ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica

第 34 卷 第 3 期 Vol.34 No.3 2014

中国生态学学会
中国科学院生态环境研究中心 主办
科学出版社 出版

中国科学院科学出版基金资助出版

生 态 学 报

(SHENGTAI XUEBAO)

第 34 卷 第 3 期　　2014 年 2 月　(半月刊)

目　　次

前沿理论与学科综述

灾后生态恢复评价研究进展 …… 刘孝富,王文杰,李　京,等 (527)

基于生态能量视角的我国小水电可持续性分析…… 庞明月,张力小,王长波 (537)

个体与基础生态

北部湾北部海域夏季微型浮游动物对浮游植物的摄食压力 …… 马　璐,曹文清,张文静,等 (546)

鲶鱼和胡子鲶的两性异形与雌性个体生育力 …… 樊晓丽,林植华,丁先龙,等 (555)

环境温度对白头鹎代谢产热和蒸发失水的影响 …… 林　琳,曹梦婷,胡益林,等 (564)

灌溉对沙拐枣幼苗生长及氮素利用的影响 …… 黄彩变,曾凡江,雷加强,等 (572)

PAHs 污染土壤植物修复对酶活性的影响 …… 朱　凡,洪湘琦,闫文德,等 (581)

基于修正 RISKE 模型的重庆岩溶地区地下水脆弱性评价 …… 魏兴萍,蒲俊兵,赵纯勇 (589)

排水沟蓄水条件下农田与排水沟水盐监测 …… 潘延鑫,罗　纨,贾忠华,等 (597)

种群、群落和生态系统

高寒退化草地不同海拔梯度狼毒种群分布格局及空间关联性…… 高福元,赵成章,卓马兰草 (605)

捕食者对空心莲子草叶甲种群的生物胁迫 …… 刘雨芳,李　菲,桂芳艳,等 (613)

夏、冬季南海北部浮游植物群落特征…… 马　威,孙　军 (621)

磨盘山天然次生林凋落物数量及动态 …… 范春楠,郭忠玲,郑金萍,等 (633)

持续干旱对樱桃根际土壤细菌数量及结构多样性影响 …… 刘方春,邢尚军,马海林,等 (642)

随机森林算法基本思想及其在生态学中的应用——以云南松分布模拟为例……
…… 张　雷,王琳琳,张旭东,等 (650)

基于水文平衡的湿地退化驱动因子定量研究 …… 侯　鹏,申文明,王　桥,等 (660)

华北低丘山地人工林蒸散的控制因子 …… 黄　辉,孟　平,张劲松,等 (667)

新疆天山高寒草原不同放牧管理下的 CO_2,CH_4和 N_2O 通量特征…… 贺桂香,李凯辉,宋　韦,等 (674)

景观、区域和全球生态

宁夏生态足迹影响因子的偏最小二乘回归分析 …… 马明德,马学娟,谢应忠,等 (682)

引黄灌区土壤有机碳密度剖面特征及固碳速率 …… 董林林,杨　浩,于东升,等 (690)

自养微生物同化 CO_2的分子生态研究及同化碳在土壤中的转化 …… 吴小红,简　燕,陈晓娟,等 (701)

资源与产业生态

基于能值分析法的矿区循环经济系统生态效率分析…… 孙玉峰, 郭全营 (710)

基于 AD-AS 模型的海岸带生态系统综合承载力评估——以舟山海岸带为例 …… 苏盼盼,叶属峰,过仲阳,等 (718)

城乡与社会生态

基于增强回归树和 Logistic 回归的城市扩展驱动力分析 …… 李春林,刘 淼,胡远满,等 (727)

研究简报

陕西省不同生态区大气氮素干湿沉降的时空变异 …… 梁 婷,同延安,林 文,等 (738)
不同覆盖方式对旱地果园水热特征的影响 …… 刘小勇,李红旭,李建明,等 (746)
长白山苔原带土壤动物群落结构及多样性…… 王振海,殷秀琴,蒋云峰 (755)
最大可允许填海面积模拟——厦门西海域案例研究 …… 林琛琛, 饶欢欢, 刘 岩,等 (766)

学术信息与动态

2013 年水文土壤学与自然资源可持续利用国际学术研讨会述评 …… 张 骁,赵文武 (774)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 252 * zh * P * ￥90.00 * 1510 * 29 * 2014-02

封面图说:云南松树冠——云南松为松科松属裸子植物,多生长在海拔 1000—3500m 的高山,喜光、耐干旱、耐瘠薄,适应酸性的红壤、黄壤,在其他树种不能生长的贫瘠石砾地或冲刷严重的荒山坡分布,易于天然更新。主要分布于四川西南部、云南、西藏东南部、贵州西部、广西西部,常形成大面积纯林,尤以云南分布最广,故有云南松之称。云南松树高可达 30m,胸径达 1m,树皮呈灰褐色,叶通常 3 针一束,鲜有两针,球果圆锥状卵圆形,种子近卵圆形或倒卵形。树干通直,木质轻软细密,是优质造纸、人造板原料,富含松脂是云南松的重要特点之一。

彩图及图说提供:陈建伟教授 北京林业大学 E-mail:cites.chenjw@163.com

DOI: 10.5846/stxb201209221338

贺桂香,李凯辉,宋韦,公延明,刘学军,胡玉昆,田长彦.新疆天山高寒草原不同放牧管理下的 CO_2,CH_4 和 N_2O 通量特征.生态学报,2014,34(3):674-681.

He G X, Li K H, Song W, Gong Y M, Liu X J, Hu Y K, Tian C Y.The fluxes of carbon dioxide, methane and nitrous oxide in alpine grassland of the Tianshan Mountains, Xinjiang.Acta Ecologica Sinica,2014,34(3):674-681.

新疆天山高寒草原不同放牧管理下的 CO_2,CH_4 和 N_2O 通量特征

贺桂香[1,2],李凯辉[1,2],宋 韦[1,2],公延明[1],刘学军[1,3,*],胡玉昆[1],田长彦[1]

(1. 中国科学院干旱区生物地理与生物资源重点实验室中国科学院新疆生态与地理研究所, 乌鲁木齐 830011;
2. 中国科学院大学, 北京 100049; 3.中国农业大学资源与环境学院, 北京 100193)

摘要:以中国科学院新疆巴音布鲁克草原生态站为依托,于 2010 年 5 月—2011 年 10 月利用静态箱-气相色谱法对短期禁牧(2005 年围封)、长期禁牧(1984 年围封)和自由放牧(冬季放牧)3 种草地的 CO_2、CH_4、N_2O 气体通量进行了野外连续试验研究。结果表明:新疆天山高寒草原对 CO_2,CH_4 和 N_2O 通量表现出明显的季节排放特点。在植物的生长季(5—10 月),新疆天山高寒短期禁牧、长期禁牧和自由放牧草原的 CO_2 通量平均值分别为:(89.8±49.3)、(52.8±28.7)、(57.0±30.7) $mg\cdot m^{-2}\cdot h^{-1}$,$CH_4$ 通量平均值分别为:(-66.3±21.3)、(-104.5±32.8)、(-103.0±39.0) $\mu g\cdot m^{-2}\cdot h^{-1}$,$N_2O$ 通量平均值分别为:(21.2±11.8)、(13.6±6.9)、(13.2±6.2) $\mu g\cdot m^{-2}\cdot h^{-1}$;短期禁牧草原与长期禁牧和自由放牧草原 CH_4 平均通量具有显著性差异($P<0.05$),但 CO_2 和 N_2O 差异不显著($P>0.05$)。在植物的非生长季(11 月—翌年 4 月),新疆天山高寒短期禁牧、长期禁牧以及自由放牧草原的 3 种温室气体的通量较低且差异均不显著。

关键词:天山;高寒草原;CO_2;CH_4;N_2O

The fluxes of carbon dioxide, methane and nitrous oxide in alpine grassland of the Tianshan Mountains, Xinjiang

HE Guixiang[1,2], LI Kaihui[1,2], SONG Wei[1,2], GONG Yanming[1], LIU Xuejun[1,3,*], HU Yukun[1], TIAN Changyan[1]

1 *Key Laboratory of Biogeography and Bioresource in Arid Land, Xinjiang Institute of Ecology and Geography, Chinese Academy of Sciences, Urumqi* 830011, *China*

2 *University of Chinese Academy of Sciences, Beijing* 100049, *China*

3 *College of Resources and Environmental Sciences, China Agricultural University, Beijing* 100193, *China*

Abstract: With growing concerns on impacts of human activities and global warming on Alpine grasslands, comprehensive understanding of the sources and sinks of greenhouse gases becomes increasingly more important. The understanding is closely related to the progress on biogeochemical cycles of carbon and nitrogen in terrestrial ecosystems. Carbon dioxide, methane and nitrous oxide are the three most important greenhouse gases, which are considered to account for 80% contribution to global warming potential. The alpine grassland of Xinjiang is a typical temperate arid region of grasslands. The study was conducted at the Bayinbuluk Grassland Eco-system Research Station, Chinese Academy of Sciences(83°43′E,42°54′N). Bayinbuluk alpine grassland is located in the southern Tianshan mountains. Xinjiang Uygur AutonoMous Region, central Asia and covers a total area of approximately 2.3×10^4 km^2. Bayinbuluk alpine grassland is the typical

基金项目:国家自然科学基金资助项目(41005001);国家重点基础研究发展计划(973)资助项目(2009CB825103);中国科学院百人计划资助项目(304) 资助

收稿日期:2012-09-22; **修订日期**:2013-06-21

* 通讯作者 Corresponding author.E-mail: liu310@cau.edu.cn

temperate arid alpine grassland, which is the second largest grassland of China after Inner Mongolia Grassland. As we all know, the grassland ecosystem has degenerated seriously and grazing prohibition is a frequently-used solution to prevent grass grassland degradation. While, it is still unknown that grazing prohibition impacts greenhouse gases fluxes in some degree. The study of carbon dioxide, methane and nitrous oxide of long-term grazing-prohibition grass(1984), short-term grazing-prohibition grass(2005) and free grazing grass in Bayinbuluk alpine grassland is meaningful, which will deepen our understanding of greenhouse gases fluxes in the alpine grassland ecosystem, help us assess global warming, parameterize Earth System models and get more comprehensive grasp of the impact of grazing prohibition on the grassland ecosystem.

Using opaque, static, manual stainless steel chambers and gas chromatography, the fluxes of carbon dioxide, methane and nitrous oxide of long-term grazing-prohibition grass, short-term grazing-prohibition grass and free grazing grass were measured through the continuous experiment in situ from May 2010 to October 2011(no sampling in January and February 2011 because of the very low temperatures, about −40℃). Four times per month during the growing season(from May to October) and twice per month during non-growing (from November to next year April) season at all sites. According to the results of field experiment, the alpine grassland of Xinjiang is the sources of carbon dioxide and nitrous oxide; it is the sinks of methane. In the growing season, CO_2 average fluxes of short-term grazing-prohibition, long-term grazing-prohibition and free grazing are (89.8±49.3),(52.8±28.7), (57.0±30.7) $mg\cdot m^{-2}\cdot h^{-1}$; CH_4 fluxes averaged out to (−66.3±21.3), (−104.5±32.8), (−103.0±39.0) $\mu g\cdot m^{-2}\cdot h^{-1}$; CH_4 fluxes averaged out to (21.2±11.8), (13.6±6.9), (13.2±6.2) $\mu g\cdot m^{-2}\cdot h^{-1}$. Our results indicated that: (1) Nitrous oxide fluxes showed a significant correlation with carbon dioxide fluxes in three kinds of grasslands. (2) In the growing season, the difference of greenhouse gases fluxes between long-term grazing-prohibition grass and free grazing grass were not significant, while short-term grazing-prohibition grass has higher fluxes of carbon dioxide and nitrous oxide and lower fluxes of methane. (3) In growing season, the fluxes of methane of short-term grazing-prohibition grass showed significant difference with long-term grazing-prohibition grass and free grazing grass. But the difference of growing-season average carbon dioxide and nitrous oxide fluxes did not reach the significance level of 0.05. (4) In non-growing season, no significant differences between the fluxes of carbon dioxide, methane and nitrous oxide were found in long-term grazing-prohibition grassland, short-term grazing-prohibition grassland and free grazing grassland.

Key Words: Tianshan Mountains; alpine grassland; carbon dioxide; methane; nitrous oxide

CO_2、CH_4和 N_2O 作为大气中最重要的 3 种温室气体,对温室效应的贡献率约为 80%[1],其吸收与排放是近年来温带草原研究的热点[2-4]。高寒草原是亚欧大陆的主要草原类型之一,不仅是主要的畜牧业发展区,而且在全球温室气体(CO_2、CH_4、N_2O)收支平衡中起着重要的作用[5]。新疆巴音布鲁克草原是我国最大的干旱区高寒草原之一,在温带高寒草原中具有代表性[6]。但我国目前有关草原温室气体排放的研究主要集中在内蒙古半干旱草原和青藏高原高寒草原,如:CO_2、CH_4、N_2O 通量的空间变异分析[7],增温、氮沉降、灌溉对内蒙古草原温室气体通量的影响[8-9]及放牧导致草原氧化亚氮的排放减少[10],氮沉降增加对温室气体通量的短期效应等[11],而对新疆高寒草原温室气体排放的研究较少[12]。

放牧是草原生态系统最主要的土地利用方式之一,但由于近年来对草原的过度利用,使得草地生态系统遭受了极严重的破坏。禁牧作为一种恢复草地生态系统服务价值的主要方式,得到了广泛的应用。但研究表明:禁牧在一定时间内可以提高草原物种多样性和生态系统服务功能,但长期禁牧不利于草原物种多样性和生态系统服务功能的提高和维持[13-14]。禁牧时间对温室气体排放的影响也是零星报道[15]。因此,开展短期禁牧、长期禁牧以及自由放牧条件下 CO_2、CH_4和 N_2O 的排放通量研究,将有利于了解新疆高寒草原主要温室气体通量的特征,对于准确估算草地生态系统与大气间的碳氮交换量,正确评价草原生态系统在全球碳氮循环中的地位和作用以及制定科

学合理的禁牧制度提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

中国科学院新疆巴音布鲁克草原生态研究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。地处天山南坡中段大尤尔都斯盆地西部,83°43′ E,42°54′N,海拔高度 2470m。大尤尔都斯盆地地貌类型复杂,整个地域东西长 270km,南北宽 136km,总面积为 2.3×10^4 km^2[11]。

研究站周围土壤为亚高山草原土,成土母质为黄土,表土干燥紧实。根据当地的气象数据(1980—1999 年),研究站的年平均气温为-4.8℃,最冷月(1 月)的平均温度为-27.4℃,最热月(7 月)的平均温度为 11.2℃。年平均风速 2.7m/s,年降水量平均 265.7mm,年蒸发潜力高达 1022.9—1247.5 mm,年日照 2466—2616h,全年积雪日达 150—180d,无绝对无霜期,属典型的高寒气候(生长季为 5 月—9 月,非生长季为 10 月—翌年 4 月)。所选样地围牧前均为自由放牧场,长期禁牧、短期禁牧样地分别于 1984 年、2005 年禁牧,围牧后为完全禁牧。

1.2 研究方法

气体利用静态暗箱法采样,采样箱体积为 50cm ×50cm ×10cm,采样频率为生长季每个月 4 次,非生长季为每个月 2 次(2011 年 1 月—2 月气温极低,约-40℃,没有进行采样)。采样时间均为北京时间 12:00—14:00。采样时选择地势较平坦的样方放置采样箱,观测时将采样箱放入已插入土壤 10cm 深处的不锈钢底座外缘四周的凹槽中,并用蒸馏水密封,每次观测设 4 个重复。采气持续时间为 30min,分别抽取盖箱后 0,15 和 30min 时的气体样品,每次采样时抽取观测箱内气体约 100mL 置于密封气袋中,用于气体浓度的分析。气体样品从野外采回后,气体浓度于 1 周内在实验室内利用 Agilent4890D 气相色谱仪进行分析。

数据分析采用 Excel 2007 进行统计分析,并用 Sigma Plot 10.0 作图。

1.3 通量计算

气体的通量表示单位时间单位面积观测箱内该气体质量的变化。一般正值表示气体从土壤排放到大气,负值表示土壤吸收大气中的该气体,用公式表示为:

$$F = \rho \cdot h \cdot \frac{dC}{dt} \cdot \frac{273}{273 + T}$$

式中,F 为 CO_2、CH_4 和 N_2O 排放通量(mg·m^{-2}·h^{-1},μg·m^{-2}·h^{-1} 和 μg·m^{-2}·h^{-1});ρ 为三者标准状态下的密度,$\rho = \frac{M}{V}$,M 为 3 种气体的摩尔质量(g/mol),V 是标准状态下气体的摩尔体积;h 是经过水层高度调整后采样箱顶部距水面的实际高度(m),$\frac{dC}{dt}$ 为采样过程中采样箱内 CO_2、CH_4 和 N_2O 的浓度变化率(mL·m^{-3}·h^{-1}或μL·m^{-3}·h^{-1}),即不同时间与箱内气体浓度变化的斜率,在 30min 内密闭观测箱内呈线性累积($P<0.05$)的浓度计算的排放通量为有效排放通量观测值,其它值视为无效数据;T 为采样时大气的平均温度(℃)。

2 结果与分析

2.1 CO_2排放通量

新疆巴音布鲁克高寒草原表现为大气 CO_2 的源。从图 1 可以看出:3 种不同放牧管理模式下的 CO_2 源的季节变化形式基本一致,但吸收强度有所差别。与短期禁牧相比,自由放牧很大程度上降低了土壤 CO_2 排放,但二者差异不显著($P>0.05$)。

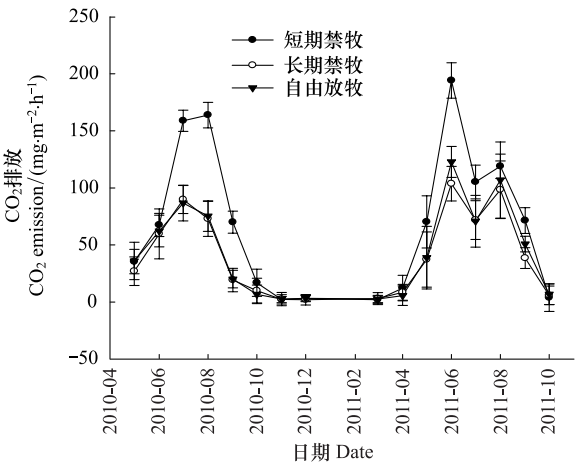

图 1 新疆天山高寒草原不同放牧强度下 CO_2 月平均通量值

Fig.1 CO_2 monthly average fluxes under different grazing degree in alpine grasslands of Tianshan mountains

3 种类型天然草原对 CO_2 排放的季节表现形式是以生长季为排放峰值的单峰曲线。2010 年生长季,短期禁牧,长期禁牧以及自由放牧草原的 CO_2 排

放的峰值分别为: 163.8,89.8 和 86.7mg·m^{-2}·h^{-1}。2011 年生长季,三者的 CO_2 排放的峰值分别为:194.1,103.7 和 122.8mg·m^{-2}·h^{-1}。而非生长季 CO_2 的排放量很低,短期禁牧,长期禁牧以及自由放牧草原 CO_2 的排放范围分别为:2.0—16.9 mg·m^{-2}·h^{-1},2.0—10.0 mg·m^{-2}·h^{-1},2.6—6.7 mg·m^{-2}·h^{-1}。

2.2　CH_4吸收通量

图 2 表明了 CH_4地气交换在植物生长季和非生长季(包括春季融化阶段)的变化特点,在植物的生长季和非生长季,新疆天山高寒草原对 CH_4的作用表现为吸收。从表 1 可以看出:长期禁牧与自由放牧对 CH_4的吸收具有高度一致的季节变化形式与吸收强度,短期禁牧与长期禁牧以及自由放牧的 CH_4 吸收强度均具有显著性差异(P<0.05),但表现出较大的年际波动。

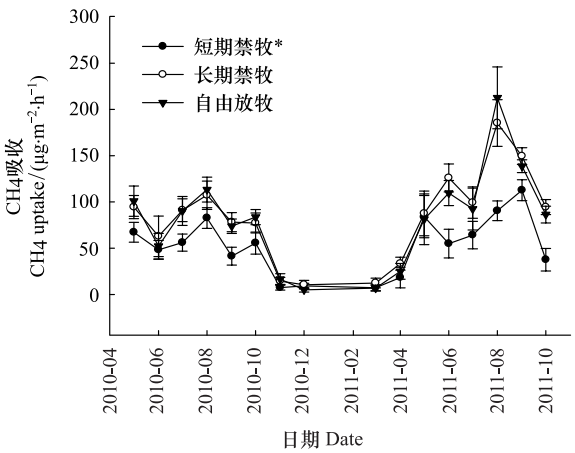

图 2　新疆天山高寒草原不同放牧强度下 CH_4月平均通量值

Fig.2　CH_4monthly average fluxes under different grazing degree in alpine grasslands of Tianshan mountains

* 表示达到了 0.05 的显著性水平

3 种类型天然草原对 CH_4排放的季节表现形式为以生长季为吸收峰值的单峰曲线。2010 年生长季,短期禁牧、长期禁牧以及自由放牧的 CH_4吸收峰值分别为:82.7,107.3 和 113.4μg·m^{-2}·h^{-1};2011 年生长季,短期禁牧,长期禁牧以及自由放牧的 CH_4吸收峰值为别为:90.5,185.3 和 212.6μg·m^{-2}·h^{-1}。而非生长季 CH_4的吸收值较低,短期禁牧,长期禁牧以及自由放牧草原对 CH_4的吸收范围分别为: 7.3—18.3 μg·m^{-2}·h^{-1},10.6—33.3 μg·m^{-2}·h^{-1},5.0—25.0 μg·m^{-2}·h^{-1}。

2.3　N_2O 排放通量

新疆天山高寒草原是 N_2O 的源(图 3),短期禁牧、长期禁牧以及自由放牧的季节变化形式基本一致。从排放强度来说,长期禁牧与自由禁牧对 N_2O 排放的强度基本相同,短期禁牧对 N_2O 排放的强度大于长期禁牧与自由放牧,但均不显著(P<0.05)。

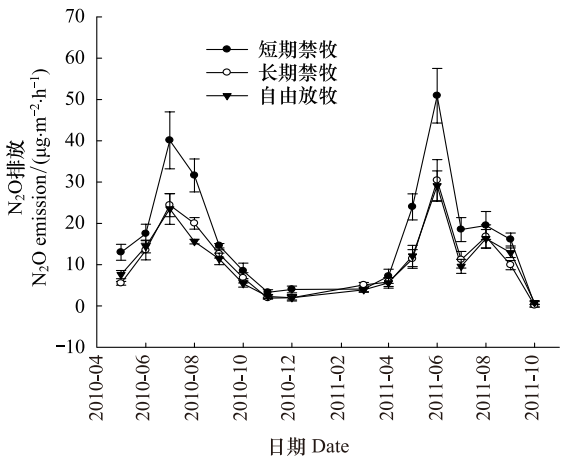

图 3　新疆天山高寒草原不同放牧强度下 N_2O 月平均通量值

Fig.3　N_2O monthly average fluxes under different grazing degree in alpine grasslands of Tianshan mountains

3 种类型天然草原对 N_2O 排放的季节表现形式为以生长季为吸收峰值的单峰曲线。2010 年生长季,短期禁牧,长期禁牧以及自由放牧的 N_2O 排放峰值分别为:40.1,24.4 和 23.5μg·m^{-2}·h^{-1};2011 年生长季,短期禁牧,长期禁牧以及自由放牧的 N_2O 排放峰值为别为:19.5,16.8 和 16.3μg·m^{-2}·h^{-1}。而非生长季 N_2O 的排放量很低,短期禁牧,长期禁牧以及自由放牧草原 N_2O 的排放范围分别为:4—8.5 μg·m^{-2}·h^{-1},2—6.8 μg·m^{-2}·h^{-1},2—5.6 μg·m^{-2}·h^{-1}。

2.4　新疆天山高寒草原 CO_2、CH_4和 N_2O 通量季节变化

新疆天山高寒草原 CO_2、CH_4和 N_2O 通量具有明显的季节变化形式,生长季通量显著大于非生长季。CH_4的季节变化规律特征不如 CO_2、N_2O 明显。研究区温室气体的源/汇通量主要集中在生长季,非生长季通量在全年占的比重很小。CO_2、CH_4和 N_2O 季节通量比重存在较大差异,但相同气体在不同类型草原季节通量比重差异较小(表 1)。

3　讨论

3.1　CO_2的通量特点及影响因素

草原生态系统的温室气体通量取决于大气环境条件(主要是气温、降水量等)、群落的生物量(地

上、地下）以及土壤性质(结构、含水量等)和土壤微生物过程等,上述因子的差异及其变化决定着草原温室气体通量值的大小及其季节变化特征。

表 1 新疆天山高寒草原不同放牧强度下生长季与非生长季 CO_2, CH_4和 N_2O 通量比例

Table 1 Seasonal proportion compare of CO_2, CH_4 and N_2O emission under different grazing degree in alpine grasslands of Tianshan mountains

放牧程度 Degree of grazing	生长季 Growing season			非生长季 Non-growing season		
	CO_2/%	CH_4/%	N_2O/%	CO_2/%	CH_4/%	N_2O/%
短期禁牧(Mean±SE) Short-term grazing-prohibition	95.8±11.6	86.1±3.6	81.1±7.9	4.2±0.8	13.9±1.1	18.9±0.9
长期禁牧(Mean±SE) Long-term grazing-prohibition	93.7±10.8	85.4±1.6	81.2±7.2	6.3±0.9	14.6±1.6	18.8±1.7
自由放牧(Mean±SE) Free grazing	94.3±10.5	89.0±1.5	79.8±6.6	5.7±0.2	11.0±1.5	20.2±1.4

与自由放牧相比,短期禁牧促进了 CO_2排放。这可能是由于生长季植物根系呼吸占土壤总呼吸比重较大,而放牧使群落地下生物量降低所致[16]。此外,根系分泌物可以促进土壤微生物呼吸[17],而放牧降低地下生物量的同时,也减少了根系分泌物的产生,从而使放牧样地土壤呼吸速率小于封育样地。与长期禁牧相比,短期禁牧促进了 CO_2排放。这是因为长期禁牧在降低物种多样性的同时,会降低土壤微生物的活动,改变土壤的水分和温度情况,导致与短期禁牧在温室气体排放方面的差异[14]。“中度干扰假说”认为:中等干扰程度能使多样性维持最高水平,它允许更多的物种入侵和定居[18-19]。在本研究中,自由放牧可以看成干扰强度较高的植物群落,短期禁牧可以看成干扰强度中等的植物群落,长期禁牧可以看成是干扰强度较低的群落。因此,造成了短期禁牧草原 CO_2排放量大于长期禁牧和自由放牧。

新疆巴音布鲁克短期禁牧草原 2011 年 7、8、9 月的 CO_2排放平均值为(130.9±43.1) $mg \cdot m^{-2} \cdot h^{-1}$,与同为高寒草原的其它生态系统相比。其同期的 CO_2排放平均值具有如下规律:黄河源区高寒草甸(460.4 $mg \cdot m^{-2} \cdot h^{-1}$)[20]>青藏高原海北高寒草甸((240.0±60.0) $mg \cdot m^{-2} \cdot h^{-1}$)[21]> 青藏高原纳木错高寒草原(208.2 $mg \cdot m^{-2} \cdot h^{-1}$)[22]>新疆巴音布鲁克高寒草原((130.9±43.1) $mg \cdot m^{-2} \cdot h^{-1}$)。从各高寒草原的降水量和年均温来分析,各高寒草原的年降水量具有如下规律:海北(580mm)>黄河源区(528mm)>纳木错(280mm)>巴音布鲁克(265.7mm);4 种类型高寒草原的年均温相差不大,为:纳木错(0.0℃)>海北(-1.7℃)>黄河源区(-3.9℃)>巴音布鲁克(-4.8℃)。从以上规律可以看出,生态系统的水热条件在很大程度上决定了生态系统的 CO_2排放水平;但由于各生态系统地理跨度大,土壤性质和气候特点具有一定的差异,因此,其 CO_2排放水平和生态系统的水热条件不能实现完全一致。

3.2 CH_4的通量特点及影响因素

适度放牧能促进草原土壤对甲烷的吸收[23]。在本研究中,与短期禁牧相比,自由放牧促进了土壤对 CH_4的吸收。这可能是因为短期禁牧改变了自由放牧土壤理化性质,使土壤的紧实度降低,土壤紧实度影响着土壤持水能力的变化,而土壤持水能力的变化又影响着土壤湿度的变化。有研究表明,土壤的甲烷通量是由土壤的水分特征决定的,亚高山草原 CH_4的吸收与土壤含水量具有显著的负相关关系[24]。因此认为,短期禁牧因为没有牲畜践踏造成了较低的土壤紧实度,使得土壤的持水导水能力得到提高,所以才导致了短期禁牧对 CH_4的吸收低于自由放牧。长期禁牧与短期禁牧相比,积累了更多的地上生物量和凋落物[13]。过多的凋落物会在土层表面形成一个疏水层,阻止水分下渗,造成土壤含水量的降低。较低的土壤水分含量,使得土壤孔隙中的氧气含量增加。氧气浓度的升高会促进甲烷氧化菌的活性[25],促进对 CH_4的吸收。所以与短期禁牧相比,长期禁牧对 CH_4较高的吸收值。

新疆巴音布鲁克短期禁牧草原 2011 年 7、8、9 月的 CH_4吸收强度平均值为 0.089±0.020 $mg \cdot m^{-2} \cdot h^{-1}$。其他高寒草地生态系统 CH_4吸收强度表现出与 CO_2相同的规律:黄河源区(-0.028 $mg \cdot m^{-2} \cdot h^{-1}$)[20]>

海北(-0.037mg·m^{-2}·h^{-1})[26]>纳木错(-0.047mg·m^{-2}·h^{-1})[22]>巴音布鲁克((-0.089±0.020) mg·m^{-2}·h^{-1})。与其他 3 个地区相比,巴音布鲁克高寒草原具有较高的 CH_4吸收强度。因此进一步说明,除降水量和年均温等气候要素外,土壤、地形以及植被等因素共同决定了生态系统 CH_4源汇强度。

3.3　N_2O 的通量特点及影响因素

3 种类型草原 N_2O 通量都表现出明显的季节排放特点。与短期禁牧相比,长期禁牧和自由放牧抑制了土壤 N_2O 的排放。土壤微生物的硝化和反硝化作用是土壤中 N_2O 产生的主要过程[27],土壤含水量较低时,N_2O 主要来自硝化过程;反之,N_2O 主要来自反硝化过程[28]。在植物的生长季,土壤总硝化、反硝化和土壤 N_2O 释放率的变化趋势保持一致[29]。所以,决定土壤 N_2O 释放率的是土壤的硝化和反硝化过程。在其他条件稳定的情况下,土壤温度和水分是调控土壤硝化和反硝化速率最主要的影响因子[30-31]。长期禁牧和自由放牧因为与短期禁牧相比具有更低的土壤水分含量,使得土壤微生物的活性和代谢速率降低,另外,土壤微粒的物理吸附作用尤其是在水分较少的情况下也可能会吸收外界少量的 N_2O[32];而且,土壤紧实度也会影响土壤中产生的 N_2O 能否及时排放,而这会显著影响 N_2O 的排放通量[33]。这些原因共同导致了与短期禁牧相比,长期禁牧和自由放牧较低的 N_2O 的排放。

新疆巴音布鲁克短期禁牧草原 2011 年 7、8、9 月的 N_2O 吸收强度平均值为 29.6±15.0 μg·m^{-2}·h^{-1}。与其它地区高寒草地生态系统相比,N_2O 排放规律特点如下:海北((30.2±2.8) μg·m^{-2}·h^{-1})[34]>巴音布鲁克((29.6±15.0) μg·m^{-2}·h^{-1})>纳木错(0.487μg·m^{-2}·h^{-1})[22]。纳木错高寒草原 N_2O 排放通量明显小于海北和巴音布鲁克,这可能是因为纳木错地区土壤湿度情况变化较快,N_2O 吸收与排放交替出现,造成纳木错高寒草原 N_2O 通量较低[22]。

4　结论

(1)通过静态箱-气象色谱法的观测结果,新疆天山高寒草原对 N_2O 表现为排放,对 CH_4表现为吸收,其通量都具有明显的季节排放特点。新疆巴音布鲁克草原的 3 种放牧类型(长期禁牧、短期禁牧、自由放牧)草原的三种气体的季节变化形式基本相同,都是以生长季为峰值的单峰曲线。夏季 6、7 和 8 月出现气体通量的高峰值,而在整个非生长季(2010 年 10 月—2011 年 4 月)草原对 3 种气体通量较低。

(2)对于新疆巴音布鲁克草原的 3 种放牧类型(长期禁牧、短期禁牧、自由放牧)草原,在植物生长季和非生长季,长期禁牧和自由放牧的通量强度基本一致,短期禁牧草原的 CO_2和 N_2O 排放强度大于长期禁牧与自由放牧,但均不显著,CH_4吸收强度显著低于长期禁牧和自由放牧草原。

(3)对于新疆巴音布鲁克草原的 3 种放牧类型(长期禁牧、短期禁牧、自由放牧)草原,在植物的生长季,草原的温室气体通量有较大的年际波动,但年际差异一般也是改变通量的大小,而对季节变化形式无显著影响。在植物的非生长季,由于 CO_2、CH_4和 N_2O 在 3 种类型草原的通量强度都很小,其 3 种类型草原的通量在排放强度和季节变化上均相差不大。

References:

[1] Zhang Y M, Hu C S, Zhang J B, Dong W X, Wang Y Y, Song L N. Research advances on source/sink intensities and greenhouse effects of CO_2, CH_4 and N_2O in agricultural soils. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2011, 19(4): 966-975.

[2] Galbally I, Meyer C P, Wang Y P, Kirstine W. Soil-atmosphere exchange of CH_4, CO, N_2O and NO_x and the effects of land-use change in the semiarid Mallee system in Southeastern Australia. Global Change Biology, 2010, 16(9): 2407-2419.

[3] Li K H, Gong Y M, Song W, He G X, Hu Y K, Tian C Y, Liu X J. Responses of CH_4, CO_2 and N_2O fluxes to increasing nitrogen deposition in alpine grassland of the Tianshan Mountains. Chemosphere, 2012, 88: 140-143.

[4] Xu Y Q, Wan S Q, Cheng W X, Li L H. Impacts of grazing intensity on denitrification and N_2O production in a semi-arid grassland ecosystem. Biogeochemistry, 2008, 88: 103-115.

[5] Philipp S, Benjamin W, Dickhöfer U, Martin W, Chen W W, Wan H W, Martin G, Klaus B B. Grazing effects on the greenhouse gas balance of a temperate steppe ecosystem. Nutr Cycl Agroecosyst, 2012, 93:357-371.

[6] Hu Y K, Gao G G, Li K H, Gong Y M, Yin W, Wang J Y, Chen A L. The succession of plant communities in alpine grasslands in different ages of enclosing. Journal of Glaciology and Geocryology, 2009, 31(6): 1186-1193.

[7] Yao Z S, Benjamin W, Chen W W, Klaus B B, Nicolas B, Martin W, Michael D, Benjamin B, Zheng X H. Spatial variability of N_2O, CH_4 and CO_2 fluxes within the Xilin River

catchment of Inner Mongolia, China: a soil core study. Plant and Soil, 2010, 331: 341-359.

[8] Wang Z W, Hao X Y, Shan D, Han G D, Zhao M L, Walter D W, Wang Z, Han X. Influence of increasing temperature and nitrogen input on greenhouse gas emissions from a desert steppe soil in Inner Mongolia. Soil Science and Plant Nutrition, 2011, 57: 508-518.

[9] Liu C Y, Holst J, Brueggemann N, Klaus B B, Yao Z S, Han S H, Han X G, Zheng X H. Effects of irrigation on nitrous oxide, methane and carbon dioxide fluxes in an inner Mongolian steppe. Plant and Soil, 2008, 308: 105-117.

[10] Benjamin W, Zheng X H, Nicolas B, Chen W W, Michael D, Han X G, Mark A S, Hong H, Yao Z S, Klaus B B. Grazing-induced reduction of natural nitrous oxide release from continental steppe. Nature, 2010, 464(7290): 881-884.

[11] Jiang C M, Yu G R, Fang H J, Cao G M, Li Y N. Short-term effect of increasing nitrogen deposition on CO_2, CH_4 and N_2O fluxes in an alpine meadow on the Qinghai-Tibetan Plateau, China. Atmospheric Environment, 2010, 44: 2920-2926.

[12] Li K H, Gong Y M, Song W, Lv J L, Chang Y H, Hu Y K, Tian C Y, Peter C, Liu X J. No significant nitrous oxide emissions during spring thaw under grazing and nitrogen addition in an alpine grassland. Global Change Biology, 2012, 18: 2546-2554.

[13] Xu Q, Xu Z Q, Wang Y S. Evaluation on the impact of non-grazing on the services of typical steppe ecosystems. Pratacultural Science, 2012, 29(3): 364-369.

[14] Xu Z Q, Li W H, Xu Q, Min Q W, Wang Y S, He X S. Effects of grazing-prohibition on species biodiversity of typical steppe in Xilinguole. Chinese Journal of Ecology, 2008, 27(8): 1307-1312.

[15] Holst J, Liu C, Yao Z, Brüggemann N, Zheng X, Giese M, Butterbach B K. Fluxes of nitrous oxide, methane and carbon dioxide during freezing-thawing cycles in an Inner Mongolian steppe. Plant and Soil, 2008, 308: 105-117.

[16] Wang S Q, Han X Z, Qiao Y F. Allelopathy of root exudates and their effects on rhizosphere microorganism. Chinese Journal of Soil Science, 2007, 38(6): 1219-1226.

[17] Connell J H. Diversity in tropical rain forests and coral reefs. Science, 1978, 199: 1302-1310.

[18] Du N, Wang Q, Guo W H. Ecological characteristics of typical plant communities in Kunyu Mountain. Chinese Journal of Ecology, 2007, 26(2): 151-158.

[19] Cui L J, Zhao X S, Zhang Y, Zhang Y, Zhang M Y, Li W, Wang Y F, Li S N. Theories and strategies of degraded wetland ecosystem restoration. World Forestry Research, 2011, 24(2): 1-4.

[20] Kong Z. Research of CO_2、CH_4 emission characteristics of "black soil patch" degraded alpine meadow. Lanzhou: Gansu Agricultural University, 2007: 33-35.

[21] Zhang F W, Liu A H, Li Y N, Zhao L, Wang Q X, Du M Y. CO_2 flux in alpine wetland ecosystem on the Qinghai-Tibet an Plateau, China. Acta Ecologica Sinica, 2008, 28(2): 453-462.

[22] Wei D, Xu R, Wang Y H, Yao C D. CH_4, N_2O and CO_2 fluxes and correlation with environmental factors of alpine steppe grassland in Nam Co Region of Tibetan Plateau. Chinese Journal of Grassland, 2011, 19(3): 413-419.

[23] Chen W W, Benjamin W, Zheng X H, Yao Z S, Klaus B B, Nicolas B, Liu Y, Han S H, Han X G. Annual methane uptake by temperate semiarid steppes as regulated by stocking rates, above ground plant biomass and topsoil air permeability. Global Change Biology, 2011, 17: 2803-2816.

[24] Sofie S, Rosa L, Àngela R, Ana Y S, Sebastià M T. Temperature and moisture controls of C fluxes in grazed subalpine grasslands. Arctic, Antarctic, and Alpine Research, 2012, 44(2): 239-246.

[25] Zheng Y, Yang W, Sun X, Wang S P, Rui Y C, Luo C Y, Guo L D. Methanotrophic community structure and activity under warming and grazing of alpine meadow On the Tibetan Plateau. Appl Microbiol Biotechnol, 2012, 93: 2193-2203.

[26] Wang S P, Yang X X, Lin X W, Hu Y G, Luo C Y, Xu G P, Zhang Z H, Su A L, Chang X F, Chao Z G, Duan J C. Methane emission by plant communities in an alpine meadow on the Qinghai- Tibet an Plateau: a new experimental study of alpine meadows and oat pasture. Biology Letters, 2009, 5: 535-538.

[27] Qin P, Qi Y C, Dong Y S. Soil nitrous oxide emissions from a typical semiarid temperate steppe in inner Mongolia: effects of mineral nitrogen fertilizer levels and forms. Plant Soil, 2011, 342: 345-357.

[28] Wolf I R. Different path ways of formation of N_2O, N_2 and NO in black earth soil. Soil Biology and Biochemistry. 2000, 32: 229-239.

[29] Gao Y S, Luo P, Wu N. Seasonal dynamics of nitrification and denitrification in an alpine meadow soil based on the BaPS technique. Ecology and Environment, 2008, 17(1): 384-387.

[30] Lu X Y, Yan Y, Fan Ji H, Wang X D. Gross nitrification and denitrification in alpine grassland ecosystems on the Tibetan plateau. Arctic, Antarctic, and Alpine Research, 2012, 44(2): 188-196.

[31] Horváth L, Grosz B, Machon A, Tuba Z, Nagy Z, Czóbel S Z, Balogh J, Péli E, Fóti SZ, Weidinger T, Pintér K, Führer E. Estimation of nitrous oxide emission from Hungarian semi-arid sandy and loess grasslands; effect of soil parameters, grazing, irrigation and use of fertilizer. Agriculture, Ecosystems & Environment, 2010, 139: 255-263.

[32] Du R, Wang G C, Lu D R, Wan X W. The variation characters of N_2O and CH_4 fluxes in *Stipa grandis* Inner Mongolia. China Environmental Science, 2001, 21(4): 289-292.

[33] Sun Z Q, Hao Q J, Jiang C S, Wang D Y. Advances in the study of nitrous oxide production mechanism and its influencing factors

in agricultural soils. Chinese Journal of Soil Science, 2010, 41(6): 1524-1530.

[34] Du Y G, Cui Y G, Xu X L, Liang D Y, Long R J, Cao G M. Nitrous oxide emissions from two alpine meadows in the Qinghai-Tibetan Plateau. Plant and Soil, 2008, 311: 245- 254.

参考文献:

[1] 张玉铭, 胡春胜, 张佳宝, 董文旭, 王玉英, 宋利娜. 农田土壤主要温室气体(CO_2、CH_4、N_2O)的源/汇强度及其温室效应研究进展.中国生态农业学报, 2011, 19(4): 966-975.

[6] 胡玉昆, 高国刚, 李凯辉, 公延明, 尹伟, 王吉云, 陈爱莲. 巴音布鲁克草原不同围封年限高寒草地植物群落演替分析. 冰川冻土, 2009, 31(6): 1186-1193.

[13] 许晴, 许中旗, 王英舜. 禁牧对典型草原生态系统服务功能影响的价值评价. 草业科学, 2012, 29(3): 364-369.

[14] 许中旗, 李文华, 许晴, 闵庆文, 王英舜, 何旭生. 禁牧对锡林郭勒典型草原物种多样性的影响. 生态学杂志, 2008, 27(8): 1307-1312.

[16] 王树起, 韩晓增, 乔云发. 根系分泌物的化感作用及其对土壤微生物的影响. 土壤通报, 2007, 38(6): 1219-1226.

[18] 杜宁, 王琦, 郭卫华. 昆嵛山典型植物群落生态学特性. 生态学杂志, 2007, 26(2): 151-158.

[19] 崔丽娟, 赵欣胜, 张岩, 张曼胤, 李伟, 王义飞, 李胜男. 退化湿地生态系统恢复的相关理论问题. 世界林业研究, 2011, 24(2): 1-4.

[20] 孔郑. 黄河源区“黑土型”退化高寒草地 CO_2、CH_4排放特征研究. 兰州:甘肃农业大学, 2007: 33- 35.

[22] 魏达, 旭日, 王迎红,姚檀栋.青藏高原纳木错高寒草原温室气体通量及与环境因子关系研究.草地学报, 2011, 19(3): 413-419.

[29] 高永恒, 罗鹏, 吴宁. 基于 BaPS 技术的高山草甸土硝化和反硝化季节变化. 生态环境 2008, 17(1): 384-387.

[32] 杜睿, 王庚辰, 吕达仁, 万晓伟. 内蒙古大针茅草原的 N_2O 和 CH_4通量变化特征. 中国环境科学, 2001,21(4): 289-292.

[33] 孙志强, 郝庆菊, 江长胜, 王定勇. 农田土壤 N_2O 的产生机制及其影响因素研究进展. 土壤通报, 2010,41(6): 1524-1530.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol.34, No.3 Feb., 2014 (Semimonthly)

CONTENTS

Frontiers and Comprehensive Review

Research advances and prospects of post-disaster ecological restoration assessment ..... LIU Xiaofu, WANG Wenjie, LI Jing, et al (527)

The sustainability analysis of small hydropower plants in China based on ecological energetic accounting ..... PANG Mingyue, ZHANG Lixiao, WANG Changbo (537)

Autecology & Fundamentals

An ecological study on zooplankton in the northern Beibu Gulf V: the effects of microzooplankton grazing on phytoplankton in summer ..... MA Lu, CAO Wenqing, ZHANG Wenjing, et al (546)

Sexual size dimorphism and female individual fecundity of *Silurus asotus* and *Clarias fuscus* ..... FAN Xiaoli, LIN Zhihua, DING Xianlong, et al (555)

Effect of environmental temperature on thermogenesis and evaporative water loss in Chinese bulbuls (*Pycnonotus sinensis*) ..... LIN Lin, CAO Mengting, HU Yilin, et al (564)

Effects of irrigation on plant growth and nitrogen use characteristics of *Calligonum caput-medusae* Schrenk seedlings ..... HUANG Caibian, ZENG Fanjiang, LEI Jiaqiang, et al (572)

Enzymatic activity during phytoremediation of polycyclic aromatic hydrocarbon impacted soil ..... ZHU Fan, HONG Xiangqi, YAN Wende, et al (581)

Assessment of karst groundwater vulnerability in Chongqing based on revised RISKE model ..... WEI Xingping, PU Junbing, ZHAO Chunyong (589)

Monitoring salt and water dynamics in farmland and drainage ditch in a saline environment under reduced drainage intensity ..... PAN Yanxin, LUO Wan, JIA Zhonghua, et al (597)

Population, Community and Ecosystem

Spatial distribution and spatial association of *Stellera chamaejasme* population in the different altitude in in degraded alpine grassland ..... GAO Fuyuan, ZHAO Chengzhang, ZHUO MA Lancao (605)

Biotic stress of predators on population of alligator weed flea beetle, *Agasicles hygrophila* (Col.: Chrysomelidae) ..... LIU Yufang, LI Fei, GUI Fangyan, et al (613)

Characteristics of phytoplankton community in the northern South China Sea in summer and winter ..... MA Wei, SUN Jun (621)

The amount and dynamics of litterfall in the natural secondary forest in Mopan Mountain ..... FAN Chunnan, GUO Zhongling, ZHENG Jinping, et al (633)

Effects of continuous drought on soil bacteria populations and community diversity in sweet cherry rhizosphere ..... LIU Fangchun, XING Shangjun, MA Hailin, et al (642)

The basic principle of random forest and its applications in ecology: a case study of *Pinus yunnanensis* ..... ZHANG Lei, Wang Linlin, ZHANG Xudong, et al (650)

Quantitative analysis of driving factors for wetland degradation based on hydrology balance ..... HOU Peng, SHEN Wenming, WANG Qiao, et al (660)

Stomatal and environmental control on evapotranspiration in a plantation in the lower mountain areas of North China ..... HUANG Hui, MENG Ping, ZHANG Jinsong, et al (667)

The fluxes of carbon dioxide, methane and nitrous oxide in alpine grassland of the Tianshan Mountains, Xinjiang ..... HE Guixiang, LI Kaihui, SONG Wei, et al (674)

Landscape, Regional and Global Ecology

Analysis the relationship between ecological footprint (EF) of ningxia and influencing factors: Partial Least-Squares Regression (PLS) ..... MA Mingde, MA Xuejuan, XIE Yingzhong, et al (682)

Profile distribution patterns of soil organic carbon and the rate of carbon sequestration in Ningxia Irrigation Zone ..... DONG Linlin, YANG Hao, YU Dongsheng, et al (690)

Molecular mechanism on carbon dioxide assimilation of autotrophic microorganism and carbon translocation in agricultural soils ..... WU Xiaohong, JIAN Yan, CHEN Xiaojuan, et al (701)

Resource and Industrial Ecology

Ecological efficiency analysis of the circular economy system in mining area based on emergy analytic approach ..... SUN Yufeng, GUO Quanying (710)

Assessing synthetic carrying capacity based on AD-AS model: a case study in Coastal Zone, Zhoushan ..... SU Panpan, YE Shufeng, GUO Zhongyang, et al (718)

Urban, Rural and Social Ecology

Driving forces analysis of urban expansion based on boosted regression trees and Logistic regression ..... LI Chunlin, LIU Miao, HU Yuanman, et al (727)

Research Notes

Spatial-temporal variability of dry and wet deposition of atmospheric nitrogen in different ecological regions of Shaanxi ..... LIANG Ting, TONG Yan'an, LIN Wen, et al (738)

The effects of different mulching way on soil water thermal characteristics in pear orchard in the arid area ..... LIU Xiaoyong, LI Hongxun, LI Jianming, et al (746)

Structure and diversity of soil fauna communities in the tundra of the Changbai Mountains, China ..... WANG Zhenhai, YIN Xiuqin, JIANG Yunfeng (755)

Modeling the total allowable area for coastal reclamation: a case study of Xiamen, China ..... LIN Chenchen, RAO Huanhuan, LIU Yan, et al (766)

《生态学报》2014 年征订启事

《生态学报》是由中国科学技术协会主管,中国生态学学会、中国科学院生态环境研究中心主办的生态学高级专业学术期刊,创刊于 1981 年,报道生态学领域前沿理论和原始创新性研究成果。坚持“百花齐放,百家争鸣”的方针,依靠和团结广大生态学科研工作者,探索生态学奥秘,为生态学基础理论研究搭建交流平台,促进生态学研究深入发展,为我国培养和造就生态学科研人才和知识创新服务、为国民经济建设和发展服务。

《生态学报》主要报道生态学及各分支学科的重要基础理论和应用研究的原始创新性科研成果。特别欢迎能反映现代生态学发展方向的优秀综述性文章;研究简报;生态学新理论、新方法、新技术介绍;新书评价和学术、科研动态及开放实验室介绍等。

《生态学报》为半月刊,大 16 开本,280 页,国内定价 90 元/册,全年定价 2160 元。

国内邮发代号:82-7,国外邮发代号:M670

标准刊号:ISSN 1000-0933　　CN 11-2031/Q

全国各地邮局均可订阅,也可直接与编辑部联系购买。欢迎广大科技工作者、科研单位、高等院校、图书馆等订阅。

通讯地址: 100085 北京海淀区双清路 18 号　**电　　话**:(010)62941099; 62843362

E-mail: shengtaixuebao@ rcees.ac.cn　**网　　址**: www.ecologica.cn

编辑部主任　孔红梅　　**执行编辑**　刘天星　段　靖

生　态　学　报
(SHENGTAI　XUEBAO)
(半月刊　1981 年 3 月创刊)
第 34 卷　第 3 期　(2014 年 2 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 34　No. 3 (February, 2014)

编　　辑	《生态学报》编辑部 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085 电话:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@ rcees.ac.cn
主　　编	王如松
主　　管	中国科学技术协会
主　　办	中国生态学学会 中国科学院生态环境研究中心 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085
出　　版	科学出版社 地址:北京东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717
印　　刷	北京北林印刷厂
发　　行	科学出版社 地址:东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717 电话:(010)64034563 E-mail:journal@ cspg.net
订　　购	全国各地邮局
国外发行	中国国际图书贸易总公司 地址:北京 399 信箱 邮政编码:100044
广告经营许可证	京海工商广字第 8013 号

Edited by	Editorial board of ACTA ECOLOGICA SINICA Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China Tel:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@ rcees.ac.cn
Editor-in-chief	WANG Rusong
Supervised by	China Association for Science and Technology
Sponsored by	Ecological Society of China Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
Published by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
Printed by	Beijing Bei Lin Printing House, Beijing 100083, China
Distributed by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel:(010)64034563 E-mail:journal@ cspg.net
Domestic **Foreign**	All Local Post Offices in China China International Book Trading Corporation Add:P.O.Box 399 Beijing 100044, China

ISSN 1000-0933　CN 11-2031/Q　　国内外公开发行　　国内邮发代号 82-7　　国外发行代号 M670　　定价 90.00 元