

# 高寒草地不同利用方式对植被生物量和土壤氮矿化的影响

程雷星<sup>1</sup>, 陈克龙<sup>1</sup>, 罗彩云<sup>2</sup>, 曹生奎<sup>1</sup>, 王记明<sup>1</sup>

(1. 青海师范大学 生命与地理科学学院, 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)

**摘要:**研究了天然草地、恢复草地和人工燕麦 3 种不同草地利用方式植被生物量与土壤氮矿化的变化。结果表明:3 种土地利用方式,地上生物量大小依次为恢复草地>燕麦>天然草地,分别为 424.02, 381.72 和 307.26 g/m<sup>2</sup>,地下生物量主要集中在 0~10 cm 土层,为天然草地>恢复草地>燕麦,总生物量地下地上比的大小也是天然草地>恢复草地>燕麦;植物种类及扰动大小是 3 种草地利用方式生物量差异的主要原因。随草地利用方式变化,植被构成、生物量发生变化,土壤氮素矿化作用也随之改变。3 种草地利用方式,土壤净氮矿化速率大小为恢复草地>天然草地>燕麦。土壤氮矿化以硝化作用为主,硝态氮是形成生物量的有效氮素。天然草地的地下生物量最大,与其土壤净硝化速率最高有关,燕麦的土壤净氮矿化速率为负值,为植物生长提供的氮素较少,使其生物量最小。

**关键词:**生物量;氮矿化;高寒草地;利用方式

**中图分类号:**S 812 **文献标识码:**A **文章编号:**1009-5500(2014)05-0001-05

**DOI:**10.13817/j.cnki.cyyp.2014.05.001

青藏高原是陆地生态系统的重要组成部分,高寒草甸、高寒草原及高寒湿地占据了其面积的绝大部分<sup>[1]</sup>。其中,高寒矮嵩草(*Kobresia humilis*)草甸约占青藏高原面积的 33%,是主要植被类型,也是主要放牧草地<sup>[2]</sup>。随着人类生活需求的增加,大面积的天然草地被开垦为人工草地,以缓解天然草地的放牧压力并且提高牧民的收入<sup>[3]</sup>。同时,由于生态保护工程的建设,大面积曾经被开垦的耕地被要求“退耕还草”。天然草地、恢复草地、人工草地等不同的草地利用方式由于改变了植被的类型,进而改变了牧草的产量和质量<sup>[4]</sup>。

氮素是陆地生态系统净初级生产力的重要限制因子<sup>[5]</sup>,草原土壤绝大部分为有机氮,约占土壤全氮的

99.5%,无机氮约占全氮的 0.5%<sup>[6]</sup>。有机氮经过土壤动物和微生物作用转化为可被植物吸收利用的无机态的过程为土壤氮矿化。不同的草地利用方式会改变土壤氮素转化过程,影响土壤肥力的保持,进而影响植被生产力<sup>[7]</sup>。

有关高寒草甸土壤养分和生物量的研究报道较多<sup>[8-11]</sup>,但对于不同草地利用方式下的植被生物量和土壤氮矿化速率变化的研究较少。研究在天然草地、恢复草地、人工燕麦 3 种草地利用方式下植物生物量和土壤氮矿化速率的不同,并探讨二者之间是否相关,从而为草原生态系统的管理提供理论依据。

## 1 材料和方法

### 1.1 研究区域概况

试验地设在中国科学院西北高原生物研究所,海北高寒草甸生态系统定位站,地理位置为 N 37°29'~37°45', E 101°12'~101°23',海拔 3 200~3 600 m。属典型的高原大陆性气候,多年平均气温为 -1.7 °C,降水量约 580 mm,植物生长季 5~9 月降水占全年降水量的 80%。日照充足,年内无绝对无霜期,相对无霜期约为 20 d。植物群落以矮嵩草、羊茅(*Festuca ovi-*

收稿日期:2014-04-01; 修回日期:2014-05-14

基金项目:国家自然科学基金项目(41261020)和青海省自然科学基金项目(2013-Z-902)资助

作者简介:程雷星(1986-),女,河北省石家庄人,硕士研究生。

E-mail:chengleixing014@163.com

陈克龙为通讯作者。

na)、垂穗披碱草(*Elymus nutans*)、小嵩草(*Kobresia pygmaea*)、早熟禾(*Poa annua*)、藏异燕麦(*Helictotrichon tibeticum*)、苔草(*Carex* spp.)、二柱头蔗草(*Scirpus distigmaticus*)、麻花苳(*Gentiana straminea*)、线叶龙胆(*Gentiana farre*)、美丽凤毛菊(*Saccc-surea superba*)、雪白委陵菜(*Potentilla nivea*)等为优势种,植被覆盖度达95%以上。

## 1.2 研究方法

1.2.1 样地设计 试验样地位于中国科学院西北高原生物研究所海北高寒草甸生态系统定位站西南。设置了恢复草地、天然草地、人工燕麦3种草地利用方式。恢复草地20世纪60年代开垦,直到90年代已经严重退化,90年代初开始种多年生人工草地,1997年后弃耕,让其自然恢复,到2012年,已经恢复了13年。天然草地一直作为放牧地,冬季(9月至次年5月)放牧。燕麦地2007年将已经恢复了8年的恢复草地重新开垦种植燕麦,至2012年已经连续种植了5年燕麦。试验小区面积4.0 m×4.5 m,中间留有2 m的走道。燕麦于5月中旬播种,9月中旬收获。

1.2.2 生物量测定 地上生物量采用收获法,于8月底测定,用1 m×1 m的样方框,在生长比较均匀的地方放下样方框,将样方框里的草齐地面刈割,装信封,带回实验室85℃烘干至恒重然后称重;地下生物量采用根钻法,取完地上生物量之后,在取过地上生物量的地方用内径8 cm的根钻分别采集0~10 cm和10~20 cm土层含根系土壤,放入纱网袋内用水漂洗,85℃烘干至恒重然后称重。

1.2.3 氮矿化速率测定 利用顶盖埋管原位培养法测定土壤净氮矿化速率,7月初在试验区的各处理区内,分别打入直径为6 cm,长度为10 cm的PVC管,设3个重复。将管的顶端(土壤表面一端)用通气但不透水的塑料薄膜封闭,使其自身基本保持一个密闭的系统,以防降水带来的氮素输入和降水对管内氮素的淋洗。并同步取各小区对应层次的土壤样品,带回实验室立即进行 $\text{NH}_4^+-\text{N}$ 和 $\text{NO}_3^--\text{N}$ 的测定,其含量作为土壤培养前起始状态的相应 $\text{NH}_4^+-\text{N}$ 和 $\text{NO}_3^--\text{N}$ 含量。于每年8月底取出PVC管,将里面的土取出,过2 mm筛,冰箱4℃冷藏,用于测定土壤 $\text{NH}_4^+-\text{N}$ 和 $\text{NO}_3^--\text{N}$ 含量,作为培养后的相应形态氮的含量。

土壤中 $\text{NH}_4^+-\text{N}$ 和 $\text{NO}_3^--\text{N}$ 测定采用新鲜土样2 mol/L KCl浸提法,滤液用连续流动分析仪

(SKALAR,荷兰)测定,再进行氮净矿(硝)化率计算:

$$\text{NAR} = (Ct - Ct_0) / (t - t_0) \quad (1)$$

$$\text{NNR} = (C't - C't_0) / (t - t_0) \quad (2)$$

$$\text{NMR} = (C''t - C''t_0) / (t - t_0) \quad (3)$$

式中:NAR,NNR和NMR分别为培养时段内的土壤净氮化速率、净硝化速率和净氮矿化率 mg/(kg·d),C,C'和C''代表铵态氮( $\text{NH}_4^+-\text{N}$ ),硝态氮( $\text{NO}_3^--\text{N}$ )和无机氮( $\text{NH}_4^+-\text{N} + \text{NO}_3^--\text{N}$ )含量,mg N/kg; $t_0$ 和 $t$ 分别表示培养前和培养后的时间。

## 1.3 数据分析

采用SPSS16、EXCEL 2003软件进行数据整理和统计分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 生物量差异

天然草地、恢复草地、一年生燕麦3种不同的草地利用方式,由于地表生长的主要植物群落不同,导致地上生物量产生差异。3种草地利用方式地上生物量差异较小,大小依次为恢复草地>燕麦>天然草地,分别为424.02,381.72和307.26 g/m<sup>2</sup>。不同草地利用方式同样会影响植物地下根系的生长。3种草地利用方式相比,0~10 cm植物地下生物量差异较大,由高到低为天然草地>恢复草地>燕麦,分别为3 657.64,1 163.37和544.01 g/m<sup>2</sup>,其中,天然草地的生物量分别为恢复草地和燕麦的3倍和6倍;10~20 cm土层植物生物量差异较小,大小仍为天然草地>恢复草地>燕麦,分别为273.29,269.31和266.37 g/m<sup>2</sup>,此层各草地利用方式下的植被生物量差距不大。地下生物量集中在0~10 cm土层,恢复草地、天然草地、燕麦0~10 cm的生物量分别是10~20 cm的4倍、13倍、2倍,天然草地变化最大。恢复草地、天然草地、燕麦3种草地利用方式的植物生物量差别很大。总生物量大小依次为天然草地>恢复草地>燕麦,生物量地下地上比的大小也是天然草地>恢复草地>燕麦,与地上生物量变化一致,因为3种草地利用方式的地下生物量均占总生物量的65%以上(表1)。

### 2.2 氮素矿化速率差异

净氮矿化速率反映了土壤中无机氮的净变化。3种草地利用方式的土壤净铵化速率差异明显,大小为恢复草地>燕麦>天然草地,值分别为0.85,-3.19和-6.35 mg/(kg·d);净硝化速率大小依次为天然

草地>恢复草地>燕麦,分别为 4.31,3.91 和 -1.28 mg/(kg·d);净氮矿化速率差异较大,依次为恢复草

地,4.76 mg/(kg·d) > 天然草地, -2.03 mg/(kg·d) > 燕麦, -4.48 mg/(kg·d)(表 2)。

表 1 不同草地利用方式生物量的差异

Table 1 The biomass differences under different land use patterns

g/m<sup>2</sup>

草地类型	地上生物量		地下生物量				地下生物量 /地上生物量
	平均值	标准差	0~10 cm		10~20 cm		
			平均值	标准差	平均值	标准差	
恢复草地	424.02	85.08	1163.37	478.52	269.31	119.50	3.38
天然草地	307.26	49.32	3657.64	3331.63	273.29	97.76	12.79
燕麦	381.72	96.22	544.01	64.38	266.37	78.32	2.12

表 2 不同草地利用方式土壤氮素矿化速率的差异

Table 2 The differences of soil nitrogen mineralization rate under different land use patterns

mg/(kg·d)

草地类型	NAR		NNR		NMR	
	平均值	标准差	平均值	标准差	平均值	标准差
恢复草地	0.85	8.4	3.91	4.99	4.76	12.33
天然草地	-6.35	2.49	4.31	0.97	-2.03	3.04
燕麦	-3.19	5.97	-1.28	1.16	-4.47	6.31

### 2.3 生物量与氮矿化的相关分析

将生物量与土壤氮矿化速率进行相关性分析(表 3),发现土壤净氮矿化速率与净氮化速率呈极显著正相关,与净硝化速率呈显著性正相关,土壤净氮化速率

与地下生物量(10~20 cm)显著性正相关。土壤氮矿化速率与地上生物量、地下生物量(0~10 cm)相关性不显著,地上生物量和地下生物量之间相关性也不显著。

表 3 生物量与氮矿化的相关性

Table 3 The correlation between biomass and nitrogen mineralization

指标	地上生物量	地下生物量 /(0~10 cm)	地下生物量 /(10~20 cm)	NAR	NNR	NMR
地上生物量	1					
地下生物量(0~10 cm)	-0.133	1				
地下生物量(10~20 cm)	-0.370	0.127	1			
NAR	-0.163	-0.262	0.643*	1		
NNR	-0.040	0.414	0.199	0.389	1	
NMR	-0.138	-0.009	0.563	0.912**	0.733*	1

## 3 讨论

3 种土地利用方式下的地上生物量间具有明显差异,这是由于天然草地植被主要以寒冷中生、湿中生、旱中生和多年生密丛短根茎的莎草科和禾本科植物为建群种,植株低矮、密集,所以决定了其地上生物量最小;一年生燕麦总盖度大,植株长势好,较高,因此,地上生物量较大;恢复草地植被主要以植株高于莎草科的阔叶杂类草为主,加上恢复年数的增加,受扰动较小,所以其地上生物量最大。

地下生物量垂直方向上,3 种草地利用方式的生物量变化一样,均为随深度增加而减少,与王启基、王长庭、李月梅等<sup>[12-14]</sup>的研究结果一致。天然草地以莎

草科和禾本科为优势种,属于密丛须根型多年生植物,能够形成庞大的地下生物量,因此,天然草地的地下生物量最大。恢复草地由于土壤结构差、容重大、孔隙度小、含水率低等原因,植物根系生长受阻,所以地下生物量低于天然草地。恢复了 13 年的草地仍然没能达到天然草地生态系统的结构和功能,说明弃耕地需要更长的时间恢复。一年生燕麦植物种类单一,植株间距较稀,建植时间又较短,没有形成庞大的根系,地下生物量最低。

天然草地由于冬季放牧,地上生物量最低,但地上生物量占总生物量的比例很小,食草动物向土壤归还有效性高的营养物质提高了土壤肥力,又以多年生密丛须根型植物为主,度种丰富度最高,有研究认为草地

生态系统生产力随植物生物多样性提高而增加,所以天然草地总生物量最大<sup>[15-18]</sup>。恢复草地和一年生燕麦,土壤结构差,含水率低等使植物根部生长受到限制,所以生物量远不如天然草地高。

3种草地利用方式土壤氮化速率明显低于土壤硝化速率,并表现出与土壤硝化速率相反的增长趋势,说明3种草地利用方式中土壤氮矿化主要为硝化作用,铵态氮向硝态氮转化,以供应植物生长需要,硝态氮是形成草地地上绿色生物量的有效氮素<sup>[9]</sup>。恢复草地的土壤净氮化速率、净硝化速率、净氮矿化速率均为正值,说明氮素矿化现象明显,无机氮为净积累;一年生燕麦的土壤净氮化速率、净硝化速率、净氮矿化速率均为负值,说明燕麦土壤无机氮向有机氮转化,系统净消耗无机氮;天然草地的土壤净硝化速率虽为正值,但其净氮矿化速率仍为负值,说明天然草地土壤以氮素固持为主。以阔叶杂草类为主的恢复草地土壤含水率低,透气性好,有利于好氧性微生物的生长,氮素循环速率较快;天然草地由于食草动物对优质牧草的择食增加了劣质植物的多度,如较低的氮含量或化学防御的有机化合物,使凋落物品质降低,分解速度变慢,且放牧后土壤中有有机碳和速效氮明显减少,土壤容重和渗透性减小,可矿化底物的质量和数量较低,这些可能是天然草地净氮矿化速率低的原因<sup>[19-21]</sup>;一年生燕麦已经建植了5年,不再有可矿化的凋落物输入,植物吸收减少,土壤氮减少,氮循环速率减慢<sup>[22]</sup>。

#### 4 结论

土壤氮素矿化作用作为草地生态系统氮素循环的重要过程,与草地生态系统的植物构成、生物量分配、凋落物数量和质量等因素密切相关<sup>[23]</sup>。恢复草地、天然草地、一年生燕麦3种草地利用方式下由于植被组成发生了变化,生物量分配也随之变化。天然草地以密丛须根型多年生莎草科和禾本科为优势种,恢复草地植被以植株高于莎草科的阔叶杂类草为主,且土壤未受扰动,土壤中的植物根系分解程度低,一年生燕麦植物种类单一,所以恢复草地的地上生物量最大,天然草地的地下生物量最大,生物量地下地上比最大的也是天然草地。植被组成、生物量、凋落物数量和质量的变化会对土壤氮素矿化过程产生影响。3种草地利用方式土壤净氮矿化速率大小为恢复草地>天然草地>燕麦。天然草地由于食草动物对优质牧草的择食使凋

落物品质降低,从而使土壤净氮矿化速率低;一年生燕麦凋落物输入较少,氮循环速率较慢。同时,土壤净氮矿化速率可以决定土壤中用于植物生长的氮素的可利用状况<sup>[24]</sup>。硝态氮是形成草地地上绿色生物量的有效氮素。天然草地的地下生物量最大与其土壤净硝化速率最高有关,燕麦的土壤净氮矿化速率为负值,为植物生长提供的氮素较少,使生物量最小。因此可见,生物量与土壤净氮矿化速率之间的作用是互相的。

#### 参考文献:

- [1] 王根绪,程国栋,沈永平. 青藏高原草地土壤有机碳库及其全球意义[J]. 冰川冻土,2002,24(6):693-700.
- [2] 张金霞,曹广民,周党卫,等. 高寒矮蒿草草甸大气—土壤—植被—动物系统碳素储量及碳素循环[J]. 生态学报,2003,23(4):627-633.
- [3] Li X G, Li F M. Soil physical properties and their relations to organic carbon pools as affected by land use in an alpine pastureland[J]. Geoderma,2007,139(1-2):98-105.
- [4] 张振华. 土地利用及主要管理措施对高寒草甸生产—生态功能的影响[D]. 西宁:中国科学院西北高原生物研究所,2013.
- [5] Elser J J, Bracken M E S, Cleland E E, et al. Global analysis of nitrogen and phosphorus limitation of primary producers in freshwater, marine and terrestrial ecosystems [J]. Ecology Letters,2007(10):1135-1142.
- [6] Woodmansee R G, Dodd J L, Bowman R A, et al. Dickinson. Nitrogen budget of a shortgrass prairie ecosystem [J]. Oecologia,1978,34:363-376.
- [7] 张学林. 北方农牧交错区土地利用(管理)方式对土壤氮素转化的影响[D]. 北京:中国科学院植物研究所,2007.
- [8] 秦彧. 不同土地利用方式对玛曲高寒草地土壤养分与植被的影响[D]. 兰州:兰州大学,2010.
- [9] 高英志,汪诗平,韩兴国,等. 退化草地恢复过程中土壤氮素状况以及与植被地上绿色生物量形成关系的研究[J]. 植物生态学报,2004,28(3):285-293.
- [10] 宗宁,石培礼,宋明华,等. 模拟放牧改变了氮添加作用下高寒草甸生物量的分配模式[J]. 自然资源学报,2012,27(10):1696-1707.
- [11] 杨秀静,黄玫,王军邦. 青藏高原草地地下生物量与环境因子的关系[J]. 生态学报,2013,33(7):2032-2042.
- [12] 李月梅,曹广民,徐仁海. 植物群落生物量和有机碳对高寒草甸土地利用变化的响应[J]. 草业科学,2007,24(6):4-8.
- [13] 王长庭,龙瑞军,王启兰,等. 放牧扰动下高寒草甸植物

- 多样性、生产力对土壤养分条件变化的响应[J]. 生态学报, 2008, 28(9): 4144-4152.
- [14] 王启基, 王文颖, 邓自发. 青海海北地区高山嵩草草甸植物群落生物量动态及能量分配[J]. 植物生态学报, 1998, 22(3): 222-230.
- [15] 王常慧, 邢雪荣, 韩兴国. 草地生态系统中土壤氮素矿化影响因素的研究进展[J]. 应用生态学报, 2004, 15(11): 2184-2188.
- [16] 李军保, 马存平, 鲁为华, 等. 围栏封育对昭苏马场春秋草地上植物量的影响[J]. 草原与草坪, 2009(2): 46-50.
- [17] 范月君, 侯向阳, 石红霄, 等. 封育与放牧对三江源区高寒草甸植物和土壤碳通量的影响[J]. 草原与草坪, 2012(5): 41-46.
- [18] 李建伟, 陈本建, 张丽平, 等. 高寒山区 6 种多年生牧草生长发育特性研究[J]. 草原与草坪, 2011(6): 69-74.
- [19] 高英志, 韩兴国, 汪诗平. 放牧对草原土壤的影响[J]. 生态学报, 2004, 24(4): 790-797.
- [20] 赵彬彬, 牛克昌, 杜国祯. 放牧对青藏高原东缘高寒草甸群落 27 种植物地上生物量分配的影响[J]. 生态学报, 2009, 29(3): 1596-1606.
- [21] 陈懂懂, 张世虎, 杜国祯. 青藏高原东北缘不同海拔梯度土壤微生物量与氮矿化的潜力[J]. 兰州大学学报, 2010, 46(6): 86-96.
- [22] 李明锐, 沙丽清. 西双版纳不同土地利用方式下土壤氮矿化作用研究[J]. 应用生态学报, 2005, 16(1): 54-58.
- [23] 宋庆妮, 杨清培, 刘骏. 毛竹扩张对常绿阔叶林土壤氮素矿化及有效性的影响[J]. 应用生态学报, 2013, 24(2): 338-344.
- [24] 刘金玲, 吴福忠, 杨万勤. 季节性冻融期间川西亚高山/高山森林土壤净氮矿化特征[J]. 应用生态学报, 2012, 23(3): 610-616.

## Effects of different land use patterns on biomass and soil nitrogen mineralization of alpine grassland

CHENG Lei-xing<sup>1</sup>, CHEN Ke-long<sup>1</sup>, LUO Cai-yun<sup>2</sup>,  
CAO Sheng-kui<sup>1</sup>, WANG Ji-ming<sup>1</sup>

(1. College of Life and Geographical Sciences, Qinghai Normal University, Xining 810008, China;  
2. Northwest Plateau Institute of Biology, Chinese Academy of Sciences, Xining 810001, China)

**Abstract:** The alpine grasslands under different land use patterns (natural alpine meadow grazed in winter, abandoned cropland under restoration and oat pasture) were selected to study the variation of biomass and soil nitrogen mineralization. The results showed that the order of aboveground biomass was abandoned cropland (424.02 g/m<sup>2</sup>) > oat pasture (381.72 g/m<sup>2</sup>) > natural alpine meadow (307.26 g/m<sup>2</sup>), and it was natural alpine meadow > abandoned cropland > oat pasture for underground biomass which mainly concentrated within 0 to 10 cm soil layer. The plant species composition, biomass and nitrogen mineralization varied with the land use patterns. The order of soil net nitrogen mineralization rate was abandoned cropland > natural alpine meadow > oat pasture. The nitrification was an important role in soil nitrogen mineralization.

**Key words:** biomass; nitrogen mineralization; alpine grassland; land use