

ISSN 1000-0933  
CN 11-2031/Q

# 生态学报

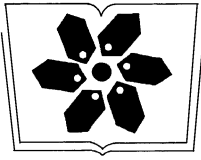
## Acta Ecologica Sinica



第31卷 第18期 Vol.31 No.18 2011

中国生态学学会  
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 31 卷 第 18 期 2011 年 9 月 (半月刊)

## 目 次

高寒矮嵩草草甸冬季 CO <sub>2</sub> 释放特征 .....	吴 琴, 胡启武, 曹广民, 等 (5107)
开垦对绿洲农田碳氮累积及其与作物产量关系的影响 .....	黄彩变, 曾凡江, 雷加强, 等 (5113)
施氮对几种草地植物生物量及其分配的影响 .....	祁 瑜, 黄永梅, 王 艳, 等 (5121)
浙江天台山甜槠种群遗传结构的时空自相关分析 .....	祁彩虹, 金则新, 李钧敏 (5130)
大兴安岭林区不同植被对冻土地温的影响 .....	常晓丽, 金会军, 于少鹏, 等 (5138)
樟子松树轮不同组分的稳定碳同位素分析 .....	商志远, 王 建, 崔明星, 等 (5148)
内蒙古不同类型草地叶面积指数遥感估算 .....	柳艺博, 居为民, 朱高龙, 等 (5159)
杭州西湖北里湖荷叶枯落物分解及其对水环境的影响 .....	史 绮, 焦 锋, 陈 莹, 等 (5171)
火干扰对小兴安岭落叶松-苔草沼泽温室气体排放的影响 .....	于丽丽, 牟长城, 顾 韩, 等 (5180)
黄河中游连伯滩湿地景观格局变化 .....	郭东罡, 上官铁梁, 白中科, 等 (5192)
黄土区次生植被恢复对土壤有机碳官能团的影响 .....	李 婷, 赵世伟, 张 扬, 等 (5199)
我国东北土壤有机碳、无机碳含量与土壤理化性质的相关性 .....	祖元刚, 李 冉, 王文杰, 等 (5207)
黄土旱塬裸地土壤呼吸特征及其影响因子 .....	高会议, 郭胜利, 刘文兆 (5217)
宁南山区典型植物根际与非根际土壤微生物功能多样性 .....	安韶山, 李国辉, 陈利顶 (5225)
岩溶山区和石漠化区表土孢粉组合的差异性——以重庆市南川区为例 .....	郝秀东, 欧阳绪红, 谢世友 (5235)
夏蜡梅及其主要伴生种叶的灰分含量和热值 .....	金则新, 李钧敏, 马金娥 (5246)
苏柳 172 和垂柳对 Cu <sup>2+</sup> 的吸收特性及有机酸影响 .....	陈彩虹, 刘治昆, 陈光才, 等 (5255)
导入 <i>TaNHX2</i> 基因提高了转基因普那菊苣的耐盐性 .....	张丽君, 程林梅, 杜建中, 等 (5264)
空气湿度与土壤水分胁迫对紫花苜蓿叶表皮蜡质特性的影响 .....	郭彦军, 倪 郁, 郭芸江, 等 (5273)
黄土高原旱塬区土壤贮水量对冬小麦产量的影响 .....	邓振镛, 张 强, 王 强, 等 (5281)
咸阳地区近年苹果林地土壤含水量动态变化 .....	赵景波, 周 旗, 陈宝群, 等 (5291)
苗药大果木姜子挥发油成分变化及其地理分布 .....	张小波, 周 涛, 郭兰萍, 等 (5299)
环境因子对小球藻生长的影响及高产油培养条件的优化 .....	丁彦聪, 高 群, 刘家尧, 等 (5307)
不同基质对北草蜥和中国石龙子运动表现的影响 .....	林植华, 樊晓丽, 雷焕宗, 等 (5316)
安徽沿江浅水湖泊越冬水鸟群落的集团结构 .....	陈锦云, 周立志 (5323)
黑胸散白蚁肠道共生锐滴虫目鞭毛虫的多样性分析与原位杂交鉴定 .....	陈 文, 石 玉, 彭建新, 等 (5332)
基于熵权的珠江三角洲自然保护区综合评价 .....	张林英, 徐颂军 (5341)
<b>专论与综述</b>	
中小尺度生态用地规划方法 .....	荣冰凌, 李 栋, 谢映霞 (5351)
土地利用变化对土壤有机碳的影响研究进展 .....	陈 朝, 吕昌河, 范 兰, 等 (5358)
海洋浮游植物与生物碳汇 .....	孙 军 (5372)
多年冻土退化对湿地甲烷排放的影响研究进展 .....	孙晓新, 宋长春, 王宪伟, 等 (5379)
生源要素有效性及生物因子对湿地土壤碳矿化的影响 .....	张林海, 曾从盛, 仝 川 (5387)
生态网络分析方法研究综述 .....	李中才, 徐俊艳, 吴昌友, 等 (5396)
<b>研究简报</b>	
不同群落中米氏冰草和羊草的年龄结构动态 .....	金晓明, 艾 琳, 刘及东, 等 (5406)
主题分辨率对 NDVI 空间格局的影响 .....	黄彩霞, 李小梅, 沙晋明 (5414)

期刊基本参数: CN 11-2031/Q \* 1981 \* m \* 16 \* 314 \* zh \* P \* ¥ 70.00 \* 1510 \* 35 \* 2011-09



**封面图说:** 在树上嬉戏的大熊猫——大熊猫是中国的国宝, 自然分布狭窄, 数量极少, 世界上仅分布在中国的四川、陕西、甘肃三省的部分地区, 属第四纪冰川孑遗物种, 异常珍贵。被列为中国国家一级重点保护野生动物名录, 濒危野生动植物种国际贸易公约绝对保护的 CITES 附录一物种名录。瞧, 够得上“功夫熊猫”吧。

彩图提供: 陈建伟教授 国家林业局 E-mail: cites.chenjw@163.com



祁瑜, 黄永梅, 王艳, 赵杰, 张景慧. 施氮对几种草地植物生物量及其分配的影响. 生态学报, 2011, 31(18): 5121-5129.

Qi Y, Huang Y M, Wang Y, Zhao J, Zhang J H. Biomass and its allocation of four grassland species under different nitrogen levels. Acta Ecologica Sinica, 2011, 31(18): 5121-5129.

## 施氮对几种草地植物生物量及其分配的影响

祁瑜, 黄永梅\*, 王艳, 赵杰, 张景慧

(地表过程与资源生态国家重点实验室, 北京师范大学资源学院, 北京 100875)

**摘要:** 为了研究施氮对不同草地植物生物量及其分配的影响, 以及温带草地生态系统碳交换过程对氮素的响应, 在内蒙古太仆寺旗农田-草地生态系统野外站, 以 4 种草地植物: 紫花苜蓿 (*Medicago sativa* L.)、高丹草 (*Sorghum bicolor* L.)、羊草 (*Leymus chinensis* T.) 和小叶锦鸡儿 (*Caragana microphylla* L.) 为材料, 进行了 3 种氮素水平 [对照、中氮 (30 gN/m<sup>2</sup>) 和高氮 (60 gN/m<sup>2</sup>)] 的盆栽控制实验。研究结果表明: 施氮显著促进了 4 种植物地上生物量的积累, 紫花苜蓿在中氮水平地上生物量最大, 较对照增加了 24.8%, 高丹草、羊草、小叶锦鸡儿在高氮水平地上生物量最大, 分别较对照增加了 45.6%、39.3% 和 72.2%。4 种植物在中氮水平地下生物量最大, 而细根 (直径 ≤ 2mm) 生物量随施氮量的增加显著减少。羊草根茎生物量及其分配比例随施氮量的增加而增大。施氮显著降低了 4 种植物的根冠比, 紫花苜蓿的根冠比在中氮水平时最小, 为 1.62, 高丹草、羊草、小叶锦鸡儿的根冠比在高氮水平时最小, 分别为 0.57、1.02 和 0.41。随施氮量的增加, 植物地下部分特别是细根的分配比例显著降低, 地上部分分配比例显著增加。不同植物对施氮水平的响应不同, 相比豆科植物, 施氮显著促进禾本科植物生物量积累, 并使其生物量分配格局发生显著改变。

**关键词:** 氮素添加; 草地植物种; 生物量; 生物量分配

## Biomass and its allocation of four grassland species under different nitrogen levels

QI Yu, HUANG Yongmei\*, WANG Yan, ZHAO Jie, ZHANG Jinghui

State Key Laboratory of Earth Surface Processes and Resource Ecology, College of Resources Science and Technology, Beijing Normal University, Beijing 100875, China

**Abstract:** In order to study the effects of nitrogen fertilizing on the biomass and its allocation of different grassland plants and thus on the carbon exchange in temperate grassland ecosystem, potted control experiments for four grassland species, i. e. *Medicago sativa*, *Sorghum bicolor*, *Leymus chinensis*, and *Caragana microphylla*, were conducted under three nitrogen levels, which were the control (CK) with no nitrogen addition, the medium (N1) with 30gN/m<sup>2</sup> addition, and the high (N2) with 60gN/m<sup>2</sup> addition, at Taipusiqi Grassland-Cropland Ecosystems Experiment Station of Inner Mongolia. *Medicago sativa* is a perennial legumes grassland species, *Caragana microphylla* is a legumes shrub, *Leymus chinensis* is a perennial C3 plant, and *Sorghum bicolor* is an annual C4 species. The results show that the above-ground biomass of all the four species increased significantly after nitrogen addition, with the largest above-ground biomass occurred under N1 level for *Medicago sativa* (with 24.8% higher than CK), but under N2 level for the other three species (with 45.6, 39.3, and 72.2% higher than CK for *Sorghum bicolor*, *Leymus chinensis*, and *Caragana microphylla*, respectively). The stem biomass of *Sorghum bicolor*, *Leymus chinensis*, and *Caragana microphylla* was also increased significantly under increasing nitrogen level. The leaf biomass reached the largest under N1 level for *Medicago sativa* and *Caragana microphylla* (98.47g/m<sup>2</sup> and 143.87g/m<sup>2</sup>), but under N2 level for *Sorghum bicolor* and *Leymus chinensis* (69.20g/m<sup>2</sup> and 95.07g/m<sup>2</sup>). In contrast, the underground biomass of all the four species was the largest under N1 level. The biomass of coarse

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (90711001, 40871031)

收稿日期: 2010-07-05; 修订日期: 2011-04-26

\* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: ymhuang@bnu.edu.cn

roots (with diameter  $>2\text{mm}$ ) of *Medicago sativa*, *Sorghum bicolor*, and *Caragana microphylla* didn't increase significantly, while the rhizome biomass of *Leymus chinensis* increased significantly. However, the biomass of fine roots (with diameter  $\leq 2\text{mm}$ ) of all the four species decreased greatly with higher nitrogen level. Overall, the aboveground biomass and fine root biomass of the four species were sensitive to nitrogen addition. The root/shoot ratio of all the four species declined after nitrogen addition, with the lowest ratio under N1 level for *Medicago sativa* (1.62), and under N2 level for *Sorghum bicolor*, *Leymus chinensis*, and *Caragana microphylla* (0.57, 1.02, and 0.41 respectively). The stem/leaf ratio of *Medicago sativa* and *Leymus chinensis* decreased with increasing nitrogen addition, while that of *Sorghum bicolor* and *Caragana microphylla* increased. In summary, the four species, even the two legumes had different response to nitrogen addition, i. e., higher nitrogen addition could increase the biomass of gramineous species significantly and change their biomass allocation pattern obviously, while the aboveground and underground biomass of *Medicago sativa* didn't increased significantly, and the biomass allocation pattern didn't change. The rhizome and leaf biomass of *Leymus chinensis* increased greatly with nitrogen addition, while *Sorghum bicolor* and *Caragana microphylla* allocated more biomass to stem.

**Key Words:** nitrogen addition; grassland species; biomass; biomass allocation

氮素对生态系统碳循环的影响是近年来全球变化研究的热点之一,全球开展的氮添加实验表明施氮可引起陆地生态系统中植物生长、生物量增加、群落结构改变、物种丰富度降低、固碳能力增强等一系列的变化<sup>[1-6]</sup>,但陆地生态系统的不同类型、不同功能型、不同植物种对施氮的生态学响应具有明显的差异性<sup>[1,3-5]</sup>。目前在不同区域开展了多种植物对施氮的生态学响应研究实验,有生长箱实验、盆栽实验、小区实验和大田实验等,其中生物量及其分配的响应受到首要关注<sup>[3-4,7-10]</sup>。同时,施氮对植物地下生物量特别是细根(直径 $\leq 2\text{mm}$ )的影响随物种和实验方法结论不一。在许多研究中发现,提高氮素水平可以显著降低细根总生物量<sup>[11-13]</sup>,也有一些研究表明,在贫瘠环境中,增加养分特别是氮的有效性,可促进细根生长和生物量的积累,增强吸收养分和水分的能力<sup>[14-15]</sup>。

中国北方农牧交错带的优化土地利用格局应是以农业方式经营的人工草地、饲料地与天然草地的镶嵌分布<sup>[16]</sup>。研究该区域关键生态系统的生产力形成机制和固碳机理,应对全球变化实现区域自然资源的高效利用具有重要意义。本文以农牧交错带天然草地的主要优势种羊草(*Leymus chinensis* T.)、灌丛化草地的建群种小叶锦鸡儿(*Caragana microphylla* L.)、具有发展前景的牧草植物紫花苜蓿(*Medicago sativa* L.)和高丹草(*Sorghum bicolor* L.)为实验对象,在位于农牧交错带的太仆寺旗进行施氮控制实验,旨在探讨施氮对不同草地植物生物量及其分配的影响,研究温带草原生态系统碳交换过程对氮素的响应,为天然草地的恢复和人工草地的建植与管理提供科学依据。

## 1 实验材料和方法

### 1.1 实验设计

实验于北京师范大学资源学院太仆寺旗野外实验站开展(E115°29'10.11", N42°06'44.65")。实验站处于我国北方农牧交错带,属中温带半干旱大陆性气候,年均温 $1.4\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,无霜期115 d,年降雨量300—500 mm,土壤为淡栗钙土。取实验站附近表层30 cm壤土过筛去除杂草、草根及石块后填入花盆中(内径50 cm,高32 cm),施氮前土壤元素含量为(北京师范大学分析测试中心元素分析实验室测定):全N $1.94\text{ g/kg}$ ,全C $18.44\text{ g/kg}$ 。于2009年5月6日在花盆中均匀的播种羊草、紫花苜蓿和高丹草的种子,将1年龄的小叶锦鸡儿移入花盆,每盆1株。所有盆栽均置于野外,同时给予充分的水分供给。出苗2周后,用网格法间苗,羊草、紫花苜蓿每盆留苗25株,高丹草每盆留苗12株。待实验植物生长稳定后,于7月30日开始施氮(施加硝酸铵化学纯)处理,每种植物设置3个处理:①对照(CK),不添加氮肥;②中氮水平(N1), $30\text{ gN/m}^2$ ;③高氮水平(N2), $60\text{ gN/m}^2$ ,每种处理3个重复。

## 1.2 生物量测定

生长季末(2009年9月6日)测定所有植物生物量。地上生物量按茎、叶分开,收获后60℃烘干至恒重并称重(精度0.01g)。收获地上生物量后,将盆内的土壤连同根系一起从上到下分4层取出(0—5、5—10、10—20、20—30cm),每一层土壤中的根用游标卡尺测量,按照直径>2mm的粗根和直径≤2mm的细根人工分捡开,冲洗干净后,60℃烘干至恒重称重(精度0.01g)。

## 1.3 数据分析方法

采用Excel 2007对数据进行求算平均值、标准误等基本处理;用一元方差(One-Way ANOVA)和最小显著差数法(LSD),分析不同供氮水平下4种草地植物地上生物量、地下生物量等统计量的差异显著性,所用软件为SPSS17.0(SPSS Inc., USA)。

## 2 结果分析

### 2.1 施氮对地上生物量的影响

与对照相比,4个物种在施氮条件下的地上生物量均有显著增加(表1),紫花苜蓿的地上生物量在中氮和高氮水平下分别增加24.8%和16.6%,高丹草增加了30.2%和45.8%,羊草增加了17.8%和39.3%,小叶锦鸡儿增幅最大,增加了51.9%和72.2%。但是施氮对不同物种的影响有显著差异,紫花苜蓿的地上生物量在中氮水平最大,羊草、高丹草和小叶锦鸡儿的地上生物量在高氮水平达到最大。紫花苜蓿、高丹草和小叶锦鸡儿在施氮条件下的地上生物量显著高于对照组,不同施氮水平间无显著差异,羊草在3个水平间差异均显著。

表1 施氮水平下4种草地植物地上生物量

Table 1 The above ground biomass of four grassland species on 3 nitrogen levels(mean±SE, n=3)

物种 Species	CK(g/m <sup>2</sup> )	N1(g/m <sup>2</sup> )	N2(g/m <sup>2</sup> )
紫花苜蓿 <i>Medicago sativa</i> L.	107.70±6.63 a	134.40±5.27 b	125.20±5.53 ab
高丹草 <i>Sorghum bicolor</i> L.	148.20±2.00 a	193.00±10.60 b	216.00±3.53 b
羊草 <i>Leymus chinensis</i> T.	73.53±1.83 a	86.63±3.57 b	102.40±1.67 c
小叶锦鸡儿 <i>Caragana microphylla</i> L.	269.77±8.90 a	409.73±43.87 b	464.50±11.77 b

CK: 对照(不添加氮肥)地上生物量, N1: 中氮(30 g N/m<sup>2</sup>)水平地上生物量, N2: 高氮(60 g N/m<sup>2</sup>)水平地上生物量;同一行中字母不同表示差异显著( $P<0.05$ )

与对照相比(图1),紫花苜蓿的茎生物量在施氮条件下没有显著增加,但在中氮水平达到最大值,为

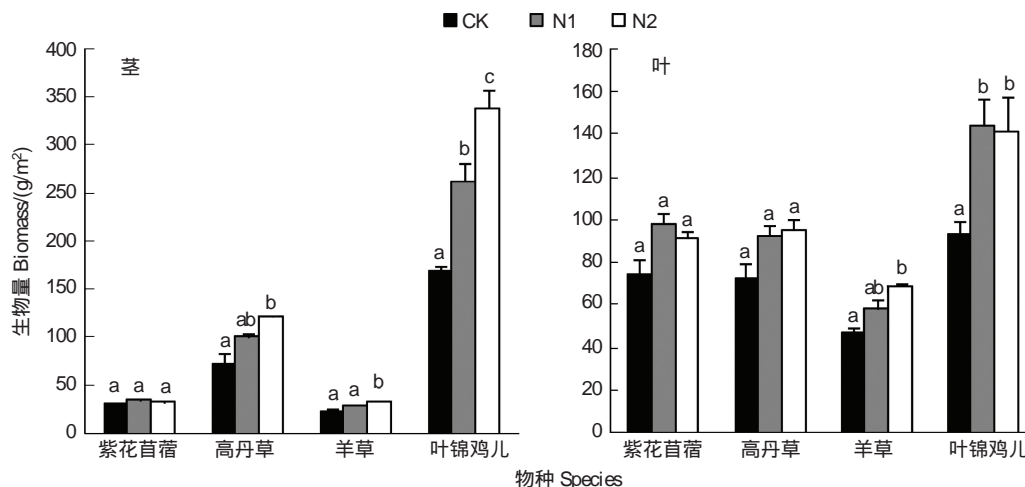


图1 施氮水平下的4种草地植物茎、叶生物量(平均值±标准误差, n=3)

Fig. 1 Leaf and stem biomass of four grassland species on different nitrogen levels(mean±SE, n=3)

字母表示统计量的差异( $P<0.05$ )

35.93 g/m<sup>2</sup>;高丹草、羊草和小叶锦鸡儿在高氮水平的茎生物量显著大于对照( $P < 0.05$ )。4种植物在施氮条件下的叶生物量均高于对照,但紫花苜蓿和高丹草的叶生物量在3种处理间无显著差异;羊草的叶生物量在高氮水平下最大,明显大于对照组;小叶锦鸡儿在施氮条件下的叶生物量显著高于对照组,不同施氮水平间无显著差异。豆科植物紫花苜蓿与小叶锦鸡儿在中氮水平下的叶生物量最大,分别为98.47 g/m<sup>2</sup>和143.87 g/m<sup>2</sup>,羊草和高丹草在高氮水平下的叶生物量最大,分别为69.20 g/m<sup>2</sup>和95.07 g/m<sup>2</sup>。

## 2.2 施氮对地下生物量的影响

与对照相比,施氮对紫花苜蓿、羊草和小叶锦鸡儿的总地下生物量影响不明显,高丹草在中氮水平的地下生物量有显著增加,但4个物种均在中氮水平达到了地下生物量的最大值(表2)。紫花苜蓿、高丹草和小叶锦鸡儿在施氮条件下的粗根(直径>2 mm)生物量均大于对照组,但差异不显著;羊草的根茎生物量表现为随施氮量的增加而增加,高氮水平的根茎生物量显著大于对照组(表2)。与对照相比,紫花苜蓿和羊草的细根生物量在中氮水平增加了7.5%和3.8%,高氮水平均低于对照组,分别降低了1.5%和20.8%;高丹草与小叶锦鸡儿的细根生物量随施氮量的增加而减小,与对照组相比,小叶锦鸡儿在中氮和高氮水平下细根生物量分别降低了3.8%和22.0%,高丹草分别降低了4.5%和11.3%。

表2 施氮水平对4种草地植物地下生物量的影响

Table 2 The under ground biomass of four grassland species on different nitrogen levels(mean±SE, n=3).

物种 Species	根粗 Root diameter/mm	CK/(g/m <sup>2</sup> )	N1/(g/m <sup>2</sup> )	N2/(g/m <sup>2</sup> )
紫花苜蓿 <i>Medicago sativa</i> L.	粗根(>2 mm)	118.93±7.13 a	138.73±0.13 a	140.03±7.03 a
	细根(≤2 mm)	73.20±2.73 a	78.67±2.13 a	72.07±4.73 a
高丹草 <i>Sorghum bicolor</i> L.	地下生物量	192.13±4.40 a	217.40±2.27 a	212.10±11.77 a
	粗根(>2 mm)	22.03±0.77 a	36.17±0.10 a	36.10±5.63 a
羊草 <i>Leymus chinensis</i> T.	细根(≤2 mm)	98.17±3.83 a	93.80±2.93 ab	87.10±1.33 b
	地下生物量	120.20±3.07 a	129.97±2.83 b	123.20±4.30 ab
小叶锦鸡儿 <i>Caragana microphylla</i> L.	根茎	35.60±2.67 a	39.37±0.10 a	47.87±1.47 b
	细根(≤2 mm)	71.07±3.40 ab	73.80±4.15 a	56.27±4.07 b
小叶锦鸡儿 <i>Caragana microphylla</i> L.	地下生物量	106.67±5.53 a	113.17±6.73 a	104.14±6.07 a
	粗根(>2 mm)	88.64±14.38 a	136.42±18.21 a	119.24±21.12 a
小叶锦鸡儿 <i>Caragana microphylla</i> L.	细根(≤2 mm)	92.07±6.78 a	88.58±5.55 ab	71.80±3.87 b
	地下生物量	180.71±14.42 a	225.00±23.58 a	191.04±17.39 a

CK: 对照(不添加氮肥)地下生物量;N1: 中氮(30 g N/m<sup>2</sup>)水平地下生物量;N2: 高氮(60 g N/m<sup>2</sup>)水平地下生物量;同一行中字母不同表示差异显著( $P < 0.05$ )

4种植物的粗根在各层的生物量随施氮量的增加都有明显的增加,但各层粗根生物量占总粗根生物量的比例在不同物种和施氮量间有明显差别。与对照相比,施氮显著降低了紫花苜蓿0—10 cm粗根所占比例,而10—20 cm和20—30 cm粗根所占比例增加(图2)。高丹草粗根生物量随施氮量的增加主要表现在0—5 cm和20—30 cm土层粗根生物量的增加,中氮水平下0—5 cm粗根所占比例增加明显,高氮水平20—30 cm土层粗根所占比例增加明显(图2)。与对照相比,小叶锦鸡儿在4层土壤中的粗根生物量均有增加,中氮水平各层所占比例与对照没有明显差别,高氮水平0—5 cm和20—30 cm土层粗根所占比例明显增加(图2)。羊草为须根系植物,不存在直径>2 mm的粗根,存在特殊的根茎结构。随着施氮量的增加,0—5 cm土层羊草根茎生物量增加不明显,5—10 cm土层增加明显,其中0—5 cm根茎生物量所占比例最大,并表现出随施氮量增加而下降的趋势,其它3层根茎所占比例表现为随施氮量增加而增加(图2)。

细根在0—30 cm土层的生物量分配在物种间和不同的施氮处理下表现出明显的差异。与对照相比,紫花苜蓿0—5 cm和10—20 cm细根生物量及其所占比例在中氮水平均增加明显,5—10 cm土层细根生物量及其所占比例显著下降。在高氮水平,0—5 cm土层细根及其比例明显增加,5—10 cm土层细根生物量明显下降(图3)。与对照组相比,中氮水平下高丹草10—20 cm土层细根生物量及其所占比例均明显减少,20—30



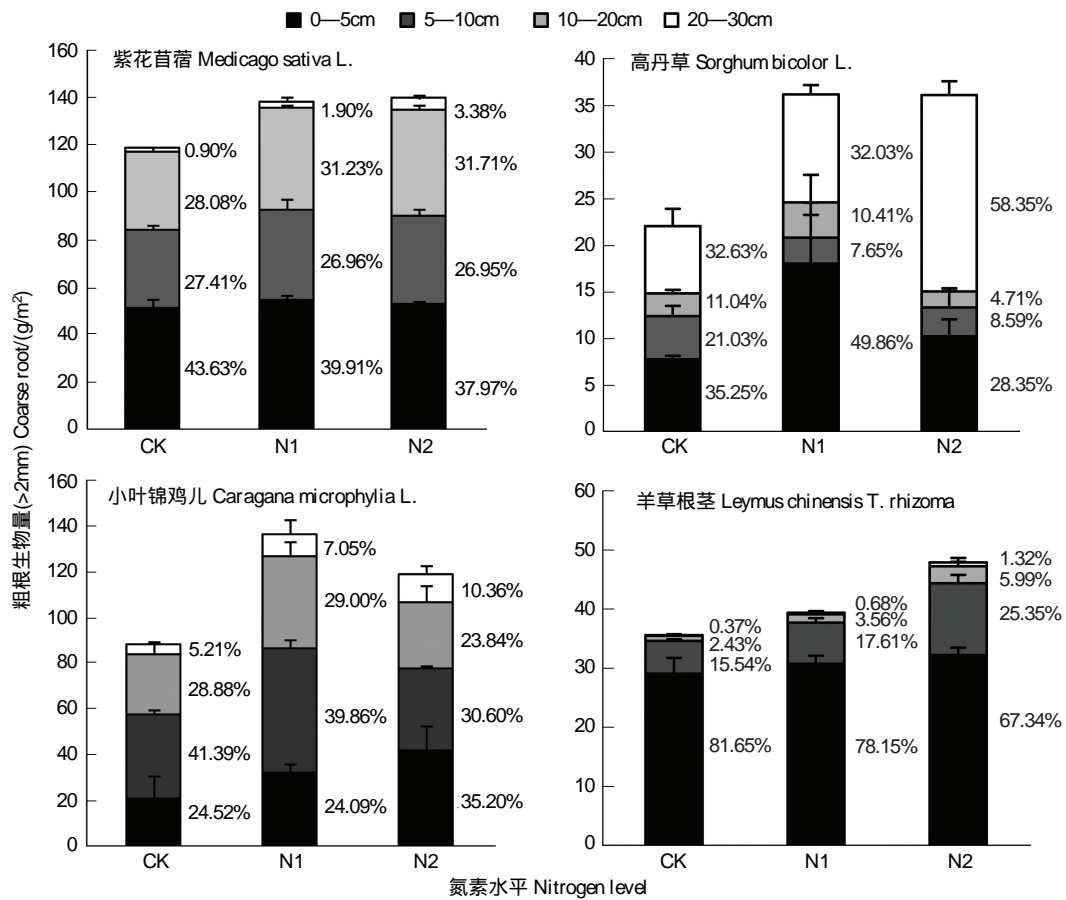


图2 施氮水平下4种草地植物粗根(直径>2mm)/根茎生物量分层分布及比例

Fig. 2 The distribution and ration of coarse root (Diameter>2 mm)/rhizome biomass of four grassland species in 0—30cm depth on different nitrogen levels(mean±SE, n=3)

不同层次的粗根相对应于不同的土壤分层

cm 土层的细根生物量略有增加,所占比例增加明显,高氮水平下 5—10 cm 和 10—20 cm 土层细根生物量及其所占比例均有明显减小,20—30 cm 土层细根生物量略有增加,所占比例增加明显,可占细根总生物量的 50.3% (图 3)。与对照相比,施氮条件下 0—5 cm 和 5—10 cm 羊草细根生物量及其所占比例均显著下降 ( $P < 0.05$ ),中氮水平 10—20 cm 土层细根生物量和所占比例明显增加,高氮水平下 10—20 cm 和 20—30 cm 细根生物量变化不显著,但所占比例明显增加(图 3)。与对照相比,小叶锦鸡儿在 0—5 cm 和 20—30 cm 土层的细根生物量及其所占比例在施氮条件下均有显著下降,10—20 cm 细根生物量在施氮条件下略有增加,且其所占比例随施氮量有明显增加。

### 2.3 施氮对生物量分配的影响

本文试图分析施氮对 4 种植物根冠比、茎叶比和粗细根比的影响。4 种草地植物在 2 个施氮水平下的根冠比都小于对照组(表 3),但是紫花苜蓿在 N1 下根冠比最小,高丹草、羊草和小叶锦鸡儿的根冠比表现为随施氮量的增加逐渐减小;高丹草在 3 种处理间差异显著,羊草高氮水平下的根冠比显著小于对照组,紫花苜蓿和小叶锦鸡儿在 3 种处理间均差异不显著。物种间地上生物量分配差异明显,与对照相比,紫花苜蓿和羊草的茎叶比在施氮条件下均降低;高丹草和小叶锦鸡儿的茎叶比随施氮量的增加而增大。4 种植物的粗细根比均随施氮量的增加增大(表 3),羊草根茎与细根的比在高氮与对照间差异显著。随施氮量的增加,植物地下生物量更多地分配到粗根(直径>2 mm)或根茎中。

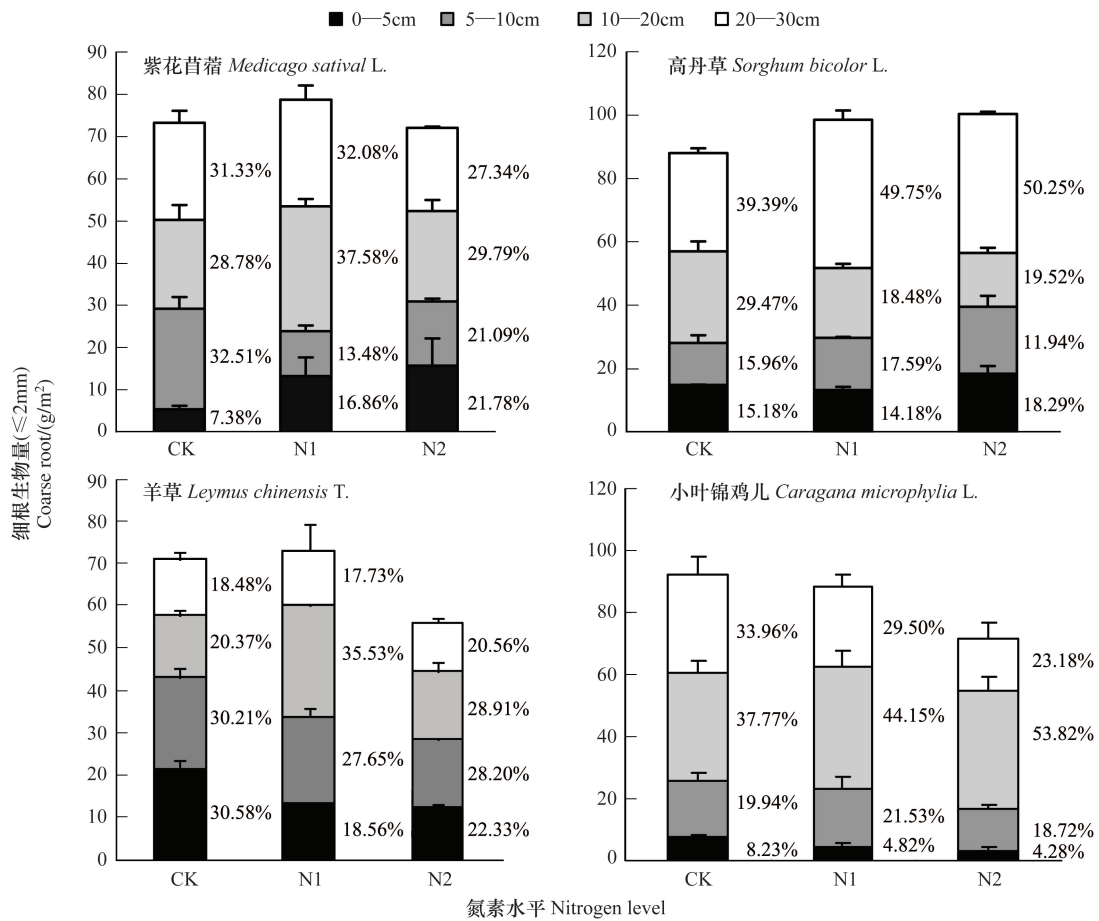


图3 施氮水平下4种草地植物0—30cm土层细根(直径 $\le 2\text{mm}$ )生物量及其比例

Fig. 3 The distribution and ration of fine root (Diameter $\le 2\text{ mm}$ ) biomass of four grassland species in 0—30cm depth on different nitrogen levels(mean $\pm$ SE,  $n=3$ )

不同层次的细根相对应于不同的土壤分层

表3 不同氮素水平下4种草地植物的生物量分配

Table 3 Biomass allocation of four grassland species in different nitrogen levels(mean $\pm$ SE,  $n=3$ )

生物量分配比例 Biomass allocation ratio	物种 Species	CK	N1	N2
根冠比 Root/Shoot ratio	紫花苜蓿 <i>Medicago sativa</i> L.	1.78 $\pm$ 0.15 a	1.62 $\pm$ 0.05 a	1.69 $\pm$ 0.02 a
	高丹草 <i>Sorghum bicolor</i> L.	0.81 $\pm$ 0.02 a	0.67 $\pm$ 0.02 b	0.57 $\pm$ 0.00 c
	羊草 <i>Leymus chinensis</i> T.	1.45 $\pm$ 0.05 a	1.31 $\pm$ 0.02 a	1.02 $\pm$ 0.07 b
	小叶锦鸡儿 <i>Caragana microphylla</i> L.	0.67 $\pm$ 0.06 a	0.55 $\pm$ 0.07 a	0.41 $\pm$ 0.03 a
茎叶比 Stem/Leaf ratio	紫花苜蓿 <i>Medicago sativa</i> L.	0.44 $\pm$ 0.05 a	0.36 $\pm$ 0.01 a	0.37 $\pm$ 0.00 a
	高丹草 <i>Sorghum bicolor</i> L.	1.07 $\pm$ 0.22 a	1.08 $\pm$ 0.00 a	1.27 $\pm$ 0.11 a
	羊草 <i>Leymus chinensis</i> T.	0.53 $\pm$ 0.00 a	0.48 $\pm$ 0.06 a	0.49 $\pm$ 0.01 a
	小叶锦鸡儿 <i>Caragana microphylla</i> L.	1.73 $\pm$ 0.05 a	1.79 $\pm$ 0.13 a	2.23 $\pm$ 0.16 a
粗细根比 Coarse/Fineratio	紫花苜蓿 <i>Medicago sativa</i> L.	1.62 $\pm$ 0.16 a	1.76 $\pm$ 0.05 a	1.94 $\pm$ 0.03 a
	高丹草 <i>Sorghum bicolor</i> L.	0.22 $\pm$ 0.01 a	0.39 $\pm$ 0.01 a	0.41 $\pm$ 0.08 a
	羊草 <i>Leymus chinensis</i> T. (根茎/细根)	0.50 $\pm$ 0.01 a	0.55 $\pm$ 0.05 a	0.85 $\pm$ 0.04 b
	小叶锦鸡儿 <i>Caragana microphylla</i> L.	0.96 $\pm$ 0.08 a	1.54 $\pm$ 0.01 a	1.66 $\pm$ 0.66 a

CK: 对照(不添加氮肥)生物量分配比例、N1: 中氮(30 g N/m<sup>2</sup>)水平生物量分配比例、N2: 高氮(60g N/m<sup>2</sup>)水平生物量分配比例;同一行中字母不同表示差异显著( $P<0.05$ )



### 3 讨论

多年的研究表明施氮可使植物的地上生物量和地下生物量增加,根冠比降低,生物量分配比例发生改变<sup>[3,7-10,17-18]</sup>。本实验中4种植物的地上生物量在施氮条件下均明显增加,其中紫花苜蓿在中氮水平达到最大值,其它3种植物在高氮水平获得最大值。与对照相比,4种植物的地下生物量在施氮条件下均有增加,但差异不显著,并在中氮水平最大。紫花苜蓿、高丹草和小叶锦鸡儿的粗根生物量随施氮量的变化趋势与地下总生物量相似,羊草的根茎生物量随施氮量增加而增加,高氮水平明显大于对照。本实验中细根生物量对施氮的响应更敏感,紫花苜蓿的细根生物量在不同处理间差异不显著,其它3种植物在高氮水平下细根生物量显著小于对照。目前,施氮对植物细根(直径 $\leq 2$  mm)生物量影响的结论不一致,一些研究报道施氮刺激植物细根的生长,使细根生物量增加<sup>[12,19-20]</sup>。更多的研究支持细根对施氮的响应是生物量的降低<sup>[13-14,21]</sup>。在本实验中,紫花苜蓿和羊草的细根生物量在中氮水平高于对照,4种植物在高氮水平均显著低于对照,细根对施氮的响应随物种和施氮水平的不同表现出明显的差异。有研究表明地上生物量对施氮的响应大于地下生物量<sup>[3]</sup>,本实验结果说明,植物的茎、叶生物量均随施氮量的增加呈增加趋势,从而地上总生物量增加趋势显著;而地下生物量的增加趋势不明显,主要是因为粗根和细根对施氮表现出相反的变化趋势,粗根生物量有增加的趋势,而细根生物量随施氮量的增加显著降低。因此,在开展相关研究时,分别讨论粗根和细根生物量的变化具有更大的生态意义。

本实验中4种植物的根冠比都呈现随氮素水平的提高而减小的趋势(表3),表明氮素水平的提高有利于植物将更多的生物量分配到地上碳同化器官,提高竞争力。这与目前研究的结论“在一定范围内植物的根冠比通常随供氮水平的增加而减小<sup>[4,8,22]</sup>”一致。施氮对四种植物生物量的分配比例也有明显的影响(表4),叶生物量的分配比例在施氮水平大于对照,其中羊草的叶生物量分配比例增加显著。紫花苜蓿的茎生物量分配比例差别不显著,其它3种植物的茎生物量分配比例表现为随施氮量增加而增加,其中小叶锦鸡儿的差异显著(表4)。在施氮条件下紫花苜蓿、高丹草和小叶锦鸡儿的粗根(直径 $> 2$  mm)生物量分配比例有一定的增加,羊草根茎生物量的分配比例随氮素水平的提高而明显增加(表4)。4种植物细根生物量的分配比例随施氮量的增加呈显著降低趋势(表4),且在施氮与对照间差异显著。

表4 不同施氮条件下4种草地植物的生物量分配比例

Table 4 The ratio biomass allocation of four grassland species in different nitrogen levels

生物量分配比例/% Biomass allocation ratio/%	物种 Species	CK	N1	N2
叶 Leaf/Total ratio	紫花苜蓿 <i>Medicago sativa</i> L.	25.00 $\pm$ 2.26 a	27.97 $\pm$ 0.77 a	27.05 $\pm$ 0.20 a
	高丹草 <i>Sorghum bicolor</i> L.	27.53 $\pm$ 2.59 a	28.29 $\pm$ 0.43 a	28.00 $\pm$ 1.29 a
	羊草 <i>Leymus chinensis</i> T.	26.74 $\pm$ 0.45 a	29.36 $\pm$ 0.81 ab	33.53 $\pm$ 1.34 b
	小叶锦鸡儿 <i>Caragana microphylla</i> L.	22.30 $\pm$ 0.41 a	24.07 $\pm$ 2.29 a	22.24 $\pm$ 0.67 a
茎 Stem/Totalratio	紫花苜蓿 <i>Medicago sativa</i> L.	10.91 $\pm$ 0.31 a	10.22 $\pm$ 0.09 a	10.01 $\pm$ 0.06 a
	高丹草 <i>Sorghum bicolor</i> L.	28.19 $\pm$ 3.22 a	30.59 $\pm$ 0.39 a	35.68 $\pm$ 1.43 a
	羊草 <i>Leymus chinensis</i> T.	14.11 $\pm$ 0.32 a	14.31 $\pm$ 1.28 a	16.08 $\pm$ 0.40 a
	小叶锦鸡儿 <i>Caragana microphylla</i> L.	38.69 $\pm$ 1.80 a	42.73 $\pm$ 1.02 a	49.44 $\pm$ 2.05 b
粗根 Coarse root/Total ratio	紫花苜蓿 <i>Medicago sativa</i> L.	39.69 $\pm$ 2.67 a	39.45 $\pm$ 0.81 a	41.52 $\pm$ 0.04 a
	高丹草 <i>Sorghum bicolor</i> L.	8.28 $\pm$ 0.31 a	11.06 $\pm$ 0.48 a	10.62 $\pm$ 1.46 a
	羊草 <i>Leymus chinensis</i> T. (根茎)	19.73 $\pm$ 0.61 a	19.89 $\pm$ 1.08 ab	23.17 $\pm$ 0.28 b
	小叶锦鸡儿 <i>Caragana microphylla</i> L.	17.15 $\pm$ 1.90 a	19.46 $\pm$ 1.86 a	18.01 $\pm$ 3.22 a
细根 Fine root/Total ratio	紫花苜蓿 <i>Medicago sativa</i> L.	24.41 $\pm$ 0.73 a	22.36 $\pm$ 0.13 ab	21.35 $\pm$ 0.31 b
	高丹草 <i>Sorghum bicolor</i> L.	36.00 $\pm$ 0.33 a	30.07 $\pm$ 0.34 b	25.70 $\pm$ 1.32 c
	羊草 <i>Leymus chinensis</i> T.	39.42 $\pm$ 0.16 a	36.44 $\pm$ 1.55 a	27.22 $\pm$ 1.46 b
	小叶锦鸡儿 <i>Caragana microphylla</i> L.	21.86 $\pm$ 0.31 a	13.74 $\pm$ 1.45 b	10.30 $\pm$ 1.84 b

同一行中字母不同表示差异显著 ( $P < 0.05$ )

本实验所选用的4种植物中,紫花苜蓿为多年生豆科牧草,小叶锦鸡儿为豆科灌木,羊草为禾本科的C3

植物,高丹草为禾本科的 C4 植物。4 种植物在施氮条件下均表现出地上生物量和地下生物量增加、根冠比降低、细根生物量分配比例显著降低的特点,但也存在一定的种间差异。从分配策略上来看(表 4),紫花苜蓿在 3 种处理下生物量的分配比例均为粗根>叶>细根>茎;小叶锦鸡儿在对照下生物量分配比例为茎>叶>细根>粗根,在两种施氮条件下均为茎>叶>粗根>细根,施氮使细根的比例降低;羊草在对照和中氮水平下生物量分配比例为细根>叶>根茎>茎,在高氮水平为叶>细根>根茎>茎;高丹草在对照下分配比例为细根>茎>叶>粗根,中氮水平下为茎>细根>叶>粗根,高氮水平下为茎>叶>细根>粗根。两种禾本科植物在施氮条件下生物量分配格局发生了改变,生物量较多地分配给地上部分。总体上,较之豆科植物,施氮显著地改变了两种禾本科植物的生物量分配格局。Van Kessel 等人进行的田间实验研究表明豆科植物对土壤氮素的变化没有响应,非豆科植物响应明显<sup>[23]</sup>。Niklaus 等人曾报道 90% 的豆科植物的 N 来源于共生性 N 固定,因此土壤 N 素并不会抑制豆科植物的生长<sup>[24]</sup>。本实验的研究结果表明,豆科植物和禾本科植物对 N 素添加表现出不同的响应特点,豆科植物中紫花苜蓿对 N 添加响应不明显,地下生物量、粗根和细根生物量在 3 个处理间均无显著差异,施氮也没有改变其生物量分配格局,而小叶锦鸡儿的茎、叶生物量、地上生物量均随施氮量的增加而显著增加,细根生物量及其所占比例显著降低。禾本科植物均对施氮量的响应明显,同时羊草作为多年生根茎禾草,根茎生物量随施氮量有显著增加,表现出与其它 3 种植物粗根生物量的不同响应特点,土壤养分的增加可促进羊草的营养繁殖能力。

#### 4 主要结论

(1) 施氮可促进 4 种草地植物地上、地下生物量的积累,而根冠比随施氮量的增加显著降低,更多生物量分配给地上部分;地下部分的粗根(或根茎)和细根生物量表现出相反的响应趋势,细根生物量及其分配比例随施氮量的增加显著降低;

(2) 4 种植物对施氮存在不同的响应特征,施氮对紫花苜蓿的生物量积累及其分配格局影响不明显,对禾本科植物生物量积累有明显的促进作用,并显著改变其生物量分配格局。

**致谢:**感谢清华大学环境科学与工程系段雷副教授对本实验工作的建议,以及在论文撰写和修改过程中的指导。感谢在野外实验工作中安然、晏欣、张勇、冯右骞等同学的帮助。

#### References:

- [ 1 ] Xia J Y, Wan S Q. Global response patterns of terrestrial plant species to nitrogen addition. *New Phytologist*, 2008, 179(2): 428-439.
- [ 2 ] Xu Z Z, Zhou G S. Relationship between carbon and nitrogen and environmental regulation in plants under global change-from molecule to ecosystem. *Journal of Plant Ecology: Chinese Version*, 2007, 31(4): 738-747.
- [ 3 ] Pan Q M, Bai Y F, Han X G, Yang J C. Effects of nitrogen additions on a *Leymus Chinensis* population in typical steppe of Inner Mongolia. *Acta Phytoecologica Sinica*, 2005, 29(2): 311-317.
- [ 4 ] Fu S L, Ferris H. Plant species, CO<sub>2</sub> and soil nitrogen of interaction or accumulation effects of controlling carbon allocation of plant-soil system. *Science in China Serices C(Life Sciences)*, 2006, 36(3): 273-282.
- [ 5 ] Konnerup D, Brix H. Nitrogen nutrition of *Canna indica*: effects of ammonium versus nitrate on growth, biomass allocation, photosynthesis, nitrate reductase activity and N uptake rates. *Aquatic Botany*, 2010, 92(2): 142-148.
- [ 6 ] Stuart C F III, Pamela A M, Harold A M. *Principles of Terrestrial Ecosystem Ecology*. New York: Springer-Verlag New York, Inc, 2002.
- [ 7 ] Fichtner K, Schulze E D. The effect of nitrogen nutrition on growth and biomass partitioning of annual plants originating from habitats of different nitrogen availability. *Oecologia*, 1992, 92(2): 236-241.
- [ 8 ] Wang Z Q, Wu L H, Liu T T, Chu Y W, Chao X L. Effect of different nitrogen rates on *Parthenocissus tricuspidata* Planch seedling growth and nutrient distribution. *Acta Ecologica Sinica*, 2007, 27(8): 3435-3441.
- [ 9 ] Ma L X, Zhao M, Mao Z J, Liu L X, Zhao X Z. Effects of elevated temperature and [CO<sub>2</sub>] under different nitrogen regimes on biomass and its allocation in *Quercus mongolica* seedlings. *Chinese Journal of Plant Ecology*, 2010, 34(3): 279-288.
- [ 10 ] He D, Li X L, He F, Wan L Q, Li C R. Effect of nitrogen fertilizer on biomass and the important values of the main species in degraded grassland. *Chinese Journal of Grassland*, 2009, 31(5): 42-46.
- [ 11 ] Pregitzer K S, King J S, Burton A J, Brown S E. Responses of tree fine roots to temperature. *New Phytologist*, 2000, 147: 105-115.

- [12] Helmisaari H S, Saarsakmi A, Kukkola M. Effects of wood ash and nitrogen fertilization on fine root biomass and soil and foliage nutrients in a Norway Spruce stand in Finland. *Plant and Soil*, 2009, 314(1/2): 121-132.
- [13] Yu L Z, Ding G Q, Zhu X J, Shi J W, Yu S Q, Wang Z Q. Effects of fertilization on fine root biomass of *Larix kaempferi* plantation. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2007, 18(4): 713-720.
- [14] Burton A J, Pregitzer K S, Hendrick R L. Relationships between fine root dynamics and nitrogen availability in Michigan northern hardwood forests. *Oecologia*, 2000, 125: 389-399.
- [15] Steele S J, Gower S T, Vogel J G, Norman J M. Root mass, net primary production and turnover in aspen, jack pine and black spruce forests in Saskatchewan and Manitoba, Canada. *Tree Physiology*, 1997, 17(8/9): 577-587.
- [16] Zhang X S, Shi P J. Theory and practice of marginal ecosystem management-establishment of optimized eco-productive paradigm of grassland and Farming-Pastoral Zone of north China. *Tree Physiology*, 2003, 45(10): 1135-1138.
- [17] Loiseau P, Soussana J F. Elevated CO<sub>2</sub>, temperature increase and N supply effects on the turnover of below-ground carbon in a temperate grassland ecosystem. *Plant and Soil*, 1999, 210(2): 233-247.
- [18] Tewari M, Joshi H. Effect of nitrogen fertilizer on biomass and growth behavior of two range grasses. *Indian Acad. Plant Sciences*, 1985, 95(1): 41-46.
- [19] Majdi H. Changes in fine root production and longevity in relation to water and nutrient availability in a Norway spruce stand in northern Sweden. *Tree Physiology*, 2001, 21(14): 1057-1061.
- [20] Wang Z Q, Zhang Y D, Wang Q C. Responses of *Fraxinus manchurica* seedling roots to heterogeneous nutrients and water distribution. *Bulletin of Botanical Research*, 1999, 19(3): 329-334.
- [21] Grechi I, Vivin P, Hilbert G, Milin S, Robert T, Gaudillère J P. Effect of light and nitrogen supply on internal C:N balance and control of root-to-shoot biomass allocation in grapevine. *Environmental and Experimental Botany*, 2007, 59(2): 139-149.
- [22] Frink C R, Waggoner P E, Ausubel J H. Nitrogen fertilizer: retrospect and prospect. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 1999, 96(4): 1175-1180.
- [23] van Kessel C, Horwath W R, Hartwig U, Harris D, Lüscher A. Net soil carbon input under ambient and elevated CO<sub>2</sub> concentrations: isotopic evidence after 4 years. *Global Change Biology*, 2000, 6(4): 435-444.
- [24] Niklaus P A, Leadley P W, Sticklin J, Körner C. Nutrient relations in calcareous grassland under elevated CO<sub>2</sub>. *Oecologia*, 1998, 116(1/2): 67-75.

#### 参考文献:

- [2] 许振柱, 周广胜. 全球变化下植物的碳氮关系及其环境调节研究进展——从分子到生态系统. *植物生态学报*, 2007, 31(4): 738-747.
- [3] 潘庆民, 白永飞, 韩兴国, 杨景成. 氮素对内蒙古典型草原羊草种群的影响. *植物生态学报*, 2005, 29(2): 311-317.
- [4] 傅声雷, Ferris H. 植物种类、大气二氧化碳和土壤氮素的交互作用或累加效应控制“植物-土壤”系统的碳分配. *中国科学 C 辑(生命科学)*, 2006, 36(3): 273-282.
- [8] 王忠强, 吴良欢, 刘婷婷, 褚有为, 邵雪玲. 供氮水平对爬山虎 (*Parthenocissus tricuspidata* Planch) 生物量及养分分配的影响. *生态学报*, 2007, 27(8): 3435-3441.
- [9] 马立祥, 赵蕊, 毛子军, 刘林馨, 赵溪竹. 不同氮素水平下增温及[CO<sub>2</sub>]升高综合作用对蒙古栎幼苗生物量及其分配的影响. *植物生态学报*, 2010, 34(3): 279-288.
- [10] 何丹, 李向林, 何峰, 万里强, 李春荣. 施氮对退化天然草地主要物种地上生物量和重要值的影响. *中国草地学报*, 2009, 31(5): 42-46.
- [13] 于立忠, 丁国泉, 朱教君, 史建伟, 于水强, 王政权. 施肥对日本落叶松人工林细根生物量的影响. *应用生态学报*, 2007, 18(4): 713-720.
- [16] 张新时, 史培军. 边际生态系统管理的理论与实践——我国北方草原与农牧交错带“优化生态-生产范式”构建. *植物学报*, 2003, 45(10): 1135-1138.
- [20] 王政权, 张彦东, 王庆成. 水曲柳幼苗根系对土壤养分和水分空间异质性的反应. *植物研究*, 1999, 19(3): 329-334.

# ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 31, No. 18 September, 2011 (Semimonthly)

## CONTENTS

- CO<sub>2</sub> emission from an alpine *Kobresia humilis* meadow in winters ..... WU Qin, HU Qiwu, CAO Guangmin, et al (5107)
- Effect of cultivation on soil organic carbon and total nitrogen accumulation in Cele oasis croplands and their relation to crop yield ...  
..... HUANG Caibian, ZENG Fanjiang, LEI Jiaqiang, et al (5113)
- Biomass and its allocation of four grassland species under different nitrogen levels .....  
..... QI Yu, HUANG Yongmei, WANG Yan, et al (5121)
- Small-scale spatial patterns of genetic structure in *Castanopsis eyrei* populations based on autocorrelation analysis in the Tiantai  
Mountain of Zhejiang Province ..... QI Caihong, JIN Zexin, LI Junmin (5130)
- Influence of vegetation on frozen ground temperatures the forested area in the Da Xing'anling Mountains, Northeastern China .....  
..... CHANG Xiaoli, JIN Huijun, YU Shaopeng, et al (5138)
- Analysis of stable carbon isotopes in different components of tree rings of *Pinus sylvestris* var. *mongolica* .....  
..... SHANG Zhiyuan, WANG Jian, CUI Mingxing, et al (5148)
- Retrieval of leaf area index for different grasslands in Inner Mongolia prairie using remote sensing data .....  
..... LIU Yibo, JU Weimin, ZHU Gaolong, et al (5159)
- Decomposition of lotus leaf litter and its effect on the aquatic environment of the Beili Lake in the Hangzhou West Lake .....  
..... SHI Qi, JIAO Feng, CHEN Ying, et al (5171)
- Effects of fire disturbance on greenhouse gas emission from *Larix gmelinii-Carex schmidtii* forested wetlands in XiaoXing'an  
Mountains, Northeast China ..... YU Lili, MU Changcheng, GU Han, et al (5180)
- Wetland landscape transition pattern of Lianbo Beach along the Middle Yellow River .....  
..... GUO Donggang, SHANGGUAN Tieliang, BAI Zhongke, et al (5192)
- Effect of revegetation on functional groups of soil organic carbon on the Loess Plateau .....  
..... LI Ting, ZHAO Shiwei, ZHANG Yang, et al (5199)
- Soil organic and inorganic carbon contents in relation to soil physicochemical properties in northeastern China .....  
..... ZU Yuangang, LI Ran, WANG Wenjie, et al (5207)
- Characteristics of soil respiration in fallow and its influencing factors at arid-highland of Loess Plateau .....  
..... GAO Huiyi, GUO Shengli, LIU Wenzhao (5217)
- Soil microbial functional diversity between rhizosphere and non- rhizosphere of typical plants in the hilly area of southern Nixia .....  
..... AN Shaoshan, LI Guohui, CHEN Liding (5225)
- Differences in the surface palynomorph assemblages on a karst mountain and rocky desertification areas: a case in Nanchuan  
District, Chongqing ..... HAO Xiudong, OUYANG Xuhong, XIE Shiyou (5235)
- Ash content and calorific value in the leaves of *Sinocalycanthus chinensis* and its accompanying species .....  
..... JIN Zexin, LI Junmin, MA Jine (5246)
- Uptake kinetic characteristics of Cu<sup>2+</sup> by *Salix jiangsuensis* CL J-172 and *Salix babylonica* Linn and the influence of organic acids ...  
..... CHEN Caihong, LIU Zhikun, CHEN Guangcai, et al (5255)
- Introduction of *TaNHX2* gene enhanced salt tolerance of transgenic puna chicory plants .....  
..... ZHANG Lijun, CHENG Linmei, DU Jianzhong, et al (5264)
- Effects of air humidity and soil water deficit on characteristics of leaf cuticular waxes in alfalfa (*Medicago sativa*) .....  
..... GUO Yanjun, NI Yu, GUO Yunjiang, et al (5273)
- Influence of water storage capacity on yield of winter wheat in dry farming area in the Loess Plateau .....  
..... DENG Zhenyong, ZHANG Qiang, WANG Qiang, et al (5281)
- Research of dynamic variation of moisture in apple orchard soil in the area of Xianyang in recent years .....  
..... ZHAO Jingbo, ZHOU Qi, CHEN Baoqun, et al (5291)
- Volatile oil contents correlate with geographical distribution patterns of the miao ethnic herb *Fructus Cinnamomi* .....  
..... ZHANG Xiaobo, ZHOU Tao, GUO Lanping, et al (5299)
- Effect of environmental factors on growth of *Chlorella* sp. and optimization of culture conditions for high oil production .....  
..... DING Yancong, GAO Qun, LIU Jiayao, et al (5307)
- The effects of substrates on locomotor performance of two sympatric lizards, *Takydromus septentrionalis* and *Plestiodon chinensis* .....  
..... LIN Zhihua, FAN Xiaoli, LEI Huanzong, et al (5316)
- Guild structure of wintering waterbird assemblages in shallow lakes along Yangtze River in Anhui Province, China .....  
..... CHEN Jinyun, ZHOU Lizhi (5323)
- Phylogenetic diversity analysis and *in situ* hybridization of symbiotic Oxymonad flagellates in the hindgut of *Reticulitermes chinensis*  
Snyder ..... CHEN Wen, SHI Yu, PENG Jianxin, et al (5332)
- An entropy weight approach on the comprehensive evaluation of the Pearl River Delta Nature Reserve .....  
..... ZHANG Linying, XU Songjun (5341)
- Review and Monograph**
- On planning method of mesoscale and microscale ecological land ..... RONG Bingling, LI Dong, XIE Yingxia (5351)
- Effects of land use change on soil organic carbon: a review ..... CHEN Zhao, LÜ Changhe, FAN Lan, et al (5358)
- Marine phytoplankton and biological carbon sink ..... SUN Jun (5372)
- Effect of permafrost degradation on methane emission in wetlands: a review .....  
..... SUN Xiaoxin, SONG Changchun, WANG Xianwei, et al (5379)
- A review on the effects of biogenic elements and biological factors on wetland soil carbon mineralization .....  
..... ZHANG Linhai, ZENG Congsheng, TONG Chuan (5387)
- A review of studies using ecological network analysis ..... LI Zhongcai, Xu Junyan, WU Changyou, et al (5396)
- Scientific Note**
- Dynamics of age structures on *Agropyron michnoi* and *Leymus chinensis* in different communities .....  
..... JIN Xiaoming, AI Lin, LIU Jidong, et al (5406)
- The impact of thematic resolution on NDVI spatial pattern ..... HUANG Caixia, LI Xiaomei, SHA Jinming (5414)



# 2009 年度生物学科总被引频次和影响因子前 10 名期刊\*

(源于 2010 年版 CSTPCD 数据库)

排序 Order	期刊 Journal	总被引频次 Total citation	排序 Order	期刊 Journal	影响因子 Impact factor
1	生态学报	11764	1	生态学报	1.812
2	应用生态学报	9430	2	植物生态学报	1.771
3	植物生态学报	4384	3	应用生态学报	1.733
4	西北植物学报	4177	4	生物多样性	1.553
5	生态学杂志	4048	5	生态学杂志	1.396
6	植物生理学通讯	3362	6	西北植物学报	0.986
7	JOURNAL OF INTEGRATIVE PLANT BIOLOGY	3327	7	兽类学报	0.894
8	MOLECULAR PLANT	1788	8	CELL RESEARCH	0.873
9	水生生物学报	1773	9	植物学报	0.841
10	遗传学报	1667	10	植物研究	0.809

★《生态学报》2009 年在核心版的 1964 种科技期刊排序中总被引频次 11764 次,全国排名第 1;影响因子 1.812,全国排名第 14;第 1—9 届连续 9 年入围中国百种杰出学术期刊;中国精品科技期刊

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 31 卷 第 18 期 (2011 年 9 月)

## ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 31 No. 18 2011

**编 辑** 《生态学报》编辑部  
地址:北京海淀区双清路 18 号  
邮政编码:100085  
电话:(010)62941099  
www.ecologica.cn  
shengtaixuebao@rcees.ac.cn

**主 编** 冯宗炜  
**主 管** 中国科学技术协会  
**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

**出 版** 科 学 出 版 社  
地址:北京东黄城根北街 16 号  
邮政编码:100717

**印 刷** 北京北林印刷厂  
**发 行** 科 学 出 版 社  
地址:东黄城根北街 16 号  
邮政编码:100717  
电话:(010)64034563  
E-mail:journal@espg.net

**订 购** 全国各地邮局  
**国外发行** 中国国际图书贸易总公司  
地址:北京 399 信箱  
邮政编码:100044

**广告经营** 京海工商广字第 8013 号  
**许 可 证**

**Edited** by Editorial board of  
ACTA ECOLOGICA SINICA  
Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China  
Tel:(010)62941099  
www.ecologica.cn  
Shengtaixuebao@rcees.ac.cn

**Editor-in-chief** FENG Zong-Wei  
**Supervised** by China Association for Science and Technology  
**Sponsored** by Ecological Society of China  
Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS  
Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China

**Published** by Science Press  
Add:16 Donghuangchenggen North Street,  
Beijing 100717, China

**Printed** by Beijing Bei Lin Printing House,  
Beijing 100083, China

**Distributed** by Science Press  
Add:16 Donghuangchenggen North  
Street, Beijing 100717, China  
Tel:(010)64034563  
E-mail:journal@espg.net

**Domestic** All Local Post Offices in China  
**Foreign** China International Book Trading  
Corporation  
Add:P. O. Box 399 Beijing 100044, China



ISSN 1000-0933  
CN 11-2031/Q

国内外公开发行

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 70.00 元