

东北松嫩平原羊草群落的土壤呼吸与枯枝落叶分解释放 CO₂ 贡献量

王 娟¹ 郭继勋²

(1. 东北师范大学环境科学系, 长春 130024 2. 东北师范大学草地研究所, 长春 130024)

摘要 根据静态气室法的测量结果, 分析了羊草群落土壤呼吸量和枯枝落叶分解释放 CO₂ 量的季节动态, 及其与地上生物量、枯枝落叶分解量及环境因子的关系。结果表明 (1) 在整个观测期内, 羊草群落土壤呼吸的季节动态呈现单峰曲线, 8 月中旬达到最大值 13.27 gC/(m²·d)。(2) 羊草群落土壤呼吸的季节变化规律与地上绿色体生物量的季节动态同步。(3) 羊草群落土壤呼吸的季节动态与枯枝落叶分解量的季节动态同步。(4) 羊草群落土壤呼吸量与土壤 0~10 cm 土壤含水量显著正相关。(5) 地表枯枝落叶层直接排放 CO₂ 量的季节动态呈现逐渐递减的趋势, 释放量平均为 -0.87 gC/(m²·d), 有减缓土壤向大气排放 CO₂ 的作用。(6) 枯枝落叶分解释放 CO₂ 量同地表枯枝落叶量显著正相关。

关键词 羊草群落; 土壤呼吸; 枯枝落叶分解

Contribution of CO₂ Emission from Soil Respiration and from Litter Decomposition in *Lymus chinensis* Community in Northeast Songnen Grassland

WANG Wei¹, GUO Ji-Xun² (1. Environmental Science Department, Northeast Normal University, Changchun 130024, China 2. Grassland Research Institute, Northeast Normal University, Changchun 130024, China). *Acta Ecologica Sinica* 2002, 22(5): 655~660.

Abstract This paper analyzed seasonal dynamics of soil respiration and CO₂ release rate of litter decomposition through alkaline absorption methods in *Lymus chinensis* community and the relationship between soil respiration and aboveground biomass, litter decomposition rate and environmental factors. The relationship between CO₂ release rate of litter decomposition and environmental factors were also discussed. The results were showed as followed: (1) The seasonal dynamics of soil respiration showed a single-peak curve with the maximum 13.27 gC/(m²·d) in the middle August. (2) The rule of seasonal change of soil respiration synchronized with that of the aboveground blue biomass. (3) The seasonal dynamics of soil respiration synchronized with that of litter decomposition rate. (4) The soil respiration was positively correlated with soil water content at 0~10 cm depth. (5) CO₂ release rate of litter decomposition showed a declining trend with the average rate of -0.87 gC/(m²·d). The litter played an important role in slowing down the emission of CO₂ from the soil to atmosphere. (6) CO₂ release rate of litter decomposition was positively correlated to the standing litter weight.

Key words *Lymus chinensis* community; soil respiration; litter decomposition

文章编号: 1000-093X(2002)05-0655-06 中图分类号: S543.901 文献标识码: A

基金项目: 国家“973”重点基础研究发展规划资助项目(G20000-18608), 国家自然科学基金资助项目(39970537)

收稿日期: 2001-02-09, 修订日期: 2001-06-15

作者简介: 王 娟(1972~), 女, 长春市人, 博士, 讲师。主要从事草地生态与微生物生态学的研究。E-mail: wendy-wangw@163.com

万方数据

枯枝落叶作为羊草草原分解者亚系统的一个重要组成部分,对调节物质循环、维持草原生态平衡起着重要作用^[1]。目前对枯枝落叶的研究主要包括:枯枝落叶的分解量及其与环境的关系^[2-5]、枯枝落叶的积累及营养动态^[6,7]等方面。通过土壤呼吸作用向大气释放 CO_2 是陆地生态系统碳循环的一个非常重要的环节,已成为全球碳循环研究中倍受关注的核心问题^[8-10]。枯枝落叶作为植物体碳库的一部分,其分解释放 CO_2 的研究较少^[11],且很少涉及土壤呼吸和枯枝落叶分解释放 CO_2 的实地观测。为此,本研究选择了羊草草原的优势群落——羊草群落,从测定土壤呼吸和枯枝落叶分解释放 CO_2 量入手,比较二者对大气碳库释放的贡献,为进一步研究草原生态系统大气、植物、土壤碳库中碳的收支状况及其能量流动过程提供有益的借鉴。

1 自然概况与研究方法

1.1 自然概况

本研究是在吉林省长岭县腰井子自然保护区(44°45'N, 123°45'E)内进行。该地区为典型大陆性气候,据 30a 气象资料统计,年均温 4.9℃,年降雨量平均为 470.6mm,主要集中在 6~9 月份,春季多风干旱,年蒸发量为 1600.2mm,约为降雨量的 3.5 倍。该区属草甸草原类型,主要的植物群落有:羊草(*Lymus chinensis*)群落,羊草+杂类草群落,拂子茅(*Calamagrostis epigeios*)群落,碱茅(*Puccinellia tenuiflora*)群落,虎尾草(*Chloris virgata*)群落和碱蓬(*Suaeda glauca*)群落。羊草群落的产量占整个草地生物量的 80%~90%,且分布广,群落总盖度为 80% 以上。羊草在群落中占绝对优势,其密度可达 917 株/m²,种群生物量占整个群落地上生物量的 95% 以上,群落所处地段的土壤 pH 值为 9.6 左右,有机质含量为 2% 左右。

1.2 研究方法

1.2.1 土壤呼吸量和枯枝落叶分解释放 CO_2 量的测定 选择典型羊草群落地段作为取样地点,从 2000 年 6 月 15 日~10 月 15 日,于每月中旬采样一次。随机选取 14 个直径为 25cm 样圆,用静态气室法^[12]测定土壤呼吸。根据下面公式计算 CO_2 释放量:

$$\text{CO}_2(\text{gC}(\text{m}^2 \cdot \text{d})) = \frac{(v_1 - v_2) \times N \times 22.005 \times 10000}{S \times 1000}$$

式中, N 为滴定用盐酸的摩尔数; 22.005 为相当于 1ml 的 CO_2 毫克当量数; S 为收集气室的底面积; 10000 和 1000 是将 CO_2 释放量由 $\text{mg} \cdot \text{cm}^2$ 换算为 $\text{g} \cdot \text{m}^2$ 的系数。 V_1 为对照处理消耗的 HCl 毫升数, v_2 为试验处理消耗的 HCl 毫升数。实验具体的操作方法为:用收获法除去地上生物量及现存地表的枯枝落叶,选取 14 个样点测定土壤呼吸所释放的 CO_2 量,同时选取 14 个样点仅除去地上生物量,保留土壤表层的凋落物,测定由土壤呼吸和枯枝落叶分解共同释放的 CO_2 量,后者与前者之差得到仅由枯枝落叶分解释放的 CO_2 量。时间单位为 d。

1.2.2 地上生物量及地表枯枝落叶量的测定 为与土壤呼吸相对应,在测定土壤呼吸的 14 个样点内,将用收获法采集的地上生物量,分绿色体和立枯体分别烘干(65℃)称重。将现存地表的枯枝落叶,去掉泥沙和杂物,烘干(65℃)称重。

1.2.3 枯枝落叶分解速率的测定 2000 年 5 月 15 日将上一年的立枯体,剪成 20cm 小段,装入孔径为 2mm×2mm 的网袋,每袋 20g。将样袋埋入 10cm 左右的土层中,每月中旬取样,5 次重复,去掉泥沙及杂物,烘干称重,测定消失量及分解速率。

1.2.4 环境因子的测定 2000 年 6 月 15 日~10 月 15 日,每月采样一次,随机选择 5 个样点,挖土壤剖面,沿剖面垂直每隔 10cm 取一层,共 3 层,采用重量法测定土壤水分含量,容重换算法测定土壤孔隙度,SPM-10 数字式 pH 计测定土壤 pH。气温、地表温度、不同深度的土壤温度、空气湿度、降雨量等指标,由气象观测站提供。

1.2.5 数据分析与处理 应用 SPSS(Statistical Package for Social Science)对试验数据进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 土壤呼吸的贡献量

2.1.1 土壤呼吸的季节动态与地上生物量的关系 土壤呼吸 ,也称土壤总呼吸 ,严格意义上讲是指未扰动土壤中产生 CO₂ 的所有代谢过程 ,包括 3 个生物学过程 (即土壤微生物呼吸、根系呼吸和土壤动物呼吸) 和一个非生物学过程 ,含碳矿物质的化学氧化作用^[13]。羊草群落的土壤呼吸的季节动态呈一单峰曲线 (见表 1),自 6 月开始 ,随着降水、气温及土壤水分的上升(图 2、3),土壤呼吸量逐渐加强 ,到 8 月中旬剧增 ,达到峰值 ,到 9 月中旬 ,随着降水、气温和土壤水分含量的下降 ,土壤呼吸量剧减。羊草群落的土壤呼吸的季节变化同地上部绿色体的季节变化基本同步 ,与立枯体生物量的季节动态不同步 ,甚至相反(图 3)。

表 1 羊草群落土壤呼吸量与枯枝落叶分解释放 CO₂ 量的比较(数据表示平均值±标准偏差)

Table 1 Comparison of CO₂ release rate between soil respiration and litter decomposition of *Lymus chinensis* community(data meaning mean±sd)

日期 Date	6~15	7~15	8~15	9~15	10~15	平均值 Mean (gC/(m ² ·d))
土壤呼吸量 Soil respiration (gC/(m ² ·d))	7.69±1.53	7.91±2.47	13.27±12.46	5.65±1.86	5.13±1.56	7.93
枯枝落叶呼吸量 Litter respiration (gC/(m ² ·d))	0.73	0.33	-0.61	-0.66	-0.66	-0.87

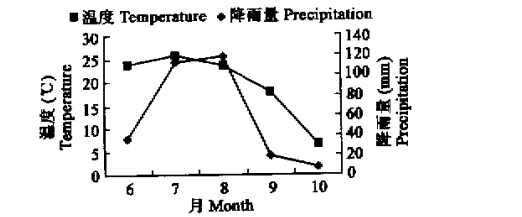


图 1 东北羊草草原月均温与降雨量的季节动态

Fig. 1 The seasonal dynamics of monthly mean temperature and rainfall amount in Northeast *Lymus chinensis* grassland

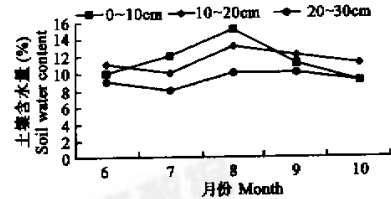


图 2 东北羊草草原土壤含水量季节动态

Fig. 2 The seasonal dynamics of soil water content in *Lymus chinensis* grassland

2.1.2 土壤呼吸与枯枝落叶分解速率的关系 土壤呼吸量实际上决定于土壤中微生物数量、生物量和活跃程度^[14]。在草原生态系统中,土壤微生物是最活跃的成分,枯枝落叶的分解主要靠土壤微生物来完成,其分解强度占枯枝落叶年损失率的 97%^[15]。枯枝落叶作为土壤微生物的主要营养源,微生物通过异化作用,将复杂的有机物分解,还原为简单的无机化合物,释放出能量,推动了生态系统能量流动和物质循环。

图 4 给出了土壤呼吸与枯枝落叶分解量的季节动态。土壤呼吸的季节变化同枯枝落叶分解量的季节变化同步,自 6 月份起,随着气温、降雨量和土壤水分含

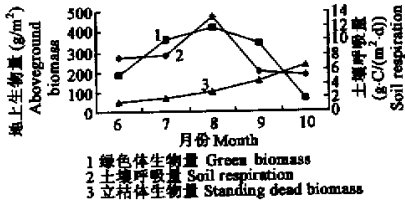


图 3 东北羊草草原土壤呼吸与地上生物量的季节动态

Fig. 3 The seasonal dynamics of soil respiration and aboveground biomass in *Lymus chinensis*

量的增加,土壤微生物的活动日益活跃,数量和种类不断增加^[16],土壤酶活性不断增强,枯枝落叶的分解量不断增加,到8月中旬达到峰值,然后随气温、降雨量和土壤水分含量的降低,土壤微生物的活动减弱,枯枝落叶的分解速率降低。枯枝落叶在微生物的作用下,将复杂的有机物分解为简单的无机物,其分解的主要终产物是CO₂,枯枝落叶能量的释放过程与分解过程是紧密联系的。

2.1.3 土壤呼吸与环境因子的关系 本研究对土壤呼吸量和土壤0~10cm、10~20cm、20~30cm水分含量、地温、pH、土壤孔隙度进行了相关分析,结果表明:土壤呼吸量同0~10cm水分含量相关最好($R^2=0.98$);同地温的相关较好($R^2=0.87$),与pH和孔隙度的相关性较低。

为了探讨土壤地表温度和土壤含水率对土壤呼吸的综合作用,对土壤呼吸量与土壤含水率及相应的地温进行了多元逐步回归,结果表明:羊草群落土壤呼吸量与土壤含水率(0~10cm)的偏相关系数达显著水平($R^2=0.92$, $P<0.05$),与地表温度的偏相关系数没有达到显著水平($P>0.05$)。羊草群落土壤呼吸与0~10cm土壤水分含量的线形回归模型的表示见图5。

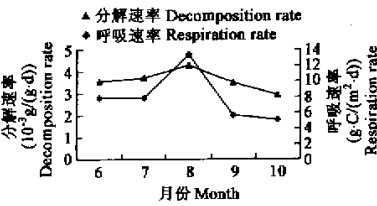


图4 东北羊草草原羊草分解速率与土壤呼吸的季节动态

Fig. 4 Seasonal dynamics of decomposition rate of *Lymus chinensis* and soil respiration

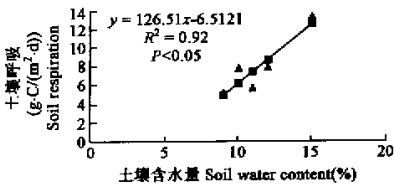


图5 羊草群落土壤呼吸与土壤0~10cm含水量的线形拟合

Fig. 5 Linear regression model of soil respiration and soil water content at 0~10 cm depth in *Lymus chinensis* community

从图5可以看出,实测值与模拟值相似较好。因而在草原植物正常生长的土壤水分范围内,可根据此模型结合土壤湿度来预测土壤呼吸。但影响土壤呼吸量的环境因子除了与温度和水分,及二者之间的配置状况有关以外,还与土壤理化状况(养分供应,质地等),土壤有机质中的C/N比等诸多因素的影响^[16,17]。本模型仅考虑了土壤呼吸与水分的作用,若为用于更精确地估计土壤呼吸,此模型尚待完善。

2.2 枯枝落叶分解释放CO₂的贡献量

2.2.1 枯枝落叶分解释放CO₂量的季节动态 从表1可以看出,羊草群落枯枝落叶分解释放CO₂量的季节变化呈逐渐下降趋势,其变化规律明显不同于土壤呼吸量的季节动态。在8、9、10月份枯枝落叶的分解量出现负增长。枯枝落叶分解释放CO₂量出现负值,一方面是由于地表的生态环境变化比较剧烈,温度较高,蒸发量大,枯枝落叶的持水量减少,不利于地面微生物的分解作用,因而枯枝落叶分解的相当缓慢;另一方面,枯枝落叶的覆盖,会降低土壤氧气含量,抑制土壤中好氧微生物的呼吸作用,因而当去除地表枯枝落叶的覆盖时,会大大地提高好氧微生物,尤其是好氧细菌的呼吸,使得因土壤呼吸向大气中释放的CO₂量高于覆盖有枯枝落叶的土壤呼吸的释放量,因而造成了枯枝落叶分解释放CO₂量出现负值。本研究表明,枯枝落叶具有减缓土壤向大气释放CO₂的趋势。

2.2.2 枯枝落叶分解释放CO₂量与环境因子的关系 将枯枝落叶分解释放CO₂量和土壤表层水分含量、地表温度、pH及现存地表枯枝落叶量进行了相关分析,结果表明枯枝落叶分解释放CO₂量同地表现存枯枝落叶量相关最好($R^2=0.98$);同地温、pH和水分含量的相关性较低。

现存地表枯枝落叶是地表土壤微生物的主要营养源,图6给出了枯枝落叶分解释放CO₂量与现存地表枯枝落叶量的季节动态。

由图6可以看出,自6月中旬起,随着降雨量增加,温度升高,微生物分解活动的增强,保留在地表的

枯枝落叶量逐渐减少,到8月中旬现存地表枯枝落叶量达到最低值,然后随降雨的减少,气温的降低,地上部死亡的加剧,以及微生物分解活动的减弱,枯枝落叶的积累量缓慢增加。枯枝落叶分解释放CO₂量与地表枯枝落叶积累量的季节变化同步。

对羊草群落枯枝落叶分解释放CO₂量与地表枯枝落叶积累量进行对数回归,结果表明,二者具有显著的相关性。其对数回归模型及拟和程度如图7所示。

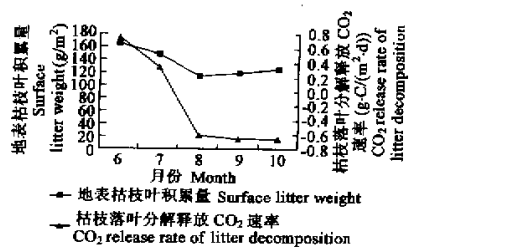


图6 羊草群落地表枯枝落叶积累量与枯枝落叶分解释放CO₂速率的季节动态

Fig.6 Seasonal dynamics of surface litter weight and CO₂ release rate of litter decomposition in *Lymus chinensis* community

3 讨论

本文探讨了松嫩草原羊草群落的土壤呼吸和枯枝落叶分解对CO₂排放量的贡献。陈四清等在1999年报道了内蒙古锡林河流域大针茅草原凋落物分解释放CO₂的月平均排放量为-0.07gC/(m²·d),并认为地表凋落物层有减缓土壤向大气排放CO₂的作用^[1]。本文通过对羊草群落枯枝落叶分解释放CO₂的季节动态分析,证实了陈四清等人的观点。

本文建立了土壤呼吸和土壤0~10cm水分含量的数学模型,结合全年的土壤水分资料或者找出年内降雨量动态与土壤水分之间的关系,就可得到羊草群落每年土壤CO₂的排放量,从而对草原生态系统对全球不断升高的CO₂浓度的贡献作出判断。

本文建立了枯枝落叶分解释放CO₂量与现存地表枯枝落叶积累量的数学模型,结合全年的地表枯枝落叶量,就可得出羊草群落每年因地表枯枝落叶的分解而释放的CO₂量,从而对枯枝落叶分解对全球CO₂浓度的贡献作出判断。

参考文献

[1] Chen Z X (陈佐忠). Preliminary measurement of decomposition rate of plants and house dung in grassland. *Study of Grassland Ecosystem* (in Chinese) (草原生态系统研究), 1982 (3): 103~106.

[2] Guo J X (郭继勋) ZHU T C (祝廷成). Study on litter decomposition in *Lymus chinensis* Grassland Decomposition rate and lost rate of dominant plants. *Acta Ecologica Sinica* (in Chinese) (生态学报), 1992, 12(4): 295~299.

[3] Guo J X (郭继勋) ZHU T C (祝廷成). Study on litter decomposition in *Lymus chinensis* Grassland—Relationship of litter decomposition to ecological environment. *Acta Ecologica Sinica* (in Chinese) (生态学报), 1993, 13(3): 214~218.

[4] Waksman S A and Gerretsen F C. Influence of temperature and moisture upon the nature and extent of decomposition of plant residues by microorganisms. *Ecology*, 1931, 12: 33~60.

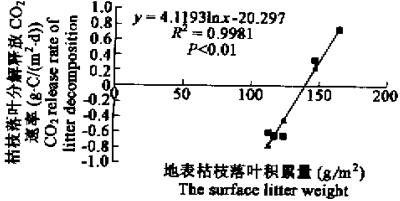


图7 羊草群落枯枝落叶分解释放CO₂速率与现存枯枝落叶量的线形拟和

Fig.7 Logarithmic regression model of CO₂ release rate of litter decomposition and standing litter weight in *Lymus chinensis* community

- [5] Yin C and Huang D. A model of litter decompositon and accumulation in grassland ecosystem. *Ecol Model* ,1996 **84** :75~80.
- [6] Guo J X(郭继勋), ZHU T C(祝廷成). Study on the litter accumulation in *Lymus chinensis* Grassland. *Acta Ecologica Sinica*(in Chinese)(生态学报),1994 , **14** (3):255~261.
- [7] Guo J X(郭继勋), ZHONG W Y(仲伟彦). Study on dynamics of main nutrient elements between plants and soil in *Lymus chinensis* Grassland. *Acta Phytoecol Sinica*(in Chinese)(植物生态学报),1994 , **18** (1):17~22.
- [8] Raich J W and Schlesinger W H. The global carbon dioxide flux in soil respiration and its relationship to vegetation and climate. *Tellus.* ,1992 , **44B** :81~99.
- [9] Sampson R N. Terrestrial biospheric carbon fluxes-quantification of sinks and sources of CO₂. *Water , Air and Soil Pollution* ,1993 , **70** :3~15.
- [10] Schlesinger W H. An overview of the carbon cycle. In :Lai R. *Soils and global change* ,CRC press , Boca Raton. , Florida ,1995. 9~25.
- [11] Chen S Q(陈四清). Study on the CO₂ release rate of soil respiration and litter decomposition in *Stipa grandis* Steppe in Xilin River Basin ,Inner Mongolia. *Acta Botanica Sinica*(in Chinese)(植物学报),1999 , **41** (6):645~650.
- [12] Anderson J P E. Soil respiration. In :Page L ed. *Methods of soil analysis , chemical and microbiological properties , American Soil Organic Carbon . Agron Mongogr* ,1982 , **92** :831~871.
- [13] Li L H(李凌浩), CHEN Z Z(陈佐忠). Soil respiration in grassland communities in the world. *Chinese Journal of Ecology*(in Chinese)(生态学杂志),1998 , **17** (4):45~51.
- [14] Ecosystem position research station of Inner Mongolia grassland of CAS(中国科学院内蒙古草原生态系统定位研究站). *Research on Grassland Ecosystem*(in Chinese),Beijing Science Press ,1988.
- [15] Ecosystem position research station of Inner Mongolia grassland of CAS(中国科学院内蒙古草原生态系统定位研究站). *Research on Grassland Ecosystem*(in Chinese),Beijing Science Press ,1992.
- [16] Guo J X(郭继勋). *Decomposer subsystem of Lymus chinensis Grassland*(in Chinese) ,Changchun :Jilin University Press ,1994.