

ISSN 1000-0933

CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica

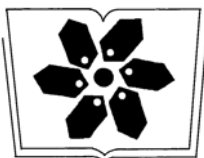
中国生态学会 2013 年学术年会专辑



第 33 卷 第 19 期 Vol.33 No.19 **2013**

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33卷第19期

2013年10月 (半月刊)

目次

中国生态学会 2013 年学术年会专辑 卷首语

- 生态系统服务研究文献现状及不同研究方向评述 马凤娇, 刘金铜, A. Egrinya Eneji (5963)
- 非人灵长类性打搅行为研究进展 杨 斌, 王程亮, 纪维红, 等 (5973)
- 密度制约效应对啮齿动物繁殖的影响 韩群花, 郭 聪, 张美文 (5981)
- 食物链长度远因与近因研究进展综述 王玉玉, 徐 军, 雷光春 (5990)
- AM 真菌在植物病虫害生物防治中的作用机制 罗巧玉, 王晓娟, 李媛媛, 等 (5997)
- 保护性耕作对农田碳、氮效应的影响研究进展 薛建福, 赵 鑫, Shadrack Batsile Dikgwatlhe, 等 (6006)
- 圈养大熊猫野化培训期的生境选择特征 张明春, 黄 炎, 李德生, 等 (6014)
- 利用红外照相技术分析野生白冠长尾雉活动节律及时间分配 赵玉泽, 王志臣, 徐基良, 等 (6021)
- 风速和持续时间对树麻雀能量收支的影响 杨志宏, 吴庆明, 董海燕, 等 (6028)
- 白马雪山自然保护区灰头小鼯鼠的巢址特征 李艳红, 关进科, 黎大勇, 等 (6035)
- 生境片段化对千岛湖岛屿上黄足厚结猛蚁遗传多样性的影响 罗媛媛, 刘金亮, 黄杰灵, 等 (6041)
- 基于 28S, COI 和 Cytb 基因序列的薛荔和爱玉子传粉小蜂分子遗传关系研究
..... 吴文珊, 陈友铃, 孙伶俐, 等 (6049)
- 高榕榕果内 *Eupristina* 属两种榕小蜂的遗传进化关系 陈友铃, 孙伶俐, 武蕾蕾, 等 (6058)
- 镉胁迫下杞柳对金属元素的吸收及其根系形态构型特征 王树凤, 施翔, 孙海菁, 等 (6065)
- 邻苯二甲酸对萝卜种子萌发、幼苗叶片膜脂过氧化及渗透调节物质的影响
..... 杨延杰, 王晓伟, 赵 康, 等 (6074)
- 极端干旱区多枝怪柳幼苗对人工水分干扰的形态及生理响应 马晓东, 王明慧, 李卫红, 等 (6081)
- 贝壳砂生境酸枣叶片光合生理参数的水分响应特征 王荣荣, 夏江宝, 杨吉华, 等 (6088)
- 陶粒覆盖对土壤水分、植物光合作用及生长状况的影响 谭雪红, 郭小平, 赵廷宁 (6097)
- 不同林龄短枝木麻黄小枝单宁含量及养分再吸收动态 叶功富, 张尚炬, 张立华, 等 (6107)
- 珠江三角洲不同污染梯度下森林优势种叶片和枝条 S 含量比较 裴男才, 陈步峰, 邹志谨, 等 (6114)
- AM 真菌和磷对小马安羊蹄甲幼苗生长的影响 宋成军, 曲来叶, 马克明, 等 (6121)
- 盐氮处理下盐地碱蓬种子成熟过程中的离子积累和种子萌发特性 周家超, 付婷婷, 赵维维, 等 (6129)
- CO₂ 浓度升高条件下内生真菌感染对宿主植物的生理生态影响 师志冰, 周 勇, 李 夏, 等 (6135)
- 预处理方式对香蒲和芦苇种子萌发的影响 孟 焕, 王雪宏, 佟守正, 等 (6142)
- 镉在土壤-金丝垂柳系统中的迁移特征 张 雯, 魏 虹, 孙晓灿, 等 (6147)
- 马尾松人工林近自然化改造对植物自然更新及物种多样性的影响 罗应华, 孙冬婧, 林建勇, 等 (6154)
- 濒危海草贝克喜盐草的种群动态及土壤种子库——以广西珍珠湾为例
..... 邱广龙, 范航清, 李宗善, 等 (6163)
- 毛乌素沙地南缘沙丘生物结皮对凝结水形成和蒸发的影响 尹瑞平, 吴永胜, 张 欣, 等 (6173)
- 塔里木河上游灰胡杨种群生活史特征与空间分布格局 韩 路, 席琳乔, 王家强, 等 (6181)
- 短期氮素添加和模拟放牧对青藏高原高寒草甸生态系统呼吸的影响 宗 宁, 石培礼, 蔺 婧, 等 (6191)
- 松嫩平原微地形下土壤水盐与植物群落分布的关系 杨 帆, 王志春, 王云贺, 等 (6202)

广州大夫山雨季林内外空气 TSP 和 PM _{2.5} 浓度及水溶性离子特征	肖以华, 李 炯, 旷远文, 等 (6209)
马鞍列岛岩礁生境鱼类群落结构时空格局	汪振华, 赵 静, 王 凯, 等 (6218)
黄海细纹狮子鱼种群特征的年际变化	陈云龙, 单秀娟, 周志鹏, 等 (6227)
三种温带森林大型土壤动物群落结构的时空动态	李 娜, 张雪萍, 张利敏 (6236)
笔管榕榕小蜂的群落结构与物种多样性	陈友铃, 陈晓倩, 吴文珊, 等 (6246)
海洋生态资本理论框架下的生态系统服务评估	陈 尚, 任大川, 夏 涛, 等 (6254)
中国地貌区划系统——以自然保护区体系建设为目标	郭子良, 崔国发 (6264)
生态植被建设对黄土高原农林复合流域景观格局的影响	易 扬, 信忠保, 覃云斌, 等 (6277)
华北农牧交错带农田-草地景观镶嵌体土壤水分空间异质性	王红梅, 王仲良, 王 堃, 等 (6287)
中国北方春小麦生育期变化的区域差异性与气候适应性	俄有浩, 霍治国, 马玉平, 等 (6295)
中国南方喀斯特石漠化演替过程中土壤理化性质的响应	盛茂银, 刘 洋, 熊康宁 (6303)
气候变化对东北沼泽湿地潜在分布的影响	贺 伟, 布仁仓, 刘宏娟, 等 (6314)
内蒙古不同类型草地土壤氮矿化及其温度敏感性	朱剑兴, 王秋风, 何念鹏, 等 (6320)
黑河中游荒漠绿洲区土地利用的土壤养分效应	马志敏, 吕一河, 孙飞翔, 等 (6328)
成都平原北部水稻土重金属含量状况及其潜在生态风险评价	秦鱼生, 喻 华, 冯文强, 等 (6335)
大西洋中部延绳钓黄鳍金枪鱼渔场时空分布与温跃层的关系	杨胜龙, 马军杰, 张 禹, 等 (6345)
夏季台湾海峡南部海域上层水体的生物固氮作用	林 峰, 陈 敏, 杨伟锋, 等 (6354)
北长山岛森林乔木层碳储量及其影响因子	石洪华, 王晓丽, 王 媛, 等 (6363)
植被类型变化对长白山森林土壤碳矿化及其温度敏感性的影响	王 丹, 吕瑜良, 徐 丽, 等 (6373)
油松遗传结构与地理阻隔因素的相关性	孟翔翔, 狄晓艳, 王孟本, 等 (6382)
基于辅助环境变量的土壤有机碳空间插值——以黄土丘陵区小流域为例	文 雯, 周宝同, 汪亚峰, 等 (6389)
基于生命周期视角的产业资源生态管理效益分析——以虚拟共生网络系统为例	施晓清, 李笑诺, 杨建新 (6398)
生态脆弱区贫困与生态环境的博弈分析	祁新华, 叶士琳, 程 煜, 等 (6411)
“世博”背景下上海经济与环境的耦合演化	倪 尧, 岳文泽, 张云堂, 等 (6418)

期刊基本参数: CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 464 * zh * P * ¥ 90.00 * 1510 * 55 * 2013-10



封面图说: 毛乌素沙地南缘沙丘的生物结皮——生物土壤结皮广泛分布于干旱和半干旱区, 它的形成和发育对荒漠生态系统生态修复过程产生重要的影响。组成生物结皮的藻类、苔藓和地衣是常见的先锋植物, 它们不仅能在严重干旱缺水、营养贫瘠恶劣的环境中生长、繁殖, 并且能通过其代谢方式影响并改变环境。其中一个重要的特点是, 生物结皮表面的凝结水显著大于裸沙。研究表明, 凝结水是除降雨之外最重要的水分来源之一, 在水分极度匮乏的荒漠生态系统, 它对荒漠生态系统结构、功能和过程的维持产生着重要的影响。

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/stxb201305251183

朱剑兴, 王秋凤, 何念鹏, 王若梦, 代景忠. 内蒙古不同类型草地土壤氮矿化及其温度敏感性. 生态学报, 2013, 33(19): 6320–6327.

Zhu J X, Wang Q F, He N P, Wang R M, Dai J Z. Soil nitrogen mineralization and associated temperature sensitivity of different Inner Mongolian grasslands. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(19): 6320–6327.

内蒙古不同类型草地土壤氮矿化及其温度敏感性

朱剑兴^{1, 2}, 王秋凤¹, 何念鹏^{1, *}, 王若梦¹, 代景忠³

(1. 中国科学院地理科学与资源研究所 生态系统网络观测与模拟重点实验室, 北京 100101;

2. 中国科学院大学, 北京 100049; 3. 内蒙古农业大学生态环境学院, 呼和浩特 010019)

摘要: 土壤氮矿化 (Nitrogen mineralization) 是土壤氮循环的重要环节, 对土壤氮素供应以及植物生产力的维持具有十分重要的意义。沿中国东北草地样带 (Northeastern China Transect, NECT) 分别在典型草地、过渡草地及荒漠草地设置了 3 个实验样地, 利用不同温度 (5、10、15、20 °C 和 25 °C) 和不同水分 (30%、60% 和 90% 土壤饱和含水量, Saturated soil moisture, SSM) 的室内培养途径, 探讨了不同类型草地的土壤氮矿化速率、土壤氮矿化的温度敏感性 (Q_{10}) 及其主要影响因素。实验结果表明: 从典型草地至荒漠草地, 土壤全碳、全氮、全磷、微生物生物量碳氮含量均表现为逐渐下降的趋势; 类似地, 土壤净氮矿化速率、硝化速率也逐渐降低。在 20 °C 和 60% SSM 时, 土壤净氮矿化速率表现为典型草地 ($0.715 \text{ mg N kg}^{-1} \text{ d}^{-1}$) > 过渡草地 ($0.507 \text{ mg N kg}^{-1} \text{ d}^{-1}$) > 荒漠草地 ($0.134 \text{ mg N kg}^{-1} \text{ d}^{-1}$); 相反, 温度敏感性却逐渐升高, 温度敏感性与基质质量指数呈负相关。草地类型和水分对于土壤净氮矿化速率、硝化速率具有显著影响, 且二者间具有显著的交互效应。包含温度和水分的双因素模型可很好地拟合土壤氮矿化速率的变化趋势 ($P < 0.0001$), 二者可共同解释土壤硝化速率 92%—96% 的变异。土壤氮矿化沿着草地演替呈现出很好的空间格局, 并与温度和水分具有密切关系, 为解释内蒙古草地空间分布格局提供了理论基础。

关键词: 草地类型; 温度; 水分; 土壤氮矿化速率; 温度敏感性 (Q_{10})

Soil nitrogen mineralization and associated temperature sensitivity of different Inner Mongolian grasslands

ZHU Jianxing^{1, 2}, WANG Qiufeng¹, HE Nianpeng^{1, *}, WANG Ruomeng¹, DAI Jingzhong³

1 Key Laboratory of Ecosystem Network Observation and Modeling, Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China

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

3 College of Ecology and Environmental Science, Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot 010019, China

Abstract: Nitrogen (N) mineralization is an important component of the soil N cycle, which is important for supplying the available N in soil to plants in addition to maintaining the plant productivity of terrestrial ecosystems. Especially, when most of grassland ecosystems were confronted with lacking of soil available N, it is more meaningful to focus on the soil N mineralization. In this study, we analyzed 3 different grasslands located along the Northeastern China Transect (NECT); specifically, a typical grassland, a transitional grassland, and a desert grassland. The soils in the 0–20 cm layer of these grasslands were incubated in the laboratory at different temperature (5, 10, 15, 20 and 25 °C) and moisture levels (30%, 60%, and 90% saturated soil moisture (SSM)) to evaluate differences in soil N mineralization and temperature sensitivity (Q_{10}), and to determine the main factors that regulate this process. The results showed that the total carbon, N, and phosphorus, microbial biomass carbon, and microbial biomass N of soils declined with grassland type, from typical grassland, to transitional grassland, to desert grassland. Furthermore, the total carbon, N, phosphorus, microbial biomass carbon, and microbial biomass N in soils were all significantly different among the three different grassland types ($P <$

基金项目: 全国生态环境十年 (2000—2010 年) 变化遥感调查与评估专项 (STSN-02-03); 国家重点基础研究发展计划项目 (2010CB833501)

收稿日期: 2013-05-25; **修订日期:** 2013-07-29

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: henp@igsnrr.ac.cn

0.001). The different soil properties in different grasslands indicated that the quality of the soil substrate tended to decline from typical grassland, to transitional grassland, to desert grassland. In parallel, net soil N mineralization and soil nitrification rates decreased gradually when the soils were incubated at the same temperature and moisture levels. For example, at an incubation temperature of 20 °C and moisture level of 60% SSM, the soil net N mineralization rate of the three grasslands was in the following order: typical grassland ($0.715 \text{ mg N kg}^{-1} \text{ d}^{-1}$) > transitional grassland ($0.507 \text{ mg N kg}^{-1} \text{ d}^{-1}$) > desert grassland ($0.134 \text{ mg N kg}^{-1} \text{ d}^{-1}$). In contrast, the Q_{10} values increased in the following order: typical grassland < transitional grassland < desert grassland. In addition, the substrate quality index (A) decreased in the following order: typical grassland > transitional grassland > desert grassland. The Q_{10} values appeared to be negatively correlated with the substrate quality index (A). Both grassland type and incubation moisture had a significant effect on the net N mineralization and nitrification rates of the soils, with significant interaction effects ($P = 0.017$). In contrast, these two factors (grassland type and incubation moisture) had no significant effect on soil ammonification rates. The models, using incubation temperature and moisture as variables, clearly showed the changes in the soil N mineralization rate ($P < 0.0001$), with R^2 ranging from 92% to 96%. This models demonstrated that within a certain threshold improving incubation temperature and moisture could promote the rate of soil N mineralization. Soil N mineralization exhibited a regular spatial pattern with the succession of grassland types from typical grassland to desert grassland, and was shown to be closely related to incubation temperature and moisture level. These data provide a new line of evidence explaining the noticeable spatial pattern of Inner Mongolian grasslands from the perspective of soil N availability.

Key Words: grassland type; incubation temperature; moisture; soil n mineralization; temperature sensitivity (Q_{10})

土壤氮矿化是土壤有机态氮在微生物作用下转化为无机态氮的过程,是生态系统氮循环的重要环节^[1-3]。目前,大多数草地生态系统均表现为可利用性氮素缺乏,因此,土壤氮矿化速率及其潜力对维持草地生态系统的生产力及其生物多样性十分重要^[4]。草地土壤氮矿化受到多种因素的影响,例如土壤温度、土壤含水量、土壤 pH 值、放牧强度、以及是否有抑制物质或激发物质存在等^[5-10]。

近年来,科学家广泛地利用室内培养实验来探讨土壤氮矿化的主要控制因素^[11-13]。王常慧等^[14-15]通过室内控制实验,揭示了温度 and 水分对锡林浩特典型草地土壤氮矿化的影响及其机制。沿着由东向西的中国东北草地样带 (NECT),植被从典型草地-过渡草地-荒漠草地,土壤氮素可利用性(或土壤氮矿化速率)理应呈现逐渐下降的趋势,同时土壤氮矿化的温度敏感性会逐渐上升;即土壤氮素可利用性是影响内蒙古草地分布的重要因素之一。然而,由于缺乏在不同地点的比对实验,该假设一直未得到实验验证。

本文沿 NECT 分别选取了典型草地、过渡草地和荒漠草地为实验对象,将其土壤在不同温度和不同水分进行培养,测定培养前后土壤无机氮含量。实验的主要目的:1)探讨草地土壤氮矿化速率及其温度敏感性;2)验证草地土壤氮矿化存在明显空间格局并与草地演替密切相关的假设。

1 实验材料和方法

1.1 研究区域概况

研究区域位于内蒙古中部锡林郭勒盟,它是我国最大的天然草地分布区。该区海拔在 1100—1350 m,属大陆性温带半干旱草原气候;年平均气温 0.4 °C,年降水量 345 mm。锡林郭勒盟的土壤类型多样,包括了棕钙土、栗钙土、黑钙土等,其中栗钙土分布区域最广且地域代表性最强。该区分布着我国的典型草地、荒漠草地及其许多过渡类型,优势植物为多年生旱生禾本科植物(如羊草和针茅等)^[16]。

1.2 实验样地与野外采样

2012 年 7 月中旬,沿 NECT 在锡林浩特市(43°56' N, 115°49' E)、阿巴嘎旗(44°00' N, 114°53' E)、苏尼特左旗(43°48' N, 113°33' E)设置了 3 个实验样点,分别代表典型草地、过渡草地和荒漠草地。在每个取样点,设置 4 个野外取样样地(2012 年春天建立围栏);在每个样地设置 1 个 1 m × 1 m 样方,收集地表凋落物;随后采用土钻法取 0—20 cm 土壤混合样品。土壤样品在室内过筛处理(2 mm 土壤筛),手工挑除根系和杂质。经过预处理的少量土壤样品(约 100 g)风干处理,其余部分在 4 °C 冷藏。

1.3 室内测试与培养

采用烘干法测定土壤含水量,电位法测定土壤 pH 值,干烧法(元素分析仪)测定土壤碳和氮含量,氯仿熏蒸法测定土壤微生物生物量碳和氮含量。

首先采用简易法测定土壤饱和含水量(SSM)^[17],再称取土壤鲜样 10 g 和石英砂 5 g 装入 50 mL 培养瓶;摇匀后,加蒸馏水

将土壤样品分别调节至 30%、60% 和 90% SSM。随后,将培养瓶分别放入 5、10、15、20 ℃ 和 25 ℃ 的恒温恒湿培养箱。在为期 14 d 的培养过程中,土壤样品每隔 2—3 d 补水 1 次,补水量采用称重法确定。为了计算土壤氮矿化速率,分别测定培养前和培养后测定土壤硝态氮(NO_3^-)和铵态氮(NH_4^+)。土壤经 50 mL 的 1 mol/L KCl 溶液浸提后,利用连续流动分析仪测定浸提液的 NO_3^- 和 NH_4^+ 浓度,再进行标准单位的换算^[14]。

1.4 数据计算与分析方法

1.4.1 土壤氮矿化速率的计算方法

土壤硝化速率、氨化速率是通过培养后和培养前土壤 NO_3^- 和 NH_4^+ 含量的差值来计算,净氮矿化速率为单位时间内无机氮含量变化(本文定义无机氮为 NO_3^- 和 NH_4^+ 之和),具体计算公式如下:

$$\Delta t = t_{i+1} - t_i \quad (1)$$

$$A_{\text{amm}} = c[\text{NH}_4^+-\text{N}]_{i+1} - c[\text{NH}_4^+-\text{N}]_i \quad (2)$$

$$A_{\text{nit}} = c[\text{NO}_3^--\text{N}]_{i+1} - c[\text{NO}_3^--\text{N}]_i \quad (3)$$

$$A_{\text{min}} = A_{\text{amm}} + A_{\text{nit}} \quad (4)$$

$$R_{\text{min}} = A_{\text{min}} / \Delta t \quad (5)$$

$$R_{\text{nit}} = A_{\text{nit}} / \Delta t \quad (6)$$

式中, t_i 为培养起始时间, t_{i+1} 为培养结束时间, Δt 为培养时间; $c[\text{NH}_4^+-\text{N}]_i$ 和 $c[\text{NH}_4^+-\text{N}]_{i+1}$ 分别为培养前后土壤样品 NH_4^+-N 浓度(mg N/kg); $c[\text{NO}_3^--\text{N}]_i$ 和 $c[\text{NO}_3^--\text{N}]_{i+1}$ 分别为培养前后土壤样品 NO_3^--N 浓度(mg N kg^{-1}); A_{amm} 、 A_{nit} 和 A_{min} 分别为一定培养时间内 NH_4^+-N 、 NO_3^--N 和无机氮($\text{NH}_4^+-\text{N} + \text{NO}_3^--\text{N}$) 积累量; R_{min} 和 R_{nit} 分别为净氮矿化速率和硝化速率($\text{mg N kg}^{-1} \text{ d}^{-1}$),土壤氮矿化速率的单位都换算为单位风干土重。

土壤氮矿化速率与温度之间的关系采用指数模型拟合:

$$F(T) = A \times e^{(B \times T)} \quad (7)$$

式中, T 为培养温度(℃), A 为基质质量指数, B 为温度反应系数。

土壤氮矿化的温度敏感性(Q_{10})计算方法如下:

$$Q_{10} = \exp^{(10 \times B)} \quad (8)$$

式中, Q_{10} 表示温度每增加 10 ℃ 土壤氮矿化速率增加的倍数。

为了揭示培养温度与培养水分对土壤氮矿化的影响,本文引入了双因素模型:

$$F(T, M) = a \times e^{(b \times T)} \times (c \times M^2 + d \times M + e) \quad (9)$$

式中, T 为培养温度(℃), M 为培养水分, a 、 b 、 c 、 d 、 e 均为模型参数。

1.4.2 统计方法

利用 SPSS 13.0 统计软件,分别对 R_{nit} 、 R_{amm} 和 R_{min} 进行双因素方差分析(Two-way ANOVA);此外,采用 20 ℃ 的土壤氮矿化速率来探讨水分与草地类型对土壤氮矿化的影响,采用 Duncan 法判断是否存在显著差异。利用 SigmaPlot 10.0 软件,模拟分析了培养温度、培养水分与土壤氮矿化速率的关系。统计检验的显著水平为 $P = 0.05$ 。

2 实验结果

2.1 植被和土壤特征

不同草地的地上生物量差异不显著($F = 1.19, P = 0.35$;表 1),可能是因为 2012 年降雨较多,草地地上生物量受降雨的制约较低。土壤全碳($F = 95.91, P < 0.001$)、全氮($F = 107.32, P < 0.001$)、全磷($F = 64.58, P < 0.001$)在不同类型草地间均差异显著(表 1);整体趋势为:典型草地 > 过渡草地 > 荒漠草地。

表 1 不同草地的地上生物量和土壤理化性质

Table 1 Aboveground biomass and soil properties in different grasslands

草地类型 Grassland types	地上生物量 Aboveground biomass (g/m^2)	全碳 Total carbon (%)	全氮 Total nitrogen (%)	全磷 Total phosphorus (g/kg)	pH
典型草地 Typical grassland	111.1±12.3 a	2.25±0.24 a	0.18±0.02 a	0.29±0.03 a	8.70±0.07 b
过渡草地 Transitional grassland	128.0±23.9 a	1.48±0.25 b	0.11±0.02 b	0.23±0.01 b	8.98±0.13 a
荒漠草地 Desert grassland	126.2±11.8 a	0.33±0.01 c	0.04±0.003 c	0.16±0.01 c	8.53±0.13 b
F	1.19	95.91	107.32	64.58	16.52
P	0.35	<0.001	<0.001	<0.001	0.001

数据为平均值±SD($n=4$),具有相同小写字母表示样地间差异不显著($P > 0.05$)

2.2 土壤微生物生物量碳和氮含量

不同草地间土壤微生物生物量碳差异性显著 ($F = 39.61$, $P < 0.001$, 图 1), 其中, 典型草地 ($26.44 \mu\text{g/g}$) > 过渡草地 ($16.90 \mu\text{g/g}$) > 荒漠草地 ($9.81 \mu\text{g/g}$)。不同草地的土壤微生物生物量氮差异也极显著 ($F = 341.7$, $P < 0.001$), 整体表现为: 典型草地 ($40.58 \mu\text{g/g}$) > 过渡草地 ($21.94 \mu\text{g/g}$) > 荒漠草地 ($12.91 \mu\text{g/g}$)。

2.3 土壤氮矿化速率

以 20°C 土壤氮矿化速率为例, 水分、草地类型对净氮矿化速率、硝化速率均具有显著的影响, 且不同因素间存在显著的交互效应 ($P = 0.017$, 表 2); 然而, 水分和草地类型对土壤氨化速率无显著影响。在 30%、60% 和 90% SSM 状况下, 净氮矿化速率和硝化速率均表现为: 典型草地 > 过渡草地 > 荒漠草地, 即: 从典型草地到荒漠草地演替过程中净氮矿化速率和硝化速率呈现下降趋势(图 2)。此外, 对于同一草地类型, 净氮矿化速率、硝化速率均随着水分升高而增加(图 2)。

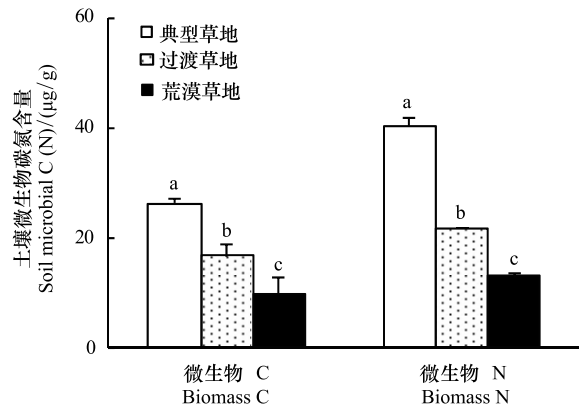


图 1 不同草地土壤微生物生物量碳和氮含量

Fig.1 Soil microbial carbon and nitrogen contents in different grasslands

典型草地 Typical grassland; 过渡草地 Transitional grassland; 荒漠草地 Desert grassland

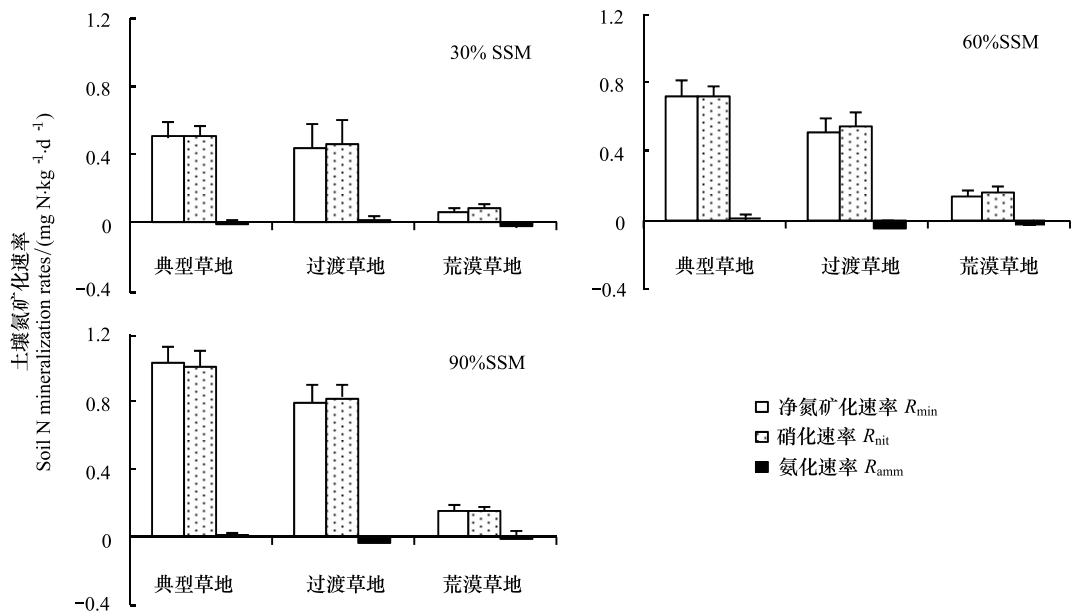


图 2 水分对土壤氮矿化速率的影响

Fig.2 The effect of moisture on soil N mineralization

典型草地 Typical grassland; 过渡草地 Transitional grassland; 荒漠草地 Desert grassland; SSM: 土壤饱和含水量

表 2 土壤净氮矿化速率、氨化速率和硝化速率的双因素方差分析结果

Table 2 Two-way ANOVA on soil net N mineralization, ammonification and nitrification rates

	硝化速率(R_{nit})		氨化速率(R_{amm})		净氮矿化速率(R_{min})	
	Nitrification rates		Ammonification rates		Net N mineralization rates	
	F	P	F	P	F	P
水分 Moisture (M)	24.58	<0.0001	0.91	0.42	27.33	<0.0001
草地类型 Grasslands types (G)	80.24	<0.0001	1.01	0.38	96.60	<0.0001
$M \times G$	4.02	0.017	1.59	0.22	4.03	0.017

2.4 水分和温度对土壤氮矿化速率的影响

双因素模型 $F(T, M) = a \times e^{(b \times T)} \times (c \times M^2 + d \times M + e)$ 能较好地模拟温度和水分对土壤氮矿化速率的影响, 温度和水分可

共同解释土壤氮硝化速率的 92%—96% 变异 (表 3, 图 3), 而对土壤氮化速率的影响不显著。在该模型中, b 为温度敏感性因子, c 、 d 、 e 为水分敏感性因子。参数 b 表现为: 荒漠草地 (0.067) > 过渡草地 (0.056) > 典型草地 (0.036), 说明荒漠草地的土壤氮矿化对温度变化更为敏感。

表 3 土壤氮矿化速率与温度和水分的双因素模型的关键参数

草地类型 Grassland types	a	b	c	d	e	R^2	F	P
典型草地 Typical grassland	2.083	0.036	-0.131	0.319	0.048	0.957	55.18	<0.0001
过渡草地 Transitional grassland	5.344	0.056	-0.044	0.129	-0.018	0.919	28.28	<0.0001
荒漠草地 Desert grassland	0.0247	0.067	-3.370	5.883	-0.775	0.953	50.51	<0.0001

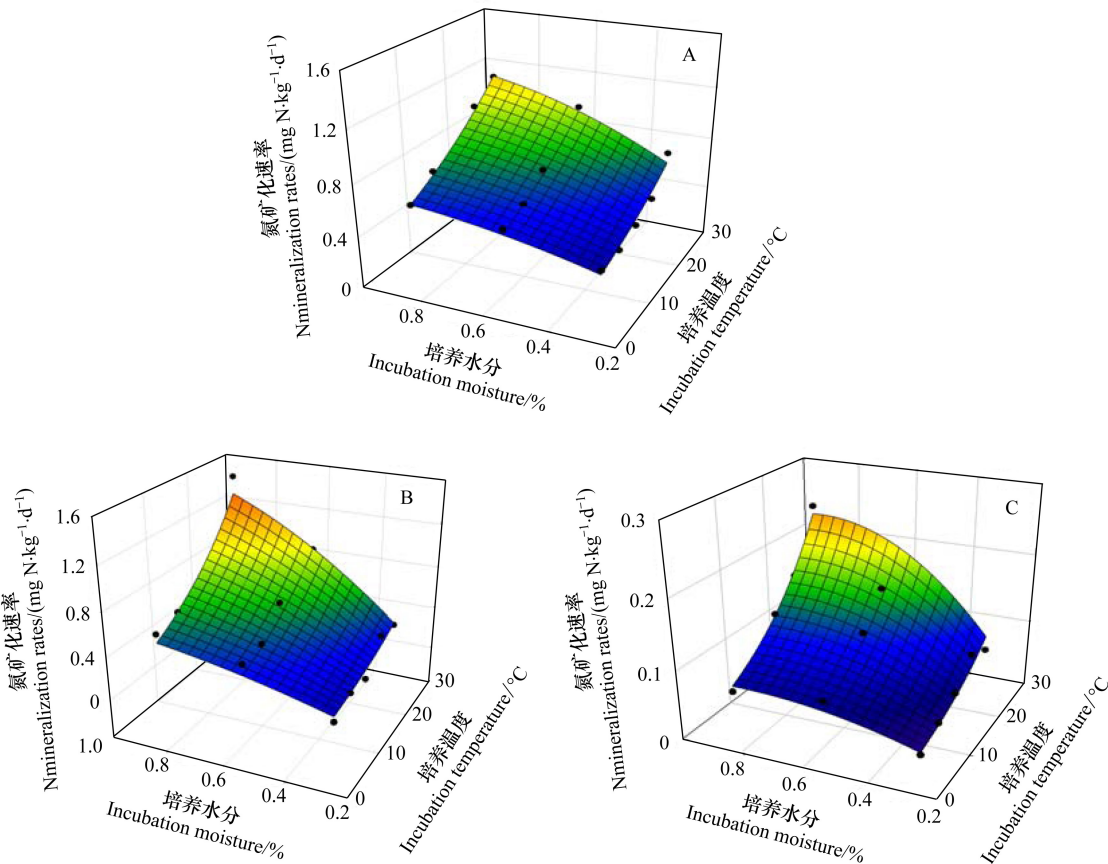


图 3 温度和水分对土壤硝化速率影响的拟合图

Fig.3 Model-fitting the effect of temperature and moisture on soil nitrification rates in different grasslands
A、B、C 分别为典型草地、过渡草地和荒漠草地

2.5 土壤氮矿化的温度敏感性

当水分为 60% SSM 及 90% SSM 时,土壤氮矿化的温度敏感性(Q_{10})沿典型草地、过渡草地到荒漠草地逐渐增大;以水分为 90% SSM 为例, Q_{10} 表现为典型草地 (1.527) < 过渡草地 (1.602) < 荒漠草地 (1.873)。然而,当水分为 30% SSM,不同草地间的 Q_{10} 差异显著并在过渡草地最高 ($F = 23.0$, $P = 0.002$, 图 4)。此外,基质质量指数 (A) 沿典型草地至荒漠草地逐渐降低;以 90% SSM 为例,典型草地 ($0.500 \text{ mg kg}^{-1} \text{ d}^{-1}$) < 过渡草地 ($0.360 \text{ mg kg}^{-1} \text{ d}^{-1}$) < 荒漠草地 ($0.041 \text{ mg kg}^{-1} \text{ d}^{-1}$) (表 4)。

3 讨论与结论

沿着中国东北草地样带,土壤氮矿化速率从典型草地至荒漠草地的演替过程中逐渐降低。Singh 等^[18]对 4 种不同的生态系统研究发现,土壤氮矿化速率的大小表现为森林 > 混交林 > 稀树草原 > 农田。吴建国等^[19]对祁连山中部四种典型生态系统的土壤氮矿化研究中发现,高寒草甸和山地森林土壤氮矿化量较高,干旱和荒漠草原土壤氮矿化量较低;此外,森林和干旱草原中土壤氮矿化比例较高,荒漠草原和高寒草甸中较低。无论是草地演替还是不同生态系统间的比较,科学家发现植物物种丰

富度高的生态系统其土壤氮矿化速率也较高^[18-19];由此可推测,土壤的氮素可利用性对维持植物群落多样性与生产力具有重要作用。

温度和湿度对草地土壤氮矿化具有明显的影响,双因素模型能很好地拟合土壤氮矿化对温度和水分的响应(R^2 约为0.92—0.96)。王常慧等^[15]发现温度与水分对围封草地的土壤氮矿化具有显著的交互影响,但对于放牧草地则没有这一现象。此外,邹亚丽等^[20]对紫花苜蓿草地的土壤通过室内培养的方法,也证明了温度与湿度的交互效应对土壤净氮矿化有明显的响应。周才平等^[21-22]发现温度和湿度对暖温带落叶阔叶林的土壤氮矿化的影响非常显著,在5—25℃间,土壤净氮矿化速率和净硝化速率均随着温度和湿度的升高而增加。这意味着温度和湿度在一定阈值内能够提高微生物的活性,并促进土壤氮矿化。

微生物群落结构对土壤氮矿化速率具有显著影响。土壤微生物生物量碳氮含量均表现为典型草地>过渡草地>荒漠草地,与土壤氮矿化速率的变化趋势吻合。Luo等^[23]认为,在温暖的环境下,如果提供给微生物生命活动的能量物质是有限的,那么微生物群落组成就会对土壤呼吸及其相关的生理功能进行调整,乃至降低土壤呼吸速率。范分良等^[24]通过灭菌以及接种微生物的方法,证明了改变土壤微生物群落将对土壤呼吸速率及其温度敏感性产生影响。微生物能够促进凋落物分解,并增加土壤的有机质含量;同时,土壤有机质的分解又为土壤氮矿化提供了物质和能量,典型草地土壤微生物碳和氮含量高于其它两种草地类型(图1),估计是典型草地的微生物群落和结构更为的丰富多样,从而促进典型草地的土壤氮矿化。Vitousek等^[25]研究表明,在成土母质相似的土壤,植被类型不同使得微生物群落和结构的差异对土壤氮矿化具有显著影响。

表4 土壤氮矿化速率的指数模型参数

Table 4 Model parameters of the exponential function for N mineralization rates

草地类型 Grassland types	土壤饱和 含水量 SSM/%	A /($\text{mg kg}^{-1} \text{d}^{-1}$)	B /℃	R^2	Q_{10}
典型草地 Typical grassland	30	0.273	0.034	0.818	1.373±0.030
	60	0.436	0.030	0.863	1.370±0.013
	90	0.500	0.033	0.637	1.527±0.111
过渡草地 Transitional grassland	30	0.051	0.082	0.557	2.664±0.360
	60	0.325	0.037	0.687	1.512±0.077
	90	0.360	0.050	0.869	1.602±0.059
荒漠草地 Desert grassland	30	0.019	0.060	0.484	2.004±0.180
	60	0.035	0.087	0.677	2.072±0.626
	90	0.041	0.068	0.574	1.873±0.166

表中数值为平均值±SD($n=3$); SSM: Saturated Soil Moisture

内蒙古草地土壤氮矿化的 Q_{10} 大约在分布在1.3—2.7之间,与其它研究者的结论基本相符。比如 Kätterer等^[26]通过模型分析发现在5—35℃范围的温度区间内, Q_{10} 大约为2左右。Kladivko等^[5]则认为在10—35℃间 Q_{10} 的平均值为2。吴建国等^[19]指出祁连山中部四种生态系统的 Q_{10} 介于1—2之间。

Q_{10} 不仅可以表征不同基质土壤的温度敏感性^[27],还是衡量土壤氮素矿化对未来温度变化响应的一个重要参数^[15]。温度敏感性存在明显的空间格局,从典型草地至荒漠草地, Q_{10} 逐渐增加,基质质量指数(A)却逐渐降低, Q_{10} 与 A 负相关。从典型草地至荒漠草地的土壤全碳、氮和磷都是逐渐减小的(表1),表明荒漠草地具有更差的土壤基质;土壤氮矿化是一个耗能的过程,主要通过微生物的酶促反应来实现,因而基质差的荒漠草地需要更高的活化能,相对的温度敏感性也越高,即具有更高的 Q_{10} 值。Kladivko等^[5]在研究典型粘淀湿润软土和典型的筒育潮湿软土时表明土壤氮矿化的 Q_{10} 值均与基质质量指数呈负相关。其它还有一些研究者也应证了这一观点^[28-29]。然而,Kätterer等^[26]和 Reichstein等^[30]在研究矿物质土壤时指出温度与土壤基质质量没有关系,土壤矿物颗粒可以通过将有机碳吸收到土壤表面来固定碳,从而导致了不同的温度依赖性。

内蒙古草地土壤氮矿化速率及其温度敏感性存在明显的空间格局,土壤氮矿化速率沿着典型草地至荒漠草地的演替是逐

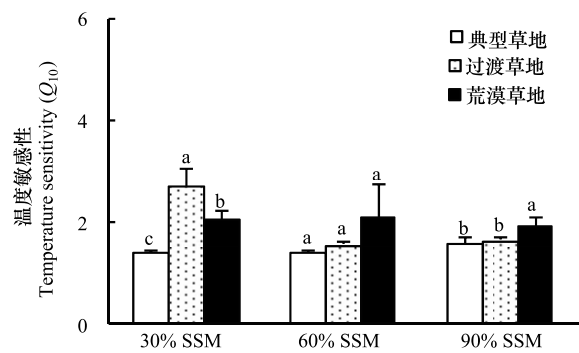


图4 水分对土壤氮矿化温度敏感性的影响

Fig.4 The effect of moisture on temperature sensitivity of soil N mineralization in different grasslands

典型草地 Typical grassland; 过渡草地 Transitional grassland; 荒漠草地 Desert grassland; 土壤饱和含水量 SSM, saturated soil moisture

渐降低的,同时温度敏感性 Q_{10} 的值是逐渐增加。草地类型和水分对内蒙古草地土壤氮矿化具有显著影响,且二者间存在显著的交互效应;此外,包含温度和水分的双因素模型能很好地拟合土壤氮矿化对温度和水分的响应。本文初步揭示了从典型草地至荒漠草地的土壤氮矿化及温度敏感性的变化格局,并探讨了其与温度、水分的复杂关系,可为后续探讨未来气候变化下的草地土壤氮矿化及其氮素供给提供一定的理论依据。

References:

- [1] Abera G, Wolde-meskel E, Bakken L R. Carbon and nitrogen mineralization dynamics in different soils of the tropics amended with legume residues and contrasting soil moisture contents. *Biology and Fertility of Soils*, 2012, 48(1): 51-66.
- [2] Li M, Zhu L C, Zhang Q F, Cheng X L. Impacts of different land use types on soil nitrogen mineralization in Danjiangkou Reservoir Area, China. *Chinese Journal of Plant Ecology*, 2012, 36(6): 530-538.
- [3] Tian H D, Tian D L, Yan W D, Luo Z H, Xu L Y. Study of soil nitrogen mineralization in different forests in Guiyang city. *Journal of Central South University of Forestry & Technology*, 2012, 32(11): 100-104.
- [4] Wang C H, Xing X R, Han X G. The effects of temperature and moisture on the soil net nitrogen mineralization in an *Aneurolepidium chinensis* grassland, Inner Mongolia, China. *Acta Ecologica Sinica*, 2004, 24(11): 2472-2476.
- [5] Kladivko E J, Keeney D R. Soil nitrogen mineralization as affected by water and temperature interactions. *Biology and Fertility of Soils*, 1987, 5(3): 248-252.
- [6] Quemada M, Cabrera M L. Temperature and moisture effects on C and N mineralization from surface applied clover residue. *Plant and Soil*, 1997, 189(1): 127-137.
- [7] Gao J Q, Ouyang H, Zhang F, Wang C M. The response of soil nitrogen mineralization to soil temperature and soil moisture in Zoige alpine wetland. *Wetland Science*, 2008, 6(2): 229-234.
- [8] Wang Y J, Zou G Y, Fu H, Liu H B. Development and advance of soil nitrogen mineralization. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2005, 21(10): 203-208.
- [9] Zhang W, He H B, Xie H T, Bai Z, Zhang X D. Effect of glucose on mineralization of organic nitrogen in black soil, Northeast of China. *Journal of Ecology and Rural Environment*, 2009, 25(4): 52-54, 82-82.
- [10] Yang Y, Bai Y F, Wang M J, Ying J Y, Shan Y M. The effect of grazing intensity on soil nitrogen mineralization potential in typical steppe of Inner Mongolia. *Journal of Inner Mongolia Agricultural University: Natural Science Edition*, 2009, 31(3): 136-140.
- [11] Fraser F C, Hallett P D, Wookey P A, Hartley I P, Hopkins D W. How do enzymes catalysing soil nitrogen transformations respond to changing temperatures? *Biology and Fertility of Soils*, 2013, 49(1): 99-103.
- [12] Guntiñas M, Leirós M, Trasar-Cepeda C, Gil-Sotres F. Effects of moisture and temperature on net soil nitrogen mineralization: A laboratory study. *European Journal of Soil Biology*, 2012, 48: 73-80.
- [13] Rahman M H, Islam M R, Jahiruddin M, Puteh A B, Mondal M M A. Influence of organic matter on nitrogen mineralization pattern in soils under different moisture regimes. *International Journal of Agriculture and Biology*, 2013, 15(1): 55-61.
- [14] Wang C H, Han X G, Xing X R. Effects of grazing exclusion on soil net nitrogen mineralization and nitrogen availability in a temperate steppe in northern China. *Journal of Arid Environments*, 2010, 74(10): 1287-1293.
- [15] Wang C H, Wan S Q, Xing X R, Zhang L, Han X G. Temperature and soil moisture interactively affected soil net N mineralization in temperate grassland in Northern China. *Soil Biology and Biochemistry*, 2006, 38(5): 1101-1110.
- [16] He N P, Han X G, Yu G R. Carbon and nitrogen sequestration rate in long-term fenced grasslands in Inner Mongolia, China. *Acta Ecologica Sinica*, 2011, 31(15): 4270-4276.
- [17] Dai J Z, Wei Z J, He N P, Wang R M, Wen X H, Zhang Y H, Zhao X N, Yu G R. Effect of grazing enclosure on the priming effect and temperature sensitivity of soil C mineralization in *Leymus chinensis* grasslands, Inner Mongolia, China. *Chinese Journal of Plant Ecology*, 2012, 36(12): 1226-1236.
- [18] Singh J S, Singh D P, Kashyap A K. A comparative account of the microbial biomass-N and N-mineralization of soils under natural forest, grassland and crop field from dry tropical region, India. *Plant Soil and Environment*, 2009, 55(6): 223-230.
- [19] Wu J G, Change W, Ai L, Chang X X. The soil nitrogen mineralization under four typical ecosystem in Qilian Mountains. *Ecology and Environment*, 2007, 16(3): 1000-1006.
- [20] Zou Y L, Han F H, Geng L Y, Shen Y Y. Effects of temperature and moisture on soil nitrogen mineralization of lucerne stands. *Acta Prataculturae Sinica*, 2010, 19(4): 101-107.
- [21] Zhou C P, Ouyang H. Influence of temperature and moisture on soil nitrogen mineralization under two types of forest in Changbai Mountain. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2001, 12(4): 505-508.
- [22] Zhou C P, Ouyang H. Temperature and moisture effects on soil nitrogen mineralization in deciduous broad-leaved forest. *Acta Phytocological Sinica*, 2001, 25(2): 204-209.

- [23] Luo Y Q, Wan S Q, Hui D F, Wallace L L. Acclimatization of soil respiration to warming in a tall grass prairie. *Nature*, 2001, 413(6856): 622-625.
- [24] Fan F L, Huang P R, Tang Y J, Li Z J, Liang Y C. Altered microbial communities change soil respiration rates and their temperature sensitivity. *Environmental Science*, 2012, 33(3): 932-937.
- [25] Vitousek P M, Gosz J R, Grier C C, Melillo J M, Reiners W A. A comparative analysis of potential nitrification and nitrate mobility in forest ecosystems. *Ecological Monographs*, 1982, 52(2): 155-177.
- [26] Kätterer T, Reichstein M, Andren O, Lomander A. Temperature dependence of organic matter decomposition: a critical review using literature data analyzed with different models. *Biology and Fertility of Soils*, 1998, 27(3): 258-262.
- [27] Dalias P, Anderson J M, Bottner P, Coûteaux M M. Temperature responses of net nitrogen mineralization and nitrification in conifer forest soils incubated under standard laboratory conditions. *Soil Biology and Biochemistry*, 2002, 34(5): 691-701.
- [28] Fierer N, Craine J M, McLauchlan K, Schimel J P. Litter quality and the temperature sensitivity of decomposition. *Ecology*, 2005, 86(2): 320-326.
- [29] Mikan C J, Schimel J P, Doyle A P. Temperature controls of microbial respiration in arctic tundra soils above and below freezing. *Soil Biology and Biochemistry*, 2002, 34(11): 1785-1795.
- [30] Reichstein M, Kätterer T, Andrén O, Ciais P, Schulze E D, Cramer W, Papale D, Valentini R. Temperature sensitivity of decomposition in relation to soil organic matter pools: critique and outlook. *Biogeosciences*, 2005, 2(4): 317-321.

参考文献:

- [2] 李铭, 朱利川, 张全发, 程晓莉. 不同土地利用类型对丹江口库区土壤氮矿化的影响. *植物生态学报*, 2012, 36(6): 530-538.
- [3] 田红灯, 田大伦, 闫文德, 罗赵慧, 徐露燕. 贵阳市4种森林类型土壤氮矿化的研究. *中南林业科技大学学报*, 2012, 32(11): 100-104.
- [4] 王常慧, 邢雪荣, 韩兴国. 温度和湿度对我国内蒙古羊草草原土壤净氮矿化的影响. *生态学报*, 2004, 24(11): 2472-2476.
- [7] 高俊琴, 欧阳华, 张锋, 王春梅. 若尔盖高寒湿地土壤氮矿化对温度和湿度的响应. *湿地科学*, 2008, 6(2): 229-234.
- [8] 王艳杰, 邹国元, 付桦, 刘宏斌. 土壤氮素矿化研究进展. *中国农学通报*, 2005, 21(10): 203-208.
- [9] 张威, 何红波, 解宏图, 白震, 张旭东. 葡萄糖对东北黑土有机氮矿化的调控作用. *生态与农村环境学报*, 2009, 25(4): 52-54, 82-82.
- [10] 杨勇, 白永飞, 王明玖, 应娇妍, 单玉梅. 放牧强度对内蒙古典型草原土壤氮矿化潜力的影响. *内蒙古农业大学学报: 自然科学版*, 2010, 31(3): 136-140.
- [16] 何念鹏, 韩兴国, 于贵瑞. 长期封育对不同类型草地碳贮量及其固持速率的影响. *生态学报*, 2011, 31(15): 4270-4276.
- [17] 代景忠, 卫智军, 何念鹏, 王若梦, 温学华, 张云海, 赵小宁, 于贵瑞. 封育对羊草草地土壤碳矿化激发效应和温度敏感性的影响. *植物生态学报*, 2012, 36(12): 1226-1236.
- [19] 吴建国, 裴伟, 艾丽, 常学向. 祁连山中部四种典型生态系统土壤氮矿化的研究. *生态环境*, 2007, 16(3): 1000-1006.
- [20] 邹亚丽, 韩方虎, 耿丽英, 沈禹颖. 温度和湿度对紫花苜蓿土壤氮矿化的影响. *草业学报*, 2010, 19(4): 101-107.
- [21] 周才平, 欧阳华. 温度和湿度对长白山两种林型下土壤氮矿化的影响. *应用生态学报*, 2001, 12(4): 505-508.
- [22] 周才平, 欧阳华. 温度和湿度对暖温带落叶阔叶林土壤氮矿化的影响. *植物生态学报*, 2001, 25(2): 204-209.
- [24] 范分良, 黄平容, 唐勇军, 李兆君, 梁永超. 微生物群落对土壤微生物呼吸速率及其温度敏感性的影响. *环境科学*, 2012, 33(3): 932-937.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol.33, No.19 Oct., 2013 (Semimonthly)
CONTENTS

A review of ecosystem services and research perspectives	MA Fengjiao, LIU Jintong, A. Egrinya Eneji (5963)
Sexual interference in non-human primates	YANG Bin, WANG Chengliang, JI Weihong, et al (5973)
Density-dependent effect on reproduction of rodents; a review	HAN Qunhua, GUO Cong, ZHANG Meiwen (5981)
Proximate and ultimate determinants of food chain length	WANG Yuyu, XU Jun, LEI Guangchun (5990)
Mechanism of biological control to plant diseases using arbuscular mycorrhizal fungi	LUO Qiaoyu, WANG Xiaojuan, LI Yuanyuan, et al (5997)
Advances in effects of conservation tillage on soil organic carbon and nitrogen	XUE Jianfu, ZHAO Xin, Shadrack Batsile Dikgwatlhe, et al (6006)
Habitat selection of the pre-released giant panda in Wolong Nature Reserve	ZHANG Mingchun, HUANG Yan, LI Desheng, et al (6014)
Activity rhythm and behavioral time budgets of wild Reeves's Pheasant (<i>Syrnaticus reevesii</i>) using infrared camera	ZHAO Yuze, WANG Zhichen, XU Jiliang, et al (6021)
The energy budget of tree sparrows <i>Passer montanus</i> in wind different speed and duration	YANG Zhihong, WU Qingming, DONG Haiyan, et al (6028)
Nest site characteristics of <i>Petaurista caniceps</i> in Baima Snow Mountain Nature Reserve	LI Yanhong, GUAN Jinke, LI Dayong, HU Jie (6035)
Effects of habitat fragmentation on the genetic diversity of <i>Pachycondyla luteipes</i> on islands in the Thousand Island Lake, East China	LUO Yuanyuan, LIU Jinliang, HUANG Jiuling, et al (6041)
The molecular genetic relationship between the pollinators of <i>Ficus pumila</i> var. <i>pumila</i> and <i>Ficus pumila</i> var. <i>aukeotsang</i>	WU Wenshan, CHEN Youling, SUN Lingli, et al (6049)
The genetic evolutionary relationships of two <i>Eupristina</i> species on <i>Ficus altissima</i>	CHEN Youling, SUN Lingli, WU Leilei, et al (6058)
Metal uptake and root morphological changes for two varieties of <i>Salix integra</i> under cadmium stress	WANG Shufeng, SHI Xiang, SUN Haijing, et al (6065)
Effects of phthalic acid on seed germination, membrane lipid peroxidation and osmoregulation substance of radish seedlings	YANG Yanjie, WANG Xiaowei, ZHAO Kang, et al (6074)
The morphological and physiological responses of <i>Tamarix ramosissima</i> seedling to different irrigation methods in the extremely arid area	MA Xiaodong, WANG Minghui, LI Weihong, et al (6081)
Response characteristics of photosynthetic and physiological parameters in <i>Ziziphus jujuba</i> var. <i>spinosa</i> seedling leaves to soil water in sand habitat formed from seashells	WANG Rongrong, XIA Jiangbao, YANG Jihua, et al (6088)
Effects of ceramsite mulching on soil water content, photosynthetic physiological characteristics and growth of plants	TAN Xuehong, GUO Xiaoping, ZHAO Tingning (6097)
Dynamics of tannin concentration and nutrient resorption for branchlets of <i>Casuarina equisetifolia</i> plantations at different ages	YE Gongfu, ZHANG Shangju, ZHANG Lihua, et al (6107)
Sulfur contents in leaves and branches of dominant species among the three forest types in the Pearl River Delta	PEI Nancai, CHEN Bufeng, ZOU Zhijin, et al (6114)
Impacts of arbuscular mycorrhizal fungi and phosphorus on growth dynamics of <i>Bauhinia faberi</i> seedlings	SONG Chengjun, QU Laiye, MA Keming, et al (6121)
Characteristics of ion accumulation and seed germination for seeds from plants cultured at different concentrations of nitrate nitrogen and salinity	ZHOU Jiachao, FU Tingting, ZHAO Weiwei, et al (6129)
Physio-ecological effects of endophyte infection on the host grass with elevated CO ₂	SHI Zhibing, ZHOU Yong, LI Xia, et al (6135)
Effects of pretreatment on germination of <i>Typha domingensis</i> and <i>Phragmites australis</i>	MENG Huan, WANG Xuehong, TONG Shouzheng, et al (6142)
Transfer characteristics of cadmium from soil to <i>Salix × aureo-pendula</i>	ZHANG Wen, WEI Hong, SUN Xiaocan, et al (6147)
Effect of Close-to-Nature management on the natural regeneration and species diversity in a masson pine plantation	LUO Yinghua, SUN Dongjing, LIN Jianyong, et al (6154)
Population dynamics and seed banks of the threatened seagrass <i>Halophila beccarii</i> in Pearl Bay, Guangxi	QIU Guanglong, FAN Hangqing, LI Zongshan, et al (6163)
Effects of biological crusts on dew deposition and evaporation in the Southern Edge of the Mu Us Sandy Land, Northern China	YIN Ruiping, WU Yongsheng, ZHANG Xin, et al (6173)
Life history characteristics and spatial distribution of <i>Populus pruinosa</i> population at the upper reaches of Tarim River	HAN Lu, XI Linqiao, WANG Jiaqiang, et al (6181)
Interactive effects of short-term nitrogen enrichment and simulated grazing on ecosystem respiration in an alpine meadow on the Tibetan Plateau	ZONG Ning, SHI Peili, JIANG Jing, et al (6191)

- The correlation between soil water salinity and plant community distribution under micro-topography in Songnen Plain YANG Fan, WANG Zhichun, WANG Yunhe, et al (6202)
- Comparison of TSP, PM_{2.5} and their water-soluble ions from both inside and outside of Dafushan forest park in Guangzhou during rainy season XIAO Yihua, LI Jiong, KUANG Yuanwen, et al (6209)
- Fish community ecology in rocky reef habitat of Ma'an Archipelago II. Spatio-temporal patterns of community structure WANG Zhenhua, ZHAO Jing, WANG Kai, et al (6218)
- Interannual variation in the population dynamics of snailfish *Liparis tanakae* in the Yellow Sea CHEN Yunlong, SHAN Xiujuan, ZHOU Zhipeng, et al (6227)
- Spatial and temporal variation of soil macro-fauna community structure in three temperate forests LI Na, ZHANG Xueping, ZHANG Limin (6236)
- Community structure and species biodiversity of fig wasps in syconia of *Ficus superba* Miq. var. *japonica* Miq. in Fuzhou CHEN Youling, CHEN Xiaoqian, WU Wenshan, et al (6246)
- Marine ecological capital: valuation methods of marine ecosystem services CHEN Shang, REN Dachuan, XIA Tao, et al (6254)
- Geomorphologic regionalization of China aimed at construction of nature reserve system GUO Ziliang, CUI Guofa (6264)
- Impact of ecological vegetation construction on the landscape pattern of a Loess Plateau Watershed YI Yang, XIN Zhongbao, QIN Yunbin, et al (6277)
- Spatial heterogeneity of soil moisture across a cropland-grassland mosaic: a case study for agro-pastoral transition in north of China WANG Hongmei, WANG Zhongliang, WANG Kun, et al (6287)
- The regional diversity of changes in growing duration of spring wheat and its correlation with climatic adaptation in Northern China E Youhao, HUO Zhiguo, MA Yuping, et al (6295)
- Response of soil physical-chemical properties to rocky desertification succession in South China Karst SHENG Maoyin, LIU Yang, XIONG Kangning (6303)
- Prediction of the effects of climate change on the potential distribution of mire in Northeastern China HE Wei, BU Rencang, LIU Hongjuan, et al (6314)
- Soil nitrogen mineralization and associated temperature sensitivity of different Inner Mongolian grasslands ZHU Jianxing, WANG Qiufeng, HE Nianpeng, et al (6320)
- Effects of land use on soil nutrient in oasis-desert ecotone in the middle reach of the Heihe River MA Zhimin, LÜ Yihe, SUN Feixiang, et al (6328)
- Assessment on heavy metal pollution status in paddy soils in the northern Chengdu Plain and their potential ecological risk QIN Yusheng, YU Hua, FENG Wenqiang, et al (6335)
- Relationship between the temporal-spatial distribution of longline fishing grounds of yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) and the thermocline characteristics in the Central Atlantic Ocean YANG Shenglong, MA Junjie, ZHANG Yu, et al (6345)
- Biological nitrogen fixation in the upper water column in the south Taiwan Strait during summer 2011 LIN Feng, CHEN Min, YANG Weifeng, et al (6354)
- Storage and drivers of forests carbon on the Beichangshan Island of Miaodao Archipelago SHI Honghua, WANG Xiaoli, WANG Ai, et al (6363)
- Impact of changes in vegetation types on soil C mineralization and associated temperature sensitivity in the Changbai Mountain forests of China WANG Dan, LÜ Yuliang, XU Li, et al (6373)
- Analysis of relationship between genetic structure of Chinese Pine and mountain barriers MENG Xiangxiang, DI Xiaoyan, WANG Mengben, et al (6382)
- Soil organic carbon interpolation based on auxiliary environmental covariates: a case study at small watershed scale in Loess Hilly region WEN Wen, ZHOU Baotong, WANG Yafeng, et al (6389)
- Eco-management benefit analysis of industrial resources from life cycle perspective: a case study of a virtual symbiosis network SHI Xiaoqing, LI Xiaonuo, YANG Jianxin (6398)
- The game analysis between poverty and environment in ecologically fragile zones QI Xinhua, YE Shilin, CHENG Yu, et al (6411)
- The coupling development of economy and environment under the background of World Expo in Shanghai NI Yao, YUE Wenzhe, ZHANG Yuntang, et al (6418)

《生态学报》2013 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,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

本期责任副主编 陈利顶

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 33 卷 第 19 期 (2013 年 10 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 33 No. 19 (October, 2013)

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	王如松	Editor-in-chief	WANG Rusong
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:100717	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

国内外公开发刊

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 90.00 元