

ISSN 1000-0933

CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第 32 卷 第 20 期 Vol.32 No.20 **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 20 期

2012 年 10 月 (半月刊)

目次

太湖流域源头溪流氧化亚氮(N_2O)释放特征	袁淑方, 王为东 (6279)
闽江河口湿地植物枯落物立枯和倒伏分解主要元素动态	曾从盛, 张林海, 王天鹅, 等 (6289)
宁夏荒漠草原小叶锦鸡儿可培养内生细菌多样性及其分布特征	代金霞, 王玉炯 (6300)
陕西省栎黄枯叶蛾蛹的空间分布	章一巧, 宗世祥, 刘永华, 等 (6308)
模拟喀斯特生境条件下干旱胁迫对青冈栎苗木的影响	张中峰, 尤业明, 黄玉清, 等 (6318)
中国井冈山生态系统多样性	陈宝明, 林真光, 李 贞, 等 (6326)
鄂西南木林子常绿落叶阔叶混交林恢复过程中优势树种生态位动态	汤景明, 艾训儒, 易咏梅, 等 (6334)
不同增温处理对夏蜡梅光合特性和叶绿素荧光参数的影响	徐兴利, 金则新, 何维明, 等 (6343)
模拟长期大风对木本猪毛菜表观特征的影响	南 江, 赵晓英, 余保峰 (6354)
雷竹林土壤和叶片 N、P 化学计量特征对林地覆盖的响应	郭子武, 陈双林, 杨清平, 等 (6361)
利用树木年轮重建赣南地区 1890 年以来 2—3 月份温度的变化	曹受金, 曹福祥, 项文化 (6369)
川西亚高山草甸土壤呼吸的昼夜变化及其季节动态	胡宗达, 刘世荣, 史作民, 等 (6376)
火干扰对小兴安岭白桦沼泽和落叶松-苔草沼泽凋落物和土壤碳储量的影响	周文昌, 牟长城, 刘 夏, 等 (6387)
黄土丘陵区三种典型退耕还林地土壤固碳效应差异	佟小刚, 韩新辉, 吴发启, 等 (6396)
岩质公路边坡生态恢复土壤特性与植物多样性	潘树林, 辜 彬, 李家祥 (6404)
坡位对东灵山辽东栎林土壤微生物量的影响	张 地, 张育新, 曲来叶, 等 (6412)
太湖流域典型入湖港口景观格局对河流水质的影响	王 瑛, 张建锋, 陈光才, 等 (6422)
基于多角度基尼系数的江西省资源环境公平性研究	黄和平 (6431)
中国土地利用空间格局动态变化模拟——以规划情景为例	孙晓芳, 岳天祥, 范泽孟 (6440)
世界主要国家耕地动态变化及其影响因素	赵文武 (6452)
不同氮源下好氧反硝化菌 <i>Deffluibacter lusatiensis</i> str. DN7 的脱氮特性	肖继波, 江惠霞, 褚淑祎 (6463)
基于生态足迹方法的南京可持续发展研究	周 静, 管卫华 (6471)
基于投入产出方法的甘肃省水足迹及虚拟水贸易研究	蔡振华, 沈来新, 刘俊国, 等 (6481)
浦江县土壤碱解氮的空间变异与农户 N 投入的关联分析	方 斌, 吴金凤, 倪绍祥 (6489)
长江河口潮间带盐沼植被分布区及邻近光滩鱼类组成特征	童春富 (6501)
深圳湾不同生境湿地大型底栖动物次级生产力的比较研究	周福芳, 史秀华, 邱国玉, 等 (6511)
灰斑古毒蛾口腔反吐物诱导沙冬青细胞 Ca^{2+} 内流及 H_2O_2 积累	高海波, 张淑静, 沈应柏 (6520)
濒危物种金斑喙凤蝶的行为特征及其对生境的适应性	曾菊平, 周善义, 丁 健, 等 (6527)
细叶榕榕小蜂群落结构及动态变化	吴文珊, 张彦杰, 李凤玉, 等 (6535)
专论与综述	
流域生态系统补偿机制研究进展	张志强, 程 莉, 尚海洋, 等 (6543)
可持续消费的内涵及研究进展——产业生态学视角	刘晶茹, 刘瑞权, 姚 亮 (6553)
工业水足迹评价与应用	贾 佳, 严 岩, 王辰星, 等 (6558)
矿区生态风险评价研究述评	潘雅婧, 王仰麟, 彭 建, 等 (6566)
研究简报	
围封条件下荒漠草原 4 种典型植物群落枯落物枯落量及其蓄积动态	李学斌, 陈 林, 张硕新, 等 (6575)
密度和种植方式对夏玉米酶活性和产量的影响	李洪岐, 蔺海明, 梁书荣, 等 (6584)
期刊基本参数: CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 312 * zh * P * ¥ 70.00 * 1510 * 35 * 2012-10	

封面图说: 草丛中的朱鹮——朱鹮有着鸟中“东方宝石”之称。洁白的羽毛, 艳红的头冠和黑色的长嘴, 加上细长的双脚, 朱鹮历来被日本皇室视为圣鸟。20 世纪前朱鹮在中国东部、日本、俄罗斯、朝鲜等地曾有较广泛地分布, 由于环境恶化等因素导致种群数量急剧下降, 至 20 世纪 70 年代野外已认为无踪影。1981 年 5 月, 中国鸟类学家经多年考察, 在陕西省洋县重新发现朱鹮种群, 一共只有 7 只, 也是世界上仅存的种群。此后对朱鹮的保护和科学研究做了大量工作, 并于 1989 年在世界首次人工孵化成功。

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

DOI: 10.5846/stxb201203130331

李学斌, 陈林, 张硕新, 谢应忠. 围封条件下荒漠草原 4 种典型植物群落枯落物枯落量及其蓄积动态. 生态学报, 2012, 32(20): 6575-6583.

Li X B, Chen L, Zhang S X, Xie Y Z. Litter amount and its dynamic change of four typical plant community under the fenced condition in desert steppe. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(20): 6575-6583.

围封条件下荒漠草原 4 种典型植物群落枯落物 枯落量及其蓄积动态

李学斌^{1,*}, 陈 林¹, 张硕新², 谢应忠¹

(1. 宁夏大学西北土地退化与生态恢复国家重点实验室培育基地, 银川 750021; 2. 西北农林科技大学林学院, 杨凌 712100)

摘要:以荒漠草原 4 种典型植物群落为研究对象,通过枯落物枯落量、组分及其影响因子的研究,探讨围封条件下荒漠草原枯落物枯落量及其蓄积动态。结果表明:围封内 4 种植物群落枯落物枯落量为:蒙古冰草群落(116.8g/m²)>甘草群落(101.6g/m²)>赖草群落(97.8g/m²)>沙蒿群落(88.1g/m²),分别是围封外的 5.0、4.8、5.3 和 1.6 倍;枯落物枯落动态具有一定的节律性,枯落物从 6 月开始出现,10 月达到最大值,枯落量与降雨量、气温均呈对数负相关;枯落物的组分为:叶(59.25%)>枝(30.75%)>杂物(10.00%),其中立枯体占枯落物总量的 60% 以上;通过 Birk 模型对蓄积动态拟合以及与实测值比较分析,荒漠草原枯落物蓄积量随着蓄积年限的增加而增加,围封 7—10a 时,枯落物的蓄积量基本达到稳定状态,即输入量与输出量达到平衡。

关键词:封育;荒漠草原;蓄积量;枯落动态

Litter amount and its dynamic change of four typical plant community under the fenced condition in desert steppe

LI Xuebin^{1,*}, CHEN Lin¹, ZHANG Shuoxin², XIE Yingzhong¹

¹ Breeding Base for State Key Laboratory of Land Degradation and Ecological Restoration of North-western China, Yinchuan 750021, China

² College of Forestry, Northwest Agriculture and Forestry University, Yangling 712100, China

Abstract: Litter amount and its dynamic change of four typical plant community under the fenced condition in desert steppe were studied. The result showed that the litter amount of four typical plant community under the fenced condition were in the sequence of *Agropyron mongolicum* Keng(116.8g/m²) > *Glycyrrhiza uralensis*(101.6g/m²) > *Leymus calinus*(97.8g/m²) > *Artemisia desertorum*(88.1g/m²), and there were 5.0, 4.8, 5.3 and 1.6 times than that under grazing condition, respectively. Change pattern of four typical plant community litter showed an increasing trend during growth season (from June to October), and there were negative relationship among litter amount and rainfall, temperature. The amount of different organs were in the sequence of leaf(59.25%) > branch(30.75%) > miscellany(10.00%), and standing dead litter account for 60% of litter amount. Comparative analysis between simulated and observed values of litter amount and litter dynamic fit by Birk model, the litter amount increased with increase years in desert steppe, and litter amount comes to a steady state after fenced for 7—10 years. The exchange between input and output reached balance.

Key Words: grazing enclosure; desert steppe; stock volume; dead variation

基金项目:973 前期专项(2012CB723206);国家自然科学基金项目(31140017);宁夏自然科学基金项目(NZ1017);教育部西部访学计划项目(2009);宁夏大学自然科学基金项目(NDZR10-63)

收稿日期:2012-03-13; **修订日期:**2012-07-30

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: lixuebin@nxu.edu.cn

草地枯落物是指由植物地上部分产生并归还到地表的所有有机质的总称^[1],是草地生态系统生产力的重要组成部分,是联系植被与土壤的重要中间环节^[2],在维持土壤肥力,促进草地生态系统物质循环和养分平衡等方面起着突出作用^[3]。最初,人们对枯落物的研究是从森林生态系统开始的,被称之为“凋落物”。德国学者 Ebermayer 对森林凋落物的产生和化学组成作了经典研究,阐述了凋落物在养分循环中的重要性,这是关于凋落物最早的报道^[4]。新西兰学者 Bray 和美国学者 Gorham 在《世界森林凋落物量》一文中研究了世界各地主要森林类型的凋落物量及现存量的大致范围,其成果至今被研究者重视并引用^[5]。20 世纪 80 年代以来,更多的学者开始关注草地生态系统的凋落物。但草地生态系统凋落物与森林生态系统有所不同,植物枯死后并不立即倒伏在地面,除了部分枯枝落叶凋落在地表外,大部分以立枯体形式存在,因此草地“凋落物”更多被称之为“枯落物”^[6]。在我国,对草地枯落物的研究主要集中在西南山地,内蒙古和东北等典型草原^[6-8]。近年来,随着“西部大开发”、“退林还林还草”和“封育禁牧”等重大生态工程的实施,荒漠草原得到了不同程度的休养生息。荒漠草原枯落物的蓄积、分解与转化已经成为“退耕还草”、“封育禁牧”后草地生态系统最为关键的生态过程之一。为此,本研究以围封条件下荒漠草原 4 种典型植物群落为研究对象,通过枯落量的测定,及其与环境因子的相互关系研究,揭示荒漠草原枯落物枯落特征,为西北荒漠草原的科学管理、合理利用提供理论基础。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

研究区位于宁夏盐池县高沙窝乡国家级草地资源观测站(37°57′01.34″N,107°00′44.99″E),该地区属于典型中温带大陆性气候,年均气温 8.1℃,年降水量 250—350mm,主要集中在 5—9 月,约占年降水量的 60% 以上。年均无霜期为 165d。土壤类型主要是灰钙土,其次是风沙土和黑垆土。植物类型主要是灌丛、沙生植被和荒漠植被,群落中常见植物种类以旱生和中旱生类型为主。

草地封育时间为 2005 年。本试验选取蒙古冰草群落、甘草群落、赖草群落和沙蒿群落 4 种典型植物群落,以围封外为对照(围封外放牧强度为 0.75—1 只羊/hm²)。为了降低空间异质性,样地间距离尽可能减少,最近的相距 300m,最远的相距 3km,样地分布见图 1。样地基本情况于 2010 年 8 月野外测定(表 1)。

表 1 样地的基本情况
Table 1 The condition of four plots

	样地类型 Site	盖度/% Coverage	高度/cm Height	鲜生物量 (g/m ²) Fresh biomass	伴生种 Companion species
A	围封内 Exclosure	76.67	70.11	245.5±21.0	银灰旋花(<i>Convolvulus ammannii</i>)、刺叶柄棘豆(<i>Oxytropis aciphylla</i>)、达乌里胡枝子(<i>Leguminosae</i>)、白花砂珍棘豆(<i>Oxytropis racemosa</i>)、沙葱(<i>Radix Acanthopanax Senticosol</i>)
	围封外 CK	20.88	12.84	89.3±10.1	刺叶柄棘豆、达乌里胡枝子、中亚白草(<i>Pennisetum centrasiaticum</i>)、白花砂珍棘豆、沙葱、老瓜头(<i>Cynanchum komarovii</i>)、猪毛蒿(<i>Artemisia scoparia Waldst</i>)
B	围封内 Exclosure	51.66	38.89	226.2±23.6	银灰旋花、达乌里胡枝子、二裂委陵菜(<i>Potentilla bifurca</i>)、小变蒿(<i>Pedicularis ternata</i>)
	围封外 CK	18.79	10.32	90.2±13.6	二裂委陵菜、细叶山苦荬(<i>Ixeris chinensis</i>)、老瓜头、猪毛蒿、乳浆大戟(<i>Euphorbia esula</i>)
C	围封内 Exclosure	83.33	20.78	150.9±11.9	甘草、铁杆蒿(<i>Artemisia</i>)、达乌里胡枝子、狗尾草(<i>Setaria viridis</i>)、沙生冰草(<i>Agropyron desertorum</i>)、小画眉草(<i>Eragrostis pilosa</i>)
	围封外 CK	30.36	9.78	48.6±9.6	甘草、铁杆蒿、达乌里胡枝子、绵蓬(<i>Chenopodiaceae</i>)、猪毛蒿、乳浆大戟
D	围封内 Exclosure	85.67	40.33	116.9±15.6	中亚白草、达乌里胡枝子、细叶山苦荬、刺沙蓬(<i>Salsola ruthenica</i>)
	围封外 CK	80.12	39.78	96.7±10.8	中亚白草、达乌里胡枝子、刺沙蓬、绵蓬、猪毛蒿

A: 蒙古冰草 *Agropyron crisatum* 群落, B: 甘草 *Glycyrrhiza uralensis* 群落, C 赖草 *Leymus secalinus* 群落, D: 沙蒿 *Artemisia desertorum* 群落

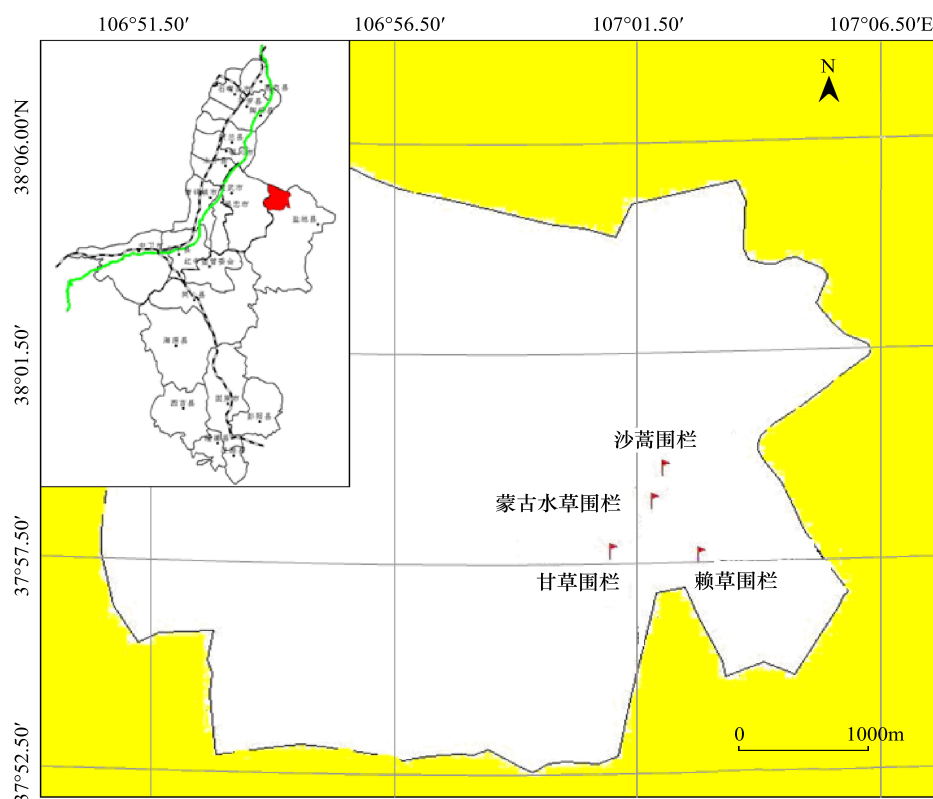


图 1 研究区域地理位置

Fig. 1 The location of experiment site

1.2 试验方法

4 种植物群落围封内外样地大小为 40m × 40m, 3 个重复。每个样地按 S 状布设有 5 个 1m × 1 m 的样方。本研究中所指的枯落物是指单位面积内枯死体的总量, 既包含地上立枯体, 也包括地面凋落物。

枯落物蓄积量测定: 采用尼龙网网罗法^[10], 枯落物的收集于 2008—2011 年的每年 10 月中旬进行, 带回实验室烘干后称重, 用于计算其各植物群落枯落物蓄积量。

枯落动态测定: 采用尼龙网网罗法^[10], 在固定样方中, 于 2010 年早春(4 月 5 日)植物返青前, 清除样方表面原有的枯落物, 然后于每月 5 日依次采集枯落物, 带回实验室烘干称重, 用于计算枯落物的月枯落量。

枯落物组分区分: 对于荒漠草原来说, 枯落物成分一般不易区分, 因此每次枯落物采集后带回实验室只分鉴叶、枝、杂物(花、果等)3 个部分, 经烘干处理后称其重量, 用于枯落物各组分的测定。

气象数据通过观测站内的自动气象站(Davis)获取。

2 结果与分析

2.1 枯落物枯落动态及其与气象因子的关系

2.1.1 枯落动态

实验测得了 2010 年荒漠草原 4 种典型植物群落枯落物的枯落量及其季节动态。从图 2 可以看出, 荒漠草原不同季节枯落物的枯落量很不均衡, 枯落物从 6 月开始出现, 10 月达到最大值, 枯落量随季节发生明显变化。4 种植物群落围封内外枯落量存在显著差异。

对围栏内来说, 在 5—7 月, 受生长节律调节, 植物枯死组织很少, 4 种群落枯落量仅占全年枯落量的 7.9%、7.7%、9.7% 和 7.9%; 8 月, 受干旱等外界不利因素胁迫影响, 植物的一部分老叶在生理性调节作用下开始脱落, 枯落量逐渐增多, 枯落量分别占 13.0%、14.5%、13.9% 和 12.2%; 9 月, 植物进入生长末期, 群落中伴生的短命植物或 1 年生植物完成生命周期, 开始衰退, 枯落量显著增加, 分别占 30.6%、28.6%、32.1% 和

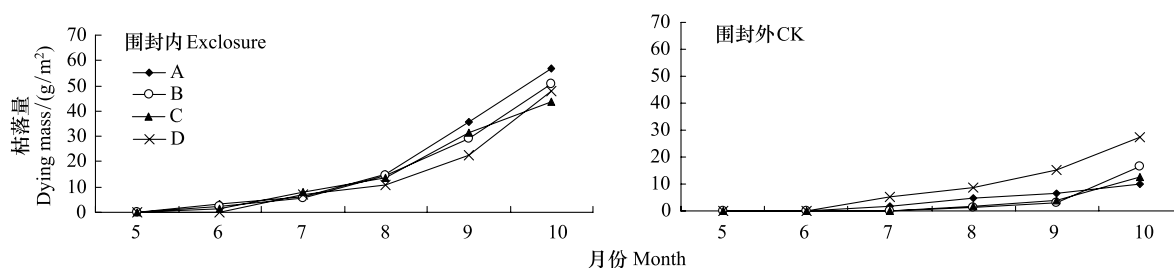


图2 荒漠草原4种典型植物群落枯落物枯落动态

Fig. 2 Dying dynamics of 4 typical plant communities in desert steppe

25.8%; 10月, 对于荒漠草原植被来说, 完成了生命周期, 植被整体衰败, 枯落量达到峰值, 枯落量分别占全年枯落量的48.7%、49.2%、44.7%和54.1%。4种群落年枯落量大小为: 蒙古冰草群落($116.8\text{g}/\text{m}^2$) > 甘草群落($101.6\text{g}/\text{m}^2$) > 赖草群落($97.8\text{g}/\text{m}^2$) > 沙蒿群落($88.1\text{g}/\text{m}^2$)。

对围栏外来说, 由于受放牧影响, 枯落物量很少, 即使到了10月份, 植株完成生命周期, 除沙蒿群落外, 蒙古冰草群落、甘草群落和赖草群落围栏外的枯落量仅是围栏内枯落量的17.8%、32.6%、29.3%, 地皮基本裸露, 说明牧压强度很大。整个生长季期间, 4种群落相比, 枯落量大小基本为: 沙蒿群落($56.8\text{g}/\text{m}^2$) > 蒙古冰草群落($23.3\text{g}/\text{m}^2$) > 甘草群落($21.0\text{g}/\text{m}^2$) > 赖草群落($18.3\text{g}/\text{m}^2$), 且与其它3种植物群落相比, 沙蒿群落围栏内外枯落物量差值较小, 围栏外的枯落量是围栏内枯落量的78.1%, 这是由于沙蒿适口性差, 羊只等牲畜啃食较轻, 采食量较多是伴生的1年生及多年生禾本科牧草和豆科牧草。

2.1.2 枯落物组分

根据2010年4种植物群落枯落物月动态测定收集的枯落物进行年枯落量计算和组分区别, 得到各群落年枯落量和各组分占年枯落量的百分比(图3、表2)。

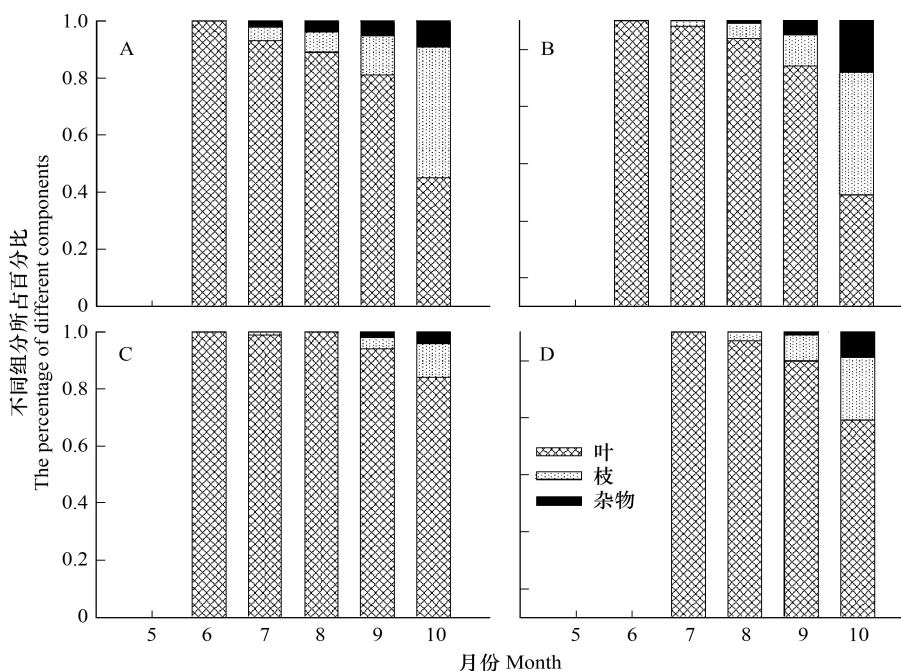


图3 围封内荒漠草原4种典型植物群落枯落物组分

Fig. 3 The composition of litter on 4 typical plant communities in desert steppe

从图3可以看出, 以围栏内为例, 在整个生长季中, 4种植物群落枯落物叶、枝和杂物平均分别占枯落物总产量的59.3%、30.8%和9.9%。荒漠草原植物群落内各组分凋落量的季节差异也很大, 在4种植物群落

月枯落量中,叶、枝和其他杂物所占比例随月份变化而发生显著变化,叶在 6 月所占比例最高,几乎为 100%,10 月份最小,为 45%;而枝恰恰相反,6 月份最低,几乎为零,10 月达到最大,达 46%;杂物在 8 月份开始少量出现,到 10 月份生长季末达到最大,为 18%。

表 2 荒漠草原 4 种典型植物群落年枯落量及立枯体所占百分比

Table 2 The percentage of litter biomass and standing dead litter in 4 typical plant communities in desert steppe					
处理 Treatment		A	B	C	D
围封内 Exclosure	年枯落量 Litter biomass per year	116.8	101.6	97.8	88.1
	立枯体所占百分比 Percent of stand litter/%	75.8	78.3	63.9	83.4
围封外 CK	年枯落量 Litter biomass per year	23.3	21.0	18.3	56.8
	立枯体所占百分比 Percent of stand litter/%	95.3	96.7	96.6	88.1

草地生态系统枯落物与森林生态系统枯落物不同,植物枯死后并不立即完全倒伏在地面,当年枯死组织只有少部分凋落在地表,其它大部分以立枯体的形式存在^[6]。从表 2 可以看出,围封内蒙古冰草群落、甘草群落、赖草群落和沙蒿群落枯落物立枯体约占当年枯死总量的 75.8%、78.3%、63.9% 和 83.4%;而围封外 4 种群落枯落物的立枯体占当年枯死总量的 95.3%、96.7%、96.6% 和 88.1%。围封外立枯体所占枯死总量的百分比显著高于围封内,这是由于围封外叶等植物组织大量被羊只啃食,一些纤维和木质素含量较高的枝茎保留下来的缘故。

2.1.3 枯落量与气象因子的关系

将荒漠草原 4 种典型植物群落的枯落量与降雨量、平均气温进行曲线估计(图 4,图 5),发现枯落量与降雨量、气温的判定系数 R^2 均较高,枯落量与降雨、气温均呈对数负相关($P<0.05$)。5—7 月,随着气温的升高,枯落量缓慢增加,说明在此期间,生态因子对枯落物枯落量影响不明显,枯落物枯落量主要受植物自身生理机制控制;8 月,尽管气温较高,但枯落量有所增加、持续的干旱、高温胁迫促进了枯落量的增加,说明环境条件对枯落量有明显影响;进入 9 月,随着气温的降低,枯落量也随之增大。

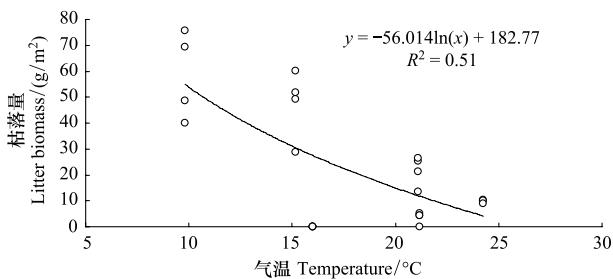


图 4 荒漠草原 4 种典型植物群落枯落量与降雨量相关关系
Fig.4 The correlation of litter biomass and precipitation in 4 typical plant communities in desert steppe

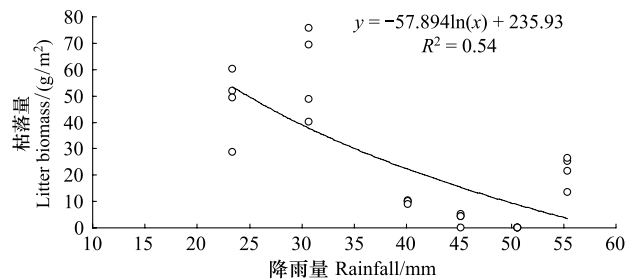


图 5 荒漠草原 4 种典型植物群落枯落量与气温相关关系
Fig.5 The correlation of litter biomass and temperature in 4 typical plant communities in desert steppe

2.2 枯落物蓄积动态及其数学模型分析

2.2.1 蓄积动态

草地枯落物蓄积量及蓄积动态受枯落物的输入量、分解速率、累积年限、植被种类以及枯落物所处的水热条件等综合因素的影响^[3]。实验对围封 3a 和 4a 的荒漠草原 4 种植物群落围封内外枯落物蓄积量调查结果(图 6、图 7)表明:围封内枯落物蓄积量随季节及蓄积年限发生明显变化,不同植物群落枯落物蓄积量随时间均呈“W”型动态变化,1—8 月,枯落物蓄积量随时间逐渐减少,8 月份达到最低,之后(9—10 月份)枯落物蓄积量急剧增加,11—12 月又有所回落;对于围封外来说,枯落物蓄积量很少,基本没有。1—8 月份,由于受家畜等草食性动物的啃食,只有少量枯落量,即使到了 9—10 月份,枯落物量也很少,11 月至翌年的 3 月,由于

过冬受家畜的啃食,当年的枯落量蓄积下来的几乎没有。围封内 4 种植物群落枯落物蓄积量存在显著差异,依次为蒙古冰草群落>甘草群落>赖草群落>沙蒿群落,与其地上鲜生物量变化趋势相一致。围封外沙蒿群落枯落物蓄积量最大,另外 3 种植物群落枯落物蓄积量差异不显著,围封内枯落物蓄积量显著高于围封外。围封外沙蒿群落枯落物蓄积高于其它 3 种群落,这和围封内正好相反,这是由于围封外禾本科、豆科等营养价值高、适口性好的牧草被大量啃食,而沙蒿的营养价值较豆科、禾本科牧草的营养价值低,食口性差,在夏季羊只基本不啃食,只在极度干旱,其它牧草较为缺乏的情况下,羊只才少量啃食。

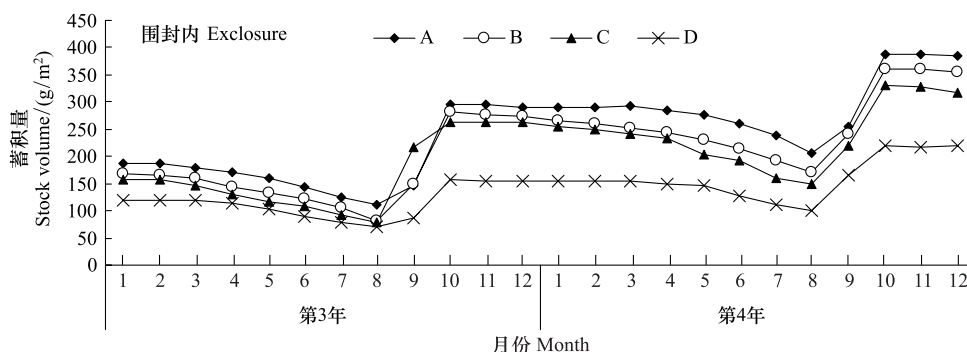


图 6 围封内荒漠草原 4 种典型植物群落枯落物蓄积动态

Fig. 6 Litter amount and its dynamic change of four typical plant community under the fenced condition in desert steppe

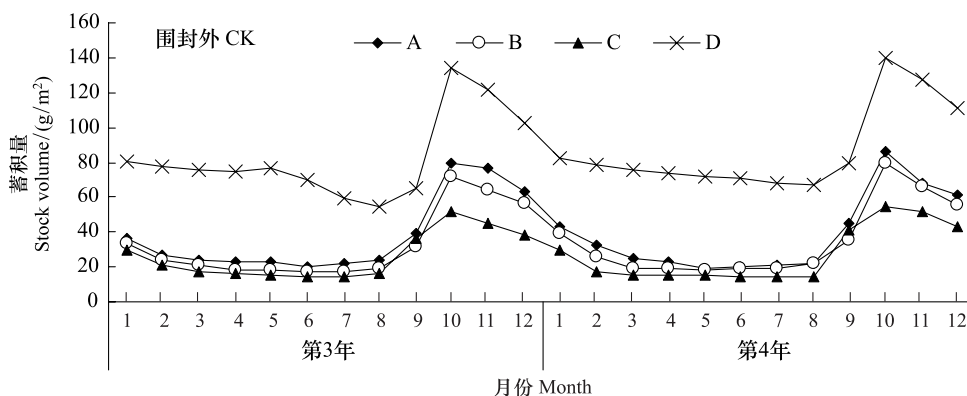


图 7 围封外荒漠草原 4 种典型植物群落枯落物蓄积动态

Fig. 7 Litter amount and its dynamic change of four typical plant community under the grazing condition in desert steppe

2.2.2 蓄积量数学模型分析

枯落物蓄积量也称现存量,是一系列年输入量与不断分解引起的消失量之差^[9]。由于受家畜等草食性动物啃食,围封外枯落物很少,基本可以忽略不计,因此只对围封内枯落物蓄积进行数学模型分析。实验对 2008—2011 年 4 种植物群落的蓄积量进行了测定。并通过 Birk 模型^[10]进行了拟合:

$$B = L/k (1 - e^{-kt}) + L_0 e^{-kt}$$

式中, B 为任意 t 的积累量; L 为枯落物年输入量; L_0 为初始枯落物量; k 为蓄积常数。

根据上述模型,计算出荒漠草原 4 种植物群落的蓄积常数 K 值分别为: $K_A = 0.154$ 、 $K_B = 0.141$ 、 $K_C = 0.142$ 、 $K_D = 0.151$,然后推算出 4 种群落围封 1—12a 的枯落物蓄积量的预测值。由于实验只测定了围封 3—6a 的蓄积量,因此对围封 1—2a 和围封 7—10a 的蓄积量通过空间换时间的方法进行了测定。

由图 8 实测值表明,荒漠草原围封 7—10a 时,枯落物蓄积量基本达到稳定状态,分别为:蒙古冰草群落 600 g/m^2 ,甘草群落 580 g/m^2 ,赖草群落 550 g/m^2 ,沙蒿群落 450 g/m^2 ;根据 Birk 模型,4 种植物群落枯落物蓄积量在围封 9—10a 时基本稳定,实测与预测拟合效果较好。数值比较接近。因此,对于荒漠草原来说,当围

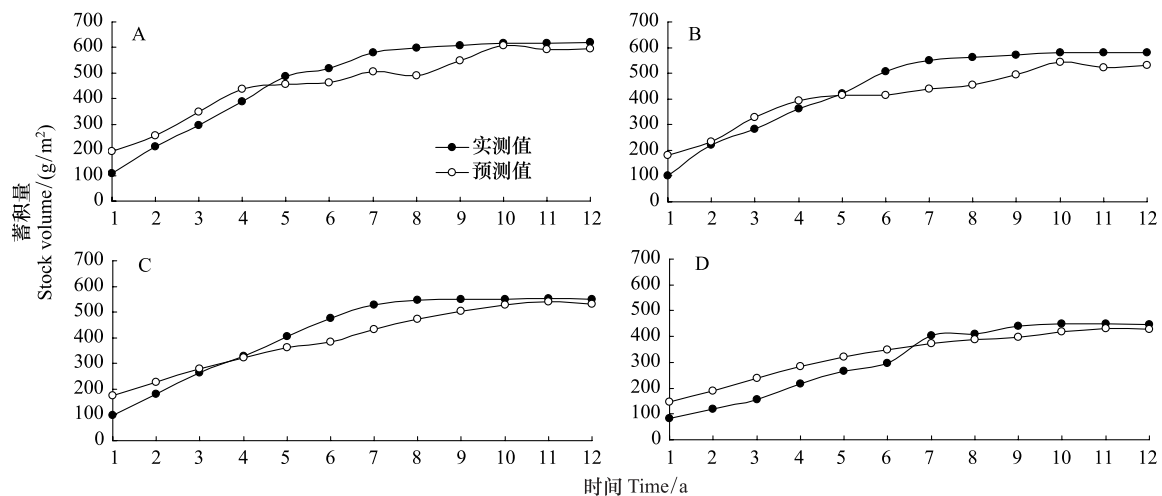


图 8 荒漠草原 4 种植物群落枯落物蓄积量实测值与预测值

Fig. 8 Simulated and observed values of litter amount for four typical plant community in desert steppe

封 10 左右, 枯落物蓄积量基本达到最大值和稳定状态。

3 结论与讨论

(1) 不同类型的生态系统枯落物的枯落节律不同, 枯落物具体峰值出现的时期具有一定的年际变化^[11]。本研究测得的荒漠草原枯落物枯落节律从 6 月开始按一定的波动逐步上升, 至 10 月份达到峰值。这与东北羊草草地枯落物枯落节律相似^[6], 但与森林生态系统枯落物呈现的单峰曲线或双峰曲线完全不同^[12-13]。植物的落叶习性是适应外界变化的反映^[11], 荒漠草原枯落物枯落节律主要依赖于植物种类的生物学特性和环境因子所致。对荒漠草原来说, 4—5 月份, 植被刚刚返青, 受生长节律调节, 无论是围封内还是围封外, 植物枯死组织很少, 几乎没有。且由于冬季降雪和上年末降雨的蓄存, 植被生长迅速; 6—8 月份, 由于阶段性的干旱、高温, 为了减少蒸腾作用, 部分老叶水分代谢减弱, 开始脱落。尽管 9 月份雨季的来临, 植物生长增加较快, 但由于受到自身发育节律影响, 进而又进入到生长末期, 枯死速率加快, 枯落物量急剧增加, 同时群落中伴生的短命植物或一年生植物完成生命周期或开始衰退, 从而增加了枯落量。到了 10 月, 荒漠草原植被基本枯落, 枯落量达到最大值。

(2) 从荒漠草原 4 种植物群落枯落物组成来看, 各组分枯落量由大到小为: 叶 (59.25%) > 枝 (30.75%) > 杂物 (10.00%)。这与东北松嫩羊草草地、内蒙古温带典型草原和西南山地草地枯落物组分具有一定的相似性^[7-8, 14]。但 4 种植物群落枯落物各组分季节差异较大, 叶、枝和杂物所占比例随月份变化而不同, 叶在 6 月所占比例最高, 10 月份最小, 而枝则相反, 杂物在 8 月份少量出现, 到 10 月份达到最大。对草地生态系统来说, 植物枯死后并不立即倒伏, 枯落物大部分以立枯体的形式存在, 4 种植物群落立枯体占枯落物总量的 60% 以上。

(3) 枯落物的枯落动态主要受植被自身节律及环境因子的制约。4 种群落的枯落量与降雨量、气温均呈对数负相关。这与王妮等^[14]研究的东北典型草原相一致, 无论是羊草群落, 还是碱茅群落, 枯落物输入量与温度均呈线性负相关, 与降雨量成对数负相关。但 Meentemeyer 等以气候因素作为参数建立了凋落物模型, 试验期间, 将几种林地的凋落量和平均气温进行了曲线估计分析, 发现判定系数均较小, 指出凋落物与气候因子无关^[15]。邹碧、陈光升等研究也认为, 枯落量不是简单地由气候因素所决定, 往往没有简单的相关关系^[16-17]。这可能与植被类型以及所处的气候类型等有关, 对于枯落物与环境因子的相关关系还需要在较大尺度上的不同区域之间的植被类型进行比较研究。

(4) 枯落物蓄积量是一系列年输入量与不断分解引起的消失量之差^[18]。本研究对荒漠草原 4 种典型植物群落枯落物蓄积量研究表明, 围封外每年只有少量的枯落量, 蓄积量几乎没有; 但对于围封内来说, 蓄积量

随着蓄积年限的增加而增加,围封 7—10 年时,4 种群落物的蓄积量基本达到一个稳定状态;通过 Birk 模型拟合,枯落物蓄积量的预测值与实测值较为吻合,非常相近,这对于荒漠草原来说,围封 10 年左右枯落物输入量与输出量基本达到平衡,蓄积量达到一个稳定值。

(5)关于草地枯落物的研究是近年来较为关注的生态学问题之一。然而对于荒漠草原“退耕还草”和“封育禁牧”后枯落物的枯落动态与蓄积量的研究相对缺乏。宁夏自 2001 年率先在全国试点封育禁牧,已整整 10 年,封育禁牧为荒漠草原植被恢复、生态环境改善作出了巨大贡献,但也隐育着许多非常突出的生态学问题,如长期围封后草地出现了大面积“黑皮”,生物多样性降低,以及放牧与围封的矛盾冲突等等^[20],如何在合理保护的基础上科学利用草原是荒漠草原封育 10a 来面临和亟待解决的问题。实践证明,荒漠草原封育禁牧的实施并不意味着保护的成功,消极和被动的保护不但达不到保护的目的,反而在某些情况下会加剧生态系统的恶化。本研究以荒漠草原 4 种典型植物群落枯落物枯落动态与蓄积量变化入手,试图从一个侧面去分析草地的合理利用。研究结果表明,荒漠草原封育 7—10a 后枯落物蓄积量达到了一个稳定状态,这也意味着对于荒漠草原来说,围封 7—10a 左右时间可以进行合理利用。当然,要想达到最佳的草原利用方式,今后还应在主动管理的内容和形式上进行深入细致的研究。

References:

- [1] Wang F Y. A review of researches on forest litterfall. *Ecology Advances*, 1989, 6(2): 82-89.
- [2] Guo J X. Summarization of plant litter study. The seventy anniversary of the botanical society of China abstract(1933—2003), Chengdu, 2003.
- [3] Zhao J, Liao Y N. Characteristics and function of decomposer subsystem in *leymus chinesis* steppe. *Acta Ecologica Sinica*, 1995, 15(4): 359-364.
- [4] Ebermayer E. Die Gesamte Lehre Der Waldstreu Mit Rücksicht Auf Die Chemische Statik Des Waldbaues. Berlin: Julius Springer, 1876: 116-116.
- [5] Bray J R, Gorham E. Litter production in forests of the world // Crag J B, ed. *Advances in Ecological Research*. New York: Academic Press, 1964: 101-157.
- [6] Guo J X. Decomposer subsystem in *Leymus chinesis* steppe. Changchun: Jilin University press, 1994, 25
- [7] Zhang J L, Zhang W, Bi Y F. The litter decomposition and maximum water holding rate in mountain grassland. *Pratacultural Science*, 2008, 25(3) 108-112.
- [8] Chen Z Z, Huang D H. The study on the litter decomposition rates and processes in the brown soil steppe zone of Inner Mongolia// *Research on grassland ecosystem*. Beijing, Science Press, 2002, 4: 31-39.
- [9] Zhang X P, Wang X P, Zhu P, Zong Z J, Peng C H, Fang J Y. Litter fall production in relation to environmental fac-tors in northeast China's forests. *Journal of Plant Ecology*, 2008, 32(5): 1031-1040
- [10] Birk E M, Simpson R W. Steady state and the continuous input model of litter accumulation and decomposition in Australian eucalypt forests. *Ecology*, 1980, 61(3): 481-485.
- [11] Zheng H Y, Li F Z, Lu Y B, Zhang S X, Liu Z Z, Liu R J. Studies on microbiological characteristics during decomposition process of forest litters under broad-leaved Korean pine forest on northern slope of Changbai Mountain. *Chinese Journal of Ecology*, 2007, 6(3): 6-13.
- [12] Su N H. An approach for determining optimal amount of forest litter. *Acta Ecologica Sinica*, 1988, 8(2): 147-164.
- [13] Huang C C, Wu W D, Liu R L, Xu Q Z, Wang J M, Chen S Z. A study on the quantities falling rates and compositions of different forest litters in Jiangxi Province. *Acta Agriculturae Universitatis Jiangxiensis*, 2000, 17(4): 477-482.
- [14] Wang W, Guo J X. Seasonal dynamics of environmental factors and decomposition rate of litter in *Puccinellia tenuiflora* community of Songnen grassland of China. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2001, 12(6): 841-844.
- [15] Meentemeyer V, Box E O, Thompson R. World Patterns and amounts of terrestrial plant litter production. *Bioscience*, 1982, 32(2): 125-128.
- [16] Zou B, Li Z A, Ding Y Z, Tan W N. Litterfall of common plantations in south subtropical China. *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26(3): 715-721.
- [17] Chen G S, Hu T X, Huang L H, Tang T Y, Tu L H, Luo S H. Study on Water Conservation Function of Litter and Surface Soil of Different Bamboo Plantations in Rainy Area of West China. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2008, 22(1): 159-163.
- [18] Chen Z Z, Huang D H. The study on the litter decomposition rates and processes in the brown soil steppe zone of Inner Mongolia// *Research on grassland ecosystem*. Beijing, Science Press, 2002, 4: 31-39.
- [19] Li L F, Wang P. Studies on the plant diversity in Hongsongwa natural reserve// *Grass and western big development-Industry and western*

development workshop on Chinese Grassland Science 2000 academic annual meeting papers; 25-32.

参考文献:

- [1] 王凤友. 森林凋落量研究综述. 生态学进展, 1989, 6(2): 82-89.
- [2] 郭继勋. 植物凋落物研究概述 // 中国植物学会七十周年年会论文摘要汇编(1933—2003). 成都, 2003.
- [3] 赵吉, 廖仰南. 羊草草原分解者亚系统的特性及作用. 生态学报, 1995, 15(4): 359-364.
- [6] 郭继勋. 羊草草原分解者亚系统. 长春: 吉林大学出版社, 1994: 25-25.
- [7] 张建利, 张文, 毕玉芬. 山地草地凋落物分解与持水力的研究. 草业科学, 2008, 25(3): 108-112.
- [8] 陈佐忠, 黄德华. 内蒙古典型草原栗钙土地带几种植物凋落物分解速率与分解过程研究 // 草原生态系统研究. 北京: 科学出版社, 2002, 4: 31-39.
- [9] 张新平, 王襄平, 朱彪, 宗占江, 彭长辉, 方精云. 我国东北主要森林类型的凋落物产量及其影响因素. 植物生态学报, 2008, 32(5): 1031-1040.
- [11] 郑鸿元, 李凤珍, 卢跃波, 张淑贤, 刘增柱, 刘瑞君. 长白山北坡阔叶红松林下土壤枯叶分解过程中微生物学特性的研究. 生态学杂志, 2007, 6(3): 6-13.
- [12] 苏宁虎. 林地枯落物最佳蓄积量确定方法的探讨. 生态学报, 1988, 8(2): 147-164.
- [13] 黄春昌, 吴蔚东, 刘仁林, 徐琴珠, 王景明, 陈淑珍. 江西省不同森林类型下枯枝落叶的数量、节律与组成. 江西农业大学学报, 2000, 17(4): 477-482.
- [14] 王妮, 郭继勋. 松嫩草原碱茅群落环境因素与凋落物分解季节动态. 应用生态学报, 2001, 12(6): 841-844.
- [16] 邹碧, 李志安, 丁永祯, 谭万能. 南亚热带 4 种人工林凋落物动态特征. 生态学报, 2006, 26(3): 715-721.
- [17] 陈光升, 胡庭兴, 黄立华, 唐天云, 涂利华, 雒守华. 华西雨屏区人工竹林凋落物及表层土壤的水源涵养功能研究. 水土保持学报, 2008, 22(1): 159-163.
- [18] 王凤友. 红松针阔叶混交林森林凋落物的生态学研究 // 周晓峰. 森林生态系统定位研究(第一集). 哈尔滨: 东北林业大学出版社, 1991: 245-249.
- [19] 李连芳, 王培. 红松洼草地自然保护区人工分区的植物多样性研究 // 草业与西部大开发——草业与西部大开发学术研讨会暨中国草原学会 2000 年学术年会论文集. 25-32.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 32, No. 20 October, 2012 (Semimonthly)

CONTENTS

Characteristics of nitrous oxide (N ₂ O) emission from a headstream in the upper Taihu Lake Basin	YUAN Shufang, WANG Weidong (6279)
Nutrient dynamics of the litters during standing and sediment surface decay in the Min River estuarine marsh	ZENG Congsheng, ZHANG Linhai, WANG Tian'e, et al (6289)
Diversity and distribution of endophytic bacteria isolated from <i>Caragana microphylla</i> grown in desert grassland in Ningxia	DAI Jinxia, WANG Yujiong (6300)
Spatial distribution of <i>Trabala vishnou gigantina</i> Yang pupae in Shaanxi Province, China	ZHANG Yiqiao, ZONG Shixiang, LIU Yonghua, et al (6308)
Effects of drought stress on <i>Cyclobalanopsis glauca</i> seedlings under simulating karst environment condition	ZHANG Zhongfeng, YOU Yeming, HUANG Yuqing, et al (6318)
Ecosystem diversity in Jinggangshan area, China	CHEN Baoming, LIN Zhengguang, LI Zhen, et al (6326)
Niche dynamics during restoration process for the dominant tree species in montane mixed evergreen and deciduous broadleaved forests at Mulinzi of southwest Hubei	TANG Jingming, AI Xuenru, YI Yongmei, et al (6334)
Effects of different day/night warming on the photosynthetic characteristics and chlorophyll fluorescence parameters of <i>Sinocalycanthus chinensis</i> seedlings	XU Xingli, JIN Zexin, HE Weiming, et al (6343)
The effect of simulated chronic high wind on the phenotype of <i>Salsola arbuscula</i>	NAN Jiang, ZHAO Xiaoying, YU Baofeng (6354)
Responses of N and P stoichiometry on mulching management in the stand of <i>Phyllostachys praecox</i>	GUO Ziwu, CHEN Shuanglin, YANG Qingping, et al (6361)
Tree-ring-based reconstruction of the temperature variations in February and March since 1890 AD in southern Jiangxi Province, China	CAO Shoujin, CAO Fuxiang, XIANG Wenhua (6369)
Diel variations and seasonal dynamics of soil respirations in subalpine meadow in western Sichuan Province, China	HU Zongda, LIU Shirong, SHI Zuomin, et al (6376)
Effects of fire disturbance on litter mass and soil carbon storage of <i>Betula platyphylla</i> and <i>Larix gmelinii</i> - <i>Carex schmidtii</i> swamps in the Xiaoxing'an Mountains of Northeast China	ZHOU Wenchang, MU Changcheng, LIU Xia, et al (6387)
Variance analysis of soil carbon sequestration under three typical forest lands converted from farmland in a Loess Hilly Area	TONG Xiaogang, HAN Xinhui, WU Faqi, et al (6396)
Soil-property and plant diversity of highway rocky slopes	PAN Shulin, GU Bin, LI Jiaxiang (6404)
Effects of slope position on soil microbial biomass of <i>Quercus liaotungensis</i> forest in Dongling Mountain	ZHANG Di, ZHANG Yuxin, QU Laiye, et al (6412)
Responses of water quality to landscape pattern in Taihu watershed: case study of 3 typical streams in Yixing	WANG Ying, ZHANG Jianfeng, CHEN Guangcai, et al (6422)
Study on the fairness of resource-environment system of Jiangxi Province based on different methods of Gini coefficient	HUANG Heping (6431)
Simulation of the spatial pattern of land use change in China: the case of planned development scenario	SUN Xiaofang, YUE Tianxiang, FAN Zemeng (6440)
Arable land change dynamics and their driving forces for the major countries of the world	ZHAO Wenwu (6452)
Denitrification characteristics of an aerobic denitrifying bacterium <i>Deffluibacter lusatiensis</i> str. DN7 using different sources of nitrogen	XIAO Jibo, JIANG Huixia, CHU Shuyi (6463)
Study on sustainable development in nanjing based on ecological footprint model	ZHOU Jing, GUAN Weihua (6471)
Applying input-output analysis method for calculation of water footprint and virtual water trade in Gansu Province	CAI Zhenhua, SHEN Laixin, LIU Junguo, et al (6481)
Correlation analysis of spatial variability of Soil available nitrogen and household nitrogen inputs at Pujiang County	FANG Bin, WU Jinfeng, NI Shaoxiang (6489)
Characteristics of the fish assemblages in the intertidal salt marsh zone and adjacent mudflat in the Yangtze Estuary	TONG Chunfu (6501)
A comparison study on the secondary production of macrobenthos in different wetland habitats in Shenzhen Bay	ZHOU Fufang, SHI Xiuhua, QIU Guoyu, et al (6511)
Regurgitant from <i>Orgyia ericae</i> Germar induces calcium influx and accumulation of hydrogen peroxide in <i>Ammopiptanthus mongolicus</i> (Maxim. ex Kom.) Cheng f. cells	GAO Haibo, ZHANG Shujing, SHEN Yingbai (6520)
Behavior characteristics and habitat adaptabilities of the endangered butterfly <i>Teinopalpus aureus</i> in Mount Dayao	ZENG Juping, ZHOU Shanyi, DING Jian, et al (6527)
Community structure and dynamics of fig wasps in syconia of <i>Ficus microcarpa</i> Linn. f. in Fuzhou	WU Wenshan, ZHANG Yanjie, LI Fengyu, et al (6535)
Review and Monograph	
Review and trend of eco-compensation mechanism on river basin	ZHANG Zhiqiang, CHENG Li, SHANG Haiyang, et al (6543)
Definition and research progress of sustainable consumption: from industrial ecology view	LIU Jingru, LIU Ruiquan, YAO Liang (6553)
The estimation and application of the water footprint in industrial processes	JIA Jia, YAN Yan, WANG Chenxing, et al (6558)
Research progress in ecological risk assessment of mining area	PAN Yajing, WANG Yanglin, PENG Jian, et al (6566)
Scientific Note	
Litter amount and its dynamic change of four typical plant community under the fenced condition in desert steppe	LI Xuebin, CHEN Lin, ZHANG Shuoxin, et al (6575)
Effects of planting densities and modes on activities of some enzymes and yield in summer maize	LI Hongqi, LIN Haiming, LIANG Shurong, et al (6584)

《生态学报》2013 年征订启事

《生态学报》是中国生态学学会主办的生态学专业性高级学术期刊,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,300 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 32 卷 第 20 期 (2012 年 10 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 32 No. 20 (October, 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:1000717	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