

文章编号: 1007-0435(2001)03-0183-08

## 放牧强度对高寒灌丛草甸土壤 CO<sub>2</sub> 释放速率的影响\*

张金霞, 曹广民, 周党卫, 赵新全

(中国科学院西北高原生物研究所, 西宁 810001)

**摘要:** 在中国科学院海北高寒草甸生态系统定位站, 研究放牧强度对土壤 CO<sub>2</sub> 释放速率的影响及其与环境条件的关系。结果表明, CO<sub>2</sub> 释放速率具有明显的日变化规律, 日最大值在 12:00~14:00h 出现, 最低值出现于凌晨 6:00~8:00h。轻牧和重牧区日释放速率分别为  $7.774 \pm 5.577 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$  和  $6.977 \pm 4.947 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ 。CO<sub>2</sub> 释放速率具有明显的季节变化, 最大值均出现在 7 月, 而冬季则最低。CO<sub>2</sub> 释放速率的日变化主要受气温和地表温度的制约, 与气温和地表温度呈极显著的正相关 ( $P < 0.01$ )。CO<sub>2</sub> 释放速率的季节动态与气温和地温 (0~30 cm) 呈极显著的正相关 ( $P < 0.01$ )。放牧使 CO<sub>2</sub> 释放速率降低。

**关键词:** CO<sub>2</sub> 释放速率; 放牧强度; 高寒灌丛草甸

**中图分类号:** S812.8 **文献标识码:** A

## The Rate of Carbon Dioxide Release from Alpine Scrubby Meadow Soil Under Different Grazing Intensity

ZHANG Jin-xia, CAO Guang-min, ZHOU Dang-wei, ZHAO Xin-quan

(Northwest Plateau Institute of Biology, Chinese Academy of Sciences, Xining 810001, China)

**Abstract:** The fields experiment was conducted at Haibei research station of alpine meadow ecosystem, Chinese Academy of Sciences. The results indicated that; The rate of CO<sub>2</sub> release rate occurred obviously daily change, the daily released CO<sub>2</sub> were  $7.774 \pm 5.577 \text{ g/m}^2 \cdot \text{d}$  (Lightly grazing) and  $6.977 \pm 4.947 \text{ g/m}^2 \cdot \text{d}$  (Heavily grazing) respectively, its release peak was at 12:00~14:00 and the valley at 6:00~8:00 in the morning. There was significant seasonal dynamic of release rate of CO<sub>2</sub>, maximum value was in July and minimum in winter. The correlated relationship between daily change in rate of CO<sub>2</sub> release and air temperature of soil surface temperature was very significant ( $P < 0.01$ ). The correlation were extreme significant ( $P < 0.01$ ) between seasonal dynamic of rate of CO<sub>2</sub> release and air temperature and soil temperature (0~30cm). Heavily grazing make rate of CO<sub>2</sub> release decreased.

**Key words:** Rate of CO<sub>2</sub> release; Grazing intensity; Alpine scrub meadow

痕量气体变化的研究已成为非常活跃的研究领域。温室气体引起的全球气候变暖问题已成为科学界最为关注的环境问题之一<sup>[1~3]</sup>。陆地生态系统是

CO<sub>2</sub>、N<sub>2</sub>O、CH<sub>4</sub> 等温室气体主要的源和汇<sup>[4,5]</sup>。由于人类活动, 大气中的许多温室气体浓度已发生全球尺度的变化。在过去的 20 年中, 冻源已由一个净汇

收稿日期: 2000-08-24; 修回日期: 2000-10-20

\* 国家重点基础研究专项(G1998040800)资助, 中国科学院知识创新工程项目(KSCX2-1-07)国家自然科学基金项目(30070147)和中国科学院海北高寒草甸生态系统定位站基金项目

作者简介: 张金霞(1941-), 女, 研究员, 长期从事草原生态物质循环研究工作, 发表论文近 40 篇

变成一个净源<sup>[6]</sup>,为此,许多科学家对温室气体的释放规律及影响因子进行了深入研究<sup>[1,7,8]</sup>。隶属于地球第三极的青藏高原是全球气候变化的“启动区”,近年来倍受人们重视,有许多学者对其气候变化及痕量气体的变化作了大量的研究报道<sup>[9,10]</sup>。

广布于青藏高原的高寒草甸是陆地生态系统的-一个重要组成部分,对大气与地面之间的能量平衡、水汽交换以及生物地球化学循环产生极其重要的作用。而气候变化对高寒草甸生态系统的结构、功能及生产力,以及能量流动和物质循环也产生极为重要影响。为此笔者有幸参加国家重点基础研究“973”项目,研究青藏高原现代表生过程与气候变化机理,旨在为高寒草甸对大气温室气体的贡献作用有一较深刻认识。

## 1 材料和方法

### 1.1 自然概况

1.1.1 试验设置于中国科学院海北高寒草甸生态系统定位站(海北站),地处 37°29'~37°45'N,101°12'~101°33'E,海拔 3250 m。属典型高原大陆性气候。年温差较小,日温差较大。夏季短暂而凉爽,冬季漫长而寒冷。年均气温-19℃,月均气温≥0℃者仅有 5 个月,≤-10℃有 3 个月。80 年代以来平均气温呈升高趋势,而且比全国及全球升温更明显。近年来以 0.062℃/年趋势升温<sup>[11]</sup>。年均降水 618 mm,主要集中于 5~9 月,占全年降水量的 80%,植物生长季水热同期,有利于牧草生长。

1.1.2 高寒灌丛草甸具有适应高寒气候的生态特性,是青藏高原地带性与山地垂直地带性的主要植被类型,也是主要的夏秋牧场。土壤类型为暗沃寒冻锥形土,有机质含量极为丰富(189.5 t·hm<sup>-2</sup>,0~10 cm),表层和亚表层为 10.0%~20.0%。代换量高达 40.0~60.0 cmol·kg<sup>-1</sup>,全 N 含量为 0.4%~0.8%,为 CO<sub>2</sub> 产生提供了物质基础。近年来由于过度放牧及人为活动的影响,导致草场退化,严重影响了草地生产力的提高。植被盖度由 70%降至 40%左右,地上生物量明显减少。土壤表层 pH 分别为 7.77(轻牧),7.85(重牧)。轻牧区容重和比重分别为 0.569 g·cm<sup>-3</sup>和 1.83 g·cm<sup>-3</sup>,重牧区则分别为 0.943 g·cm<sup>-3</sup>和 2.52 g·cm<sup>-3</sup>。随着放牧的加重土壤孔隙度由 69.67%降至 61.84%。

### 1.2 试验样地

1.2.1 选择广泛分布于山地阴坡和偏阴坡不同放牧强度的高寒灌丛草甸为研究对象,植被以金露梅(*Potentilla fruticosa*)灌丛为主要建群种,草本以线叶蒿草(*Kobresia capillifolia*)、矮蒿草(*Kobresia humilis*)、美丽风毛菊(*Saussurea superba*)、雪白委陵菜(*Potentilla nivea*)等为主。地表通常具有较厚的苔鲜层和枯枝落叶层。

1.2.2 放牧强度设轻牧区和重牧区 样地面积为 8.02 hm<sup>2</sup>,共设 5 个试验小区<sup>[12]</sup>。在轻牧区和重牧区进行 CO<sub>2</sub> 释放速率测定。放牧家畜为成年同龄藏羯羊。夏秋季在金露梅草场放牧,放牧时间 5 个月(5~9 月)。轻牧区 2.25 只羊/hm<sup>2</sup>,牧草利用率 30%,重度放牧 5.35 只羊/hm<sup>2</sup>,利用率 60%<sup>[12]</sup>。

### 1.3 CO<sub>2</sub> 测定

CO<sub>2</sub> 测定采用 CID-30IPS 红外 CO<sub>2</sub> 分析仪,气体采集使用特制的玻璃纤维增强塑料制作的密闭箱(高 300 mm,内径 245 mm)。测定时将箱体底座埋入地下,剪去箱体内地表植物,箱体和底座以水密封。以闭路系统 Absolute 功能进行气体浓度测定。实验设置三个重复,以近地面植物冠层大气 CO<sub>2</sub> 的浓度作本底,测定箱体 10 min 内土壤 CO<sub>2</sub> 的浓度增值。流速 0.5 L·min<sup>-1</sup>。测定时用 374.42 mg·kg<sup>-1</sup> 标准气对仪器进行校准。该仪器用碱石灰进行零点校正,对采集气体进行严格的脱水。CO<sub>2</sub> 释放速率计算式:

$$F = 1/A \cdot \rho V \Delta C / \Delta t = \rho h \Delta C / \Delta t$$

式中,F 为 CO<sub>2</sub> 释放速率(mol·m<sup>-2</sup>·s<sup>-1</sup>),ρ 为标准状况下箱体内的气体密度,h,A,V 分别为箱体高、底面积和体积,ΔC/Δt 为箱体内 CO<sub>2</sub> 浓度在测定时段内的变化率。

### 1.4 测定内容与频度

每月观测两次,日测定频率为:10:00、12:00、14:00、16:00、18:00、20:00、22:00、24:00 h 及翌日 4:00、6:00、8:00、10:00 h。每次测定 CO<sub>2</sub> 释放量时,平行测定气温和 0~30 cm 土层的温度。每个测定日采集 0~10 cm、10~20 cm、20~30 cm、30~40 cm 和 40~50 cm 的土样,用烘干法测定土壤水分。同时测定植物地上和地下生物量。

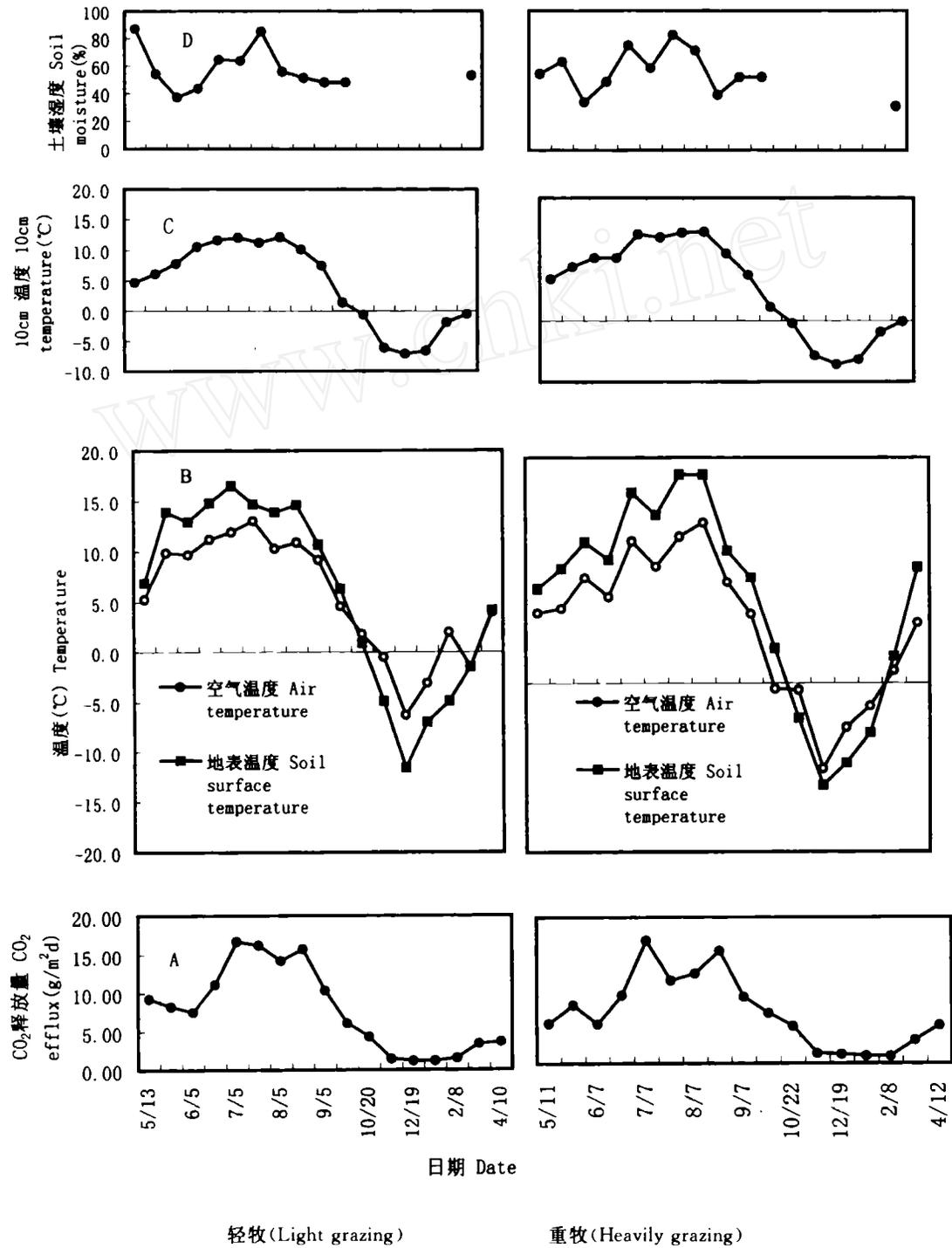


图 1 CO<sub>2</sub> 释放(A)、气温、地表温度(B)、土壤温度(C)和土壤水分(D)的季节动态

Fig. 1 Seasonal patterns of CO<sub>2</sub> efflux(A), air temperature and soil surface temperature(B), soil temperature(C), soil moisture(D), in alpine shrub meadow under different grazing intensity

## 2 结果与分析

### 2.1 土壤 CO<sub>2</sub> 释放速率季节动态

2.1.1 在不同放牧强度下高寒灌丛草甸土壤 CO<sub>2</sub> 释放速率呈现明显的季节动态。两种放牧强度均以 7 月份在牧草生长旺季 CO<sub>2</sub> 释放速率最高, 分别为

16.767 g·m<sup>-2</sup>·d<sup>-1</sup>(轻牧)(7月5日)和16.894 g·m<sup>-2</sup>·d<sup>-1</sup>(重牧)(7月7日),最低值均出现在冬季,分别为1.154 g·m<sup>-2</sup>·d<sup>-1</sup>(轻牧)(1月23日)和0.947 g·m<sup>-2</sup>·d<sup>-1</sup>(重牧)(2月8日)。轻牧区稍高于重牧区。在植物生长季,轻牧区土壤CO<sub>2</sub>释放通量为11.560±3.922 g·m<sup>-2</sup>·d<sup>-1</sup>,而重牧区为10.046±3.955 g·m<sup>-2</sup>·d<sup>-1</sup>。在9月牧草逐渐枯黄,生长已基本停止,CO<sub>2</sub>释放速率则急剧下降,直到冬季达最低值(图1A)。全年平均值为7.774±5.577 g·m<sup>-2</sup>·d<sup>-1</sup>(轻牧)和6.977±4.947 g·m<sup>-2</sup>·d<sup>-1</sup>(重牧)。

2.1.2 高寒灌丛草甸土壤CO<sub>2</sub>释放速率的峰值比Alaska冻原测定的结果4.9~5.9 g·m<sup>-2</sup>·d<sup>-1</sup>高<sup>[13]</sup>。气温和表土温度的季节变化趋势与土壤CO<sub>2</sub>释放的趋势相同(图1B),最高温度均出现在7~8月,最低温度出现在12月和1月。气温和地表温度分别是6.8±4.2℃和9.4±5.1℃(轻牧),6.9±4.3℃和10.1±5.1℃(重牧)。10 cm地温季节变化曲线与表土温度相似(图1C)。CO<sub>2</sub>释放日均值的季节变化和气温、地温(0~30 cm)之间呈极显著相关关系(表1)。结果表明土壤CO<sub>2</sub>释放的季节动态受气温和土层温度控制。

表1 土壤CO<sub>2</sub>释放速率与气温和地温的相关关系

Table 1 The correlated coefficient between seasonal variation of CO<sub>2</sub> release and air temperature and soil temperature

| 放牧强度<br>Stocking intensity | 气温<br>Air temperature | 地表温度<br>Soil surface temperature | 5 cm 地温<br>5 cm soil temperature | 10 cm 地温<br>10 cm soil temperature | 15 cm 地温<br>15 cm soil temperature | 20 cm 地温<br>20 cm soil temperature | 30 cm 地温<br>30 cm soil temperature |
|----------------------------|-----------------------|----------------------------------|----------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|
| 轻牧区<br>Lightly grazing     | 0.8933**              | 0.8975**                         | 0.9233**                         | 0.9214**                           | 0.9147**                           | 0.9027**                           | 0.9009**                           |
| 重牧区<br>Heavily grazing     | 0.8509**              | 0.8941**                         | 0.8924**                         | 0.9021**                           | 0.9048**                           | 0.9016**                           | 0.9034**                           |

\*\*P<0.01

## 2.2 土壤CO<sub>2</sub>释放速率日变化

2.2.1 高寒灌丛草甸土壤CO<sub>2</sub>释放速率随着每日时间的进程呈现出明显的日变化,轻牧和重牧区的日变化曲线相似,最大值出现在12:00~14:00 h,最低值出现在凌晨6:00~8:00 h。CO<sub>2</sub>释放速率在白天大于夜晚。8月初的测定结果为14.223 g·m<sup>-2</sup>·d<sup>-1</sup>(轻牧)和12.331 g·m<sup>-2</sup>·d<sup>-1</sup>(重牧),比休耕地(Fallow)9.681 g·m<sup>-2</sup>·d<sup>-1</sup>的结果高,比大豆地(Soybean)CO<sub>2</sub>释放22.2 g·m<sup>-2</sup>·d<sup>-1</sup>低<sup>[7]</sup>。

2.2.2 在不同放牧强度下,高寒灌丛草甸土壤CO<sub>2</sub>

释放速率的日变化均与气温和地表温度变化趋势相似(图2A,2B,2C)。海北站地区昼夜温差较大,CO<sub>2</sub>释放速率随着白天气温的增高而增高,在夜晚则随着气温的降低而降低,而5 cm土层在白天的温度较表土低(图2D),15 cm和30 cm土层的地温,日变化幅度较小,曲线趋于平缓。轻牧与重牧区的土壤CO<sub>2</sub>释放速率与气温和地表温度之间呈极显著正相关关系(表2),而与土壤深层温度的相关则不显著。冬季1月23日和2月8日土壤CO<sub>2</sub>释放速率与气温和地表温度的相关关系均不显著。

表2 土壤CO<sub>2</sub>释放速率日变化与气温和地表温度的相关关系

Table 2 The correlation coefficients between rate of CO<sub>2</sub> release and air temperature and soil surface temperature

| 放牧强度<br>Stocking intensity | 温度<br>Temperature                | 5月13日<br>13 May | 7月20日<br>20 July | 9月25日<br>25 Sep. | 翌年2月8日<br>Next year 8 Feb. |
|----------------------------|----------------------------------|-----------------|------------------|------------------|----------------------------|
| 轻牧(L)<br>Lightly grazing   | 气温<br>Air temperature            | 0.8864**        | 0.9313**         | 0.8807**         | -0.0269                    |
|                            | 地表温度<br>Soil surface temperature | 0.9634**        | 0.9294**         | 0.8166**         | -0.1574                    |
| 重牧(H)<br>Heavily grazing   | 气温<br>Air temperature            | 0.9380**        | 0.8532**         | 0.8746**         | 0.5464                     |
|                            | 地表温度<br>Soil surface temperature | 0.9251**        | 0.8510**         | 0.8479**         | 0.6450                     |

\*\*P<0.01

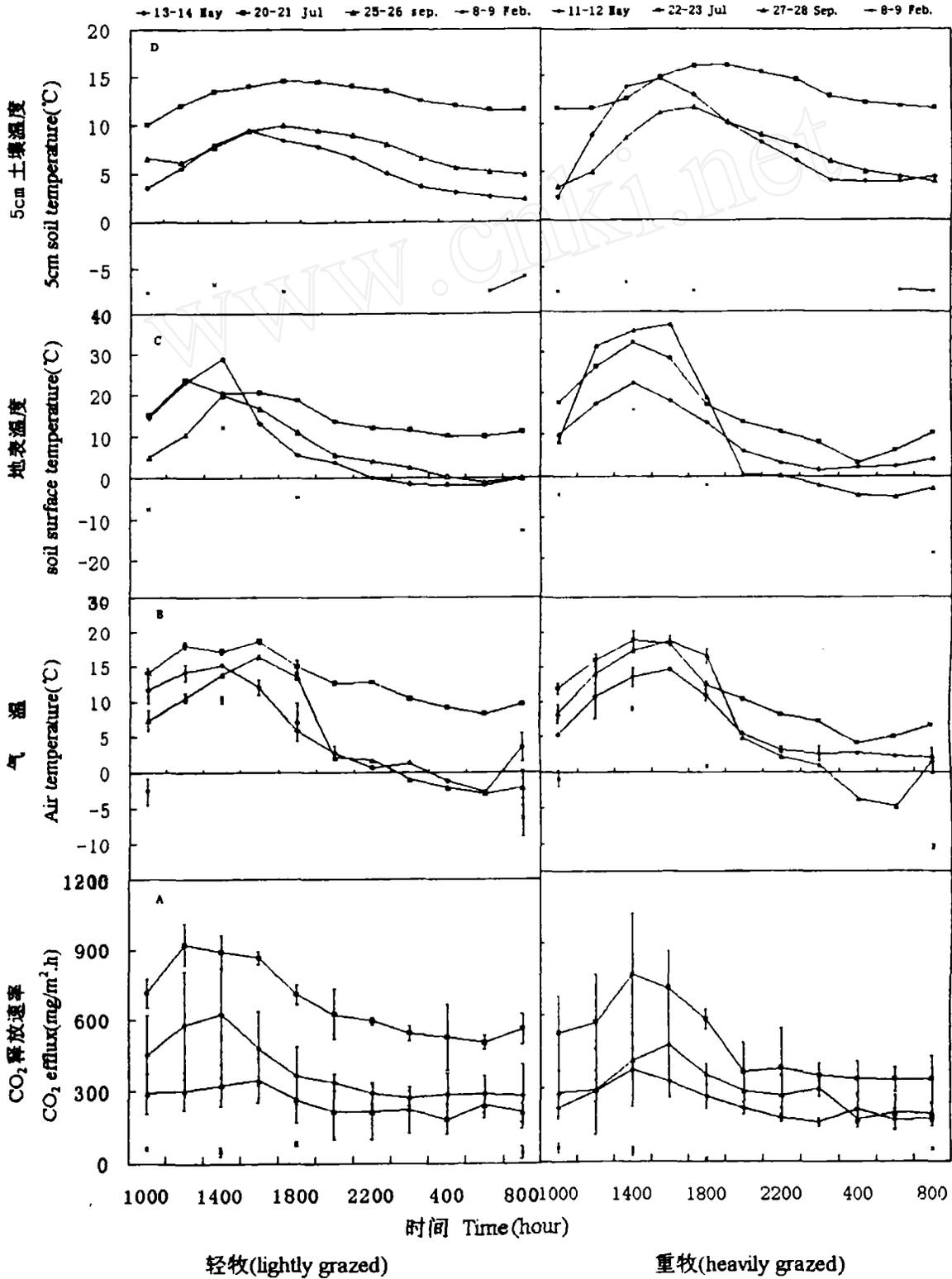


图2 CO<sub>2</sub>释放(A)气温(B)地表温度(C)及5cm地温(D)日变化

Fig. 2 Diurnal patterns of system CO<sub>2</sub> efflux(A), air temperature(B), soil surface temperature(C) and soil temperature (5 cm,D) in alpine shrub meadow under different grazing intensity

2.2.3 地上部总生物量季节动态与土壤 CO<sub>2</sub> 释放速率的相关不显著。地上总生物量不仅包括当年鲜草重也包括立枯及凋落物重。土壤 CO<sub>2</sub> 释放速率与植物鲜草重呈极显著正相关(轻牧区  $r=0.8820$ ,  $P<0.01$ ; 重牧区  $r=0.9007$ ,  $P<0.01$ )。CO<sub>2</sub> 释放与根系生物量差异不显著。高寒灌丛草甸属湿润土壤水分状况,在植物生长季节,轻牧和重牧区 0~10cm 土壤湿度分别为  $58.53\pm 15.75\%$ 、 $55.70\pm 16.61\%$  (图 1D)。土壤 CO<sub>2</sub> 释放速率与土壤水分相关分析结果表明,仅在重牧区,二者呈极显著正相关( $r=0.7682$ ,  $n=9$ )。土壤 CO<sub>2</sub> 释放速率的日变化,无论是轻牧或重牧区均达到极显著差异水准(表 3)。

### 2.3 放牧强度对土壤 CO<sub>2</sub> 释放速率的影响

在轻牧区土壤 CO<sub>2</sub> 释放强度比重牧区大(图 1A、2A)。在轻牧区,土壤 CO<sub>2</sub> 释放速率为  $7.774\pm 5.577\text{ g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$ ,重牧区则为  $6.977\pm 4.947\text{ g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$ 。放牧使 CO<sub>2</sub> 释放速率降低,在两种放牧强度条件下,土壤 CO<sub>2</sub> 释放速率之间差异显著。在植物生长季节(5~9月)CO<sub>2</sub> 释放速率差异显著( $P<0.05$ )(表 4)。因为冬季长达 5 个月左右,土壤 CO<sub>2</sub> 释放速率很小,两种放牧强度的土壤 CO<sub>2</sub> 释放速率仅  $1.0\text{ g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$ (1月23日)左右。因此,在全年季节动态中,两种放牧强度的土壤 CO<sub>2</sub> 释放速率差异不显著。

表 3 土壤 CO<sub>2</sub> 释放速率日变化方差分析

Table 3 The test of variance analysis of diel change of rate of CO<sub>2</sub> release from alpine scrubby meadow soil

| 放牧强度<br>Stocking intensity | SS      | Df | MS      | F      | P-value  | F crit |
|----------------------------|---------|----|---------|--------|----------|--------|
| 轻牧(L)<br>Lightly grazing   | 1071807 | 11 | 97437.0 | 16.678 | 3.2E-22  | 2.350  |
| 重牧(H)<br>Heavily grazing   | 1014757 | 11 | 92250.7 | 18.012 | 1.12E-23 | 2.350  |

表 4 放牧强度与土壤 CO<sub>2</sub> 释放速率方差分析

Table 4 The test of variance analysis of rate of CO<sub>2</sub> release from alpine scrubby meadow soil during the plant growing period under different grazing intensity

| 项目<br>Item                | ANOVA   |    |        |        |          |        |
|---------------------------|---------|----|--------|--------|----------|--------|
|                           | SS      | Df | MS     | F      | P-value  | F crit |
| 日期数据<br>Date              | 331.989 | 10 | 33.199 | 19.929 | 2.67E-05 | 2.978  |
| 放牧强度<br>Grazing intensity | 9.371   | 1  | 9.371  | 5.626  | 0.039    | 4.965  |
| 误差<br>Error               | 16.658  | 10 | 1.666  |        |          |        |
| 总计<br>Total               | 385.018 | 21 |        |        |          |        |

## 3 讨论

### 3.1 温度对土壤 CO<sub>2</sub> 释放的影响

土壤有机质的转化包括矿化和腐殖化作用。矿化作用是有机质在微生物参与下的氧化过程。所有影响微生物生命活动的因素都影响矿化过程。温度是影响微生物数量及活性的主要因子,低于 0℃ 微生物学过程即停滞,当温度升到 0℃ 以上,微生物学过程速率增加。温度不仅影响微生物的生物化学反应速率,并且对环境的物理化学特性也有影响。地表

温度随着气温的变化而变化。微生物的数量及活性也正是表层和亚表层较高,受温度影响而波动,因而 CO<sub>2</sub> 释放速率与温度呈高度相关。无论重牧和轻牧区,土壤 CO<sub>2</sub> 释放的日变化和气温、地表温度均呈高度相关关系(表 2)。土壤 CO<sub>2</sub> 的释放主要是地表的作用,土壤呼吸作用强度随着土层的加深而递减。而 CO<sub>2</sub> 释放的季节动态与气温、地温(0~30 cm)均呈极显著相关关系(见表 1)。土壤表层吸收太阳辐射能,逐渐向下层传递热量,受土壤热传导及热容量的影响,土壤剖面温度最高值与最低值出现时间滞后于表土,即下层温度变化不如表层剧烈。温度的季

节动态主要受土壤各层日均温变化的影响。各层温度的变化直接制约着微生物活性和生化反应速率,故CO<sub>2</sub>释放的季节动态与气温和各土层温度呈高度相关。结果表明,热量条件在高寒地区是增强土壤生命活动及提高反应速率的主要因素。因而在高寒地区,热量条件对CO<sub>2</sub>释放速率较其他环境因素更敏感。与有机氮矿化之研究结论一致<sup>[14]</sup>。

### 3.2 土壤微生物对CO<sub>2</sub>释放的影响

高寒灌丛草甸覆被下的暗沃寒冻锥形土有机物质含量极为丰富,0~20 cm土层为12.9 g·kg<sup>-1</sup>,腐殖质为206.3 g·kg<sup>-1</sup>,为土壤CO<sub>2</sub>的产生提供了丰富的物质基础。海北站地区微生物总生物量与CO<sub>2</sub>释放速率有良好的相关性,各种微生物数量的高峰期均出现在7~9月份<sup>[15]</sup>。真菌生物量的季节动态也是7~8月达最高值<sup>[16]</sup>。与CO<sub>2</sub>释放速率一致。9月随着气温和地温的降低微生物数量及活性也相应减小。CO<sub>2</sub>排放速率急剧下降,直到冬季CO<sub>2</sub>释放最低。温度在0℃以下,微生物活动几乎停止。海北站地区11月到翌年3月气温和地表温度均为负值,土壤生化反应几乎停止,故土壤CO<sub>2</sub>释放也是全年的低值域。

### 3.3 水份对CO<sub>2</sub>释放的影响

土壤水分不仅影响生物体的有效水分,也影响土壤通气状况及可溶性物质的本质和数量、渗透压和pH等。海北站地区年均降水618.4 mm,且主要分布于5~9月,占总降水量的80.0%。高寒灌丛被覆下的暗沃寒冻锥形土水分含量丰富(34.4%~75.0%,0~10 cm),因而并不象温度对植物生长及CO<sub>2</sub>释放表现得非常敏感。

### 3.4 不同放牧强度对CO<sub>2</sub>释放的影响

地上生物量随着放牧强度的增加而减少,优质牧草相应减少,高原鼯鼠的新土丘数明显增加<sup>[12]</sup>。放牧强度不同,草地退化程度各异。草地退化后,土壤肥力降低,微生物数量和种类降低。草地退化使土壤生化活性减小,从而影响土壤碳氮循环代谢途径<sup>[17]</sup>。退化草地的生物量及根系生物量都较低。因而,在重牧情况下暗沃寒冻锥形土CO<sub>2</sub>释放速率比轻牧区小。

### 3.5 土壤CO<sub>2</sub>释放速率主要受土壤有机质的数

量,土壤动物和微生物类群的数量及活性,以及根系生物量所制约。热量和水分条件是影响土壤生物学过程及生物化学反应速度的主要环境因子。因此,土壤CO<sub>2</sub>释放表现出对温度的强烈依赖性。放牧强度增大,人为活动干扰致使土壤退化,CO<sub>2</sub>释放速率明显降低。

### 参考文献

- [1] Burton D L, Beauchamp E G. Profile nitrous oxide and carbon dioxide concentrations in a soil subject to freezing[J]. Soil Sci. Soc. Am. J., 1994, 58: 115~122
- [2] Ouyang Y, Boersma L. Dynamic oxygen and carbon dioxide exchange between soil and atmosphere: I. Model development [J]. Soil Sci. Soc. Am. J., 1992, 56: 1695~1702
- [3] Christensen T R, Jonasson S, Callaghan T V, Havstrom M. On the potential CO<sub>2</sub> release from tundra soils in changing climate [J]. Applied Soil Ecology, 1999, 11: 127~134
- [4] Diemer M, Korner C. Transient enhancement of carbon uptake in an alpine grassland ecosystem under elevated CO<sub>2</sub>[J]. Arctic and Alpine Research, 1998, 30: 381~387
- [5] Oechel W C, Hastings S J, Vourlitis G L, Jenkins M, Riechers G, Grulke N. Recent change of Arctic tundra ecosystems from a net carbon dioxide sink to a source[J]. Nature London, 1993, 361: 520~523
- [6] 林而达,李玉娥编著. 全球气候变化和温室气体清单编制方法[M]. 北京:气象出版社,1997. 1~11
- [7] Seiko O, Shuchi H. Diel and seasonal changes in carbon dioxide concentration and flux in an andisol[J]. Soil Science, 1995, 160(2): 117~124
- [8] Bertram O. Modeling the influence of hydrological processes on spatial and temporal patterns of CO<sub>2</sub> soil efflux from an Arctic tundra catchment [J]. Arctic and Alpine Research, 1996, 28(3): 318~327
- [9] 高晓青. 青藏高原北部若干地点10年尺度气候变化的初步分析. 青藏高原形成演化、环境变迁与生态系统研究[C]. 北京:科学出版社,1994. 297~303
- [10] 温玉璞,汤洁,邵志清. 瓦里关山大气CO<sub>2</sub>浓度变化及地表排放影响的研究[J]. 应用气象学报,1997, 8(2): 129~136
- [11] 李英年,沈振西. 近40年海北高寒草甸生态系统定位站气温变化特征[J]. 资源生态环境网络研究动态,1999, 10(3): 28~31
- [12] 刘伟,周立,王溪. 不同放牧强度对植物及啮齿动物作用的研究[J]. 生态学报,1999, 19(3): 376~382
- [13] Steven F O, Chris T G, Cheng Weixin *et al.* Diurnal and seasonal patterns of ecosystem CO<sub>2</sub> efflux from upland tundra in the Foothills of the Brooks ranges[J]. Alaska, U. S. A. Arctic and Alpine Research, 1996, 28(3): 328~338
- [14] 乐炎舟,张金霞,王在模. 高山草甸有机氮矿化之研究. 高寒草甸生态系统国际学术讨论会论文集[C]. 北京:科学出版社,

1988. 155~168

[15] 朱桂茹,李家藻,唐诗声等. 海北高寒草甸生态系统定位站土壤微生物学的研究[C]. 高寒草甸生态系统, 兰州: 甘肃人民出版社, 1982. 1: 144~162

[16] 王启兰,李家藻. 高寒草甸生态系统不同植被土壤真菌生物量

的测定,高寒草甸生态系统(第3集)[C]. 北京: 科学出版社, 1991. 267~274

[17] 龙章富,刘世贵. 退化草地土壤农化性状与微生物生化活性的初步研究[J]. 土壤学报, 1995, 32(2): 222~227

~~~~~  
(上接 175 页)

样性存在于野生沙打旺材料内,而对沙打旺育成品种和地方材料来说,遗传多样性相对较多地存在于沙打旺育成品种或地方材料中,分别为 90.5% 和 90.7%。总之,沙打旺种质资源遗传变异的大小和遗传结构除受繁育体系影响较大外,与材料的来源和地理分布也有直接关系,而且人为定向选择压力的影响比较明显。

#### 参考文献

[1] 吴永敷. 再论沙打旺栽培种的起源问题[J]. 四川草原, 1985, 2: 41~42  
 [2] Koller B, Lehmann B, McDermott J M, Gessler C. Identification of apple cultivars using RAPD markers [J]. Theor. Appl.

Genet, 1993, 85: 901~904

[3] Asemota H S Z, Ramser J, Lopez-Peralta K C, *et al.* Genetic variation and cultivar identification of Jamaican yam germplasm by random amplified polymorphic DNA analysis [J]. Euphytica, 1996, 92: 441~451

[4] Isabel N, Beaulieu J, Bousquet J. Complete congruence between gene diversity estimates diversity estimates derived from genotypic data at enzyme and random amplified polymorphic DNA loci in black spruce [J]. Proc. Natl. Acad. Sci. USA, 1995, 92: 6369~6373

[5] Hillis D M, Larson A, Bavis S K, *et al.* Nucleic acids sequencing ■, In molecular systematics [M]. Sunderland, sinauer, MA, 1990. 318~370

[6] Nei M. Molecular evolutionary genetics [M]. New York: Columbia University Press, 1975. 106~107