

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第32卷 第15期 Vol.32 No.15 **2012**

中国生态学会
中国科学院生态环境研究中心
科学出版社

主办
出版



中国科学院科学出版基金资助出版

生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

第 32 卷 第 15 期

2012 年 8 月 (半月刊)

目 次

放牧对青藏高原东部两种典型高寒草地类型凋落物分解的影响.....	张艳博, 罗 鹏, 孙 庚, 等 (4605)
北京地区外来入侵植物分布特征及其影响因素.....	王苏铭, 张 楠, 于琳倩, 等 (4618)
温带混交林碳水通量模拟及其对冠层分层方式的响应——耦合的气孔导度-光合作用-能量平衡模型	施婷婷, 高玉芳, 袁凤辉, 等 (4630)
洞庭湖景观格局变化及其对水文调蓄功能的影响	刘 娜, 王克林, 段亚锋 (4641)
大辽河口水环境污染生态风险评估.....	于 格, 陈 静, 张学庆, 等 (4651)
标准化方法筛选参照点构建大型底栖动物生物完整性指数	渠晓东, 刘志刚, 张 远 (4661)
不同年龄段大连群体菲律宾蛤仔 EST-SSR 多样性	虞志飞, 闫喜武, 张跃环, 等 (4673)
基于地统计分析西印度洋黄鳍金枪鱼围网渔获量的空间异质性	杨晓明, 戴小杰, 朱国平 (4682)
广东罗坑自然保护区鳄蜥生境选择的季节性差异.....	武正军, 戴冬亮, 宁加佳, 等 (4691)
甘肃兴隆山森林演替过程中的土壤理化性质.....	魏 强, 凌 雷, 柴春山, 等 (4700)
短轮伐期毛白杨不同密度林分土壤有机碳和全氮动态.....	赵雪梅, 孙向阳, 康向阳, 等 (4714)
放牧对呼伦贝尔草地植物和土壤生态化学计量学特征的影响.....	丁小慧, 官 立, 王东波, 等 (4722)
UV-B 辐射增强对抗除草剂转基因水稻 CH ₄ 排放的影响	娄运生, 周文麟 (4731)
基于核磁共振波谱的盐芥盐胁迫代谢组学分析.....	王新宇, 王丽华, 于 萍, 等 (4737)
广西甘蔗根际高效联合固氮菌的筛选及鉴定.....	胡春锦, 林 丽, 史国英, 等 (4745)
不同稻蟹生产模式对土壤活性有机碳和酶活性的影响.....	安 辉, 刘鸣达, 王耀晶, 等 (4753)
大兴安岭火烧迹地恢复初期土壤微生物群落特征.....	白爱芹, 傅伯杰, 曲来叶, 等 (4762)
川西北冷杉林恢复过程中土壤动物群落动态.....	崔丽巍, 刘世荣, 刘兴良, 等 (4772)
内生真菌角担子菌 B6 对连作西瓜土壤尖孢镰刀菌的影响	肖 逸, 戴传超, 王兴祥, 等 (4784)
西江颗粒直链藻种群生态特征.....	王 超, 赖子尼, 李跃飞, 等 (4793)
大型人工湿地生态可持续性评价.....	张依然, 王仁卿, 张 建, 等 (4803)
孢粉、炭屑揭示的黔西高原 MIS3b 期间古植被、古气候演变	赵增友, 袁道先, 石胜强, 等 (4811)
树干径流对梭梭“肥岛”和“盐岛”效应的作用机制	李从娟, 雷加强, 徐新文, 等 (4819)
豆科作物-小麦轮作方式下旱地小麦花后干物质及养分累积、转移与产量的关系	杨 宁, 赵护兵, 王朝辉, 等 (4827)
一次陆源降雨污水引起血红哈卡藻赤潮的成因.....	刘义豪, 宋秀凯, 靳 洋, 等 (4836)
盐城国家级自然保护区景观格局变化及其驱动力.....	王艳芳, 沈永明 (4844)
城市屋顶绿化资源潜力评估及绿化策略分析——以深圳市福田区为例.....	邵天然, 李超骥, 曾 辉 (4852)
黄河三角洲区域生态经济系统动态耦合过程及趋势.....	王介勇, 吴建寨 (4861)
重庆市生态功能区蝴蝶多样性参数	李爱民, 邓合黎, 马 琦 (4869)
专论与综述	
干旱半干旱区不同环境因素对土壤呼吸影响研究进展.....	王新源, 李玉霖, 赵学勇, 等 (4890)
土壤呼吸的温度敏感性——全球变暖正负反馈的不确定因素.....	栾军伟, 刘世荣 (4902)
森林土壤甲烷吸收的主控因子及其对增氮的响应研究进展.....	程淑兰, 方华军, 于贵瑞, 等 (4914)
湖泊氮素氧化及脱氮过程研究进展	范俊楠, 赵建伟, 朱端卫 (4924)
研究简报	
刈割对人工湿地风车草生长及污水净化效果的影响.....	吕改云, 何怀东, 杨丹菁, 等 (4932)
学术信息与动态	
全球气候变化与粮食安全——2012 年 Planet Under Pressure 国际会议述评	安艺明, 赵文武 (4940)

期刊基本参数: CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 338 * zh * P * ¥ 70.00 * 1510 * 35 * 2012-08



封面图说: 水杉是中国特有种, 国家一级保护植物, 有植物王国“活化石”之称, 是 1946 年由中国的植物学家在湖北的利川磨刀溪发现的。水杉曾广泛分布于北半球, 第四纪冰期以后, 水杉属的其他种类全部灭绝, 水杉确在中国川、鄂、湘边境地带得以幸存, 成为旷世奇珍。水杉耐水, 适应力强, 生长极为迅速, 其树干通直挺拔, 高大秀颀, 树冠呈圆锥形, 姿态优美, 枝叶繁茂, 入秋后叶色金黄。自发现后被人们在中国南方广泛种植, 成为著名的绿化观赏植物, 现在中国水杉的子孙已遍及中国和世界 50 多个国家和地区。

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

DOI: 10.5846/stxb201105220671

张艳博, 罗鹏, 孙庚, 牟成香, 王志远, 吴宁, 罗光荣. 放牧对青藏高原东部两种典型高寒草地类型凋落物分解的影响. 生态学报, 2012, 32(15): 4605-4617.

Zhang Y B, Luo P, Sun G, Mou C X, Wang Z Y, Wu N, Luo G R. Effects of grazing on litter decomposition in two alpine meadow on the eastern Qinghai-Tibet Plateau. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(15): 4605-4617.

放牧对青藏高原东部两种典型高寒草地类型 凋落物分解的影响

张艳博^{1,2}, 罗 鹏^{1,*}, 孙 庚¹, 牟成香^{1,2}, 王志远^{1,2}, 吴 宁¹, 罗光荣³

(1. 中国科学院成都生物研究所 生态恢复重点实验室, 成都 610041;

2. 中国科学院研究生院, 北京 100049; 3. 四川省龙日种畜场, 阿坝 624401)

摘要:为认识放牧对青藏高原东部中生性的高寒草甸草地和半湿生的沼泽草地凋落物分解的影响,在这两种草地上分别设置了围栏和放牧样地,研究了其各自的混合凋落物样品和 4 个优势物种(发草 *Deschampsia caespitosa*、鹅绒委陵菜 *Potentilla anserina*、木里苔草 *Carex muliensis*、藏嵩草 *Kobresia tibetica*)凋落物的分解和养分释放动态,这 4 个优势物种也大致代表了当地沼泽草地生态系统在放牧和气候变暖驱动下逆行演替不同阶段的优势物种类群。结果表明,各优势物种凋落物的分解速率有显著差异;放牧在总体上促进了凋落物的分解,但不同物种的响应有所不同;放牧对凋落物 C 的释放影响不显著或有抑制作用,但对 N、P 的释放具有一定促进作用。对各优势物种凋落物分解和养分释放模式的分析表明,群落逆行演替过程中,凋落物分解和 C 释放加速,可能促进沼泽湿地退化的正反馈效应。草甸草地的退化标志物种鹅绒委陵菜具有较高的凋落物质量和分解速度,反映了中生条件下植物应对牲畜啃食采用“逃避”而非“抵抗”策略的趋向。

关键词:凋落物分解;放牧;高寒草甸;高寒沼泽;演替;青藏高原

Effects of grazing on litter decomposition in two alpine meadow on the eastern Qinghai-Tibet Plateau

ZHANG Yanbo^{1,2}, LUO Peng^{1,*}, SUN Geng¹, MOU Chengxiang^{1,2}, WANG Zhiyuan^{1,2}, WU Ning¹, LUO Guangrong³

1 Key Laboratory of Mountain Ecological Restoration and Bio-Resource Utilization, Chengdu Institute of Biology, Chinese Academy of Sciences, Chengdu 610041, China

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

3 Longri Pedigree Station of Sichuan, Aba 624401, China

Abstract: Litter decomposition is an important component of nutrient cycling and carbon decomposition in grassland ecosystems, and livestock grazing has been a major human intervention to these process. The effects of grazing on litter decomposition vary with climate environment conditions and grassland vegetation types. Alpine mesophytic meadow and alpine semi-hydric marsh meadow are the two rangeland ecosystems commonly seen on the eastern Qinghai-Tibet Plateau, which differentiate themselves by not only the physic/bio environments but also the plant species composition and therefore the litter qualities. In order to understand grazing effects on the litter decomposition of these two meadows, grazed and fenced plots were set respectively on the both meadows. The rates of decomposition and nutrient release were measured for the three littler samples (mesophytic meadow mixed litter, *Deschampsia caespitosa* litter, and *Potentilla anserina* litter)

基金项目:中国科学院“西部之光”优秀项目;西部博士资助项目;中国科学院战略性先导科技专项(XDA05050404);自然科学基金青年项目(31000233)

收稿日期:2011-05-22; 修订日期:2011-12-13

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: luopeng@cib.ac.cn

in the alpine mesophytic meadow plots, and three litter samples (semi-hydric marsh mixed litter, *Carex muliensis* litter, *Kobresia tibetica* litter) in the semi-hydric marsh meadow plots. The four species generally also represented the dominant species showing respectively in the reverse succession series driven by grazing and climate warming. It was found that there were significant differences in litter decompositions for the dominant species. In alpine mesophytic meadow, *Potentilla anserine* decomposed faster than *Deschampsia caespitosa*, while in alpine semi-hydric meadow *Kobresia tibetica* decomposed more quickly. Grazing accelerated the litter decomposition in general, but the responses varied with the species. On the other hand, *Deschampsia caespitosa* and *Carex muliensis* have lower decomposition rates in the grazed plots. Grazing has little effect on organic carbon decomposition and the release of C, but positively affected on the release of N and P from the litters. The patterns of litter decomposition and nutrient release of the dominant species suggested that there might exist a positive feedback effect in the alpine marsh meadow degradation due to the accelerating decomposition rate and C release along the reverse succession series. In addition, *Potentilla anserine*, a typical dominant species of degraded meadow, was found to have higher litter quality and faster decomposition rate than the other species, reflecting that in the mesophytic community, the plant adopted 'evasion strategy' rather than 'resistance strategy' in response to heavy grazing.

Key Words: litter decomposition; grazing; alpine meadow; alpine marsh; succession; Qinghai-Tibet Plateau

草地生态系统是陆地生态系统的重要组成部分,占世界陆地总面积的 20% 以上^[1],占我国陆地总面积的 40% 以上^[2]。草地凋落物分解不仅是陆地生态系统养分循环的一个重要组成部分,而且也是陆地生态系统碳过程中的一个极为重要的环节。陆地生态系统中约 90% 的净初级生产量以凋落物的形式归还给土壤,植物的生长发育很大程度依赖于植被归还给土壤的养分再循环。通过凋落物的分解,生态系统固定的碳和矿质养分得以重新排出系统或者回归土壤^[3],而凋落物分解的速率、强度和时间节律也在很大程度上决定(或影响)了生态系统的固碳速率、固碳潜力及动态^[4]。正因为如此,草地生态系统凋落物分解及动态机理不仅是草地生态系统动态机理研究中的一个重要问题,也是全球变化生态学研究中的一个重要问题。

已有研究表明,凋落物分解主要受三个方面因素的影响:物理环境因素(如土壤水分、温度)、凋落物质量(如凋落物物种和化学组成)、生物学因素(如土壤动物、微生物等)^[5-8]。有关这些因素对草地生态系统中凋落物分解的影响已多有研究,比如 Taylor 等^[9-10]用缩微控制实验的方法,研究了温度、湿度、土壤生物等因素对凋落物分解的影响;Hobbie^[11]研究了温度对阿拉斯加苔原凋落物分解速率的影响等这些研究为认识和理解草地生态系统分解和养分循环的影响因素和作用机理提供了重要的参考。

然而,在野外实际条件下,上述影响因素是相互交织在一起难以区分的,单独针对一个或几个影响因素的研究和讨论难以解释和预测实际草地管理和利用条件下草地凋落物分解的动态特征^[12-13]。放牧作为一种最为典型和普遍的草地利用方式,对上述三个方面因素发挥着综合性的影响。研究表明,在放牧特别是过度放牧条件下,随着草地植被盖度的下降,地表接受更多的太阳辐射,土壤温度上升,这可以致使凋落物分解的加快^[14-16]。然而在较为干旱的条件下,温度的上升也伴随着水分散失的加剧^[17],从而阻碍凋落物的分解。Willcock 等^[18]研究发现,水分不足会降低凋落物的分解速率,大于 20 °C 以及高湿度可以提高分解者的活动。过度放牧还可能导致土壤酶活性的降低以及土壤微生物生物量、微生物量 C 占全碳比例下降^[19],这些对凋落物的分解都可能造成负面的影响。放牧对草地凋落物分解的影响不仅在很大程度上受环境条件的制约,而且,对草地的放牧利用和管理,也通过对植物群落组成的改变,使凋落物自身的性质也发生变化,又反作用于凋落物的分解和养分的释放过程。由此可见,研究放牧对草地凋落物分解的影响,对于正确认识和理解草地养分循环以及碳的积累和分解过程都具有重要的意义,可加深人们对草地生态系统动态过程和机理的认识。

青藏高原分布着世界上面积最大的垂直地带性高寒草地生态系统,是我国的重要牧区,放牧对整个区域的草地生态系统过程产生着长期和深远的影响,草地退化的问题也十分突出^[20]。在其特殊的高寒环境条件下,这一地区在放牧条件下的凋落物分解,以及草地退化过程中的凋落物分解有何变化,目前对此的认识甚

少。近年来,随着草地保护日益受到重视,越来越多的现代管理措施也被引入到了这一传统游牧区,其中推广应用最为普遍的一项措施就是通过“退牧还草”等生态工程而推行的草地围栏封育和人工草地改良。目前尚不清楚这些措施是否也对草地凋落物分解产生了影响并进而影响到草地养分循环以及草地碳分解过程,但对这一问题的研究显然也是十分必要的。

本研究在位于青藏高原东部的若尔盖高原地区,选择当地两种典型的草地类型——高寒草甸草地和高寒沼泽草地,针对其相应的优势物种,在放牧和围栏(不放牧)条件下开展凋落物分解试验,试图回答如下两个问题:1)在青藏高原东部高寒和中生条件下,放牧对草地凋落物的分解速度有何影响?2)草地退化过程中几种典型优势物种凋落物分解有何差异?针对问题一,提出的假设是:放牧导致的地表温度上升有利于凋落物分解速度的提高,这种效应大于水分散失对凋落物分解的一直作用,因而放牧在总体上将提高凋落物分解速度并且这种效应对两种草地类型存在差异;对问题二的研究和回答将有助于认识和理解草地群落不同演替阶段的凋落物分解速率。通过对这两个问题的研究,不仅为认识放牧条件下高寒草地养分循环和影响因素提供科学依据,而且也为人利用和气候变化驱动下草地群落不同演替状态下碳积累和分解速率的评估提供依据。

1 材料与方法

1.1 研究区域概况

研究地点位于四川省西北部红原县距县城 54km 的四川省龙日种畜场境内。地理位置 102°21'E, 30°26'N, 海拔 3561m。气候属于大陆性高原温带季风气候。气候寒冷, 日温差较大, 没有绝对的无霜期。年平均温度 0.6—1.1℃, 年降水量 870—930 mm 左右, 全年降水多集中在 7 月和 9 月。高寒草甸草地优势物种主要有发草(*Deschampsia caespitosa*)、穗三毛(*Trisetum spicatum*)、鹅绒萎陵菜(*Potentilla anserina*)、高山蒿草(*Kobresia pygmaea*)、高山大戟(*Euphorbia stracheyi*)等, 其伴生种主要有垂穗披碱草(*Elymus nutans*)、矮地榆(*Sanguisorba officinalis*)、黄帚橐吾(*Ligularia virgaurea*)、高山龙胆(*Gentiana algida*)等; 研究区的高寒沼泽草地优势物种是木里苔草(*Carex muliensis*)、藏蒿草(*Kobresia tibetica*), 伴生种主要有高山龙胆(*Gentiana algida*)、驴蹄草(*Caltha palustris* L.)、矮地榆(*Sanguisorba officinalis*)、垂头菊(*Cremanthodium reniforme*)等。放牧牲畜为川西北高原典型放牧牲畜——麦洼牦牛。

1.2 研究方法

1.2.1 样地设置

在四川省龙日种畜场境内地势平坦之处, 选取有代表性的高寒草甸草地和沼泽草地, 分别设置围栏(禁牧)(NG)和放牧(G)两类样地。草甸草地围栏面积约 2 hm², 沼泽草地围栏面积约 3 hm²; 围栏样地于 2008 年开始围栏并禁牧, 在围栏外设置放牧样地, 为自然放牧, 放牧在夏秋季进行, 放牧强度大约为 0.5 hm²/头; 围栏样地和放牧样地均设置 6 个重复, 重复之间间隔 5m。

样地的基本环境特征表 1。总体而言, 在草甸草地中, 放牧样地的土壤含水量和土壤温度较围栏样地高; 沼泽草地中放牧样地的土壤含水量较围栏样地的低, 土壤温度较围栏样地高。

表 1 6 月—9 月围栏和放牧样地土壤温度和含水量

Table 1 Soil temperature and moisture from June to September in grazed and ungrazed sites

样地 Site	处理 Treatment	6—9 月土壤 平均含 水量/%	6—9 月土壤 5cm 深平均 温度/℃	土壤含水量 Soil moisture/%				土壤温度 Soil temperature/℃			
				6 月	7 月	8 月	9 月	6 月	7 月	8 月	9 月
草地	围栏(NG)	43.95	15.38	52.30	45.48	37.20	46.78	—	16.14	14.40	12.06
Low moisture meadow	放牧(DG)	47.02	17.37	52.30	51.51	40.98	44.44	—	18.57	16.50	13.23
湿地	围栏(NG)	93.31	16.98	99.93	99.95	81.41	91.27	—	18.57	16.06	12.32
High moisture meadow	放牧(DG)	91.53	17.97	99.20	98.21	77.72	90.73	—	19.38	17.31	13.50

1.2.2 凋落物袋设计

为比较不同孔径尼龙网袋对凋落物分解的影响,采用了3种尼龙网袋做了对比研究,分别为:(1)小孔袋,网袋上下面孔径均为0.55 mm;(2)大孔袋,网袋上下面孔径均为3.55 mm;(3)双面袋,网袋上面孔径3.55 mm,下面孔径0.55 mm。结果发现双面袋内凋落物的质量残留率介于大孔袋和小孔袋,更能反映凋落物分解的真实情况(待发表数据),因此本试验采用双面袋来研究放牧对凋落物分解的影响,网袋上面孔径为3.55 mm,下面孔径为0.55 mm,孔袋三面用尼龙线缝合,一面开口。有效面积为11 cm×11 cm。

1.2.3 凋落物的收集和处理

供试的凋落物样品为2009年10月人工采取。在草甸草地中,选取优势物种发草 *Deschampsia caespitosa*、鹅绒委陵菜 *Potentilla anserina*;在沼泽湿地中,选取优势物种木里苔草 *Carex muliensis*、藏嵩草 *Kobresia tibetica*。对上述物种,分别齐地面刈割。同时,采用对群落地上生物量的多点不分种采样并混样的方法,分别获取草甸草地和沼泽草地植物混合样品。将刈割获取的植物样品置于室外自然风干制成凋落物样品。草甸草地混合凋落物样品主要包含有发草、早熟禾、鹅绒委陵菜、华丽龙胆、矮地榆等,按烘干重计算,分别占总质量的29.3%、17.5%、28.2%、16.3和8.7%;沼泽草地混合凋落物样品中主要包含有木里苔草、藏嵩草等,按烘干重计算,分别占总质量的48.3%、32.5%。由此针对两类植物群落分别有3种凋落物样品,共计6种样品。每种凋落物的风干样品分别称取3g,装入尼龙网袋内,用钉书针把物种编号卡订在开口处,并把开口处订合。每凋落物样品装60个袋子。

于2009年11月把分装好的尼龙袋埋在地下深5—10cm处。在草甸草地样地埋入发草、鹅绒委陵菜和草甸草地混合样品;在沼泽草地样地中埋入木里苔草、藏嵩草和沼泽草地混合样品。埋的时候将双面袋的大孔面朝上,小孔面朝下。每个重复设置4排平行的样线,每次取样挖取1条样线内的袋子。样线间隔不需太大,以减少对草地的破坏面积,但又不能挨太紧,防止取样时其他样线的袋子遭到破坏。在埋入袋子后的第124天(3月上旬)、234天(6月上旬)、292天(8月上旬)和325天(9月下旬)取样,每次取样设6个重复。将取回的袋内凋落物在80℃烘箱内烘48h至恒重,称重。过0.25 mm筛测定分解后凋落物中的全碳、全氮、全磷含量。

1.2.4 测定指标

全碳的测定采用重铬酸钾氧化-外加热法;全氮测定在用半微量开氏法;全磷的测定采用氢氟酸-高氯酸消煮-钼锑抗比色法(GB7173—87)。

1.2.4 数据处理

凋落物质量残留率(RW)用公式 $RW = W_t / W_0 \cdot 100\%$ 计算,式中 RW 是凋落物质量残留率, W_t 是 t 时的凋落物干重, W_0 是凋落物的初始干重。凋落物质量损失率(LW)用公式 $LW = (W_1 - W_2) / W_1 \cdot 100\%$ 计算,式中 RW 是凋落物质量损失率, W_1 、 W_2 分别是 t_1 、 t_2 时的凋落物重量; t_1 、 t_2 分别是野外放置凋落物的时间和收回凋落物的时间。对干物质质量残留率变化用改进的 Olson 负指数衰减模型 $y = ae^{-kt}$ 进行拟合,式中 y 为干质量残留率(%), a 为拟合参数, k 为分解系数, t 为时间。养分含量残留率(R)用 $R = (C_t \times M_t) / (C_0 \times M_0) \times 100\%$ 计算,式中 C_t 为 t 时刻凋落物养分浓度(g/kg), M_t 为 t 时刻凋落物干物质质量(kg), C_0 为初始养分浓度(g/kg), M_0 为初始干质量(kg)。

围栏和放牧对同一种凋落物质量残留率和养分含量影响的差异采用成组资料方差分析,不同植物分解过程中的质量损失率和养分含量差异采用单因素方差分析。

2 结果与分析

2.1 不同凋落物的质量残留率及变化

由图1和表2可以看出,在草甸草地,围栏条件下发草凋落物的残留率分别与鹅绒委陵菜凋落物和草地混合样品的差异显著($F=30.15$, $P=0.0007$),但鹅绒委陵菜凋落物和草地混合样品之间的差异不显著。总的来说,围栏条件下发草的残留率大于鹅绒委陵菜和草地混合样品,分解较慢。放牧条件下有相同情况。

在沼泽草地上,围栏条件下木里苔草、藏嵩草和湿地混合的凋落物样品分解在前期观察不到明显差异(表2),但在后期(第325天)则显示显著差异($F=36.35, P=0.0004$),其残留率分别为69.17%、46.29%和54.16%。在放牧条件下,这一差异仍然存在(分别为63.66%、48.8%和50.55%),说明在沼泽湿地自然条件下,三种凋落物的分解是藏嵩草>湿地混合样品>木里苔草。

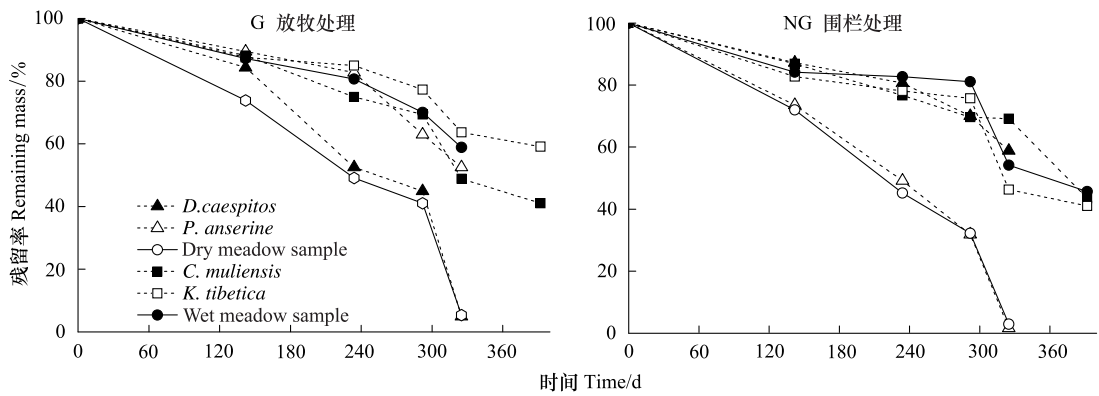


图1 围栏和放牧条件下不同凋落物的质量残留率

Fig.1 The remaining mass of litter in grazed and ungrazed sites

发草:*D. caespitos*; 鹅绒委陵菜:*P. anserine*; 草甸草地混合凋落物样品: Dry meadow sample; 木里苔草:*C. mullensis*; 藏嵩草:*K. tibetica*; 沼泽草地混合凋落物样品: Wet meadow sample

表2 围栏和放牧条件下不同凋落物样品残留率多重比较

Table 2 Multiple comparisons of litter mass losses for different litter samples in grazed and ungrazed sites

处理 Treatment	分解时间 Time/d									
	142		234		292		325		396	
	G	NG	G	NG	G	NG	G	NG	G	NG
草甸草地 Mesophytic meadow										
草甸草地混合 Mesophytic meadow mixed litter	a *	a	a	a	a	a	a	a	—	—
发草 <i>Deschampsia caespitos</i>	b *	b	b	b	b	b	b	b	—	—
鹅绒委陵菜 <i>Potentilla anserine</i>	b	a	a	a	a	a	a	a	—	—
沼泽草地 Semi-hydric marsh										
沼泽草地混合 Semi-hydric marsh mixed litter	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a
木里苔草 <i>Carex mullensis</i>	a	a	a	a	a	b	b	b	b	a
藏嵩草 <i>Kobresia tibetica</i>	a	a	a	a	a	ab	c *	c	c	a

* 字母代表3种凋落物样品的差异;G代表放牧处理;NG代表围栏处理

2.2 围栏和放牧条件下凋落物分解速率

总的来说,放牧加快了高寒草甸草地和高寒沼泽草地凋落物的分解,这可由草甸草地、沼泽草地混合样品及发草的分解系数和半分解时间反映出来(表3)。在草地样地中,围栏条件下草地混合群落和发草的分解系数低于放牧($P<0.05$),而鹅绒委陵菜则相反,围栏条件下其分解系数高于放牧($P<0.05$),半分解时间比放牧少了14.85%。在沼泽湿地中,围栏条件下湿地混合样品的凋落物分解系数低于放牧($P<0.05$),木里苔草的分解系数高于放牧($P<0.05$),半分解时间比放牧少了20.93%,藏嵩草的分解在围栏和放牧条件下差异不显著。

在草甸草地,围栏和放牧对凋落物分解时间产生的差异比沼泽草地的更大。围栏条件下草地混合群落和发草的半分解时间分别比放牧样地多了35.78%和31.59%,而围栏条件下湿地样地混合样品的半分解时间比放牧多了20.55%。

表3 放牧和围栏条件下凋落物分解系数 k 及半分解时间

Table 3 The Olson decomposition models of different kinds of litter samples under grazed and ungrazed treatments

凋落物样品 Litter samples	G			NG			分解时间差值 Decomposition time difference /%
	k ($\times 10^{-3} \text{ d}^{-1}$) *	r^2	半分解时间 1/2 decomposition time/a	k ($\times 10^{-3} \text{ d}^{-1}$) *	r^2	半分解时间 1/2 decomposition time/a	
草甸草地 Mesophytic meadow							
草甸草地混合凋落物 Mesophytic meadow mixed litter	4.02 (0.27)	0.9566	0.472	3.55 (0.23)	0.9260	0.735	35.78
发草 <i>Deschampsia caespitosa</i>	2.73 (0.44)	0.7450	1.007	1.29 (0.15)	0.9208	1.472	31.59
鹅绒委陵菜 <i>Potentilla anserina</i>	4.39 (0.24)	0.9712	0.707	5.35 (0.46)	0.9446	0.602	14.85
沼泽草地 Semi-hydric marsh							
沼泽草地混合凋落物 Semi-hydric marsh mixed litter	2.44 (0.26)	0.8495	0.986	1.53 (0.15)	0.8581	1.241	20.55
木里苔草 <i>Carex muliensis</i>	1.67 (0.21)	0.8119	1.381	2.32 (0.34)	0.9792	1.092	20.93
藏嵩草 <i>Kobresia tibetica</i>	3.21 (0.38)	0.8305	0.936	2.70 (0.43)	0.8062	0.971	3.60

* 括号内是分解系数 k 的标准差 $\text{SD}(\times 10^{-3})$, 所有凋落物样品质量与时间的相关性均具有统计学意义 ($P < 0.0001$)

2.3 凋落物碳、养分含量及残留率比较

按样品干重计算的凋落物样品 C、N、P 初始含量及 C/N 如表 4。草甸草地中, 发草、鹅绒委陵菜和草地混合样品凋落物的初始 N 含量为鹅绒委陵菜 > 草地混合 > 发草 ($F = 5.68, P = 0.0202$), C/N 为鹅绒委陵菜 < 草地混合 < 发草 ($F = 6.97, P = 0.0111$)。在沼泽湿地中, 3 种凋落物样品 N 含量和 C/N 差异不显著 ($N, F = 3.47, P = 0.0576$; $C/N, F = 3.55, P = 0.0545$)。

表4 凋落物样品初始 C、N、P 含量及 C/N

Table 4 Initial C、N、P content and C/N ratio of litter samples

凋落物样品 Litter samples	C (g/kg)	N (g/kg)	P (g/kg)	C/N
草甸草地 Mesophytic meadow				
草甸草地混合凋落物 mesophytic meadow mixed litter	388.96 $\pm$ 2.90	10.48 $\pm$ 0.41 ab	1.23 $\pm$ 0.06	37.17 $\pm$ 1.62 ab
发草 <i>Deschampsia caespitosa</i>	390.30 $\pm$ 8.48	9.07 $\pm$ 1.78 a	0.92 $\pm$ 0.13	44.47 $\pm$ 2.73 a
鹅绒委陵菜 <i>Potentilla anserina</i>	367.76 $\pm$ 9.94	12.49 $\pm$ 1.05 b	1.26 $\pm$ 0.22	30.06 $\pm$ 5.08 b
沼泽草地 Semi-hydric marsh				
沼泽草地混合凋落物 Semi-hydric marsh mixed litter	397.25 $\pm$ 5.19	11.23 $\pm$ 0.86 a	0.73 $\pm$ 0.06	35.53 $\pm$ 2.63 a
木里苔草 <i>Carex muliensis</i>	407.47 $\pm$ 7.06	11.36 $\pm$ 2.97 a	0.57 $\pm$ 0.04	37.69 $\pm$ 3.58 a
藏嵩草 <i>Kobresia tibetica</i>	406.73 $\pm$ 5.02	13.93 $\pm$ 1.53 a	1.45 $\pm$ 0.09	29.50 $\pm$ 3.26 a

2.3.2 围栏和放牧条件下凋落物养分残留率比较

在草甸草地中, 围栏条件下草甸草地混合样和鹅绒委陵菜比发草释放更多的 C 元素 ($F = 41.46, P = 0.0008$); 在沼泽湿地, 围栏条件下湿地混合样品和藏嵩草比木里苔草释放更多的 C 元素 ($F = 14.5, P = 0.005$)。这在放牧样地中也有相同情况 (草地, $F = 29.08, P = 0.0018$; 湿地, $F = 7.17, P = 0.025$)。

在草甸草地, 围栏条件下发草凋落物 N、P 元素在分解 3 个月 after 出现富集 (125.68%、112.10%), 草地混合样品 N、P 元素呈释放模式, 鹅绒委陵菜凋落物 N 元素有富集过程, 而 P 元素没有富集。在放牧样地中情况有所不同, 发草比草地混合样品和鹅绒委陵菜释放更多的 N、P 元素 ($N, F = 125.6, P < 0.0001$; $P, F = 28.5, P = 0.0018$), 发草在分解 3 个月 after N、P 元素残留率明显下降 ($N, 44.39\%$; $P, 33.19\%$), 而鹅绒委陵菜凋落物 N

元素有明显的富集(图2)。

在沼泽草地,围栏条件下木里苔草和湿地混合样品凋落物 N、P 元素变化一致,都是释放-富集-释放的过程(图2),藏嵩草 N 元素为释放-富集-释放,而 P 元素虽然在分解过程中有所增加,但都没有超过初始值(100%)。在放牧条件下 N、P 元素变化和围栏相比有所差异,三种凋落物在放牧条件下 N 元素都为释放模式,各个凋落物之间的差异不显著($F=1.28, P=0.34$),而 P 元素变化在各个凋落物之间的差异显著($F=41.51, P=0.0003$)。

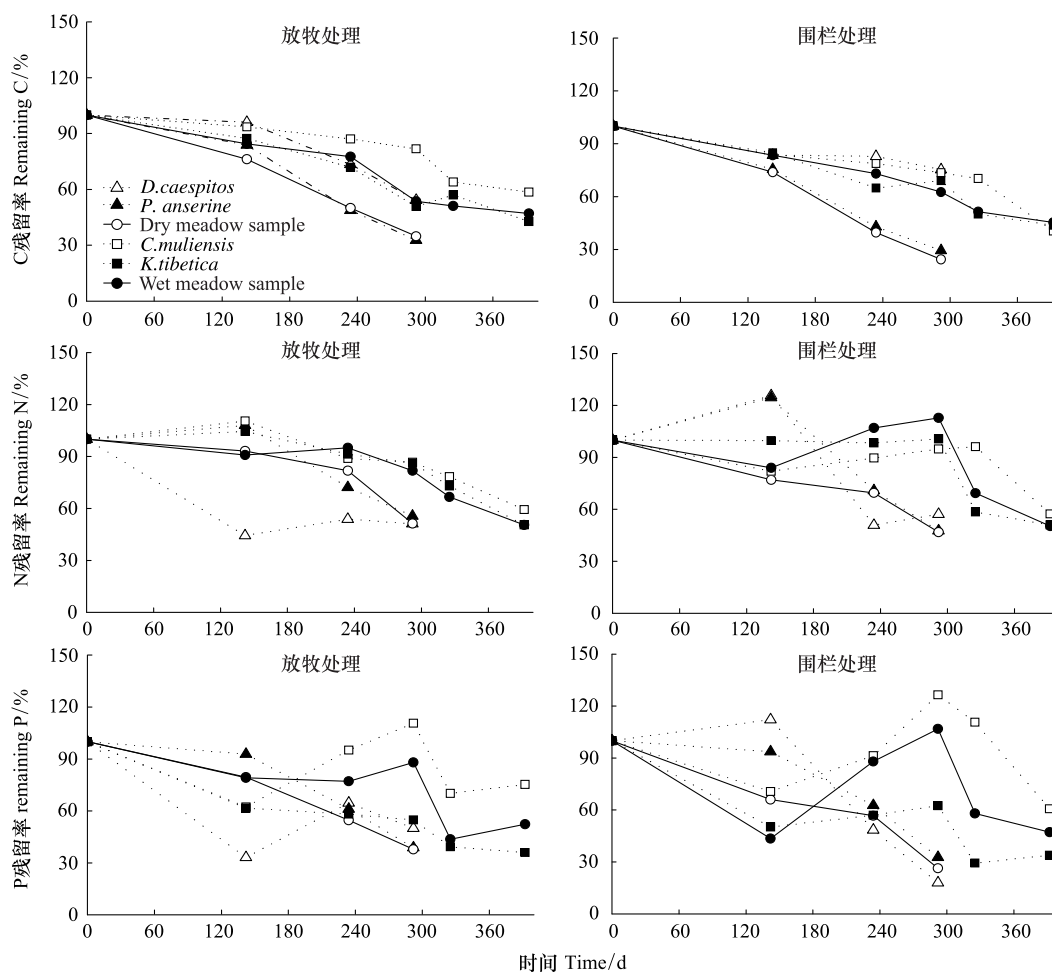


图2 围栏和放牧条件下凋落物 C、N、P 残留率比较

Fig. 2 Remaining rate of litter nutrient elements of litter under grazing and ungrazed treatments

发草: *D. caespitos*; 鹅绒委陵菜: *P. anserine*; 草甸草地混合凋落物样品: Dry meadow sample; 木里苔草: *C. mullensis*; 藏嵩草: *K. tibetica*; 沼泽草地混合凋落物样品: Wet meadow sample

3 讨论

3.1 草甸草地和沼泽草地优势种凋落物分解的差异

在物理和生物环境条件相似的情况下,凋落物质量是决定分解速度和过程的主要因素^[21]。研究表明,凋落物中较高的 N 含量(较低的 C/N 比)、较高的细胞可溶物以及较低的纤维素含量将有利于凋落物的分解^[22-23]。就具体物种而言,在物候相同和大的环境背景相似的情况下,虽然这些指标可能在一定程度上受到生长环境条件和人为利用管理方式等的影响,但这种影响主要体现在个体的生态生理水平上,物种本身及其相关的功能特征仍然是决定凋落物质量的主导因素^[24]。不同物种组成导致的凋落物的质量和凋落物的分解差异,对生态系统的重要功能特别是养分循环特征产生重要的影响,并进而影响到生态系统的整体动态特征和发展方向^[25]。因此,有可能通过对群落中优势物种凋落物的分解的研究,来探讨和说明特定群落和生态系

统的物质分解和养分循环特征,并进而探讨生态系统将来的动态特征。

本研究发现,无论是在高寒草甸草地和沼泽草地,主要优势物种凋落物的分解速率都存在着较为显著的差异。总体而言,与草甸草地的凋落物相比,沼泽草地凋落物的分解相对较难和较慢。这一研究结果与沼泽草地土壤中未分解物和半分解物积存较多、泥炭逐年积累^[26]等事实相吻合,也印证了高寒沼泽草地生态系统物质循环相对缓慢这一特征。导致草甸草地和沼泽草地凋落物分解速率出现这种差异的原因首先是物理环境条件特别是土壤水分条件的差异:高寒草地生长季的土壤平均含水量约 45% 左右,而高寒湿地土壤平均含水量在 91.53%—93.31% 之间(表 1)。湿润土壤中较高的含水量形成了厌氧和半厌氧条件,阻碍了解者的氧气供给,从而阻碍凋落物的分解^[27]。

同时,草甸草地和沼泽草地凋落物质量的差异也应该是导致两者分解速率差异的重要原因。以混合凋落物样品为例,草甸草地混合凋落物样品包括了禾本科(发草、披碱草、穗三毛等)和多种双子叶杂草植物(鹅绒委陵菜、华丽龙胆、矮地榆等),其细胞可溶物含量较高、纤维素含量相对较低^[28-29],而沼泽草地混合凋落物样品主要由莎草科植物组成,难分解的粗纤维和木质素含量较高^[30-31]。

就具体的凋落物样品而言,由于草甸草地和沼泽草地在凋落物分解在物理环境条件上存在的差异,因此很难将草甸草地优势物种凋落物的分解与沼泽草地的凋落物分解作直接的比较。就来自草甸草地的凋落物样品的质量而言,鹅绒委陵菜的含 N 量较高、C/N 较低,相应地其分解速度也较快;发草的含 N 量较低、C/N 较高,相应地其分解速度也较慢。同样地,在来自沼泽草地的凋落物样品中,与木里苔草相比,藏嵩草的含 N 量较高,而 C/N 较低,其分解速度也相对较快。这一结果进一步说明了群落中的优势物种对凋落物质量、凋落物分解以及系统物质循环的决定作用。

3.2 放牧对凋落物分解的影响

已有的研究在放牧对凋落物分解的影响方面常常出现不一致的结果,一些作者认为放牧可加快凋落物的分解^[16, 25],而另一些作者认为放牧会减缓系统养分循环速度^[32-33]。出现这种差异的原因主要是草地的气候环境条件以及特定的草地植物组成。在本研究中,草甸草地上的放牧处理使表层土壤温度平均升高了 1.98℃ ($P < 0.001$),并且土壤含水量也有所提高 ($P < 0.05$);放牧也同样提高了沼泽草地表层土壤的温度 ($P < 0.05$),对土壤含水量的影响不显著 ($P > 0.05$)。这是由于放牧在导致地上生物量减少、植被覆盖度降低的同时,也使土壤紧实度增加、减少了水分的蒸散^[34]。在高寒条件下,随着温度的上升,微生物的呼吸作用和土壤动物的活动性都会提高^[35-37],再加上牲畜践踏和粪便的作用,进一步促进了微生物数量及活性增加^[38-39]。由此可以认为,在本研究所处的高寒和中生-湿生条件下,放牧均可在总体上加快高寒草甸草地和高寒沼泽草地凋落物分解。

不同物种的凋落物分解对放牧也有不同的响应。目前尚不清楚为什么鹅绒委陵菜和木里苔草的分解在放牧条件下反而更慢,因为随着土壤坚实度提高和土壤含水量升高而可能发生的“缺氧效应”,在发草、藏嵩草以及草甸草地和沼泽草地混合凋落物样品的分解中观察不到,因此其原因需要进一步研究。但这一研究结果显示,放牧对草地群落中不同物种凋落物的分解有不同的影响;这同时也暗示,虽然放牧可以促进高寒草甸草地和沼泽草地上凋落物分解,但这种促进作用也可能受制于自然因素和放牧共同驱动的草地群落物种组成的改变而呈现出复杂的特征。

已有研究表明,放牧对凋落物分解的影响主要通过两个途径实现:一是牲畜啃食牧草使牧草本身的生态生理特征发生改变^[40-41],从而影响到凋落物的质量;二是放牧导致凋落物分解的立地土壤物理和生物环境发生改变^[42]。在本研究中,由于凋落物样品是预先埋入的,所以不存在放牧导致凋落物质量改变的问题,因此放牧效应主要是通过对凋落物分解的立地物理和生物环境的改变而实现的。放牧对草甸草地凋落物分解的促进作用大于沼泽草地这一结果也说明,在凋落物分解方面,草甸草地对放牧更为敏感和强烈。虽然难以直接比较放牧对草甸草地和沼泽草地样地中物理和生物环境改变的大小,但放牧对沼泽草地凋落物分解的影响较小这一结果,可部分用牦牛在沼泽草地中停留时间较短、草群上层的优势物种木里苔草的适口性较差、牲畜

采食较少这些原因来加以解释。

3.3 凋落物分解过程中的养分释放

凋落物释放的养分是土壤微生物的重要养分来源^[43],土壤微生物数量和活性的改变,将影响到土壤有机质 C 的分解与转化^[44]。本研究供试凋落物在分解过程中均呈现 C 释放模式,但放牧可在一定程度上减缓发草和木里苔草凋落物 C 的释放,而其他供试凋落物的 C 释放速度在围栏和放牧条件下的差异不显著。就特定凋落物种类来说,在草甸草地中,鹅绒委陵菜凋落物 C 释放要显著快于发草;在沼泽草地中,藏嵩草的 C 释放速度也要快于木里苔草,这与凋落物的分解速度的比较是一致的。换句话说,在草甸草地中,如果鹅绒委陵菜的优势度上升而发草的优势度下降,则意味着系统的 C 释放将加快;相应地,如果沼泽草地中藏嵩草的比例上升而木里苔草的比例下降,同样也意味着系统 C 释放速度的加快。这一研究结果说明,群落物种组成的改变,可以通过凋落物 C 释放速度的变化而对草地 C 循环产生重要的影响。

凋落物在分解过程中并不是总是释放养分,它与凋落物类型、分解阶段、分解环境及养分自身特性有关^[45-46]。与本研究供试凋落物在分解过程中均呈现 C 释放特征相对应,凋落物中 N 和 P 含量则表现出多种模式。总体而言,在草甸草地中,凋落物的 N、P 元素表现释放或者富集-释放模式;在沼泽草地中,凋落物的 N、P 元素则更多地表现为释放-富集-释放的复杂模式。Gallardo 等^[47]认为,分解早期以后出现的凋落物养分富集现象可能主要与凋落物品质较差有关,这类凋落物在分解过程中还需要从环境中吸收固定 N、P 等养分。Aerts^[48]对苔草属(*Carex*)植物分解的研究发现,在 3a 分解过程中,凋落物叶片的 N 浓度不断上升,说明凋落物从环境中固定了 N。研究中,木里苔草、藏嵩草、鹅绒委陵菜等的分解也经历了明显的 N 富集阶段。这些不同的释放模式,既反映了不同质量凋落物的分解特征,也反映了不同分解阶段的养分释放特征。

3.4 草地退化和草地改良的潜在影响

尽管在放牧对草地生态系统凋落物分解和养分循环的影响问题上还存在诸多争议,但较为公认的一个观点是,长期的放牧通过改变草地群落的物种组成,使得群落中与凋落物分解相关的植物功能特征组合(如可食性草的比例、高纤维物种比例等)发生变化,进而导致凋落物质量和分解特征的改变^[23,25]。

本研究所选取的草地优势物种也在一定程度上代表了若尔盖高原地区草地不同演替阶段的优势物种。许多研究表明,由于过度放牧以及气候变化等多种原因,若尔盖高原地区的草地生态系统在近几十年来呈现明显的退化趋势^[49-50]。木里苔草是当地典型的沼泽湿地中的优势物种^[51],随着沼泽湿地的干化和退化,以藏嵩草、高山嵩草(*Kobresia pygmaea*)为优势的嵩草群落代替了木里苔草群落^[52]。嵩草草地进一步干化的结果是嵩草群落被以发草、披碱草(*Elymus dahuricus* Turcz)等为优势的禾草草地取代^[53]。而在过度放牧的禾草草地和嵩草草地上,以鹅绒委陵菜等为代表的双子叶杂草大量出现并逐渐占据优势^[54-55]。

许多研究认为^[21,23,56],在放牧导致的草地退化过程中,由于牲畜的选择性采食,适口性高(养分含量高、粗纤维低)、易分解的物种逐步退出群落,而适口性低、难分解的物种在群落中的优势度将逐步增加,其结果是凋落物分解和系统养分循环速度也将降低,由此构成负反馈调节。而在本研究中,与藏嵩草和发草相比,木里苔草的粗纤维含量最高而适口性最差^[57],其凋落物的分解也较慢。但随着群落沿木里苔草-藏嵩草-禾草(发草)-杂草(鹅绒委陵菜)的逆行演替,其分解速度和系统养分循环速度反而逐渐升高,呈现典型的正反馈效应。这一情况提示,从若尔盖高原沼泽湿地退化过程中物种组成变化的角度看,随着凋落物质量的逐步改变,凋落物分解速度和系统养分循环速度也在加快,泥炭的形成和存积逐渐减弱甚至于出现净消耗。由此,湿地的退化可能出现正反馈加速。不能排除这是近几十年来若尔盖高原湿地呈加速退化的机制之一。

鹅绒委陵菜是一种典型的匍匐性喜氮植物。研究表明,在中生条件下,放牧可促进土壤有效氮的释放^[58],从而为鹅绒委陵菜的生长创造条件。若尔盖高原的高寒草地生态系统在放牧特别是过度放牧条件下出现大量鹅绒委陵菜这种高质量易分解物种的事实表明,在高寒和中生条件下,草地群落不一定通过增加适口性差和难分解的物种种群比例这种“抵抗”性策略来应对放牧压力,而是采取提高低矮匍匐性植物种群比例这种“逃避”性的策略。在“逃避”性策略有效的情况下,植物没有必要投入额外能量建立“抵抗”性机制。

显然,植物群落采用“抵抗”性策略还是“逃避”性策略来应对放牧压力既与放牧牲畜的种类有关,也与植物群落所处的生境条件有关。Semmartin 等^[23]曾经报道说,在旱生或半干旱条件下,放牧促使凋落物质量较低、分解较慢的植物生长;而在中生条件下,放牧可能促进凋落物质量较高、分解较快的植物生长。本研究也在一定程度上验证了 Semmartin 等提出的这个观点。由此可以进一步假设,在干旱或半干旱条件下,植物群落趋向于采用“抵抗”的策略来应对放牧压力,并在凋落物分解和养分循环方面呈现负反馈效应;在中生或半湿生条件下,植物群落趋向于采用“逃避”的策略,并在凋落物分解和养分循环上出现正反馈效应。虽然可以想象存在大量的例外,但针对这一假设的进一步研究,无疑将深化对草地生态系统动态特征,特别是系统 C 过程和养分循环特征和机理的认识。

近几十年来在若尔盖高原开展的许多“草地改良”和“植被恢复工程”,包括针对高寒沼泽草地的“植被恢复工程”,都采用了补播和人工种植禾本科牧草(如老芒麦、披碱草、黑麦草),并辅以施肥(尿素)等技术措施^[59-62]。本研究提示,与木里苔草等乡土莎草科植物相比,这些植物凋落物分解速度更快,以这些植物为优势的草地生态系统凋落物养分释放速度和养分循环速度也更快。如果沼泽草地的优势物种从难分解物种转变为较易分解物种,很难说这对沼泽湿地的维持具有积极的作用。

4 结论

(1)放牧总体上加快了高寒草甸草地和高寒沼泽草地植物凋落物的分解,放牧相应的种间差异十分明显;

(2)草甸草地植物凋落物分解对放牧的响应比沼泽草地更为强烈;

(3)放牧驱动下的草甸草地退化过程中,优势物种凋落物分解速率和碳释放加速,这一变化提示了凋落物分解的正反馈效应,这可能是若尔盖湿地近几年来加速退化的机理之一。

致谢:四川省龙日种畜场银中、贡科、赵云华、更登为野外工作提供帮助,张伟、王钊、王俊参与了部分野外工作,特此致谢。

References:

- [1] Scurlock J M O, Hall D O. The global carbon sink: a grassland perspective. *Global Change Biology*, 1998, 4(2): 229-233.
- [2] Xu Z. Go forward the 21st Century's Chinese grassland resources. *Grassland of China*, 1998, (5): 1-8.
- [3] Wardle D A. *Communities and Ecosystems: Linking the Aboveground and Belowground Components*. (MPB-34). Princeton: Princeton University Press Princeton and Oxford, 2002.
- [4] Berg B, McClaugherty C. *Plant Litter Decomposition, Humus Formation, Carbon Sequestration*. Berlin: Springer, 2007.
- [5] Aerts R. Climate, leaf litter chemistry and leaf litter decomposition in terrestrial ecosystems: a triangular relationship. *Oikos*, 1997, 79(3): 439-449.
- [6] Berg B, Berg M P, Bottnar P, Box E, Breymeyer A, de Anta R C, Couteaux M, Escudero A, Gallardo A, Kratz W, Madeira M, Malkonen E, Mcclaugherty C, Meentmeyer V, Munoz F, Piussi P, Remacle J, Desanto A V. Litter mass loss rates in pine forests of Europe and Eastern United States: some relationships with climate and litter quality. *Biogeochemistry*, 1993, 20(3): 127-153.
- [7] Singh K P, Singh P K, Tripathi S K. Litter fall, litter decomposition and nutrient release patterns in four native tree species raised on coal mine spoil at Singrauli, India. *Biology and Fertility of Soils*, 1999, 29(4): 371-378.
- [8] Peng S L, Liu Q. The dynamics of forest litter and its responses to global warming. *Acta Ecologica Sinica*, 2002, 22(9): 1534-1544.
- [9] Taylor B R, Parkinson D. A new microcosm approach to litter decomposition studies. *Canadian Journal of Botany*, 1988a, 66(10): 1933-1939.
- [10] Taylor B R, Parkinson D. Aspen and pine leaf litter decomposition in laboratory microcosms. II. Interactions of temperature and moisture level. *Canadian Journal of Botany*, 1988b, 66(10): 1966-1973.
- [11] Hobbie S E. Temperature and plant species controlover litter decomposition in Alaskan tundra. *Ecological Monographs*, 1996, 66(4): 503-522.
- [12] Xu X F, Yin H J, Zhao C Z, Cao G, Wan M L, Liu Q. A review of responses of litter decomposition in terrestrial ecosystems to global warming. *Chinese Journal of Plant Ecology*, 2009, 33(6): 1208-1219.
- [13] Prescott C E. Litter decomposition: what controls it and how can we alter it to sequester more carbon in forest soils? *Biogeochemistry*, 2009, 101(1/3): 133-149.
- [14] Jansson P E, Berg B. Temporal variation of litter decomposition in relation to simulated soil climate. Long-term decomposition in a Scots pine

- forest. V. Canadian Journal of Botany, 1985, 63(6): 1008-1016.
- [15] Coûteaux M M, Bottner P, Berg B. Litter decomposition, climate and litter quality. Trends in Ecology and Evolution, 1995, 10(2): 63-66.
- [16] Luo C Y, Xu G P, Chao Z G, Wang S P, Lin X W, Hu Y G, Zhang Z H, Duan J C, Chang X F, Su A L, Li Y N, Zhao X Q, Du M Y, Tang Y H, Kimball B. Effect of warming and grazing on litter mass loss and temperature sensitivity of litter and dung mass loss on the Tibetan plateau. Global Change Biology, 2010, 16(5): 1606-1617.
- [17] Dormaar J F, Smoliak S, Willms W D. Distribution of nitrogen fractions in grazed and ungrazed fescue grassland Ah horizons. Journal of Range Management, 1990, 43(1): 6-9.
- [18] Willcock J, Magan N. Impact of environmental factors on fungal respiration and dry matter losses in wheat straw. Journal of Stored Products Research, 2000, 37(1): 35-45.
- [19] Holt J A. Grazing pressure and soil carbon, microbial biomass and enzyme activities in semi-arid northeastern Australia. Applied Soil Ecology, 1997, 5(2): 132-149.
- [20] Niu Y F. The study of environment in the Plateau of Qin-Tibet. Progress in Geography, 1999, 18(2): 163-171.
- [21] Bardgett R D, Wardle D A. Herbivore-mediated linkages between aboveground and belowground communities. Ecology, 2003, 84(9): 2258-2268.
- [22] Taylor B R, Parkinson D, Parsons W F J. Nitrogen and lignin content as predictors of litter decay rates: amicrocosm test. Ecology, 1989, 70(1): 97-104.
- [23] Semmartin M, Aguiar M R, Distel R A, Moretto A S, Ghera C M. Litter quality and nutrient cycling affected by grazing-induced species replacements along a precipitation gradient. Oikos, 2004, 107(1): 148-160.
- [24] Walker B H, Langridge J L. Measuring functional diversity in plant communities with mixed life forms: a problem of hard and soft attributes. Ecosystems, 2002, 5(6): 529-538.
- [25] Garibaldi L A, Semmartin M, Chaneton E J. Grazing-induced changes in plant composition affect litter quality and nutrient cycling in flooding Pampa grasslands. Oecologia, 2007, 151(4): 650-662.
- [26] Zhao K Y, Wang D B, Song H Y. A primary study on Tibetan plateau swamp. Resources Science, 1981, (2): 14-21.
- [27] Pausas J G, Casals P, Romanyà J. Litter decomposition and faunal activity in Mediterranean forest soils: effects of N content and the moss layer. Soil Biology and Biochemistry, 2004, 36(6): 989-997.
- [28] Long R J, Apori S O, Castro F B, Ørskov E R. Feed value of native forages of the Tibetan Plateau of China. Animal Feed Science and Technology, 1999, 80(2): 101-113.
- [29] Tian Y B, Xiong M B, Xiong X S, Song G Y. The organic carbon distribution and flow in wetland soil-plant system in Ruergai Plateau. Acta Phytocologica Sinica, 2003, 27(4): 490-495.
- [30] Asplund J M, Nieminen M. A note on forage solubility and fermentation characteristics in winter and summer feeds of Finnish reindeer. Rangifer, 1989, 9(2): 41-45.
- [31] Xu S X, Zhao X Q, Sun P, Zhao T B, Zhao W. A study on acid detergent lignin content and digestibility of 5 species herbage in Tibetan Plateau. Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica, 2003, 23(9): 1605-1608.
- [32] Ritchie M E, Tilman D, Knops J M H. Herbivore effects on plant and nitrogen dynamics in oak savanna. Ecology, 1998, 79(1): 165-177.
- [33] Wilson J B, Agnew A D Q. Positive-feedback switches in plant communities. Advances in Ecological Research, 1992, 23: 263-336.
- [34] Fan C M, Liao C Y, Li P Y, Sun C Z, Xu X M. A Study of the effects of different grazing intensities on soil physical properties of grassland and forest floor-for example hilly and gully regions on the Loess Plateau. Scientia Agricultura Sinica, 2006, 39(7): 1501-1506.
- [35] He J S, Wang Z Q, Fang J Y. The below-ground ecology under global change: problems and prospect. Chinese Science Bulletin, 2004, 49(13): 1226-1233.
- [36] Davidson E A, Janssens I A. Temperature sensitivity of soil carbon decomposition and feedbacks to climate change. Nature, 2006, 440(7081): 165-173.
- [37] Döllery R, Hodkinson I D, Jónsdóttir I S. Impact of warming and timing of snow melt on soil microarthropod assemblages associated with *Dryas*-dominated plant communities on Svalbard. Ecography, 2006, 29(1): 111-119.
- [38] Kielland K, Bryant J P. Moose herbivory in taiga: effects on biogeochemistry and vegetation dynamics in primary succession. Oikos, 1998, 82(2): 377-383.
- [39] LeCain D R, Morgan J A, Schuman G E, Reeder J, Hart R H. Carbon exchange rates in grazed and ungrazed pastures of Wyoming. Journal of Range Management, 2000, 53(2): 199-206.
- [40] Holland E A, Detling J K. Plant response to herbivory and belowground nitrogen cycling. Ecology, 1990, 71(3): 1040-1049.
- [41] Olofsson J, Oksanen L. Role of litter decomposition for the increased primary production in areas heavily grazed by reindeer: a litterbag experiment.

- Oikos, 2002, 96(3): 507-515.
- [42] Bardgett R D, Hobbs P J, Frostegård Å. Changes in soil fungal: bacterial biomass ratios following reductions in the intensity of management of an upland grassland. *Biology and Fertility of Soils*, 1996, 22(3): 261-264.
- [43] Bradford M A, Tordoff G M, Eggers T, Jones T H, Newington J E. Microbiota, fauna, and mesh size interactions in litter decomposition. *Oikos*, 2002, 99(2): 317-323.
- [44] Patra A K, Abbadie L, Clays-Josserand A, Degrange V, Grayston S J, Loiseau P, Louault F, Mahmood S, Nazaret S, Philippot L. Effects of grazing on microbial functional groups involved in soil N dynamics. *Ecological Monographs*, 2004, 75(1): 65-80.
- [45] Berg B, Staaf H. Leaching, accumulation and release of nitrogen in decomposing forest litter. *Ecological Bulletins*, 1981, 33: 163-178.
- [46] McClaugherty C A, Pastor J, Aber J D, Melillo J M. Forest litter decomposition in relation to soil nitrogen dynamics and litter quality. *Ecology*, 1985, 66(1): 266-275.
- [47] Gallardo A, Merino J. Nitrogen immobilization in leaf litter at two Mediterranean ecosystems of SW Spain. *Biogeochemistry*, 1992, 15(3): 213-228.
- [48] Aerts R, de Caluwe H. Nutritional and plant-mediated controls on leaf litter decomposition of *Carex*. *Ecology*, 1997, 78(1): 244-260.
- [49] Wang C K, Wang Y S, Zhang A D, Lü X G. Wetland resources and its protection in Zoige Plateau. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 2001, 21(5): 20-40.
- [50] Yong G W, Shi C C, Qiu P F. Monitoring on desertification trends of the grassland and shrinking of the wetland in Ruorgai Plateau in north-west Sichuan by means of remote-sensing. *Journal of Mountain Science*, 2003, 21(6): 758-762.
- [51] Lang H Q, Jin S R, Niu H G. Vegetation types and succession of wetland in Ruorgai grassland. *Journal of Plant Ecology*, 1964, 2(1): 40-56.
- [52] Liu H Y, Bai Y F. Changing process and mechanism of wetland resources in Ruorgai Plateau, China. *Journal of Natural Resources*, 2006, 21(5): 810-818.
- [53] Yang Y X, Wang S Y. Human disturbances on mire and peat soils in the Zoige Plateau. *Resources Science*, 2001, 23(2): 37-42.
- [54] Lu J Y. The Study of Genetic Diversity and Clonal Structure of Two Clonal Plants in the East of Qinghai-Tibet Plateau of China [D]. Lanzhou: Northwest Normal University, 2007.
- [55] Zhang J, Li X L, Ji G. Analysis on plant communities features of different degradation grassland in Sanjiangyuan Region. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2008, 36(18): 7738-7740, 7799-7799.
- [56] Bardgett R D, Wardle D A, Yeates G W. Linking above-ground and below-ground interactions: how plant responses to foliar herbivory influence soil organisms. *Soil Biology and Biochemistry*, 1998, 30(14): 1867-1878.
- [57] You N S, Yang F M. Nutrient dynamics from dry meadow to wet meadow on Ruorgai Plateau. *Journal of Sichuan Grassland*, 1998, 3(4): 18-21.
- [58] Milchunas D G, Lauenroth W K. Quantitative effects of grazing on vegetation and soils over a global range of environments. *Ecological Monographs*, 1993, 63(4): 327-366.
- [59] He W X, Li H M, Chen F. Community characteristics of grassland sowed with mixed perennial gramineous species on desertified areas of northwest Sichuan. *Chinese Journal of Ecology*, 2008, 27(12): 2079-2082.
- [60] Zhao J, Zhu J Q, Zhang J, Wang D J, Wang S T, Luo X, Yang Z R. Counter measures for grassland degradation and desertification. *Journal of Sichuan Grassland*, 2004, 98(1): 13-16.
- [61] Chen X S. Hongyuan county construct million mu of grass seed base. *XinHuaNet*, (2005-9-13) [2011-5-22]. http://news.xinhuanet.com/photo/2005-09/13/content_3481394.htm.
- [62] Zhuang Y, Liao F. Control sand to preserve Ruorgai wetlands. *SiChuan Economic Daily*, (2009-9-12) [2011-5-22]. http://scjrb.newscc.org/html/2009-09/12/content_685115.htm.

参考文献:

- [2] 徐柱. 面向 21 世纪的中国草地资源. *中国草地*, 1998, (5): 1-8.
- [8] 彭少麟, 刘强. 森林凋落物动态及其对全球变暖的响应. *生态学报*, 2002, 22(9): 1534-1544.
- [12] 徐振峰, 尹华军, 赵春章, 曹刚, 万名利, 刘庆. 陆地生态系统凋落物分解对全球气候变暖的响应. *植物生态学报*, 2009, 33(6): 1208-1219.
- [20] 牛亚菲. 青藏高原生态环境问题研究. *地理科学进展*, 1999, 18(2): 163-171.
- [26] 赵魁义, 王德斌, 宋海远. 青藏高原沼泽的初步研究. *自然环境*, 1981, (2): 14-21.
- [29] 田应兵, 熊明彪, 熊晓山, 宋光煜. 若尔盖高原湿地土壤-植物系统有机碳的分布与流动. *植物生态学报*, 2003, 27(4): 490-495.
- [31] 徐世晓, 赵新全, 孙平, 赵同标, 赵伟. 青藏高原 5 种牧草木质素含量及其体外消化率研究. *西北植物学报*, 2003, 23(9): 1605-1608.
- [34] 范春梅, 廖超英, 李培玉, 孙长忠, 许喜明. 放牧强度对林草地土壤物理性状的影响——以黄土高原丘陵沟壑区为例. *中国农业科学*,

2006, 39(7): 1501-1506.

- [35] 贺金生, 王政权, 方精云. 全球变化下的地下生态学: 问题与展望. 科学通报, 2004, 49 (13): 1226-1233.
- [49] 王长科, 王跃思, 张安定, 吕宪国. 若尔盖高原湿地资源及其保护对策. 水土保持通报, 2001, 21(5): 20-40.
- [50] 雍国玮, 石承苍, 邱鹏飞. 川西北高原若尔盖草地沙化及湿地萎缩动态遥感监测. 山地学报, 2003, 21(6): 758-762.
- [51] 郎惠卿, 金树仁, 牛焕光. 川西高原若尔盖地区的沼泽植被类型及其演替. 植物生态学与地植物学丛刊, 1964, 2(1): 40-56.
- [52] 刘红玉, 白云芳. 若尔盖高原湿地资源变化过程与机制分析. 自然资源学报, 2006, 21(5): 810-818.
- [53] 杨永兴, 王世岩. 人类活动干扰对若尔盖高原沼泽土、泥炭土资源影响的研究. 资源科学, 2001, 23(2): 37-42.
- [54] 陆建英. 青藏高原东缘两种克隆植物的遗传多样性及克隆结构研究[D]. 兰州: 西北师范大学, 2007.
- [55] 张静, 李希来, 季刚. 三江源地区不同退化草地群落特征分析. 安徽农业科学, 2008, 36(18): 7738-7740, 7799-7799.
- [57] 优努司, 杨福明. 若尔盖高原草地由沼生至陆生营养动态. 四川草原, 1998, (3): 18-21.
- [59] 何文兴, 李洪梅, 陈放. 川西北草原沙化区多年生禾草混播草地的群落学特征. 生态学杂志, 2008, 27(12): 2079-2082.
- [60] 赵建, 朱建清, 张杰, 王建东, 王松涛, 罗浔, 杨志荣. 若尔盖退化、沙化草地的治理. 四川草原, 2004, 98(1): 13-16.
- [61] 陈燮摄. 红原县建设万亩优质草种基地. 新华网, (2005-9-13). [2011-5-22]. http://news.xinhuanet.com/photo/2005-09/13/content_3481394.htm.
- [62] 庄媛, 廖俸. 还湿治沙 保护若尔盖湿地. 四川经济日报, (2009-9-12). [2011-5-22]. http://scjjrb.newssc.org/html/2009-09/12/content_685115.htm.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol.32 ,No.15 August ,2012(Semimonthly)

CONTENTS

Effects of grazing on litter decomposition in two alpine meadow on the eastern Qinghai-Tibet Plateau	ZHANG Yanbo, LUO Peng, SUN Geng, et al (4605)
Distribution pattern and their influencing factors of invasive alien plants in Beijing	WANG Suming, ZHANG Nan, YU Linqian, et al (4618)
Simulation of CO ₂ and H ₂ O fluxes over temperate mixed forest and sensitivity analysis of layered methods: stomatal conductance-photosynthesis-energy balance coupled model	SHI Tingting, GAO Yufang, YUAN Fenghui, et al (4630)
Analysis on the responses of flood storage capacity of Dongting Lake to the changes of landscape patterns in Dongting Lake area	LIU Na, WANG KeLin, DUAN Yafeng (4641)
Integrated water risk assessment in Daliao River estuary area	YU Ge, CHEN Jing, ZHANG Xueqing, et al (4651)
Discussion on the standardized method of reference sites selection for establishing the Benthic-Index of Biotic Integrity	QU Xiaodong, LIU Zhigang, ZHANG Yuan (4661)
Genetic diversity analysis of different age of a Dalian population of the Manila clam <i>Ruditapes philippinarum</i> by EST-SSR	YU Zhifei, YAN Xiwu, ZHANG Yuehuan, et al (4673)
Geostatistical analysis of spatial heterogeneity of yellowfin tuna (<i>Thunnus albacares</i>) purse seine catch in the western Indian Ocean	YANG Xiaoming, DAI Xiaojie, ZHU Guoping (4682)
Seasonal differences in habitat selection of the Crocodile lizard (<i>Shinisaurus crocodilurus</i>) in Luokeng Nature Reserve, Guangdong	WU Zhengjun, DAI Dongliang, NIN Jiajia, et al (4691)
Soil physical and chemical properties in forest succession process in Xinglong Mountain of Gansu	WEI Qiang, LING Lei, CHAI Chunshan, et al (4700)
Dynamics of soil organic carbon and total nitrogen contents in short-rotation triploid <i>Populus tomentosa</i> plantations	ZHAO Xuemei, SUN Xiangyang, KANG Xiangyang, et al (4714)
Grazing effects on eco-stoichiometry of plant and soil in Hulunbeir, Inner Mongolia	DING Xiaohui, GONG Li, WANG Dongbo, et al (4722)
Effect of elevated ultraviolet-B (UV-B) radiation on CH ₄ emission in herbicide resistant transgenic rice from a paddy soil	LOU Yunsheng, ZHOU Wenlin (4731)
NMR spectroscopy based metabolomic analysis of <i>Thellungiella salsuginea</i> under salt stress	WANG Xinyu, WANG Lihua, YU Ping, et al (4737)
Screening and identification of associative nitrogen fixation bacteria in rhizosphere of sugarcane in Guangxi	HU Chunjin, LIN Li, SHI Guoying, et al (4745)
Effects of different rice-crab production modes on soil labile organic carbon and enzyme activities	AN Hui, LIU Mingda, WANG Yaojing, et al (4753)
The characteristics of soil microbial communities at burned forest sites for the Great Xingan Mountains	BAI Aiqin, FU Bojie, QU Laiye, et al (4762)
Changes of soil faunal communities during the restoration progress of <i>Abies faxoniana</i> Forests in Northwestern Sichuan	CUI Liwei, LIU Shirong, LIU Xingliang, et al (4772)
The effects of the endophytic fungus <i>Ceratobasidium stevensii</i> B6 on <i>Fusarium oxysporum</i> in a continuously cropped watermelon field	XIAO Yi, DAI Chuanchao, WANG Xingxiang, et al (4784)
Population ecology of <i>Aulacoseira granulata</i> in Xijiang River	WANG Chao, LAI Zini, LI Yuefei, et al (4793)
Evaluation of ecosystem sustainability for large-scale constructed wetlands	ZHANG Yiran, WANG Renqing, ZHANG Jian, et al (4803)
MIS3b vegetation and climate changes based on pollen and charcoal on Qianxi Plateau	ZHAO Zengyou, YUAN Daoxian, SHI Shengqiang, et al (4811)
The effects of stemflow on the formation of "Fertile Island" and "Salt Island" for <i>Haloxylon ammodendron</i> Bge	LI Congjuan, LEI Jiaqiang, XU Xinwen, et al (4819)
Accumulation and translocation of dry matter and nutrients of wheat rotated with legumes and its relation to grain yield in a dryland area	YANG Ning, ZHAO Hubing, WANG Zhaohui, et al (4827)
Occurrence characteristics of <i>akashiwo sanguinea</i> bloom caused by land source rainwater	LIU Yihao, SONG Xiukai, JIN Yang, et al (4836)
Analysis on landscape pattern change and its driving forces of Yancheng National Natural Reserve	WANG Yanfang, SHEN Yongming (4844)
Resource potential assessment of urban roof greening and development strategies: a case study in Futian central district, Shenzhen, China	SHAO Tianran, LI Chaosu, ZENG Hui (4852)
Analysis of the dynamic coupling processes and trend of regional eco-economic system development in the Yellow River Delta	WANG Jieyong, WU Jianzhai (4861)
The diversity parameters of butterfly for ecological function divisions in Chongqing	LI Aimin, DENG Heli, MA Qi (4869)
Review and Monograph	
Responses of soil respiration to different environment factors in semi-arid and arid areas	WANG Xinyuan, LI Yulin, ZHAO Xueyong, et al (4890)
Temperature sensitivity of soil respiration: uncertainties of global warming positive or negative feedback	LUAN Junwei, LIU Shirong (4902)
The primary factors controlling methane uptake from forest soils and their responses to increased atmospheric nitrogen deposition: a review	CHENG Shulan, FANG Huajun, YU Guirui, et al (4914)
The research progresses on biological oxidation and removal of nitrogen in lakes	FAN Junnan, ZHAO Jianwei, ZHU Duanwei (4924)
Scientific Note	
Cutting effects on growth and wastewater purification of <i>Cyperus alternifolius</i> in constructed wetland	LÜ Gaiyun, HE Huaidong, YANG Danjing, et al (4932)

《生态学报》2012 年征订启事

《生态学报》是中国生态学会主办的自然科学高级学术期刊,创刊于 1981 年。主要报道生态学研究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;新书评介和学术、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 70 元/册,全年定价 1680 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 32 卷 第 15 期 (2012 年 8 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 32 No. 15 (August, 2012)

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	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
主 编	冯宗炜	Editor-in-chief	FENG Zong-Wei
主 管	中国科学技术协会	Supervised by	China Association for Science and Technology
主 办	中国生态学会 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	Sponsored by	Ecological Society of China Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
出 版	科 学 出 版 社 地址:北京东黄城根北街 16 号 邮政编码:100071	Published by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷	北京北林印刷厂	Printed by	Beijing Bei Lin Printing House, Beijing 100083, China
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	Distributed by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net
订 购	全国各地邮局	Domestic	All Local Post Offices in China
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	Foreign	China International Book Trading Corporation Add:P. O. Box 399 Beijing 100044, China
广告经营 许 可 证	京海工商广字第 8013 号		



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 70.00 元