

文章编号:1000-1638(2016)03-0278-07

DOI:10.13484/j.nmgdxzbk.20160310

# 适度放牧对内蒙古典型草原碳循环的影响\*

梁茂伟<sup>1</sup>,白雪<sup>1</sup>,王英舜<sup>2</sup>,苗百岭<sup>1,3</sup>,包桂荣<sup>4</sup>,王 譔<sup>1</sup>,梁存柱<sup>1</sup>

(1. 内蒙古大学生命科学学院, 呼和浩特 010021;

2. 内蒙古自治区锡林浩特国家气候观象台, 内蒙古锡林浩特 026000;

3. 内蒙古自治区气象科学研究所, 呼和浩特 010051; 4. 内蒙古民族大学农学院, 内蒙古通辽 028000)

**摘要:**土壤呼吸是草地生态系统碳循环当中最为重要的环节之一,放牧为草地利用最主要的方式,但是放牧利用影响土壤呼吸的方式仍不确定.本研究于2012年和2013年植物生长季,在内蒙古锡林浩特大针茅+羊草典型草原自然放牧区域进行土壤呼吸的监测,旨在探究群落土壤呼吸对放牧利用的响应.结果表明:1)放牧利用显著降低群落多年生草本地上生物量,中度利用显著高于重度利用群落( $P < 0.05$ );2)重度利用群落土壤呼吸速率显著高于中度利用群落( $P < 0.05$ ),年际间相同利用类型的波动较大,而且存在显著差异性( $P < 0.05$ );3)年内和年际间,土壤呼吸与土壤各温度指标表现为极显著正相关关系( $P < 0.01$ ),仅2012年与地下20cm含水率存在极显著正相关关系( $P < 0.01$ );4)放牧利用对群落土壤呼吸的温度敏感性( $Q_{10}$ )影响不大,在年内尺度和年际间尺度上重度和中度利用群落的 $Q_{10}$ 均没有显著差异性( $P > 0.05$ ),其值的变化范围为1.96~2.50.

**关键词:**放牧利用;典型草原;碳循环;土壤呼吸; $Q_{10}$

**中图分类号:**Q148

**文献标志码:**A

## 引 言

草地过度利用已经使全球范围内多数草地生态系统严重退化,使其碳库和固碳能力大大减小<sup>[1-2]</sup>.我国是世界第二草地大国,草地面积广阔,占全国国土面积的1/3多,集中分布于北方干旱、半干旱地区,占世界草地生态系统总碳储量的9~16%,其中93%的碳分布于土壤中,相对稳定且具有很大的固碳潜力<sup>[3]</sup>.但是由于草地长期过度利用,已发生大面积的退化,特别是我国面积最大的天然草原—内蒙古草原.内蒙古草地退化面积在20世纪70年代以前大约占总面积10%,80年代已超过30%,90年代已扩大到40%以上,21世纪这10年已达到近50%<sup>[4]</sup>.

长期过度利用引起草地的严重退化,草地植被减少,生产力降低,进而存在于植物组织当中的碳流失<sup>[5]</sup>,土壤有机质减少,土壤结构发生变化、肥力下降、土壤涵水能力减弱、侵蚀加剧,土壤中的酶活性和养分含量的改变使草地生态系统碳排放的行为模式发生改变,进而可能失去“碳汇”的功能,甚至转变为弱的“碳源”<sup>[6-7]</sup>.草地碳循环机制的研究有助于找到解决草地碳收支失衡的根本手段,在恢复草地退化过程当中,扮演十分重要的角色<sup>[8]</sup>.其中,土壤呼吸是草地碳循环中最为重要的组成部分<sup>[9]</sup>,因此有关放牧利用对草地土壤呼吸影响的研究显得极为重要.

\* 收稿日期:2015-03-25;修回日期:2016-03-11

基金项目:国家自然科学基金项目(31160476)和锡林郭勒盟科技项目(201320)资助

作者简介:梁茂伟(1990—),男,内蒙古丰镇市人,博士研究生,主要从事草地碳循环和植被生态学研究.  
E-mail: adoleung@imu.edu.cn.

通信作者:梁存柱(1964—),男,内蒙古丰镇市人,教授,博士,主要从事植被生态学研究. E-mail: bilcz@imu.edu.cn.

高永恒关于高山草甸的研究表明放牧会增加土壤  $\text{CO}_2$  的排放<sup>[10]</sup>,邓钰等关于草甸草原的研究发现放牧强度差距越大,土壤呼吸速率差异越大,而且较轻的放牧会促进土壤呼吸速率增加<sup>[11]</sup>,李凌皓等使用碱液吸收法连续2年在典型草原20年完全封育和过度放牧群落测定土壤呼吸,结果表明围封群落的稍大于放牧群落,但无显著差异<sup>[12]</sup>,阿木日吉日嘎拉等关于荒漠草原的研究显示随放牧强度的增加土壤呼吸速率降低,但是中度放牧的土壤呼吸速率高于轻度放牧<sup>[13]</sup>.由此可见,放牧利用对不同草地类型的土壤呼吸影响存在较大差异,不同的草地类型对不同放牧强度的响应也不同.另外,陈晓鹏和尚占环认为放牧主要由于其放牧强度大小的不同,进而改变群落类型,从而影响草地生态系统土壤呼吸<sup>[8]</sup>,可见放牧引起草地群落结构发生变化进而影响土壤呼吸,而且群落结构的变化主要是由于放牧的强弱程度,但是不同草地类型相对的放牧强度不同,对土壤呼吸的影响也不一致,由此本文以内蒙古典型草原放牧利用群落为研究对象,在群落结构未发生改变、优势种未发生更替的情况下,于2012年(7~9月)和2013年(5~9月)植物生长季监测重度利用和中度利用群落多年生草本地上生物量、土壤呼吸以及温度和土壤含水率,比较分析放牧利用群落土壤呼吸的差异,探讨适度放牧利用对作为草地碳循环主要环节—土壤呼吸的影响.

## 1 实验材料与方法

### 1.1 研究区概况

研究区属典型草原区,位于内蒙古锡林浩特市东20km锡林浩特国家气候观象台,坐标为 $44^{\circ}08'N, 116^{\circ}19'E$ ,海拔1129m.该区属典型温带大陆性气候,降水主要集中在夏季6~9月,年平均约300mm,约为全年总降水的80%左右.年均温约 $3^{\circ}C$ ,最高气温可达 $32^{\circ}C$ ,最低气温近 $-35^{\circ}C$ .土壤类型主要是栗钙土.群落建群种为大针茅(*Stipa grandis*) + 羊草(*Leymus chinensis*).

### 1.2 实验设计

2012年在自然放牧区域内,选择利用强度明显的过渡带为实验研究区域,2013年为同一区域.放牧区域载畜量为每公顷0.3个羊(绵羊)单位.由于试验区域为自然放牧,主要依据羊群停留时间和距离畜群点的距离远近,将利用强度较大且距离畜群点较近的设为重度利用,以“S”表示,羊群每天停留时间为1~1.5h;利用强度较小且距离畜群点较远的设为中度利用,以“M”表示,羊群每天停留时间为0~0.5h,实验样地相距较近,约40m,生境条件基本一致.在2012和2013年植物生长季(5~9月),每月进行群落地上、地下生物量和土壤呼吸的监测.

群落地上生物量采用收割法进行分种监测取样,面积为 $1 \times 1m^2$ ,每个利用类型均设置10个重复.群落地下生物量使用钻土芯法分层取样,钻直径为7cm,深度为70cm,统计时不区分死根与活根,在地上生物量的样方内斜对角取两钻混在一起,每个利用类型均设置10个重复.群落土壤呼吸使用LI-8100土壤 $\text{CO}_2$ 分析仪(LI-COR, Lincoln, NE, USA)连接PVC环进行测定,PVC环直径为10cm,高度为7cm,在年内第一次试验前钉入土壤,地上部分预留2~3cm,每个利用类型均设置5个重复,每次观测从当天早上06:00到次日早上06:00,每隔2h进行1轮测定,共12轮.2012年分别在7、8和9月监测,2013年分别在5、6、7、8和9月监测.

环境因子数据来源于实验区所在的锡林浩特国家气候观象台,包括月平均气温、月平均降水、土壤温度和土壤湿度.2012年的总降水量为520.5mm,生长季(5~9月份)降水约435.0mm.2013年的总降水量为271.7mm,生长季(5~9月份)降水为235.0mm(图1).

### 1.3 数据处理与分析

使用Excel2007对实际测定数据进行整理,使用SPSS16.0进行数据分析,利用SigmaPlot10.0软件完成图表制作.方差分析和显著性检验采用单因素方差分析(One-way ANOVA)和LSD最小显著差异分析(Least-Significant Difference).

### 1.4 $Q_{10}$ 值计算

$Q_{10}$ 值表示土壤呼吸速率对土壤温度的响应强度<sup>[14]</sup>,即温度敏感性系数,表示温度每增加 $10^{\circ}C$ 土

壤呼吸所增加的倍数<sup>[15]</sup>.

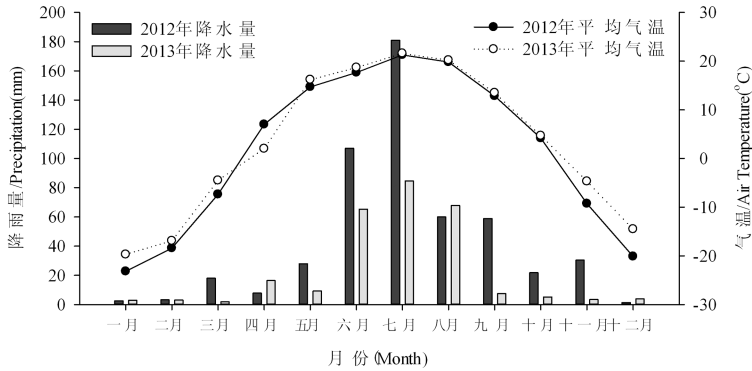


图1 月平均气温和月平均降水(2012—2013年)

Fig. 1 The mean air temperature and rainfall in each month(2012—2013)

土壤呼吸速率与土壤地下5cm温度之间的指数拟合,即为:

$$R_s = ae^{bT} \quad (1)$$

其中  $R_s$  表示土壤呼吸速率( $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ ),  $T$  指地下5cm土壤温度( $^{\circ}\text{C}$ ),  $a, b$  为反应系数.

$Q_{10}$ 公式为:

$$Q_{10} = e^{10b} \quad (2)$$

## 2 结果与分析

### 2.1 群落多年生草本地地上生物量和地下总生物量

2012年重度和中度利用群落的多年生草本地地上生物量均显著高于2013年.在年内和年际间尺度,中度利用群落(M)的地上生物量显著高于重度利用群落(S),2012年分别为  $62.96\text{g}/\text{m}^2$  和  $141.76\text{g}/\text{m}^2$ ,2013年分别为  $56.91\text{g}/\text{m}^2$  和  $112.00\text{g}/\text{m}^2$ .2012年重度利用群落的地下生物量(0—70cm总值)显著高于中度利用群落,但2013年不显著,2012年分别为  $2447.50\text{g}/\text{m}^2$  和  $1744.62\text{g}/\text{m}^2$ ,2013年分别为  $2597.12\text{g}/\text{m}^2$  和  $2438.50\text{g}/\text{m}^2$ (表1).

表1 不同利用强度群落类型地上和地下生物量、土壤呼吸和  $Q_{10}$ 值(平均值±标准误)

Table 1 The above-ground biomass, below-ground biomass, soil respiration and  $Q_{10}$  of the different utilization community in 2012—2013 (Mean±SE)

年度 Year	利用强度类型 Type of utilizations	地上生物量( $\text{g}/\text{m}^2$ ) Above-ground biomass	地下生物量( $\text{g}/\text{m}^2$ ) Below-ground biomass	土壤呼吸 $R_s$ ( $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ )	$Q_{10}$ 值
2012年	重度利用 (Severe utilization/S)	$62.96 \pm 8.21\text{bA}$	$2447.50 \pm 179.02\text{aA}$	$3.23 \pm 0.09\text{aA}$	$2.31 \pm 0.16\text{aA}$
	中度利用 (Medium utilization/M)	$141.76 \pm 14.71\text{aA}$	$1744.62 \pm 86.24\text{bB}$	$2.35 \pm 0.09\text{bA}$	$2.36 \pm 0.14\text{aA}$
2013年	重度利用 (Severe utilization/S)	$56.91 \pm 4.32\text{bB}$	$2597.12 \pm 120.12\text{aA}$	$1.37 \pm 0.04\text{aB}$	$2.27 \pm 0.19\text{aA}$
	中度利用 (Medium utilization/M)	$112.00 \pm 9.91\text{aB}$	$2438.50 \pm 79.24\text{aA}$	$1.07 \pm 0.04\text{bB}$	$2.41 \pm 0.24\text{aA}$

注 同列不同大写字母表示年际间相同利用类型差异性显著( $P < 0.05$ );同列不同小写字母表示年内不同利用类型间差异性显著( $P < 0.05$ ).

Note Different capital letters in the same row mean significant differences of same utilization in interannual variation ( $P < 0.05$ ); Different small letters in the same row mean significant differences among different utilization in same year ( $P < 0.05$ ).

## 2.2 群落土壤呼吸差异性

2012 和 2013 年,重度利用(S)的土壤呼吸值均显著大于中度利用(M),且 2012 的土壤呼吸值均显著大于 2013 的;但是重度利用和中度利用  $Q_{10}$  值之间均无显著差异性,而且在年际尺度之间也无显著差异(表 1).

## 2.3 群落土壤呼吸的影响因子

2012 年和 2013 年,重度利用(S)和中度利用(M)的土壤呼吸与气温、土壤 5cm 和 15cm 温度( $T_{Air}$ 、 $T_s$  5cm 和  $T_s$  15cm)的指数拟合较好,均表现为极显著的正相关性( $P < 0.01$ )(表 2).表明不同利用强度的草地生态系统土壤呼吸受温度因子的控制,随着温度的升高,土壤呼吸强度增加.

表 2 不同利用强度群落类型土壤呼吸与温度因子的相关性回归(2012~2013 年)

Table 2 Regression of temperature and Rs in the different utilization community(2012~2013)

温度(°C) Temperature	利用强度类型 Type of utilizations	2012 年度			2013 年度		
		回归方程 Regression equation	$R^2$	$P$	回归方程 Regression equation	$R^2$	$P$
$T_{Air}$	重度利用 (Severe utilization/S)	$Y=0.498e^{0.090T}$	0.595	0.000	$Y=0.261e^{0.084T}$	0.435	0.000
	中度利用 (Medium utilization/M)	$Y=0.249e^{106T}$	0.509	0.000	$Y=0.230e^{0.083T}$	0.395	0.000
$T_s$ 5cm	重度利用 (Severe utilization/S)	$Y=0.598e^{0.081T}$	0.703	0.000	$Y=0.232e^{0.087T}$	0.317	0.000
	中度利用 (Medium utilization/M)	$Y=0.378e^{0.085T}$	0.476	0.000	$Y=0.276e^{0.071T}$	0.197	0.001
$T_s$ 15cm	重度利用 (Severe utilization/S)	$Y=0.488e^{0.096T}$	0.482	0.000	$Y=0.094e^{0.148T}$	0.286	0.000
	中度利用 (Medium utilization/M)	$Y=0.378e^{0.089T}$	0.256	0.002	$Y=0.156e^{0.111T}$	0.165	0.002

注 相关性显著( $P < 0.05$ );相关性极显著( $P < 0.01$ ).

Note Significant correlation( $P < 0.05$ );Highly significant correlation( $P < 0.01$ ).

表 3 不同利用强度群落类型土壤呼吸与土壤含水率的相关性回归(2012~2013 年)

Table 3 Regression of soil water content and Rs in the different utilization community(2012~2013)

土壤含水率 Soil Water Content	利用强度类型 Type of utilizations	2012 年度			2013 年度		
		回归方程 Regression equation	$R^2$	$P$	回归方程 Regression equation	$R^2$	$P$
$W_s$ 10cm	重度利用 (Severe utilization/S)	$Y=-1.934x+23.134$	0.070	0.125	$Y=0.601x+0.048$	0.038	0.141
	中度利用 (Medium utilization/M)	$Y=-3.147x+24.613$	0.100	0.064	$Y=1.385x-0.009$	0.002	0.778
$W_s$ 20cm	重度利用 (Severe utilization/S)	$Y=111.85x-424.93$	0.336	0.000	$Y=1.464x-0.005$	0.001	0.854
	中度利用 (Medium utilization/M)	$Y=90.11x-343.34$	0.278	0.000	$Y=1.959x-0.038$	0.046	0.121

注 相关性显著( $P < 0.05$ );相关性极显著( $P < 0.01$ ).

Note;Significant correlation ( $P < 0.05$ );Highly significant correlation( $P < 0.01$ ).

2012 年和 2013 年,重度利用(S)和中度利用(M)的土壤呼吸与地下 10cm 土壤含水率( $W_s$  10cm)均不存在显著相关性( $P > 0.05$ );2012 年度,重度利用和中度利用的土壤呼吸值与地下 20cm

土壤含水率( $W_s$  20cm)存在极显著相关性( $R^2=0.336, P=0.000; R^2=0.278, P=0.000$ );2013年度,重度利用和中度利用的土壤呼吸值与地下20cm土壤含水率不存在显著相关性( $R^2=0.001, P=0.854; R^2=0.046, P=0.121; R^2=0.031, P=0.202$ ),见表3.

### 3 讨论

Eddy & Argenta 在苏联从半干旱到半湿润地区的各类草原在放牧情况下的研究发现无放牧条件群落的地下生物量低于中度放牧群落的,而且在降水较高的年份,群落地下生物量与放牧率呈正相关关系<sup>[16]</sup>.草地生态系统的土壤呼吸包括土壤根系的自养呼吸和土壤微生物和土壤动物的异养呼吸,其中土壤根系的自养呼吸占土壤总呼吸近40%<sup>[17]</sup>.土壤微生物的呼吸也是影响土壤呼吸的重要因子,而且土壤微生物的数量与土壤根系的多少有密切的关系<sup>[18]</sup>.在本研究当中,重度利用群落的土壤呼吸显著大于中度利用群落类型的,而且2012年多雨年份的 $R_s$ 值显著高于2013年少雨年份的.高山草甸也有类似的研究结果,即放牧会增加土壤 $CO_2$ 的排放<sup>[10]</sup>;另外,草甸草原的研究也发现较轻的放牧会促进土壤呼吸速率增加<sup>[11]</sup>;而荒漠草原的研究显示是中度放牧的土壤呼吸速率高于轻度放牧<sup>[13]</sup>;但是典型草原羊草群落的研究结果表明围封群落的稍大于放牧群落,但无显著差异<sup>[12]</sup>;这进一步说明可能是由于不同群落类型之间存在差异,导致不同的群落类型对放牧利用的响应不同,从而放牧对土壤呼吸值的影响也存在差异<sup>[8]</sup>.

土壤呼吸主要受温度和水分的影响<sup>[19]</sup>,并且因群落类型和地理位置的不同而异<sup>[20]</sup>.典型草原的土壤呼吸70%受控于土壤温度和土壤含水率,随温度升高呈指数上升<sup>[21]</sup>,而且在水分胁迫条件下土壤呼吸随水分的增加而增加<sup>[22]</sup>.本研究也发现放牧群落的土壤呼吸与温度因子存在极显著相关性,而且在多雨2012的与地下20cm土壤含水率存在极显著正相关性,与贾丙瑞和李凌皓的在典型草原的研究结果一致<sup>[21-22]</sup>.另外,在温度带草原,土壤水分不仅是影响土壤根系和微生物呼吸,还对 $CO_2$ 在土壤中的传输有一定的影响<sup>[22-23]</sup>.土壤含水率过高会阻塞土壤孔隙,降低土壤当中的 $CO_2$ 浓度,而土壤含水率过低会抑制土壤微生物呼吸和根系呼吸,降低 $CO_2$ 的释放,从而导致土壤呼吸速率下降<sup>[23-24]</sup>.李悦等在克氏针茅草原的研究发现,土壤异养呼吸速率在土壤持水力80%时最大,而在20%和100%时最小<sup>[25]</sup>.土壤水分对土壤呼吸的影响与土壤质地、植被类型等也有关系<sup>[26]</sup>.

土壤呼吸对温度敏感性( $Q_{10}$ )通常表示温度每增加 $10^\circ C$ 土壤呼吸所增加的倍数<sup>[27-28]</sup>.本研究发现,放牧对内蒙古典型草原的 $Q_{10}$ 值无显著影响,Lin等在高寒草甸的研究结果也表明放牧对 $Q_{10}$ 值无影响<sup>[29]</sup>,但是高娟等在湿地群落研究表明放牧降低了 $Q_{10}$ <sup>[30]</sup>.可见,有关 $Q_{10}$ 的研究并不确定,而且 $Q_{10}$ 还与群落类型、土壤微生物以及土壤湿度等有着密切的有关<sup>[31]</sup>.

### 4 结论

本研究得出以下结论:在优势种并未发生更替的草原生态系统,适度放牧显著降低多年生草地上生物量,增加土壤呼吸速率,且不同放牧强度间在年内和年际尺度上存在显著差异.温度和土壤含水率是影响土壤呼吸的主要环境因子,土壤呼吸与温度因子存在极显著相关性;多雨年份土壤呼吸受水分的限制大于少雨年份.放牧对土壤呼吸的温度敏感性( $Q_{10}$ )无显著影响, $Q_{10}$ 值范围为1.96~2.50.

### 参考文献:

- [1] IPCC. *Climate Change 2001: The Scientific Basis*[M]. Cambridge: Cambridge University Press, 2001: 191.
- [2] IPCC. *IPCC special report on carbon dioxide capture and storage. Prepared by working group III of the Intergovernmental Panel on Climate Change*[M]. Cambridge: Cambridge University Press, 2005: 77.
- [3] Ni J. Carbon storage in grasslands of China[J]. *Journal of Arid Environments*, 2002, **50**(2): 205-218.
- [4] Zhang Q Y, Wu S H, Zhao D H, et al. Temporal-spatial changes in Inner Mongolian Grassland degradation during

- past three decades[J]. *Agricultural Science & Technology*, 2013, **144**(4):676-683.
- [5] Zhou Z Y, Sun O J, Luo Z K, et al. Variation in small-scale spatial heterogeneity of soil properties and vegetation with different land use in semiarid grassland ecosystem[J]. *Plant and Soil*, 2008, **310**(2):103-112.
- [6] 王俊峰, 王根绪, 吴青柏. 青藏高原腹地不同退化程度高寒沼泽草甸生长季节 CO<sub>2</sub> 排放通量及其主要环境控制因子研究[J]. *冰川冻土*, 2008, **30**(3):408-414.
- [7] 李玉强, 赵哈林, 赵学勇, 等. 不同强度放牧后自然恢复的沙质草地土壤呼吸、碳平衡与碳储量[J]. *草业学报*, 2006, **15**(5):25-31.
- [8] 陈晓鹏, 尚占环. 中国草地生态系统碳循环研究进展[J]. *中国草地学报*, 2011, **33**(4):99-110.
- [9] Graetz D. *Changes in land-use and land cover: A global perspective* [M]. Cambridge: Cambridge University Press, 1994:125.
- [10] 高永恒. 不同放牧强度下高山草甸生态系统碳氮分布格局和循环过程研究[D]. 北京: 中国科学院, 2007.
- [11] 邓钰, 柳小妮, 闫瑞瑞, 等. 呼伦贝尔草甸草原土壤呼吸及其影响因子对不同放牧强度的响应[J]. *草业学报*, 2013, **22**(2):22-29.
- [12] 李凌浩, 韩兴国, 王其兵, 等. 锡林河流域一个放牧草原群落中根系呼吸占土壤总呼吸比例的初步估计[J]. *植物生态学报*, 2002, **16**(1):29-32.
- [13] 阿木日吉日嘎拉, 红梅, 韩国栋, 等. 不同放牧强度对短花针茅荒漠草原土壤呼吸的影响[J]. *土壤通报*, 2013, **44**(1):321-327.
- [14] Raich J W, Schlesinger W H. The global carbon dioxide flux in soil respiration and its relationship to vegetation and climate[J]. *Tellus B*, 1992, **44**(2):81-99.
- [15] 栾军伟, 刘世荣. 土壤呼吸的温度敏感性——全球变暖正负反馈的不确定因素[J]. *生态学报*, 2012, **32**(15):4902-4913.
- [16] Eddy van der M, Argenta T. Above-ground and below-ground biomass relations in steppes under different grazing conditions[J]. *Oikos*, 1989, **56**(3):364-370.
- [17] James W R, Tufekciogul A. Vegetation and soil respiration: Correlations and controls[J]. *Biogeochemistry*, 2000, **48**(1):71-90.
- [18] 文都日乐, 李刚, 张静妮, 等. 呼伦贝尔不同草地类型土壤微生物量及土壤酶活性研究[J]. *草业学报*, 2010, **19**(5):94-102.
- [19] Mathes K, Schriefer T. Soil respiration during secondary succession influences of temperature and moisture[J]. *Soil Biology Biochemistry*, 1985, **17**(2):205-211.
- [20] Singh J S, Gupta S R. Plant decomposition and soil respiration in terrestrial ecosystems[J]. *The Botanical Review*, 1977, **43**(4):449-528.
- [21] 李凌浩, 王其兵, 白永飞, 等. 锡林河流域羊草草原群落土壤呼吸及其影响因子的研究[J]. *植物生态学报*, 2000, **24**(6):680-686.
- [22] 贾丙瑞, 周广胜, 王凤玉, 等. 放牧与围栏羊草草原土壤呼吸作用及其影响因子[J]. *环境科学*, 2005, **26**(6):3-9.
- [23] 王庚辰, 杜睿, 孔琴心, 等. 中国温带典型草原土壤呼吸特征的实验研究[J]. *科学通报*, 2004, **49**(7):692-696.
- [24] 周萍, 刘国彬, 薛莲. 草地生态系统土壤呼吸及其影响因素研究进展[J]. *草业学报*, 2009, **18**(2):184-193.
- [25] Rey A, Petsikos C, Jarvis P G, et al. Effect of temperature and moisture on rates of carbon mineralization in a Mediterranean oak forest soil under controlled and field conditions[J]. *European Journal of Soil Science*, 2005, **56**(5):589-599.
- [26] 李悦, 刘颖慧, 申卫军, 等. 内蒙古克氏针茅草原土壤异养呼吸对土壤温度和水分变化的响应[J]. *植物生态学报*, 2014, **38**(3):238-248.
- [27] 周涛, 史培军, 惠大丰, 等. 中国土壤呼吸温度敏感性空间格局的反演[J]. *中国科学(C辑: 生命科学)*, 2009, **39**(3):315-322.
- [28] 鲍芳, 周广胜. 中国草原土壤呼吸作用研究进展[J]. *植物生态学报*, 2010, **34**(6):713-726.
- [29] Lin X, Zhang Z, Wang S, et al. Response of ecosystem respiration to warming and grazing during the growing seasons in the alpine meadow on the Tibetan plateau[J]. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2011, **151**(7):792-802.

- [30] 高娟,王立新,王伟,等.放牧对典型草原区湿地植物群落土壤呼吸的影响[J].内蒙古大学学报:自然科学版,2011,42(7):405-411.
- [31] 崔骁勇,陈佐忠,陈四清.草地土壤呼吸研究进展[J].生态学报,2001,21(2):315-325.

## The Effect of Moderate Grazing on Carbon Cycle of the Typical Steppe in Inner Mongolia

LIANG Mao-wei<sup>1</sup>, BAI Xue<sup>1</sup>, WANG Ying-shun<sup>2</sup>, MIAO Bai-ling<sup>1,3</sup>,  
BAO Gui-rong<sup>4</sup>, WANG Xuan<sup>1</sup>, LIANG Cun-zhu<sup>1</sup>

(1. School of Life Sciences, Inner Mongolia University, Hohhot 010021, China;

2. Xilinhot National Climate Observing Station, Xilinhot 026000, China;

3. Meteorological Research Institute of Inner Mongolia, Hohhot 010051, China;

4. College of Agriculture, Inner Mongolia University for the  
Nationalities, Tongliao 028000, China)

**Abstract:** Soil respiration plays key roles in carbon cycle of grassland ecosystem and grazing is the main utilization of the grassland. However, how grazing utilization affect soil respiration remains unknown. In order to study the response of soil respiration to grazing utilization, we observed soil respiration on degraded communities of *Stipa grandis* + *Leymus chinensis* in the growing season in 2012 and 2013 in Xilinhot Typical Steppe. The results showed that: 1) The above-ground biomass was significant decreased by grazing utilization, and the biomass of the moderate degeneration (M) community was remarkable higher than that of the severe degeneration (S) community in 2012 and 2013 ( $P < 0.05$ ); 2) The soil respiration rate was significantly higher in the S community than in the M community ( $P < 0.05$ ), and the difference was significant in the same degradation type where had great fluctuations in inter-annual ( $P < 0.05$ ); 3) The soil respiration had highly significant positive correlation with the soil temperature, while it also had highly significant positive correlation with underground 20cm soil water content in 2012 ( $P < 0.01$ ); 4) There were no significant differences in the temperature sensitivity of soil respiration ( $Q_{10}$ ) ( $P > 0.05$ ) and the value ranges from 1.96 to 2.50.

**Key words:** grazing utilization; typical steppe; carbon cycle; soil respiration;  $Q_{10}$