还草工程为研究对象, 分别选取禁牧围栏样地、休牧围栏样地和围栏外的一块自由放牧样地, 比较分析这三种人为干扰下的放牧样地的生物量及其碳氮磷含量的特征。结果表明: 休牧样地地上和地下生物量分别为 35.69 g/m<sup>2</sup> 和 237.11 g/m<sup>2</sup>, 均显著高于禁牧样地 (22.48 g/m<sup>2</sup> 和 151.22 g/m<sup>2</sup>) 和自由放牧样地 (25.27 g/m<sup>2</sup> 和 96.37 g/m<sup>2</sup>)。植物中碳氮磷含量, 地上部分禁牧样地含碳量最高, 植物氮、磷含量自由放牧样地最高; 地下部分碳、氮含量差异不明显, P 含量自由放牧最高。说明植物生物量大小与植物体内碳氮磷元素含量大小无相关关系。对于禁牧样地, 在长期围栏封育的同时, 应适当的添加 P 元素或 N、P 元素; 而休牧样地, 在短期围栏封育时, 可添加适当的 N 元素。

**关键词:** 退牧还草; 高寒草原; 生物量; 植物碳氮磷

**中图分类号:** Q142

**文献标志码:** A

高寒草原类草地在藏北高原广泛分布, 面积约 3 422.87 × 10<sup>4</sup> hm<sup>2</sup>, 占西藏草地总面积 (8 106.67 × 10<sup>4</sup> hm<sup>2</sup>) 的 42.21%<sup>[1]</sup>, 它不仅是亚洲中部高寒环境中最为典型的自然生态系统之一, 而且在世界高寒地区亦具有代表性<sup>[2]</sup>, 是藏北高原重要的畜牧业生产基地。保守估计, 传统意义上放牧地占地球陆地面积的一半以上<sup>[3]</sup>。放牧作为草地生态系统中最重要管理方式之一, 其过度放牧成为人类施于草原生态系统最强大的影响因素, 在全世界草地退化总面积中约有 35% 是由于过度放牧造成的<sup>[4]</sup>。已有数据分析表明藏北地区退化草地面积已达 77.1%, 2000 年以来重度退化面积增加趋势明显, 而重度退化主要是由超载过牧引起的<sup>[5]</sup>。

退牧还草工程是促进我国草原生态与畜牧业协

调发展而实施的一项重要生态建设工程。通过围栏建设, 禁牧、休牧、划区轮牧等措施, 恢复草原植被, 改善草原生态, 提高草原生产力。退牧还草工程在西藏自治区于 2004 年开始实施, 分地区、分县、分批次的进行。截止目前, 经过 5 ~ 8 a 工程的实施, 退化草地的恢复演替情况如何? 不同的退牧还草措施效果怎样? 又有怎样的差异? 因此本文选择藏北高寒草原退牧还草工程中实施的禁牧和休牧, 以及自由放牧人为干扰下的三种放牧方式下的草地, 分析比较这三种放牧方式下的植物地上、地下生物量的空间分布及其碳氮磷含量特征, 揭示这三种不同放牧方式对植物生物量及其营养元素的影响, 并对氮、磷养分限制进行判断, 试图对退牧还草工程提出有的放矢、行之有效的措施和依据。

**收稿日期** (Received date): 2013 - 12 - 21; **改回日期** (Accepted): 2014 - 05 - 05。

**基金项目** (Foundation item): 中国科学院战略性先导科技专项 (B 类) (XDB03030505); 国家自然科学基金项目 (41201053) 和中科院成都山地所“一三五”项目 (SDS - 135 - 1203 - 02) 资助。[ Supported by "Strategic Priority Research Program" of the Chinese Academy of Sciences (XDB03030505), National Natural Science Foundation of China (41201053) and the 135 Strategic Program of the Institute of Mountain Hazards and Environment (SDS - 135 - 1203 - 02). ]

**作者简介** (Biography): 鄢燕 (1978 - ), 女, 四川西昌人, 博士, 主要从事草地生态学研究。[ Yan Yan (1978 - ), female, Ph D, born in Xichang, Sichuang Province, specialized in grassland ecology. ] E-mail: yy@imde.ac.cn

## 1 试验材料与方法

### 1.1 研究区域状况

研究区域位于西藏藏北高原那曲地区申扎县中国科学院水利部山地灾害与环境研究所申扎高寒草原与湿地生态系统观测试验站(N 30°57', E 88°42', 4 675 m)。申扎县位于西藏自治区中部、那曲地区西部,冈底斯山和藏北第二大湖色林错之间,羌塘高原中部。属南羌塘高原大湖盆地,地势较缓,丘陵、高山与盆地相间,海拔4 500~5 000 m。申扎县气候属高原亚寒带半干旱季风性气候,年均温0.4℃,最暖月均温6~12℃。年平均降雨量298.6 mm,降雨主要发生在5—9月,年均蒸发量高达2 181.1 mm。年平均风速为3.8 m/s,8级以上大风达104.3 d,年均太阳辐射为2 915.5 h。区内属紫花针茅高寒草原,紫花针茅(*Stipa purpurea*)为建群种,伴生有青藏苔草(*Carex moorcroftii*)、矮火绒草(*Leontopodium nanum*)和小叶棘豆(*Oxytropis microphylla*)等。土壤为高寒草原土。根据多年在该区域的观测发现,植物在每年的5月中下旬返青,6—8月为植物生长期,9月逐渐停止生长,10月植物基本结束生长,进入枯黄期,一直持续到次年的5月初。

### 1.2 研究方法

#### 1.2.1 样地设置

在申扎试验站附近选取3块样地,人为干扰后的不同放牧利用方式——禁牧(30°57'14.30"N, 88°43'40.39"E)、休牧(30°57'2.49"N, 88°44'13.70"E)和自由放牧样地(30°56'54.88"N, 88°44'1.33"E)(图1)。禁牧、休牧样地都是基于退牧还草工

程,于2008年开始围封。禁牧是常年围封,禁止放牧,时间长达10 a,面积约880.0 hm<sup>2</sup>,紫花针茅为建群种,伴生种有狼毒(*Stellera chamaejasme*)、青藏苔草、早熟禾(*Poa annua*)等。休牧是每年的5—7月牧草生长季围封,禁止放牧,其他时间放牧,面积约810.0 hm<sup>2</sup>,建群种为紫花针茅,伴生有矮火绒草、藏西风毛菊(*Saussurea stoliczkae*)、白草(*Pennisetum flaccidum*)。自由放牧是一年四季都放牧,在休牧草地围栏外,面积约180 hm<sup>2</sup>,建群种为紫花针茅,伴生有冰川棘豆(*Oxytropis glacialis* Benth. ex Bunge)、藏西风毛菊、白花枝子花(*Dracocephalum heterophyllum*)、二列委陵菜(*Potentilla bifurca*)、小叶棘豆、伊朗蒿(*Artemisia persica*)等。放牧家畜主要为绵羊,白天放牧,夜晚入圈管理。

#### 1.2.2 群落生物量测定

采样时间为2013年4月,在每个样地内设置3个1 m×1 m样方。齐地刈割地上部分,地上植物样品105℃下杀青15 min后,65℃烘干称重,留样分析。地下生物量取样与地上现存量同步进行,每个地上现存量样方内设一个地下生物量样方,共3个重复。地下生物量的测定采用土柱法,用特制的圆形钢筒取样。钢筒直径8 cm,高50 cm,上端配一铁盖子,下端做成削尖形。每个样方取3层,分0~10 cm,10~20 cm,20~30 cm。样品按层装入布袋中带回室内。用80目筛子冲洗、分离,分离后将根系按层装入纸袋中,在75℃烘箱内烘干至恒重,称其干重。

#### 1.2.3 样品分析

将烘干植物样粉碎过直径0.25 mm筛子后,装入自封袋分析用。植物氮、磷含量采用H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>-H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>消煮后进行N、P元素的联合测定,全氮用半微

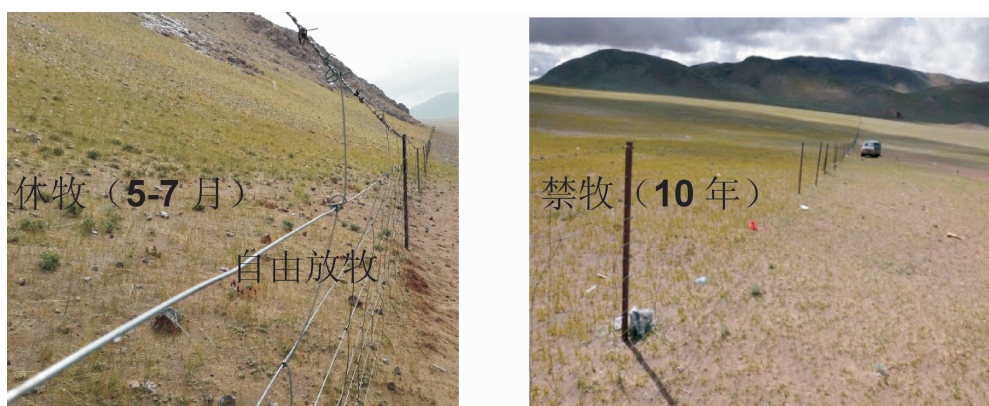


图1 藏北申扎试验站附近禁牧、休牧和自由放牧样地

Fig. 1 The enclosed grassland (EG), short-time enclosed grassland (SG) and freedom grazing grassland (FG) located in Xainza experiment station, Northern Tibet

量凯氏法,全磷用钼锑抗比色法。植物碳含量:重铬酸钾( $K_2Cr_2O_7$ )容量法。

1.2.4 数据分析

数据采用 SPSS 11.5 进行统计分析。单因子方差分析(ANOVA)和最小显著差数法(LSD)用于禁牧、休牧和自由放牧草地间各指标数据的比较和差异显著性检验( $p=0.05$ )。

2 结果与分析

2.1 不同放牧方式对草地生物量的影响

非生长季(4月),植物仍处于枯黄期,在三种放牧方式下,禁牧、休牧和自由放牧样地地上现存量分别为  $22.48\text{ g/m}^2$ 、 $35.69\text{ g/m}^2$  和  $25.27\text{ g/m}^2$ 。休牧草地的地上现存量大于禁牧和自由放牧草地。通过多重比较分析结果看,禁牧和自由放牧之间无显著差异( $p>0.05$ ),但均和休牧草地之间有显著差异( $p<0.05$ )(图 2A,表 1)。

禁牧、休牧和自由放牧样地根系生物量分别为  $151.22\text{ g/m}^2$ 、 $237.11\text{ g/m}^2$  和  $96.37\text{ g/m}^2$ 。休牧样地的根系生物量大于禁牧和自由放牧样地。多重比较发现,这三种放牧草地根系生物量差异与地上现存量一致,禁牧和自由放牧之间无显著差异( $p>0.05$ ),但均和休牧草地之间差异显著( $p<0.05$ )(图 2B,表 1)。

从根系分层生物量来看(图 3B),在  $0\sim10\text{ cm}$  土层中,根系生物量的大小依次为休牧草地>禁牧草地>自由放牧草地。而在  $10\sim20\text{ cm}$  和  $20\sim30\text{ cm}$  的土层中,这三种放牧方式下的草地根系生物量

变化不大。多重比较分析发现,三种放牧草地的根系生物量在  $0\sim10\text{ cm}$  均表现出差异显著(表 1,  $p<0.05$ ),但在  $10\sim20\text{ cm}$  和  $20\sim30\text{ cm}$  差异不显著( $p>0.05$ )。

2.2 不同放牧方式下植物碳含量

如图 3 所示,在非生长季(4月份)禁牧、休牧和自由放牧草地地上植物碳含量分别为  $400.11\text{ g/kg}$ 、 $237.91\text{ g/kg}$  和  $361.23\text{ g/kg}$ ,大小依次为禁牧草地>自由放牧草地>休牧草地。禁牧草地和自由放牧草地地上植物碳含量差异不显著( $p>0.05$ ),但休牧样地较禁牧样地和自由放牧样地有显著差异( $p<0.05$ )。

表 1 不同放牧方式下高寒草原植物组分生物量的差异性比较(单位: $\text{g/m}^2$ )

Table 1 Comparison the biomass of plant component under different grazing ways in alpine steppe (unit: $\text{g/m}^2$ )			
植物组分	禁牧	休牧	自由放牧
地上部分			
现存量	$22.48 \pm 1.58a$	$35.69 \pm 3.48b$	$25.27 \pm 3.22a$
地下根系			
$0\sim10\text{ cm}$	$127.49 \pm 9.83a$	$222.13 \pm 44.89b$	$71.79 \pm 4.11c$
$10\sim20\text{ cm}$	$18.31 \pm 8.31a$	$12.55 \pm 7.83a$	$21.89 \pm 1.56a$
$20\sim30\text{ cm}$	$5.42 \pm 0.42a$	$2.43 \pm 1.15a$	$2.69 \pm 1.76a$
根系总量	$151.22 \pm 9.93a$	$237.11 \pm 45.31b$	$96.37 \pm 12.86a$
根冠比	$6.69 \pm 0.95a$	$6.70 \pm 1.55b$	$3.89 \pm 0.91a$
总生物量	$171.89 \pm 8.35a$	$272.80 \pm 44.49b$	$121.64 \pm 10.10a$

注:a,b,c 表示在  $p=0.05$  下,禁牧、休牧和自由放牧三种放牧方式之间各指标是否有差异(以下同)。Note: a, b, c means significant difference ( $p<0.05$ ) in EG, SG and FG (the same below).

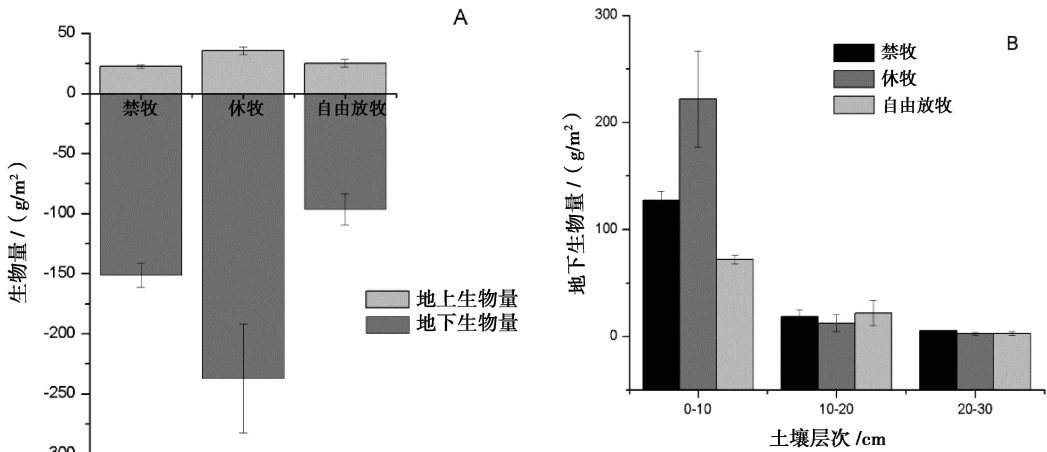


图 2 不同放牧方式对高寒草地生物量的影响  
Fig.2 Effect of different grazing ways on alpine grassland biomass

地下0~10 cm,10~20 cm和20~30 cm根系在禁牧、休牧和自由放牧草地中的碳含量如图4所示。草地各层的根系碳含量无固定的变化规律。而在这三种不同的放牧方式之间,根系碳含量也无显著的差异( $p>0.05$ )。

### 2.3 不同放牧方式下植物氮含量

如图5所示,禁牧、休牧和自由放牧草地上植物氮含量分别为5.86 g/kg,4.13 g/kg和6.69 g/kg,大小依次为自由放牧草地>禁牧草地>休牧草地。禁牧草地和休牧、自由放牧草地均差异不显著,而休牧和自由放牧草地差异显著。

地下0~10 cm,10~20 cm和20~30 cm根系在禁牧、休牧和自由放牧草地中的氮含量如图6所示。草地各层的根系氮含量无固定的变化规律。在这三种不同的放牧方式之间,0~10 cm和10~20 cm土层根系氮含量,禁牧草地均与休牧草地、自由放牧草地之间有显著差异( $p<0.05$ ),而休牧草地和自由放牧草地之间差异不显著( $p>0.05$ )。20~30 cm土层中这三种放牧方式之间均表

( $p>0.05$ )。

### 2.4 不同放牧方式下植物磷含量

如图7所示,禁牧、休牧和自由放牧草地上植物磷含量分别为0.26 g/kg,0.53 g/kg和0.77 g/kg,大小依次为自由放牧草地>休牧草地>禁牧草地。禁牧草地、休牧草地、自由放牧草地均两两表现出显著差异。

地下0~10 cm,10~20 cm和20~30 cm根系在禁牧、休牧和自由放牧草地中的磷含量如图8所示。草地各层的根系磷含量大小变化无固定的变化规律。在这三种不同的放牧方式之间,0~10 cm和10~20 cm土层根系磷含量,禁牧草地均与休牧草地、自由放牧草地之间有显著差异( $p<0.05$ ),而休牧草地和自由放牧草地之间差异不显著( $p>0.05$ )。20~30 cm土层中这三种放牧方式之间均表

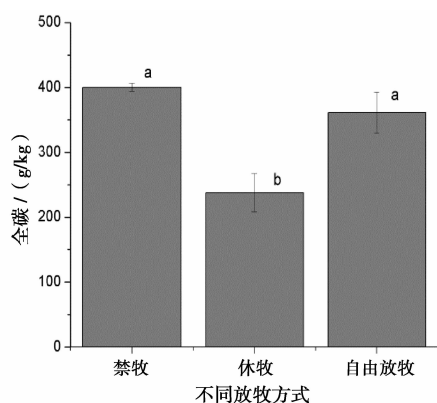


图3 不同放牧方式对地上植物碳含量的影响

Fig.3 Effect of different grazing ways on the carbon content of aboveground plant

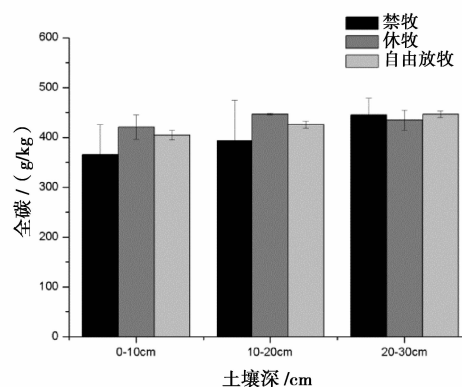


图4 不同放牧方式对各层根系碳含量的影响

Fig.4 Effect of different grazing ways on the carbon content of different layers roots

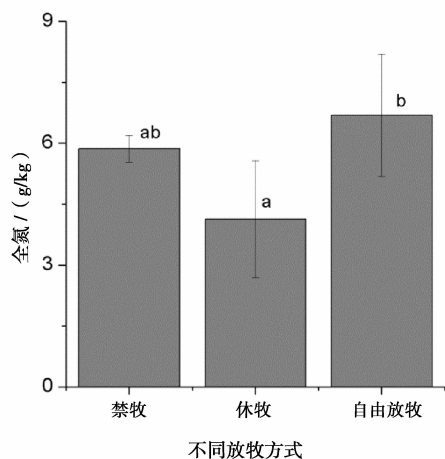


图5 不同放牧方式对地上植物氮含量的影响

Fig.5 Effect of different grazing ways on nitrogen content of aboveground plant

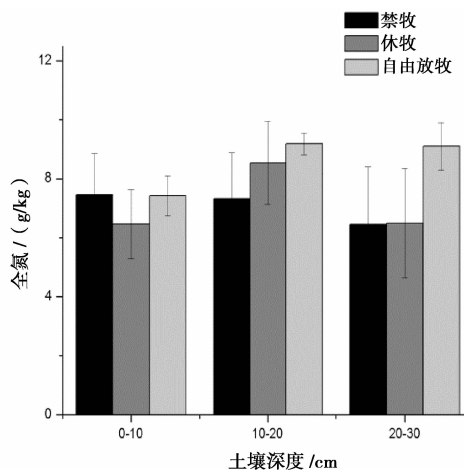


图6 不同放牧方式对各层根系氮含量的影响

Fig.6 Effect of different grazing ways on nitrogen content of different layers roots

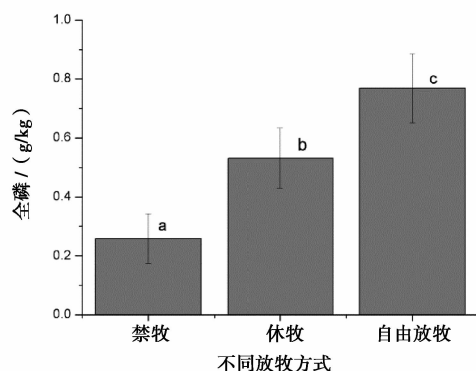


图7 不同放牧方式对地上植物磷含量的影响

Fig. 7 Effects of different grazing ways on phosphorus content of aboveground plant

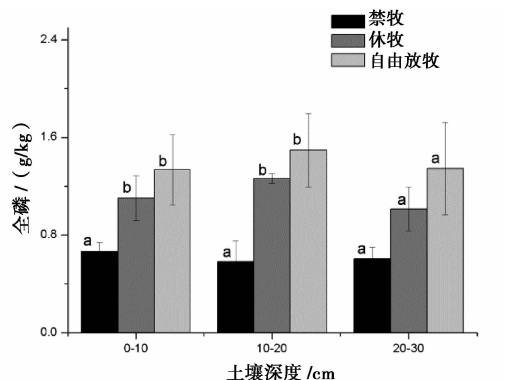


图8 不同放牧方式对各层根系磷含量的影响

Fig. 8 Effects of different grazing ways on phosphorus content of different layers roots

现出差异不显著。

### 3 讨论

#### 3.1 对高寒草原生物量的影响

经历4~5 a围封或4~5 a生长季节短期围封,高寒草原总生物量有着明显的差异。禁牧、休牧和自由放牧草地总生物量分别为171.89 g/m<sup>2</sup>, 272.80 g/m<sup>2</sup>和121.64 g/m<sup>2</sup>。大小依次为休牧草地>禁牧草地>自由放牧草地。休牧草地显著大于禁牧草地和自由放牧草地,主要表现在地上现存量及地下0~10 cm土层根系生物量的差异(表1)。表明,在植物营养生长期5—7月短期围封,禁止绵羊啃食,然后从8月开始放牧,比多年禁牧和常年放牧更有利于牧草的生长,特别是促进地下表层根系的生长。原因是5—7月为牧草的营养生长期,这段时间内牧草返青至生长未受到家畜的影响,其生长和光合同化物积累增加,使植物能够充分的生长。8月,群落植物本该处于生殖期,这期间放牧,家畜啃食,使得大部分植物不能进入生殖阶段,本该分配给地上部分的同化产物转移到了地下部分,使得地下生物量增加,尤其是0~10 cm土层的根系生物量增加趋势明显。9月至次年4月为植物枯黄期,植物生长变化基本已结束,生物量及同化产物基本维持定量,不再变化。

这三种放牧方式下地上和地下的根冠比分别为6.69, 6.70和3.89,变化趋势与总生物量、地上和地下生物量的趋势一致。由于本研究时间段在植物非生长季节,地上部分都是立枯物,经过一个冬天的大风吹刮,地上部分有所损失,故造成地上现存量偏

小,根冠比偏大。内蒙古温带草原的根冠比为6.3<sup>[6]</sup>,其他研究者在本区域的根冠比为5.2<sup>[7]</sup>。可以看出,本研究中的禁牧和休牧草地植物根冠比均比这两者的研究结果要高。休牧草地地下生物量明显高于禁牧和自由放牧草地,因此休牧根冠比较禁牧和自由放牧高(表1)。禁牧和自由放牧草地地上部分现存量基本相同,但通过常年的连续放牧后,地上部分遭受家畜啃食,为了补偿地上部分,较多的同化产物分配给地上部分,因此造成地下部分不能充分生长,地下生物量较禁牧小,故自由放牧草地根冠比小于禁牧草地。

#### 3.2 对高寒草原碳、氮、磷含量的影响

碳作为植物光合同化产物,是植物主要的物质能量基础,氮和磷为植物的基本营养元素。作为植物生长过程中不可或缺的元素,碳、氮、磷的组成及分配是相互联系的。在这三种放牧方式下,植被地上部分的含碳量表现为休牧草地最小,较禁牧和自由放牧差异显著,分别下降了40.54%和34.14%。含氮量也是休牧草地最小,自由放牧草地最大,两者差异显著,休牧含氮量较自由放牧草地下降了38.22%,而与禁牧草地差异不显著。含磷量这三种放牧方式两两差异显著,表现为禁牧最小,休牧次之,自由放牧最大。

这三种放牧样地地上部分的C:N:P分析结果发现C:N差异不显著,C:P和N:P这三种放牧地差异一致,都是禁牧较休牧和自由放牧差异显著。N和P作为限制植物生长的主要营养元素,N:P被广泛用来诊断植物N、P养分限制格局<sup>[8-11]</sup>。研究显示,当植被的N:P<14时,表明植物生长较大程度受到氮素的限制作用,而>16时,则反映植被生产

力受磷素的限制更为强烈,介于两者中间表明受到氮、磷元素的共同限制作用<sup>[12-14]</sup>。依据上述判断限制性因子的 N:P 数据来看,禁牧草地植物表现出缺 P,休牧和自由放牧样地表现出缺 N(表 2)。这与这三个样地中休牧样地含 N 量最低,禁牧样地含 P 量最低的测定结果相符合。但是自由放牧样地在这三个样地中含 N 量最高,这与其缺 N 结果相矛盾。经仔细分析发现,自由放牧样地的含 P 量也最高,这可能是在持续放牧干扰下,植物由于不断被啃食,产生了相应的补偿生长作用,刺激地上部分 P 含量的增加幅度显著大于 N 含量的增加幅度,使得在放牧草地中 N 成为其植物生长的限制因子。

地下根系 C 和 N 含量在地下 0~10 cm、10~20 cm、20~30 cm 土层内三个样地差异不显著。P 含量在地下三层中均表现为禁牧最小,自由放牧最大,其中,0~10 cm 和 10~20 cm 中禁牧显著小于休牧和自由放牧样地。地下根系的 C:N:P 比比比较分析发现,这三种放牧样地中除 10~20 cm 土层的 C:N 比无显著差异,其他土层的 C:N、C:P 和 N:P 比表现为禁牧均与休牧和(或)自由放牧样地差异显著,而休牧与自由放牧样地差异不显著。禁牧样地地上部分和地下根系 P 含量均最小,因此,禁牧植物具有较高的 C:P 和 N:P 比值。这可以看出植物 C:N:P 比值的大小主要由植物体内 P 含量的多少决定的,这与 Vanniet al. (2002) 等的研究结果一致<sup>[15]</sup>。三个样地中各土层地下根系 N:P 比均 < 14,表明地下根系均表现出缺 N 现象。但由于禁牧

草地正处于恢复演替过程,需要大量的养分需求,可供植物吸收的有效 P 不足,也无外界刺激引发植物的补偿生长作用,使得缺 P 现象明显高于 N 素。因此,相对 N 而言,P 在禁牧草地中成为更大的限制性因子。

4 结论

1. 在藏北高寒草原人为干扰下的三种不同放牧样地,常年持续放牧的自由放牧样地,生长季短期(3 个月)围栏封育的休牧样地和全年围栏封育的禁牧样地中,其中休牧样地的地上现存量和地下生物量均大于自由放牧和禁牧样地,而禁牧和自由放牧样地地上现存量和地下生物量差异不显著。

2. 3 种样地中地上部分植物的含碳量禁牧样地最高,植物的 N 含量和 P 含量则是自由放牧样地最高。地下根系的碳含量和 N 含量差异不明显,P 含量自由放牧样地最高。这说明由于植物的补偿生长作用,家畜的啃食有可能会刺激植物体内 N、P 元素的累积。同时禁牧样地含碳量较大,这可能与群落在恢复过程中有机质的积累有关<sup>[9]</sup>。

3. 从 C:N、C:P 和 N:P 比值分析,本研究区域中的禁牧样地相对于 N 而言,更为缺 P,在保证长期围栏封育的同时,应适当添加 P 元素或同时施加适量的 N、P 元素。而休牧样地和自由放牧样地相对于 P 而言,更为缺 N,休牧样地应在短期围栏封育的基础上,适当的添加 N 元素。

表 2 不同放牧方式高寒草原植物地上部分和地下根系 C:N:P 比  
Table 2 Ratio C:N:P of alpine steppe plant aboveground and belowground root indifferent grazing ways

植物组分	放牧方式	C: N	C: P	N: P	
地上部分	禁牧	68.36 ± 3.37a	1649.13 ± 470.00a	24.24 ± 7.38a	
	休牧	62.39 ± 21.15a	456.10 ± 80.23b	7.73 ± 1.97b	
	自由放牧	55.31 ± 9.84a	477.05 ± 83.87b	8.67 ± 0.89b	
	0 ~ 10 cm	禁牧	49.23 ± 2.22a	550.38 ± 77.91a	11.24 ± 2.03a
	休牧	54.95 ± 6.24ab	372.52 ± 49.24b	6.89 ± 1.56b	
	自由放牧	66.11 ± 9.26b	328.15 ± 93.36b	5.15 ± 2.20b	
	10 ~ 20 cm	禁牧	53.74 ± 3.94a	693.66 ± 96.60a	13.02 ± 2.60a
		休牧	46.43 ± 2.38a	336.99 ± 4.91b	7.27 ± 0.44b
		自由放牧	57.64 ± 20.23a	306.48 ± 58.02b	6.12 ± 3.45b
	20 ~ 30 cm	禁牧	11.24 ± 2.03a	749.20 ± 173.27a	12.18 ± 4.26a
		休牧	6.89 ± 1.56b	448.51 ± 72.45b	8.95 ± 1.30ab
		自由放牧	5.14 ± 2.20b	294.39 ± 126.52b	4.30 ± 1.55b

## 参考文献 (References)

- [1] The grassland resource of Tibet [M]. Beijing: Science Press, 1994; 313–319 [西藏自治区草地资源[M]. 北京: 科学出版社, 1994; 313–319]
- [2] Cai Xiaobu, Zhang Yongqing, Shao Wei. Degradation and mechanism of grassland of North Tibet alpine prairie[J]. Soils, 2007, 39(6): 855–858 [蔡晓布, 张永青, 邵伟. 藏北高寒草原退化草地及其驱动力分析[J]. 土壤, 2007, 39(6): 855–858]
- [3] Hou Fujiang, Yang Zhongyi. Effects of grazing of livestock on grassland[J]. Acta Ecologica Sinica, 2006, 26(1): 244–264 [侯扶江, 杨中艺. 放牧对草地的作用[J]. 生态学报, 2006, 26(1): 244–264]
- [4] Yan Yuchun, Tang Haiping, Xin Xiaoping, et al. Advances in research on the effects of enclosure on grasslands[J]. Acta Ecologica Sinica, 2009, 29(9): 5039–5044 [闫玉春, 唐海萍, 辛晓平, 等. 围封对草地的影响研究进展[J]. 生态学报, 2009, 29(9): 5039–5044]
- [5] Wang Jingsheng, Zhang Xianzhou, Chen Baoxiong, et al. Causes and Restoration of Degraded Alpine Grassland in Northern Tibet[J]. Journal of Resources and Ecology, 2013, 4(1): 43–49
- [6] Ma Wenhong, Fang Jingyun. R:S Ratios of Temperate Steppe and the Environmental Controls in Inner Mongolia[J]. Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis, 2006, 42(6): 774–778 [马文红, 方精云. 内蒙古温带草原的根冠比及其影响因素[J]. 北京大学学报: 自然科学版, 2006, 42(6): 774–778]
- [7] Yang Yuanhe, Fang Jingyun, Cheng Jun, Han Wenxuan. Above- and belowground biomass allocation in Tibetan grasslands[J]. Journal of Vegetation Science, 2009, 20: 177–184
- [8] Tessier JT, Raynal DJ. Use of nitrogen to phosphorus ratios in plant tissue as an indicator of nutrient limitation and nitrogen saturation[J]. Journal of Applied Ecology, 2003, 40: 523–534
- [9] Yin Xiaorui, Liang Cunzhu, Wang Lixin, et al. Ecological stoichiometry of plant nutrients at different restoration succession stages in typical steppe of Inner Mongolia, China[J]. Chinese Journal of Plant Ecology, 2010, 34(1): 39–47 [银晓瑞, 梁存柱, 王立新, 等. 内蒙古典型草原不同恢复演替阶段植物养分化学计量学[J]. 植物生态学报, 2010, 34(1): 39–47]
- [10] Güsewell S. N:P ratios in terrestrial plants: variation and functional significance[J]. New Phytologist, 2004, 164: 243–266
- [11] Güsewell S. High nitrogen: phosphorus ratios reduce nutrient retention and second-year growth of wetland sedges[J]. New Phytologist, 2005, 166: 537–550
- [12] Koerselman W, Meuleman AFM. The vegetation N:P ratio: a new tool to detect the nature of nutrient limitation[J]. Journal of Applied Ecology, 1996, 33: 1441–1450
- [13] Güsewell S, Koerselman W, Verhoeven JTA. Biomass N:P ratios as indicators of nutrient limitation for plant populations in wetlands[J]. Ecological Monographs, 2003, 73: 372–384
- [14] Drenovsky RE, Richards JH. Critical N:P values: predicting nutrient deficiencies in desert shrublands[J]. Plant and Soil, 2004, 259: 59–69
- [15] Vanni MJ, Flecker AS, Hood JM, Headworth JL. Stoichiometry of nutrient recycling by vertebrates in a tropical stream: linking biodiversity and ecosystem function[J]. Ecology Letters, 2002, 5: 285–293

## Effect of Human Disturbance on Plant Biomass and CNP Contents of the Alpine Steppe in Northern Tibet

YAN Yan<sup>1</sup>, MA Xingxing<sup>1,2</sup>, LU Xuyang<sup>1</sup>

(1. Key Laboratory of Mountain Surface Processes and Ecological Regulation, Institute of Mountain Hazards and Environment, Chinese Academy of Sciences, Chengdu 610041, China; 2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

**Abstract:** The “grazing withdrawal project” is a key national undertaking project with aims to develop the western region, which is one of the major ecological construction project supported by the government. Protective measures in the project, such as grazing bans and intermittent grazing, are used to rehabilitate grassland vegetation and to improve grassland productivity. Those methods were for the benefit of pastoral development and achieving a sustainable cycle of ecological development. In order to investigate the effects of the project on plant biomass and carbon (C), nitrogen (N) and phosphorous (P) content, three plots were selected at Xainza Alpine Steppe and Wetland Ecosystem Observation Station in April, 2013. The first plot is free grazing grassland (FG). The second plot is enclosed from May to July (SG), and the third plot is enclosed for 4–5 years (EG). The result shows that the aboveground and belowground biomass at SG (35.69 g/m<sup>2</sup> and 237.11 g/m<sup>2</sup>) are significantly higher than those at EG (22.48 g/m<sup>2</sup> and 151.22 g/m<sup>2</sup>) and FG (25.27 g/m<sup>2</sup> and 96.37 g/m<sup>2</sup>). The content of C in aboveground part is the highest in EG, the content of N and P in aboveground part are the highest in FG. The C and N content of the underground part have no significant difference among three plots. There are also no significant correlation between aboveground biomass and the C, N, P content. Those results suggest that it should add P element for the long term enclosed grassland and add N element for the short term enclosed grassland, which is benefit for the plant growth.

**Key words:** grazing withdrawal project; alpine steppe; plant biomass; CNP contents