

# 围封年限对草地生态系统碳分配的影响

贾宏涛<sup>1</sup>, 蒋平安<sup>1</sup>, 赵成义<sup>2</sup>, 胡玉昆<sup>2</sup>, 李 赟<sup>1</sup>

(1. 新疆农业大学草业与环境科学学院, 新疆 乌鲁木齐 830052; 2. 中国科学院新疆生态地理研究所, 新疆 乌鲁木齐 830011)

**摘 要:** 以处于不同围封年限的退化草地为研究对象, 对退化生态系统内有机碳分配特征进行了研究。结果表明: 随着围封年限的增长, 土壤有机碳密度不断增加; 而植物有机碳密度的最高值出现在围封 20 a, 围封 25 a 植物碳密度略低于围封 20 a, 有降低趋势。围封 25 a 处理生态系统碳密度最高, 达到 8.22 kg/m<sup>2</sup>; 土壤碳库所占生态系统有机碳总储量的比例受封育年限的影响不大。

**关键词:** 围封年限; 草地生态系统; 土壤有机碳; 退化草地

**中图分类号:** S153.6<sup>+</sup>1; S181 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2009)01-0033-04

草地生态系统碳贮量和通量的全球估计, 以及全球气候变化、大气 CO<sub>2</sub> 浓度升高、人类活动对草地生态系统过程的影响是草地生态系统碳循环研究的主要内容。探讨其碳贮量和通量是研究的重点。目前针对我国草地生态系统碳贮量的研究已开展了大量研究, 而草地生态系统也成为“失去”的碳汇的候选者之一。受气候变化和人为活动的影响, 草地生态系统的不同发展阶段(自然与退化生态系统)和利用方式的改变(草地转化为农田、退耕还林草等)引起的草地生态系统类型的转变都将严重影响草地生态系统碳收支评估的准确性。也将必然成为草地生态系统碳循环研究的新热点<sup>[1,2]</sup>。

新疆草地面积 5.770 × 10<sup>7</sup> hm<sup>2</sup>, 占全区土地面积的 30%, 其中山区草地占 58% 左右。天山草地占新疆可利用草地的 1/3, 承载全疆 2/5 的牲畜。山区草地是新疆主要草地畜牧基地, 但由于不合理的人为活动已使 50% 左右的草原处于不同程度的退化<sup>[3]</sup>。对于大面积的退化草原恢复, 围封禁牧是一种有效而且简便易行的方法<sup>[4,5]</sup>。因此研究新疆退化草地围封管理措施对土壤碳特征的影响, 有助于对退化生态系统恢复机制的理解。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区概况

中国科学院新疆生态与地理研究所巴音布鲁克草原生态观测站位于新疆维吾尔自治区巴音郭楞蒙古自治州和静县巴音郭楞乡阿尔嘎特村。地处天山中段大尤尔都斯盆地西部, E83°43', N42°54', 海拔高度 2 470 m, 距乌鲁木齐市 700 km。大尤尔都斯

盆地地貌类型复杂, 整个地域东西长 270 km, 南北宽 136 km, 总面积为 238.35 万 hm<sup>2</sup>。

研究站周围土壤为亚高山草原土。平均气温 -4.8℃, 1 月最低气温可达 -48℃, 7 月最高气温 30.5℃, 年平均风速 2.7 m/s, 年降水量平均 276.2 mm, 年蒸发量高达 1 022.9~1 247.5 mm, 年日照 2 466~2 616 h, 热能 562.8 kJ/(cm<sup>2</sup>·a), 全年积雪日达 150~180 d, 无绝对无霜期, 属典型的高寒气候<sup>[6]</sup>。

### 1.2 试验设计

以中国科学院巴音布鲁克草原生态站, 长期定位观测 4<sup>#</sup> 样地为研究对象。草原类型为典型亚高山草原, 主要建群种为针茅(*Stipa capillata*)和狐茅(*Festuca ovina*), 围栏区 30 m × 30 m, 围封草地用铁丝、水泥桩作围栏, 终年禁止人和家畜入内。栏内禁牧, 栏外自由放牧。采用“空间置换时间”的方法, 结合长期观测, 对不同围封年限(0、5、10、15、20、25 a)草地进行研究。

### 1.3 方法

1.3.1 采样方法 生物量测定时围栏内外各选择代表性强、植物生长较为均匀的 5 个 1 m × 1 m 样方, 围栏内样方在围栏四角附近和中央位置, 围栏外样方按等距离法选取, 即从围栏网向外沿直线每隔约 100 m 设置 1 个样方。地上生物量测定前测定样方内各草种的高度、数量、盖度, 之后按草种齐地面剪下分别称取鲜重, 按样方分别采集立枯物、凋落物, 并称重, 风干后称取干重测定地上生物量。样方内各草种干重与立枯物、凋落物干重之和为样方地上生物量。地下生物量测定采用直径 5 cm 的土钻

收稿日期: 2008-08-20

基金项目: 全球环境基金(GEF)项目“新疆天然草地恢复过程中的生物多样性变化和碳循环规律研究”; 土壤学自治区重点学科资助; “十一五”国家科技支撑计划(2007BAC03A0604); 新疆维吾尔自治区教育厅高校科研项目(XJEDU2006S17)

作者简介: 贾宏涛(1975-), 男, 陕西高陵人, 博士, 副教授, 研究方向为土壤生态。E-mail: hongtaojia@126.com。

钻取土柱,即在地上生物量测定之后的样方内,每 5 cm 为 1 层,自地面向下取土 60 cm,5 次重复,分别装袋、洗根、晾干、称重获得地下生物量<sup>[7]</sup>。

土壤样品的采集,采用土钻法和剖面挖掘法相结合,每隔 5 cm 深度采集一个土壤样本,同时测定土壤含水量和土壤容重,重复 5 次,取样深度 60 cm。

1.3.2 分析方法<sup>[8]</sup> 土壤容重测定—环刀法,含水量测定—烘干法,土壤有机碳测定—丘林法,植物碳测定—改良丘林法。

1.3.3 计算方法 一般考虑生态系统总固碳能力的时候多用碳密度来描述,而对于土壤中碳(包括植物根系碳)的剖面特征时多用土壤碳容量来描述,计算方法如下:

土壤有机碳密度 =  $\Sigma(\text{面积} \times \text{土层厚度} \times \text{土壤容重} \times \text{土壤含碳量})$ , 单位:  $\text{kg}/\text{m}^2$

土壤有机碳容量 =  $(\text{土壤有机碳密度} \times \text{面积}) / \text{土壤体积}$ , 单位:  $\text{kg}/\text{m}^3$

地上植物体有机碳密度 =  $\Sigma(\text{面积} \times \text{标准样地生物量} \times \text{植物体含碳量})$ , 单位:  $\text{kg}/\text{m}^2$

地下植物体有机碳密度 =  $\Sigma(\text{面积} \times \text{根系生物量} \times \text{根系含碳量})$ , 单位:  $\text{kg}/\text{m}^2$

地下植物体有机碳容量 =  $(\text{地下植物有机碳密度} \times \text{面积}) / \text{土壤体积}$ , 单位:  $\text{kg}/\text{m}^3$

## 2 结果与分析

### 2.1 围封年限对植物碳分配的影响

2.1.1 围封年限对地上植物碳密度的影响 草地围封有利于草地植被恢复,增加地上生物量,即围栏封育有利于草地植物碳密度的增加。闫虎等在新疆昭苏地区的短期监测表明,围栏封育后优良牧草增产幅度大,两年围栏分别比一年围栏和不围栏增产 262.95  $\text{kg}/\text{hm}^2$  和 7 723.5  $\text{kg}/\text{hm}^2$ <sup>[9]</sup>。郑翠玲等对呼伦贝尔草原的研究结果表明,围栏封育可显著提高沙化草地的地上生物量,围封时间较长的样地,地上生物量的增长速度加快,围封 7 年较围封 4 年的样地地上生物量增加了 96.1%,增长了近 1 倍<sup>[10]</sup>。

从图 1 可以看出,对于新疆巴音布鲁克亚高山草原而言,无论是地上植物碳密度还是地下植物碳密度在围封前 20 a 均随着围封年限的增长而增加,围封 20 a 时植物碳密度达到最大,达到 195.71  $\text{g}/\text{m}^2$ ;围封 25 a 植物碳密度较围封 20 a 略有降低,为 187.13  $\text{g}/\text{m}^2$ 。整体来看草地生态系统植物碳密度有随封育年限先增加后降低的趋势,围封前 20 a 的研究结论与苏永中等<sup>[11]</sup>在科尔沁地区的研究结

果一致。

2.1.2 围封年限对地下植物碳容量的影响 草地根系非常发达,因此地下生物量很大,已有的研究结果表明巴音布鲁克草原各草场类型的地上地下生物量之比大致在 0.74~0.83 间变化<sup>[12]</sup>,高山草原 0~20 cm 根系占其总量的 76%,0~40 cm 根系占其总量的 93%;高山草甸 0~20 cm 根系占其总量的 80%,0~40 cm 根系占其总量的 92%。高山草地的根系集中分布在 40 cm 以上,高山草原的根系比高山草甸分布更深<sup>[13]</sup>。

从图 2 可以看出,围栏封育 5 年土壤的地下植物碳密度最大,为 8.91  $\text{kg}/\text{m}^2$ 。而 0~5 cm 地下植物碳容量随围封年限的增长而增高,但随着围封年限的增长,地下植物碳容量的增幅减小,围封 25 a 0~5 cm 植物地下碳容量为 72.78  $\text{kg}/\text{m}^3$ 。0~20 cm 地下植物碳容量则表现为围封 5 a 处理与 25 a 差异不显著。

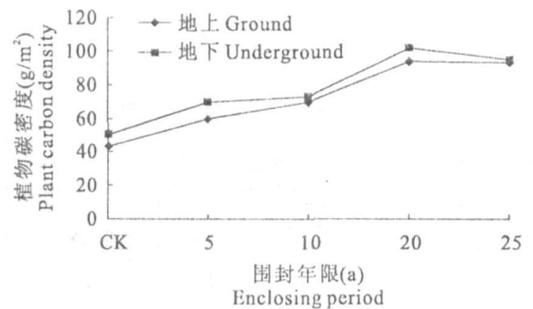


图 1 不同围栏休牧年限植物碳密度特征

Fig. 1 Characteristics of plant carbon density in different enclosing and grazing-free years

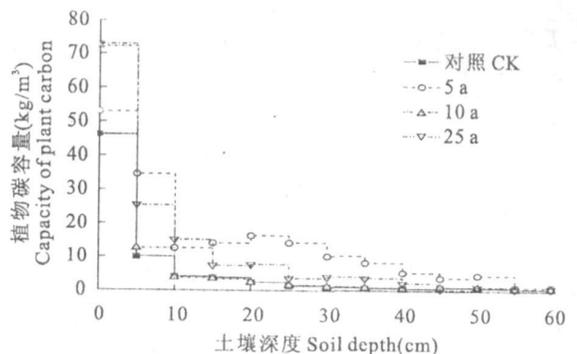


图 2 不同围栏休牧年限地下植物碳容量剖面特征

Fig. 2 Section characteristics of underground plant carbon in different enclosing and grazing-free years

### 2.2 围封年限对草地土壤有机碳密度的影响

#### 2.2.1 围封年限对草地土壤有机碳含量的影响

围栏封育可以使植被得到恢复,返还土壤的生物量增加,使得土壤有机碳在土壤中得到积累。但目前对围封条件下土壤有机碳积累的长期监测资料并不

多。研究表明,0~10 cm 土壤有机碳含量随围封年限的增长而增高,但随着围封年限的增长,土壤有机碳含量的增幅减小,围封 25 a 0~10 cm 土壤有机碳含量为 45.60 g/kg。0~20 cm 土壤有机碳含量随着封育年限的增长而增加,封育 20 年达到最高,达到 43.35 g/kg,封育 25 a 处理土壤有机碳含量略低于封育 20 a; 20~40 cm 土壤有机碳含量随围封年限的增长呈增加趋势,封育 25 a 达到最高,为 18.30 g/kg(图 3)。赵彩霞等对内蒙古典型冷蒿一小禾草退化草原的研究表明,随着围栏时间的增加,土壤有机碳含量均呈现出“S”型变化趋势。与本研究不同的是其土壤有机碳是在围封第 7 年达到一个最高值,到 11 年急剧下降,14 a 又恢复到较高水平<sup>[14]</sup>,这可能与研究区域的气候条件有关。

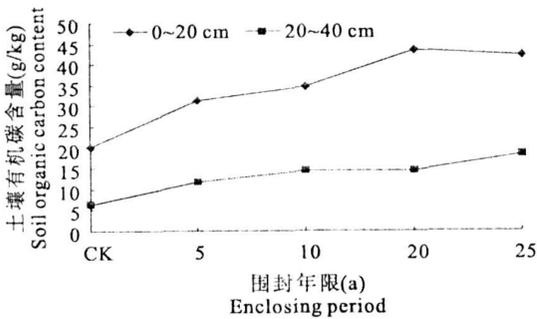


图 3 不同围封年限对上层土壤有机碳含量的影响

Fig. 3 The influence of different enclosing and grazing-free years on the upper soil organic carbon content

2.2.2 围封年限对草地土壤有机碳容量的影响  
前人的研究表明<sup>[15]</sup>围封主要对于土壤 0~10 cm 的容重有影响,这与我们的研究不完全一致,我们研究发现在围封初期 5~10 a,围封仅对土壤 0~10 cm 容重影响较大,但随着围封年限的增长,土壤 10~20 cm 的容重显著低于围封外自然放牧草地。研究结果表明随着围封年限的增加土壤有机碳容量在整个剖面上都有增加趋势,从图 4 可以看出封育 25 a 土壤有机碳容量在 0~40 cm 深度显著高于其它围封年限;0~20 cm 土壤有机碳容量随封育年限的增长而增加,在封育 20 a 达到最高,达到 32.30 kg/m<sup>3</sup>,封育 25 a 处理土壤有机碳容量略低于封育 20 a;20~40 cm 土壤有机碳容量随围封年限的增长呈增加趋势,封育 25 a 达到最高,为 18.30 kg/m<sup>3</sup>。

2.3 围封年限对草地生态系统有机碳分配的影响

一般的生态系统有机碳库可以分为植物碳库和土壤碳库这两个主要碳库,植物碳库又可以细分为地上植物碳库和地下植物碳库。随着围栏封育年限的增加,理论上生态系统的有机碳总库会明显增加。但对于有机碳在生态系统中的分配与围封年限之间

的关系研究却缺乏必要的资料支撑。

随着围封年限的增长,有机碳在生态系统各碳库的分配比例略有不同,但总体土壤碳库所占比例最大。随着围封年限的增长,土壤有机碳密度不断增加;而植物有机碳密度的最高值出现在围封 20 a,围封 25 a 其植物碳密度略低于围封 20 a,有降低趋势。围封 25 a 处理生态系统碳密度最高,达到 8.22 kg/m<sup>2</sup>;土壤碳库所占生态系统有机碳总储量的比例受封育年限的影响不大,比例在 97.00%~98.00%(如图 5),比例高于 Houghton 的研究结果 92%<sup>[16]</sup>。

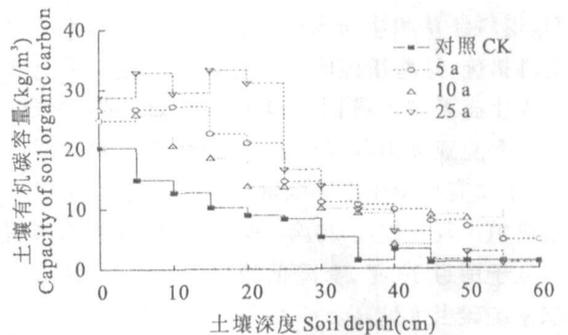


图 4 不同围封年限土壤有机碳容量剖面特征

Fig. 4 Capacity of soil organic carbon characteristics inside fence under different grazing-free years

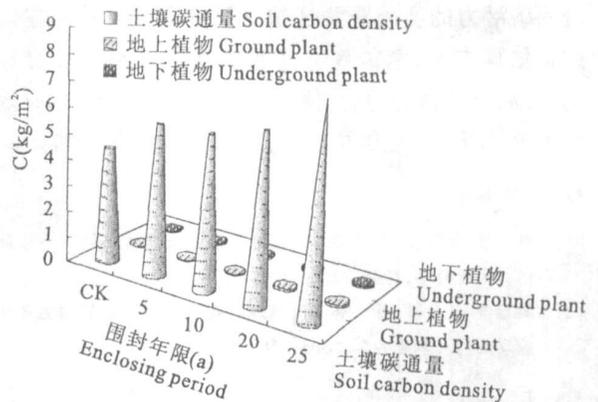


图 5 不同围封年限生态系统有机碳的分配

Fig. 5 Distribution of organic carbon of ecosystem in different enclosing and grazing-free years

3 讨论

根据草地生态系统的可持续性原理,草地围封不应是无限期的。封育期过长,不利于牧草的正常生长和发育,反而枯草会抑制植物的再生和幼苗的形成,不利于草地的繁殖更新;长期围封而不利用的草地往往使某些物种形成优势,这不仅会导致某些食物类型的过度消费,其他物种的丧失,生态平衡的破坏,最终还会导致生物产量下降。孙学力对内蒙古围封多年的草场研究发现锡林郭勒盟东乌旗

边境围栏内大针茅变为优势种,羊草几乎消失,杂类草数量增加。围封多年不利用的草地并未达到顶极群落,反而是地表植被盖度变差,草地植物结构趋向单一,生物多样性水平降低,营养循环被阻断,土壤营养匮乏,生态系统呈现退化现象<sup>[17]</sup>。因此,草地围封一段时间后,进行适当利用,可使草地生态系统的能量流动和物质循环保持良性状态,进而保持草地生态系统平衡。封育时间的长短,应根据草地退化程度和草地恢复状况而定。

通过减少畜牧承载量,使过度放牧的退化草地得以恢复,可以增加草地土壤的有机碳库。人工种草、退耕还草和草场围栏封育是三种最基本的草地管理措施,这些措施的实施可以在一定程度上增加草地生态系统的碳固定能力<sup>[18]</sup>。就我们对新疆巴音布鲁克亚高山草原研究而言,随着围封年限的增长,土壤有机碳密度不断增加,而植物有机碳密度的最高值出现在围封 20 年,围封 25 年其植物碳密度略低于围封 20 年,有降低趋势。围封 25 年草地生态系统碳密度最高。

目前,我国关于人类活动,特别是放牧和草地恢复对草地土壤有机碳的影响的研究还很少。在草地土壤固碳机理研究上,对有关管理措施对草地生态系统固碳潜力的实验观测还缺乏系统研究。另外在碳贮量估算方面,急需建立完善的指标体系和计量标准,有利于数据的整合,便于对不同恢复措施的固碳效率的评价以及对全国草地生态系统的碳贮量的估算。

#### 参考文献:

- [1] 钟华平,樊江文,于贵瑞,等.草地生态系统碳蓄积的研究进展[J].草业科学,2005,22(1):4-11.  
[2] 林慧龙,王军,徐震,等.草地农业生态系统中的碳循环研究动态[J].草业科学,2005,22(4):59-62.

- [3] 李博.中国北方草地退化及其防治对策[J].中国农业科学,1997,30(6):1-9.  
[4] 汪诗平,李永宏,王艳芬,等.不同放牧率对内蒙古冷蒿草原植物多样性的影响[J].植物学报,2001,43(1):89-96.  
[5] 李政海,王炜,刘钟龄.退化草原围封恢复过程中草场质量动态的研究[J].内蒙古大学学报(自然科学版),1995,26(3):334-338.  
[6] 中国科学院巴音布鲁克草原生态站.巴音布鲁克草原生态研究专集[J].干旱区研究,1991,8(增):20-34.  
[7] 董鸣.陆地生物群落调查观测与分析[M].北京:中国标准出版社,1996:73-75.  
[8] 鲁如坤.土壤农业化学分析方法[M].北京:中国农业科技出版社,2000:106-107.  
[9] 闫虎,沈浩.围栏封育在伊犁昭苏盆地退化草地生态恢复中的应用[J].干旱环境监测,2005,19(2):102-103.  
[10] 郑翠玲,曹子龙,王贤,等.围栏封育在呼伦贝尔沙化草地植被恢复中的作用[J].中国水土保持科学,2005,3(3):78-81.  
[11] 苏永中,赵哈林.持续放牧和围封对科尔沁退化沙地草地碳截存的影响[J].环境科学,2003,24(4):23-28.  
[12] 贾宏涛,蒋平安,程路明,等.巴音布鲁克亚高山草原生态系统有机碳贮量的估算[J].新疆农业科学,2006,43(6):480-483.  
[13] 安尼瓦尔·买买提,杨元合,郭兆迪,等.新疆天山中段巴音布鲁克高山草地碳含量及其垂直分布[J].植物生态学报,2006,30(4):545-552.  
[14] 赵彩霞,郑大玮,何文清,等.不同围封年限冷蒿草原群落特征与土壤特性变化的研究[J].草业科学,2006,23(12):89-91.  
[15] 刘长娥,安沙舟,孙宗玖,等.围栏封育对新疆伊犁绢蒿草地的影响[J].草业科学,2008,25(10):10-14.  
[16] Houghton R A. Changes in the storage of terrestrial carbon since 1850[C]//Lal R, Kimble J, Levine E, et al. Soils and Global Change. Florida: CRC Press, 1995.45-65.  
[17] 孙学力.围栏、草原荒漠化与放牧制度的关系[J].西南林学院学报,2008,28(4):108-111.  
[18] 郭然,王效科,逯非,等.中国草地土壤生态系统固碳现状和潜力[J].生态学报,2008,28(2):862-867.

## The influence of enclosing life on carbon distribution of grassland ecosystem

JIA Hong-<sup>1</sup>, JIANG Ping-an<sup>1</sup>, ZHAO Cheng-yi<sup>2</sup>, HU Yu-kun<sup>2</sup>, LI Yun<sup>1</sup>

(1. College of Pratacultural and Environmental Sciences, Xingjian Agricultural University, Urumqi, Xinjiang 830052, China;

2. Xinjiang Ecological Geography Research Institute of Chinese Academy of Sciences, Urumqi, Xinjiang 830011, China)

**Abstract:** Aimed at the degraded grassland enclosed for different years, study was made on the distribution of organic carbon within degraded ecosystems. The results showed that: With the increase of enclosing years, the density of soil organic carbon grows increasingly, while the highest value of plant organic carbon density occurs in the 20 years of enclosing, and the plant carbon intensity of enclosing for 25 years is slightly lower than that of enclosing for 20 years, showing a lowering trend. Carbon density of processed ecosystem of enclosing for 25 years reaches the highest, 8.22 kg/m<sup>2</sup>; the proportion of carbon pool in soil in the total reserves of organic carbon pool in ecosystem is little influenced by the enclosing years.

**Key words:** enclosing years; grassland ecosystem; soil organic carbon; degraded grassland