

ISSN 1000-0933

CN 11-2031/Q

生态学报

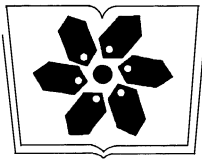
Acta Ecologica Sinica



第33卷 第8期 Vol.33 No.8 **2013**

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 33 卷 第 8 期

2013 年 4 月 (半月刊)

目 次

城市生态系统研究专题

- 城市生态系统:演变、服务与评价——“城市生态系统研究”专题序言 王效科 (2321)
- 城市生态景观建设的指导原则和评价指标 孙然好,陈爱莲,李 芬,等 (2322)
- 城市绿色空间格局的定量化方法研究进展 陶 宇,李 锋,王如松,等 (2330)
- 城市土地利用变化对生态系统服务的影响——以淮北市为例 赵 丹,李 锋,王如松 (2343)
- 基于市政综合监管信息的城市生态系统复杂性分析 董仁才,苟亚青,刘 昕 (2350)
- 原位生物技术对城市重污染河道底泥的治理效果 柳 敏,王如松,蒋 莹,等 (2358)
- 北京城区道路沉积物污染特性 任玉芬,王效科,欧阳志云,等 (2365)
- 绿地格局对城市地表热环境的调节功能 陈爱莲,孙然好,陈利顶 (2372)
- 北京城区气传花粉季节分布特征 孟 龄,王效科,欧阳志云,等 (2381)

个体与基础生态

- 三江源区高寒草甸退化对土壤水源涵养功能的影响 徐 翠,张林波,杜加强,等 (2388)
- 土壤砷植物暴露途径的土壤因子模拟 线 郁,王美娥,陈卫平 (2400)
- 不同寄主植物对马铃薯甲虫的引诱作用 李 超,程登发,郭文超,等 (2410)
- 蒙古栎、白桦根系分解及养分动态 靳贝贝,国庆喜 (2416)
- 干旱和坡向互作对栓皮栎和侧柏生长的影响 王 林,冯锦霞,王双霞,等 (2425)
- 不同郁闭度下胸高直径对杉木冠幅特征因子的影响 符利勇,孙 华,张会儒,等 (2434)
- 驯化温度与急性变温对南方鲢幼鱼皮肤呼吸代谢的影响 鲜雪梅,曹振东,付世建 (2444)

种群、群落和生态系统

- 五鹿山国家级自然保护区物种多样性海拔格局 何艳华,闫 明,张钦弟,等 (2452)
- 玉龙雪山白水 1 号冰川退缩迹地的植被演替 常 丽,何元庆,杨太保,等 (2463)
- 五花米草海向入侵对土壤有机碳组分、来源和分布的影响 王 刚,杨文斌,王国祥,等 (2474)
- 南亚热带人工针叶纯林近自然改造早期对群落特征和土壤性质的影响 何友均,梁星云,覃 林,等 (2484)
- 入侵植物黄顶菊生长、再生能力对模拟天敌危害的响应 王楠楠,皇甫超河,李玉浸,等 (2496)
- 小兴安岭白桦次生林叶面积指数的估测 刘志理,金光泽 (2505)
- 草地植物群落最优分类数的确定——以黄河三角洲为例 袁 秀,马克明,王 德 (2514)
- 多毛类底栖动物在莱州湾生态环境评价中的应用 张 莹,李少文,吕振波,等 (2522)
- 马尾松人工林火烧迹地不同恢复阶段中小型土壤节肢动物多样性 杨大星,杨茂发,徐 进,等 (2531)

景观、区域和全球生态

- 极端干旱区大气边界层厚度时间演变及其与地表能量平衡的关系 张 杰,张 强,唐从国 (2545)

基于多源遥感数据的景观格局及预测研究..... 赵永华,贾 夏,刘建朝,等 (2556)

城市化流域生态系统服务价值时空分异特征及其对土地利用程度的响应.....

..... 胡和兵,刘红玉,郝敬锋,等 (2565)

资源与产业生态

碳汇目标下农户森林经营最优决策及碳汇供给能力——基于浙江和江西两省调查.....

..... 朱 臻,沈月琴,吴伟光,等 (2577)

基于 GIS 的缓坡烟田土壤养分空间变异研究..... 刘国顺,常 栋,叶协锋,等 (2586)

春玉米最大叶面积指数的确定方法及其应用..... 麻雪艳,周广胜 (2596)

城乡与社会生态

广州市常见行道树种叶片表面形态与滞尘能力 刘 璐,管东生,陈永勤 (2604)

研究简报

桔梗种子萌发对低温、干旱及互作胁迫的响应..... 刘自刚,沈 冰,张 雁 (2615)

基质养分对寄生植物南方菟丝子生长的影响 张 静,李钧敏,闫 明 (2623)

学术信息与动态

人类活动对森林林冠的影响——第六届国际林冠学大会述评..... 宋 亮,刘文耀 (2632)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 316 * zh * P * ¥90.00 * 1510 * 34 * 2013-04



封面图说: 互花米草近景——互花米草是多年生高大禾本科植物,植株健壮而挺拔,平均株高约 1.5m,最高可达 3.5m,茎秆直径可达 1cm 以上。原产于大西洋沿岸,是一种适应海滩潮间带生长的耐盐、耐淹植物。我国于 1979 年开始引入,原意主要是用于保滩护堤、促淤造陆和改良土壤等。但是,近年来,互花米草迅速扩散,在一些区域里,已经完全郁闭,形成了单优种群,严重排挤了本土物种的生长,并且还在以指数增长的速度逐年增加,对海岸湿地土著物种和迁徙鸟类造成的危害日益严重,已经列为必须严格控制的有害外来入侵物种。

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/stxb201208211180

靳贝贝, 国庆喜. 蒙古栎、白桦根系分解及养分动态. 生态学报, 2013, 33(8): 2416-2424.

Jin B B, Guo Q X. Root decomposition and nutrient dynamics of *Quercus mongolica* and *Betula platyphylla*. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(8): 2416-2424.

蒙古栎、白桦根系分解及养分动态

靳贝贝, 国庆喜*

(东北林业大学生态研究中心, 哈尔滨 150040)

摘要:采用埋袋法对蒙古栎(*Quercus mongolica*)、白桦(*Betula platyphylla*)两个树种粗根(>10 mm)、中粗根(5—10 mm)、中根(2—5 mm)和细根(<2 mm)的分解速率和养分动态进行研究。结果表明,根系的重量保持率随时间增加呈下降趋势,这种趋势可用 Olson 指数衰减模型来拟合,即: $X_t/X_0 = e^{-kt}$ (t 为分解时间, X_0 为根系初始干重, X_t 为分解 t 时间的残留干重, k 为年分解系数),通过拟合计算出年分解系数 k 。在本研究中,蒙古栎粗根、中粗根、中根、细根的年分解系数分别为:0.2928、0.2562、0.2928、0.3660;白桦依次分别为:0.2196、0.3294、0.3660、0.4392,基本呈现随直径增加分解速率减小的趋势。根系分解过程中,两树种各径级均是 N 浓度增加,可溶性糖浓度减小。在根系分解的不同时期两树种各径级 N 表现出不同程度的释放或富集,没有明显的规律性;可溶性糖却一直处于释放状态。分解 1a 时间,蒙古栎各径级根系表现为释放 N 元素;白桦表现为细根和中根释放 N 元素,中粗根和粗根富集 N 元素。蒙古栎、白桦细根和中根可溶性糖的释放率达 90% 以上,中粗根和粗根的释放率达 80% 以上。

关键词:蒙古栎;白桦;根系分解;养分

Root decomposition and nutrient dynamics of *Quercus mongolica* and *Betula platyphylla*

JIN Beibei, GUO Qingxi*

Center for Ecological Research, Northeast Forestry University, Harbin 150040, China

Abstract: Roots are important structural and functional components of forest ecosystems. The mortality and decomposition of tree roots are key sources of soil organic carbon and nutrients. However, there is little information on root decomposition of Mongolia oak (*Quercus mongolica*) and Asia white birch (*Betula platyphylla*) in Northeast China. We hypothesized: (1) the decomposition rate decreased with root diameter increasing for both species, because coarser roots contain less nonstructural carbohydrates and nitrogen (N); (2) for the roots with same diameter in the two species, root with higher concentrations of soluble sugars and N also decomposed faster; (3) after one year's decomposition, most of the soluble sugars were released, but the N was little released or even concentrated. A buried bag experiment for the coarse (>10 mm), middle coarse (5—10 mm), medium (2—5 mm) and fine (<2 mm) roots of the two tree species was conducted at Maershan Forest Ecosystem Research Station. In May of 2011, 21 bags (80-mesh, each contains 6 g root samples) for each root diameter class of each species (in total 168 bags) were buried at 10 cm depth in the natural oak-birch mixed forest at the same site (mid to upper-slope). Three bags for each diameter class of each species were sampled monthly for one year (in June, July, August, September, October in 2011; April and May in 2012). The roots were washed, dried at 75 °C and weighted. The concentrations of soluble sugars and N were analyzed for the initial and the decomposing roots. All

基金项目:国家科技支撑计划(2011BAD37B01)

收稿日期:2012-08-21; 修订日期:2013-01-11

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: gqx@nefu.edu.cn

the three hypotheses were supported by our results. The root mass remaining rate showed a descending trend with time, which could be well fitted (with the $R^2 > 0.71$) by the Olson negative exponential decay model ($X_t/X_0 = e^{-kt}$, where X_0 is the initial dry weight, X_t is the dry weight remaining at the end of the investigation, t is the time interval and k is the annual decay constant). The coarse, middle coarse, medium and fine roots of the oak had an annual decomposition coefficient of 0.2928, 0.2562, 0.2928 and 0.3660, respectively, while the coefficients of those of the birch were 0.2196, 0.3294, 0.3660 and 0.4392, correspondingly. After one-year decomposition, 20%—33% of the mass was lost for roots with various diameters. This supported the first hypothesis that the decomposition rate decreased with root diameter increasing. The birch has higher concentrations of soluble sugars and N for the roots with same size, which was responsible for the higher decomposition rate for the birch. During root decomposition, N concentrations in all sizes of the roots increased, while the concentrations of soluble sugars exponentially decreased. N mass in the four root sizes of both species released or uptaken during different decomposition time with no consistent trend, but soluble sugar mass was always releasing during the study period. At the end of the study (one-year decomposition), all sizes of root of the oak, and the fine and medium roots of the birch were N source for the soil, but the coarse and middle coarse roots of the birch were N sink for the soil. More than 90% of soluble sugars released from the fine and medium roots of the oak and birch, and more than 80% of soluble sugars released from the coarse and middle coarse roots for the two species. This study provided fundamental data for the C/N cycling in the natural generated forests in Northeast China.

Key Words: *Quercus mongolica*; *Betula platyphylla*; root decomposition; nutrient

树木地下庞大的根系是其地上光合生长的基础,直径较粗的根主要起到支撑和运输的作用,直径相对较小的细根负责养分和水分的吸收^[1]。因此,根系在发挥植物功能和生态系统能量流动与养分循环中扮演重要角色,是林木重要的养分“源”和光合产物的“汇”^[2-3]。林木根系处于不断生长、衰老、死亡和再生长的动态过程中^[4],具有很高的周转率,尤其是细根在这一过程可消耗陆地生态系统初级生产力的 10%—75%^[5]。根系分解是周转的主要环节,与季节性凋落的枯枝落叶相比,根系的死亡和分解一年四季随时发生,能够持续向土壤输入养分,构成生物地球化学循环的重要环节^[6-7],对于恢复和增加土壤肥力、提高森林生产力和维持森林生态系统的持续发展具有重要作用。若森林生态系统物质循环中不考虑根系产量、死亡及分解,则有机质和养分的周转量将被低估 20%—80%^[8]。同时,根系分解释放出二氧化碳(CO₂),其分解速率的快慢关系到碳(C)在土壤中的滞留时间,因而根系分解是全球 C 预算的重要组分^[9]。

根系分解速率主要受根系环境和根系化学成分的影响^[10]。在环境条件相对一致的情况下,根系的化学成分是影响分解的主要因子^[11-12]。树木种类、根系直径大小等都影响根系化学成分^[13],因此,不同直径的根系分解速率可能不同。目前国内有关细根分解开展了不少研究,这些研究主要包括细根分解的动态变化^[14]、养分释放^[15]和能量归还^[16]等几个方面,但是系统研究不同径级根系,尤其是粗根分解的报道很少。粗根作为地下生物组成的一部分,在整个生物地球化学循环中发挥的作用同样不可忽视。本文主要对东北地区蒙古栎、白桦两个树种 4 个直径等级根系进行研究,探讨不同径级根系分解速率及养分变化情况,为了解根系分解自然过程和养分循环提供基础。

1 研究地概况与研究方法

1.1 研究地概况

试验地位于黑龙江省帽儿山森林生态系统国家野外科学观测站——老爷岭森林生态系统定位站(127°30′—127°34′E, 45°20′—45°25′N),即我国温带落叶阔叶林与温带针阔混交林过渡类型的中心地带。该地区属于温带大陆性季风气候,四季较为分明,冬长夏短;全年气候受高低压轮流控制,起伏变化大。年平均温 2.8℃,1 月均温 -19.6℃,7 月均温 20.9℃;年均湿度 70%,年降水量 723.8 mm,年蒸发量 1093.9 mm,年日照时数 2471.3 h,无霜期 120—140d。该地区地带性土壤为典型暗棕壤,其亚类还有草甸暗棕壤、白浆化暗棕

壤、潜育暗棕壤和原始暗棕壤,它们多分布在 300 m 以下的低山丘陵地带,其中以典型暗棕壤所占的地形部位较高。

1.2 研究方法

1.2.1 埋袋实验

本实验采用埋袋法研究根系的分解^[17-18]。实验标准地设在 63 年生蒙古栎 (*Quercus mongolica*) 和白桦 (*Betula platyphylla*) 天然混交林内,标准地面积 40 m×10 m。目前蒙古栎胸径和树高分别为 23.4 cm 和 11.8 m,白桦分别为 15.1 cm 和 12.3 m。下木层有:暴马丁香 (*Syringa reticulata*)、色木槭 (*Acer mono*)、刺五加 (*Acanthopanax senticosus*)、东北山梅花 (*Philadelphus schrenkii*)、东北鼠李 (*Rhamnus yoshinoi*) 等。于 2011 年 5 月,在林地内随机挖取蒙古栎和白桦根系(根系直径不超过 20 mm),洗净,去除颜色发暗、无弹性的死亡根系,晾至自然含水量。按直径将根系划分为 4 个级别:粗根(>10 mm)、中粗根(5—10 mm)、中根(2—5 mm)和细根(<2 mm),剪成 5 cm 长的根段,称取各级别根系 6.0 g,分别装入长、宽均为 10 cm 的尼龙网袋(80 目)内。每个直径等级的根系装 21 袋,4 个级别共 84 袋,两个树种共 168 袋。埋在标准地由下到上的 3 个样方(2 m×2 m)内,样方间距离 12—15 m 左右。每个样方内埋 4 个径级根系各 7 袋,平埋入 10 cm 深的土层中,表层覆盖林地凋落物。在 2011 年 6—10 月和 2012 年 4—5 月,每月 20 日,将每个样方每个直径根系各取出 1 个样品,即每次每个直径共取出 3 个样品,带回实验室备用。

1.2.2 室内分析实验

将取回的分解网袋打开,清除附着的泥土、杂物等非根系物质和新长入的根,采用土壤筛(40 目)冲洗根系,剩余的根系于 75 ℃烘箱中烘 48 h 后测定干重,粉碎、过筛,用于化学成分分析。样品的化学成分分析项目包括全 N 及可溶性糖。全 N 采用凯氏法,可溶性糖采用苯酚法测定。

1.2.3 重量保持率和养分保持率的计算

$$\text{重量保持率} = W_t / W_0$$

$$\text{养分保持率} = C_t W_t / C_0 W_0$$

式中, W_0 为根系初始干重(g), W_t 为根系分解 t 时间后的干重(g), C_0 为根系初始养分浓度, C_t 为根系分解 t 时间后的养分浓度。

1.2.4 根系分解过程的拟合

根系的分解过程是一个动态过程,通常情况下,根系的重量保持率和时间不成线性关系,Olson 提出指数衰减模型描述凋落物的分解,其衰减模型为: $X_t/X_0 = e^{-kt}$,式中 t 为分解时间, X_0 为根系初始干重, X_t 为分解 t 时间的残留干重, k 为年分解系数,本研究利用此模型拟合根系残留率和时间关系,并计算年分解系数 k 。

1.2.5 统计分析

采用 SPSS11.5 统计软件拟合根系分解过程重量保持率与时间的关系,运用 LSD 法方差分析检验同一树种不同径级以及同一径级不同树种之间根系分解速率差异和初始养分含量差异。

2 结果与分析

2.1 蒙古栎、白桦根系的分解速率

在蒙古栎和白桦根系分解过程中,根系的重量保持率总体上随时间而下降(图 1),但也有因实验误差和空间异质性等原因出现负分解现象。分解 360d 后,蒙古栎细根约分解 26%,中根和粗根的分解在 20% 左右,中粗根的分解接近 15%。白桦细根约分解 33%,中根、中粗根、粗根分解在 20% 左右。

依据 Olson 的指数衰减模型建立根系指数分解方程,结果(表 1)显示,蒙古栎细根和中粗根年分解系数相差很大($P < 0.05$),但它们与中根和粗根年分解系数均无差异。白桦根系年分解系数随着根系直径的增加而减小,粗根与其它 3 个径级年分解系数均差异显著($P < 0.05$),其中,与细根年分解系数差异极为显著($P < 0.01$),中粗根与细根年分解系数也有差异($P < 0.05$)。各径级根系的年分解系数在种间差异均不显著。

表 1 蒙古栎、白桦不同径级根系年分解系数

Table 1 Annual decomposition constant (k) in different diameters roots of *Quercus mongolica* and *Betula platyphylla*

树种 Species	直径 Diameter/mm	年分解系数 Annual decomposition constant	R^2
蒙古栎 <i>Quercus mongolica</i>	<2	0.3660aA	0.822
	2—5	0.2928abA	0.823
	5—10	0.2562bA	0.763
	>10	0.2928abA	0.861
白桦 <i>Betula platyphylla</i>	<2	0.4392aA	0.927
	2—5	0.3660abA	0.771
	5—10	0.3294bA	0.833
	>10	0.2196cA	0.712

小写字母表示同一树种不同径级,大写字母表示同一径级不同树种,相同字母表示差异不显著 ($P>0.05$),不同字母表示差异显著 ($P<0.05$)

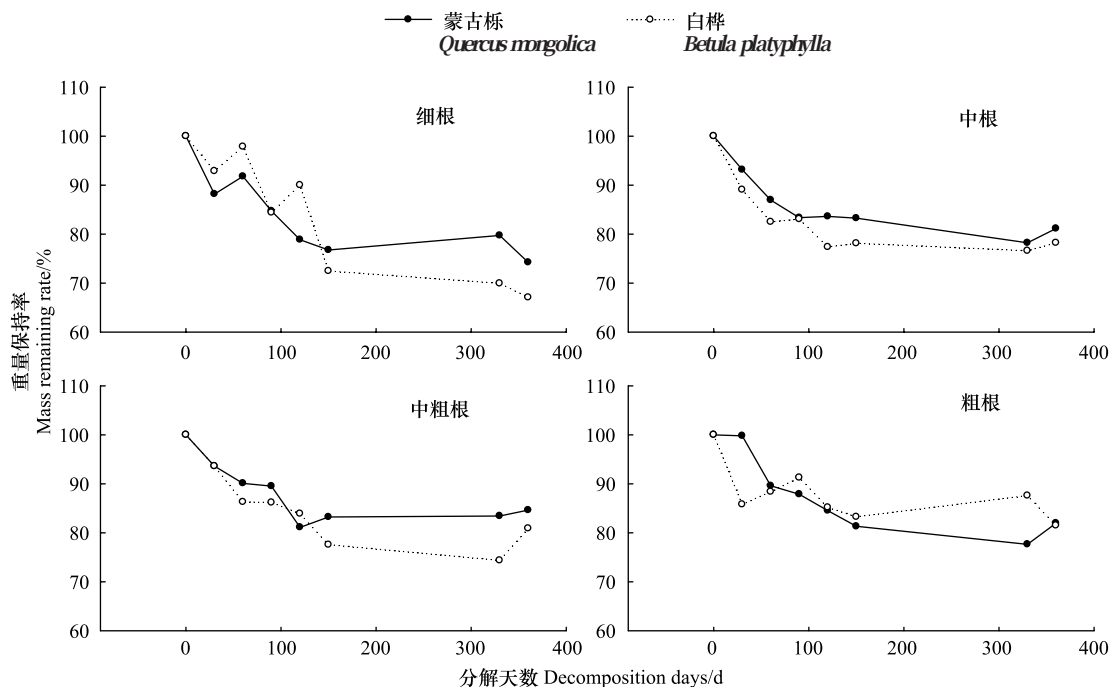


图 1 蒙古栎和白桦根系重量保持率变化

Fig. 1 Change in root mass remaining rate of *Quercus mongolica* and *Betula platyphylla* with different diameters during root decomposition

2.2 蒙古栎、白桦根系分解过程中养分浓度的时间动态变化

2.2.1 蒙古栎、白桦根系的初始养分

根系中养分浓度常被用来预测根系分解速率以及养分释放情况^[19]。根系初始化学成分分析结果表明,蒙古栎、白桦不同径级根系 N 和可溶性糖含量有差别(表 2)。白桦根系的养分浓度明显高于蒙古栎,其中,种间 N 浓度差异在细根、中根和中粗根 3 个径级上表现极显著 ($P<0.01$),两树种粗根 N 浓度差异不显著;而可溶性糖浓度在细根和中根两个径级上差异极为显著 ($P<0.01$),两树种的中粗根和粗根可溶性糖浓度差异不显著 ($P>0.05$)。蒙古栎 4 个径级 N 浓度中粗根最低,它与细根和中根均差异显著 ($P<0.05$);其次是粗根,它与细根差异显著。白桦细根 N 浓度明显高于其它 3 个径级 ($P<0.01$)。蒙古栎、白桦可溶性糖浓度均是粗根最低,细根较高。蒙古栎细根、中根和中粗根之间糖浓度无差异,但都与粗根差异显著。白桦细根和中根糖浓度与中粗根和粗根差异极显著 ($P<0.01$)。

表 2 蒙古栎、白桦不同径级根系养分元素初始浓度

Table 2 Nutrient concentration in different diameters roots of *Quercus mongolica* and *Betula platyphylla* (mean $\pm$ SE, $n=3$)

树种 Species	直径 Diameter/mm	N /(mg/g)	可溶性糖 Soluble sugar/(mg/g)
蒙古栎 <i>Quercus mongolica</i>	<2	5.48 $\pm$ 0.39aA	64.25 $\pm$ 4.41aA
	2—5	4.69 $\pm$ 0.21abA	69.57 $\pm$ 0.74aA
	5—10	3.68 $\pm$ 0.00cA	67.54 $\pm$ 3.74aA
	>10	4.47 $\pm$ 0.31bcA	49.78 $\pm$ 11.81bA
白桦 <i>Betula platyphylla</i>	<2	10.14 $\pm$ 0.31aB	103.08 $\pm$ 4.36aB
	2—5	6.98 $\pm$ 0.40bB	90.00 $\pm$ 5.13aB
	5—10	5.52 $\pm$ 0.72cB	66.61 $\pm$ 7.67bA
	>10	5.01 $\pm$ 0.49cA	48.71 $\pm$ 7.73cA

2.2.2 蒙古栎、白桦根系分解过程中 N 浓度的变化

根系分解过程常常伴随着淋溶、物质迁移、土壤生物代谢对元素的吸收和释放,不停的与外界进行物质交换,因此根系分解过程中元素含量也在不断发生变化^[9,20]。从图 2 可以看出,蒙古栎、白桦各径级根系 N 浓度随分解时间增加大体上呈上升趋势,白桦各径级根系的 N 浓度均比蒙古栎的高。蒙古栎、白桦细根 N 浓度在分解初期呈明显上升趋势,120d 之后下降,第 2 年,蒙古栎细根 N 浓度继续上升,白桦则下降。两树种中根 N 浓度在分解的前 30d 降低,白桦降幅比蒙古栎大很多,30d 之后,蒙古栎 N 浓度略微上升然后趋于稳定,而白桦 N 浓度在经历了大幅下降之后迅速上升,120d 之后趋于稳定。蒙古栎中粗根在分解前 60d 迅速上升,之后又下降;白桦 N 浓度初期迅速上升,150d 后稳定。两树种粗根 N 浓度都是在分解前 30d 降低,然后又上升,90d 之后蒙古栎 N 浓度基本稳定,白桦继续上升。

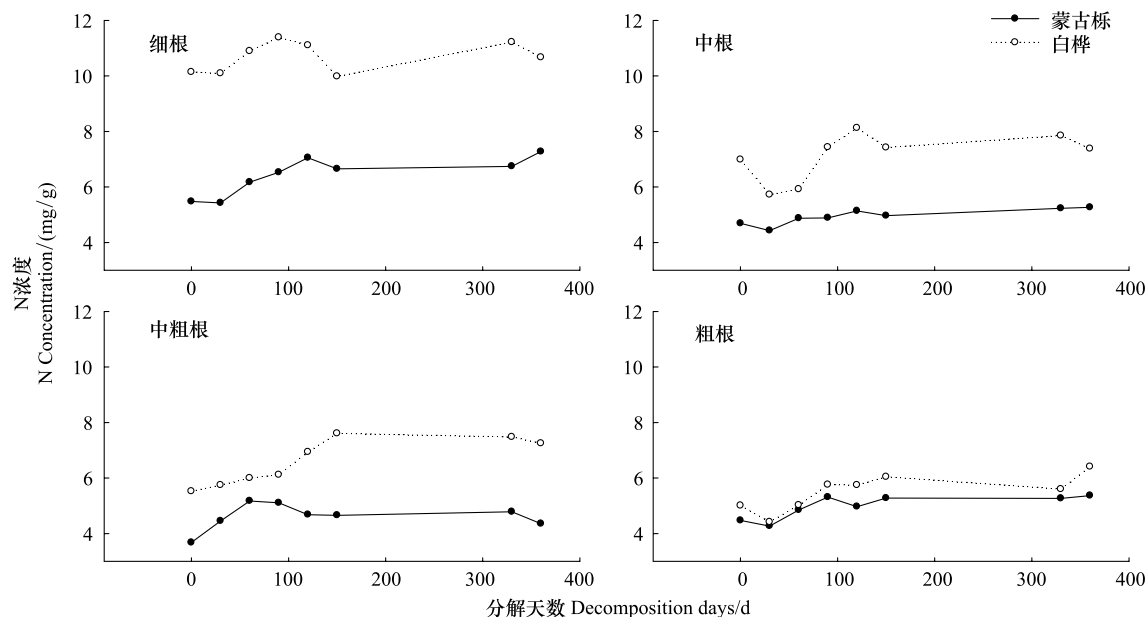


图 2 蒙古栎和白桦根系 N 浓度变化

Fig. 2 Change in N concentration of *Quercus mongolica* and *Betula platyphylla* with different diameters during root decomposition

2.2.3 蒙古栎、白桦根系分解过程中可溶性糖浓度的变化

随着分解时间增加,蒙古栎、白桦根系可溶性糖浓度整体呈迅速下降趋势(图 3)。蒙古栎、白桦各径级根系可溶性糖浓度在分解前 30d 大幅下降,之后细根和中根下降幅度减小,在 90—120d 后达到稳定。蒙古栎、白桦中粗根 30d 后继续下降,120d 后趋于稳定。蒙古栎粗根可溶性糖浓度下降至 150d 后保持稳定,白桦粗

根下降至 90d 后又上升,之后稳定。

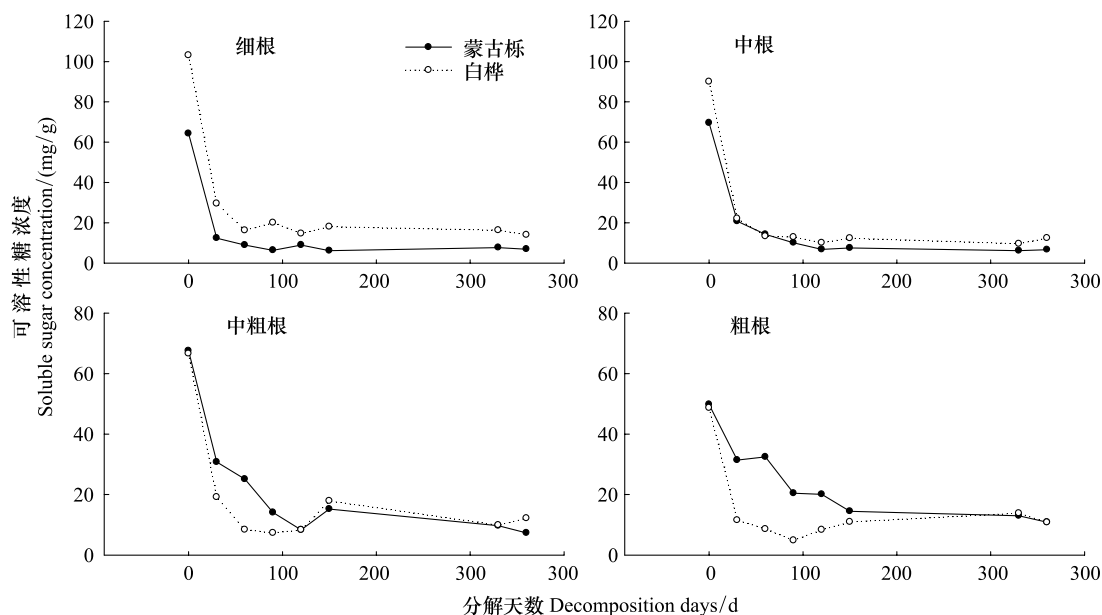


图3 蒙古栎和白桦根系可溶性糖浓度变化

Fig. 3 Change in soluble sugar concentration of *Quercus mongolica* and *Betula platyphylla* with different diameters during root decomposition

2.3 蒙古栎、白桦根系分解过程中养分保持率的动态变化

2.3.1 蒙古栎、白桦根系分解过程中 N 保持率的动态变化

根系分解的不同时期表现为释放或富集 N 元素(图 4),分解的前 30d,蒙古栎、白桦各径级根系均表现为释放 N 元素。蒙古栎细根和中根的释放率达 13%,粗根和中粗根释放率较小,分别为 5% 和 3%。白桦中根和粗根的释放率达 25%,细根和中粗根释放率较小,为 7% 和 1%。在分解的 30—60d,蒙古栎的各径级根系均表现为富集 N 元素;但白桦的中根和中粗根仍然表现为释放 N 元素,细根和粗根表现为富集 N 元素。在分解的 60—150d,蒙古栎各径级根系均表现为释放 N 元素,白桦只有细根表现为释放 N 元素,其余 3 个径级均富集 N 元素。整体上看,分解 1a 时间,蒙古栎各径级根系表现为释放 N 元素,其中,中根和中粗根释放率高,而细根和粗根的释放率低;但白桦表现为细根和中根释放 N 元素,中粗根和粗根富集 N 元素。

2.3.2 蒙古栎、白桦根系分解过程中可溶性糖保持率的动态变化

随着分解时间增加,根系可溶性糖保持率呈迅速下降趋势(图 5)。分解的前 30d,蒙古栎细根可溶性糖的释放率为 83.3%,中根为 72.2%,中粗根为 69.0%,粗根为 37.2%,呈现出随根系直径增加释放率下降的趋势。白桦细根可溶性糖释放率为 70.3%,中根为 77.9%,中粗根为 73.1%,粗根为 79.2%,基本呈现随根系直径增加释放率也增加的趋势。分解 1a 时间,蒙古栎、白桦细根和中根的释放率达 90% 以上,中粗根和粗根的释放率达 80% 以上。

3 结论与讨论

3.1 根系的分解速率

蒙古栎、白桦各径级根系的分解在初期是相对快的(图 1),随着分解时间延长,分解速率逐渐下降。这主要是因为分解初期根系器官中碳水化合物的含量相对高,对于分解的真菌和微生物来说是非常适宜的条件^[21]。根系的初始失重与根系底物初始的 N 浓度密切正相关^[22-23],但随着可萃取物和酸溶性组分的耗尽,N 浓度对分解的效应降低。Eriksson^[24]等指出,分解后期 N 浓度升高可能抑制了木质素的分解,从而降低了根系分解速率。因此,蒙古栎和白桦根系分解具有明显的时间模式,分解过程先后出现分解速率较快和较慢两个阶段。

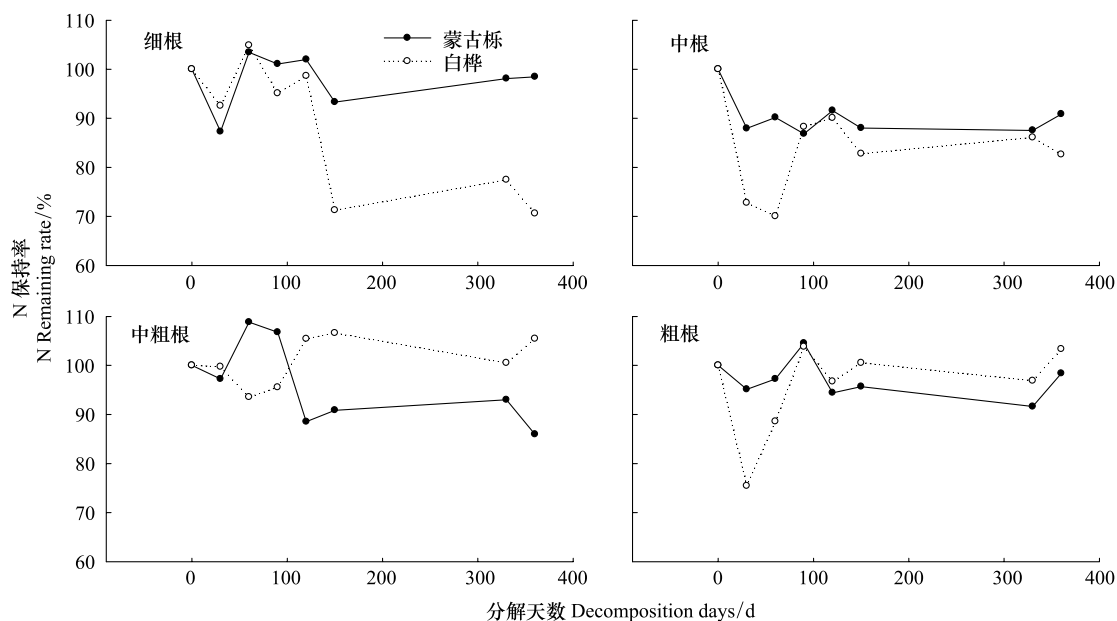


图4 蒙古栎和白桦根系分解过程中N的释放

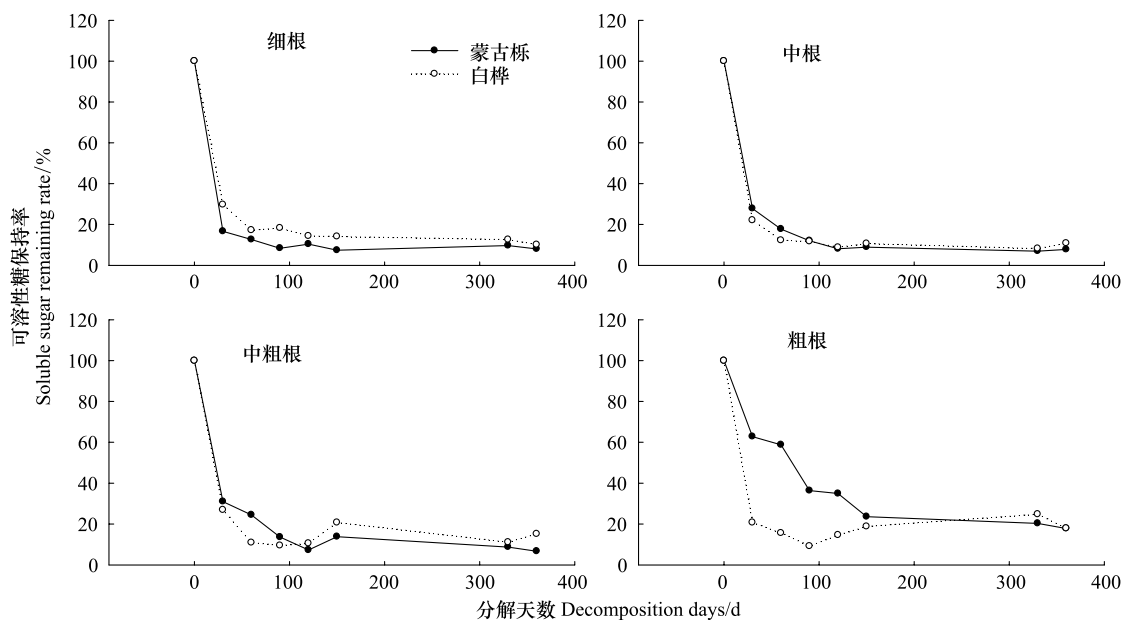
Fig. 4 Change in N remaining rate of *Quercus mongolica* and *Betula platyphylla* roots with different diameters during root decomposition

图5 蒙古栎和白桦根系分解过程中可溶性糖的释放

Fig. 5 Change in soluble sugar remaining rate of *Quercus mongolica* and *Betula platyphylla* roots with different diameters during root decomposition

通常认为,根系中N浓度高(即C/N低)的树种具有较快的分解速率^[11]。蒙古栎细根、中根、中粗根的N浓度显著低于白桦相应径级的N浓度(表2),表明白桦根系的分解速率大于蒙古栎。模拟方程结果(表1)表明,对于相同径级根系而言,除了粗根,其余各径级根系的年分解系数均是白桦大于蒙古栎。研究发现,经过1a的分解后,白桦木质部变得松软,而蒙古栎仍然紧实,这一研究结果符合N浓度高分解速度快这一观点。

直径对根系分解率的影响较为复杂,不同直径根的分解速率不同,特别是>5 mm根分解速率明显较低。一些研究者认为,大直径根分解慢与其水溶性化合物的淋溶速率低^[21]或根中难分解物质和结构性物质的比例高有关^[25]。与细根相比,大直径根更不易被取食、干燥和遭受机械损伤,这与根的生命随根直径增大而增

长的观测结果一致^[26]。许多研究者认为,随根系直径的增加,N 含量降低、C/N 增加,并且易分解细胞的比例降低^[27],因此粗根分解较慢。本研究中,白桦根系 N 浓度随着直径的增加而减小,蒙古栎大体上也符合这一规律,但是中粗根的 N 浓度最低。一年的研究结果表明,在所研究的直径范围内,白桦直径越小的根系分解越快,蒙古栎细根分解最快,其次是中根和粗根,中粗根分解最慢。这一研究结果与直径越大分解速度越慢这一论点基本一致。

3.2 根系分解过程中 N 和可溶性糖释放

根系 N 释放过程比较复杂,根系分解的不同时期表现为 N 释放或富集。分解过程中养分的释放受凋落物质量和环境控制^[11]。凋落物质量是指凋落物的相对可分解性,初始养分浓度常作为凋落物分解指标^[19]。初始浓度高的元素能够满足微生物生命活动的需求,一般富集量较小或直接释放,变化相对比较平稳;凋落物中浓度低的养分易于发生富集或者是富集量较高,或分解过程中无明显规律,常常出现波动^[28]。Osterag 和 Hobbie^[29]发现,铁心木(*Metrosideros polymorpha*)分解 1a 后,N 增加至初始含量的 150%,Scheu^[17]等对山毛榉(*Fagus sylvatica*)和欧洲白蜡(*Fraxinus excelsior*)3a 的研究发现,中根(3—10 mm)和细根(<3 mm)释放和富集均不明显,山毛榉粗根(>10 mm)N 富集 150%,欧洲白蜡粗根为 120%。在本研究中,根系分解初期 N 元素均表现为释放(图 4),这可能是由于降雨增加和温度升高所致。随着分解时间增加,蒙古栎、白桦各径级根系表现为不同程度的富集或释放,但两树种没有明显的规律,这可能与局部的森林立地条件、林地养分有效性、水分季节变化和微生物活动有关。本研究分解 1a 时间,蒙古栎各径级根系均表现为释放 N 元素,但白桦表现为细根和中根释放 N 元素,中粗根和粗根富集 N 元素。

Chapin^[11]等提出根系分解主要包括淋溶和破碎等物理过程和生物作用为主的化学过程。淋溶是根系中可溶性糖和矿物质离子在雨水的作用下淋失到土壤中的物理过程,是根系分解最快的阶段。实际上当根系还处于存活阶段时,淋溶就开始发生了^[30]。温达志^[20]等在鼎湖山南亚热带森林细根分解过程的研究中发现,可溶性糖仅 170d 就被淋洗掉 95%。张秀娟^[15]等在帽儿山对水曲柳、落叶松根系分解过程中养分释放进行研究发现,分解 150d 后,两树种粗根和中根可溶性糖释放均在 90% 以上。而两树种细根分解仅 30d 时可溶性糖释放接近 90%。这些研究表明,根系分解过程中可溶性糖的释放率比较可观。本实验分解 1a 时间,蒙古栎、白桦细根和中根的释放率达 90% 以上,中粗根和粗根的释放率达 80% 以上。

References:

- [1] Wei X, Zhang G Z. Progress and prospect in the main research realms of tree fine roots. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2008, 24(5): 143-147.
- [2] Copley J. Ecology goes underground. Nature, 2000, 406(6795): 452-454.
- [3] Morgan J A. Looking beneath the surface. Science, 2002, 298(5600): 1903-1904.
- [4] Norby R J, Jackson R B. Root dynamics and global change: seeking an ecosystem perspective. New Phytologist, 2000, 147(1): 3-12.
- [5] Gill R A, Jackson R B. Global patterns of root turnover for terrestrial ecosystems. New Phytologist, 2000, 147(1): 13-31.
- [6] Fahey T J, Hughes J W. Fine root dynamics in a northern hardwood forest ecosystem, Hubbard Brook Experimental Forest, NH. The Journal of Ecology, 1994, 82(3): 533-548.
- [7] Gordon W S, Jackson R B. Nutrient concentrations in fine roots. Ecology, 2000, 81(1): 275-280.
- [8] Zhang X Q, Wu K H, Murach D. A review of methods for fine-root production and turnover of trees. Acta Ecologica Sinica, 2000, 20(5): 875-883.
- [9] Aerts R. Climate, leaf letter chemistry and leaf litter decomposition in terrestrial ecosystems: a triangular relationship. Oikos, 1997, 79(3): 439-449.
- [10] Huang Z Q, Liao L P, Gao H, Wang S L, Yu X J. Decomposition process of Chinese fir stump roots and changes of nutrient concentration. Chinese Journal of Applied Ecology, 2000, 11(1): 40-42.
- [11] Chapin F S III, Matson P A, Mooney H A. Principles of Terrestrial Ecosystem Ecology. New York, Berlin: Springer Verlag, 2002: 151-175.
- [12] Chen H, Harmon M E, Griffiths R P. Decomposition and nitrogen release from decomposing woody roots in coniferous forests of the Pacific Northwest: a chronosequence approach. Canadian Journal of Forest Research, 2001, 31(2): 246-260.
- [13] Liao L P, Yang Y J, Wang S L, Gao H. Distribution, decomposition and nutrient return of the fine root in pure *Cunninghamia lanceolata*,

- Michelia macclurei* and the mixed plantations. *Acta Ecologica Sinica*, 1999, 19(3): 342-346.
- [14] Lin C F, Yang Y S, Chen G S, Guo J F, Han Z G. Decomposition dynamics of fine roots of *Cunninghamia lanceolata* in Mid-subtropics. *Journal of Subtropical Resources and Environment*, 2008, 3(1): 15-23.
- [15] Zhang X J, Wu C, Mei L, Han Y Z, Wang Z Q. Root decomposition and nutrient release of *Fraxinus manshurica* and *Larix gmelinii* plantations. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2006, 17(8): 1370-1376.
- [16] Zhang L H, Ye G F, Lin Y M, Lu C Y, Hou J. Nutrient release and energy return of fine roots in *Casuarina equisetifolia* plantation. *Journal of Xiamen University: Natural Science*, 2007, 46(2): 268-273.
- [17] Scheu S, Schauermaier J. Decomposition of roots and twigs: effects of wood type (beech and ash), diameter, site of exposure and macrofauna exclusion. *Plant and Soil*, 1994, 163(1): 13-24.
- [18] Silver W L, Miya R K. Global patterns in root decomposition: comparisons of climate and litter quality effects. *Oecologia*, 2001, 129(3): 407-419.
- [19] Peng S L, Liu Q. The dynamics of forest litter and its responses to global warming. *Acta Ecologica Sinica*, 2002, 22(9): 1534-1544.
- [20] Wen D Z, Wei P, Zhang Y C, Kong G H. Dry mass loss and chemical changes of the decomposed fine roots in three China south subtropical forests at Dinghushan. *Chinese Journal of Ecology*, 1998, 17(2): 1-6.
- [21] Fahey T J, Hughes J W, Pu M, Arthur M A. Root decomposition and nutrient flux following whole-tree harvest of northern hardwood forest. *Forest Science*, 1988, 34(3): 744-768.
- [22] Aber J D, Melillo J M, McClaugherty C A. Predicting long-term patterns of mass loss, nitrogen dynamics, and soil organic matter formation from initial fine litter chemistry in temperate forest ecosystems. *Canadian Journal of Botany*, 1990, 68(10): 2201-2208.
- [23] Lohmus K, Ivask M. Decomposition and nitrogen dynamics of fine roots of Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst) at different sites. *Plant and Soil*, 1995, 168-169(1): 89-94.
- [24] Eriksson K E L, Blanchette R A, Ander P. Microbial and Enzymatic Degradation of Wood and Wood Component. Berlin: Springer, 1990.
- [25] Fitter A H. Functional significance of root morphology and root system architecture // Fitter A H, Atkinson D, Read D J, Usher M B, eds. *Ecological Interaction in Soil*. Oxford: Blackwell, 1985, 4: 87-106.
- [26] Boot R G A. The significance of size and morphology of root systems for nutrient acquisition and competition // Lambers H, Cambridge M L, Konings H, Pons T, eds. *Causes and Consequences of Variation in Growth rate and Productivity of Higher Plants*. The Hague: SPB Academic Publishing, 1990.
- [27] Pregitzer K S, DeForest J L, Burton A J, Allen M F, Russ R W, Hendrick R L. Fine root architecture of nine North American trees. *Ecological Monographs*, 2002, 72(2): 293-309.
- [28] Wang J, Huang J H. Comparison of major nutrient release patterns in leaf litter decomposition in warm temperate zone of China. *Acta Phytocologica Sinica*, 2001, 25(3): 375-380.
- [29] Ostertag R, Hobbie S E. Early stages of root and leaf decomposition in Hawaiian forests: effects of nutrient availability. *Oecologia*, 1999, 121(4): 564-573.
- [30] Zhang X J, Mei L, Wang Z Q, Han Y Z. Advances in studying fine root decomposition in forests. *Chinese Bulletin of Botany*, 2005, 22(2): 246-254.

参考文献:

- [1] 卫星, 张国珍. 树木细根主要研究领域及展望. *中国农学通报*, 2008, 24(5): 143-147.
- [8] 张小全, 吴可红, Dieter Murach. 树木细根生产与周转研究方法评述. *生态学报*, 2000, 20(5): 875-883.
- [10] 黄志群, 廖利平, 高洪, 汪思龙, 于小军. 杉木根桩分解过程及几种主要营养元素的变化. *应用生态学报*, 2000, 11(1): 40-42.
- [13] 廖利平, 杨跃军, 汪思龙, 高洪. 杉木(*Cunninghamia lanceolata*)、火力楠(*Michelia macclurei*) 纯林及其混交林细根分布、分解与养分归还. *生态学报*, 1999, 19(3): 342-346.
- [14] 林成芳, 杨玉盛, 陈光水, 郭剑芬, 韩志刚. 杉木人工林细根分解和养分释放及化学组成变化. *亚热带资源与环境学报*, 2008, 3(1): 15-23.
- [15] 张秀娟, 吴楚, 梅莉, 韩有志, 王政权. 水曲柳和落叶松人工林根系分解与养分释放. *应用生态学报*, 2006, 17(8): 1370-1376.
- [16] 张立华, 叶功富, 林益明, 卢昌义, 侯杰. 木麻黄人工林细根分解过程中的养分释放及能量归还. *厦门大学学报: 自然科学版*, 2007, 46(2): 268-273.
- [19] 彭少麟, 刘强. 森林凋落物动态及其对全球变暖的响应. *生态学报*, 2002, 22(9): 1534-1544.
- [20] 温达志, 魏平, 张佑昌, 孔国辉. 鼎湖山亚热带森林细根分解干物质损失和元素动态. *生态学杂志*, 1998, 17(2): 1-6.
- [28] 王瑾, 黄建辉. 暖温带地区主要树种叶片凋落物分解过程中主要元素释放的比较. *植物生态学报*, 2001, 25(3): 375-380.
- [30] 张秀娟, 梅莉, 王政权, 韩有志. 细根分解研究及其存在的问题. *植物学通报*, 2005, 22(2): 246-254.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 33, No. 8 April, 2013 (Semimonthly)

CONTENTS

Special Topics in Urban Ecosystems

- Guidelines and evaluation indicators of urban ecological landscape construction SUN Ranhao, CHEN Ailian, LI Fen, et al (2322)
- Research progress in the quantitative methods of urban green space patterns TAO Yu, LI Feng, WANG Rusong, et al (2330)
- Effects of land use change on ecosystem service value: a case study in Huaibei City, China ZHAO Dan, LI Feng, WANG Rusong (2343)
- Urban ecosystem complexity: an analysis based on urban municipal supervision and management information system DONG Rencai, GOU Yaqing, LIU Xin (2350)
- A case study of the effects of *in-situ* bioremediation on the release of pollutants from contaminated sediments in a typical, polluted urban river LIU Min, WANG Rusong, JIANG Ying, et al (2358)
- The pollution characteristics of Beijing urban road sediments REN Yufen, WANG Xiaoke, OUYANG Zhiyun, et al (2365)
- Effects of urban green pattern on urban surface thermal environment CHEN Ailian, SUN Ranhao, CHEN Liding (2372)
- Seasonal dynamics of airborne pollen in Beijing Urban Area MENG Ling, WANG Xiaoke, OUYANG Zhiyun, et al (2381)

Autecology & Fundamentals

- Impact of alpine meadow degradation on soil water conservation in the source region of three rivers XU Cui, ZHANG Linbo, DU Jiaqiang, et al (2388)
- Predicting the plant exposure to soil arsenic under varying soil factors XIAN Yu, WANG Meie, CHEN Weiping (2400)
- Attraction effect of different host-plant to Colorado potato beetle *Leptinotarsa decemlineata* LI Chao, CHENG Dengfa, GUO Wenchao, et al (2410)
- Root decomposition and nutrient dynamics of *Quercus mongolica* and *Betula Platyphylla* JIN Beibei, GUO Qingxi (2416)
- The interaction of drought and slope aspect on growth of *Quercus variabilis* and *Platycladus orientalis* WANG Lin, FENG Jinxia, WANG Shuangxia, et al (2425)
- Effects of diameter at breast height on crown characteristics of Chinese Fir under different canopy density conditions FU Liyong, SUN Hua, ZHANG Huiru, et al (2434)
- Effects of temperature acclimation and acute thermal change on cutaneous respiration in juvenile southern catfish (*Silurus meridionalis*) XIAN Xuemei, CAO Zhendong, FU Shijian (2444)

Population, Community and Ecosystem

- Altitudinal pattern of plant species diversity in the Wulu Mountain Nature Reserve, Shanxi, China HE Yanhua, YAN Ming, ZHANG Qindi, et al (2452)
- Vegetation succession on Baishui No. 1 glacier foreland, Mt. Yulong CHANG Li, HE Yuanqing, YANG Taibao, et al (2463)
- The effects of *Spartina alterniflora* seaward invasion on soil organic carbon fractions, sources and distribution WANG Gang, YANG Wenbin, WANG Guoxiang, et al (2474)
- Community characteristics and soil properties of coniferous plantation forest monocultures in the early stages after close-to-nature transformation management in southern subtropical China HE Youjun, LIANG Xingyun, QIN Lin, et al (2484)
- Response of invasive plant *Flaveria bidentis* to simulated herbivory based on the growth and reproduction WANG Nannan, HUANGFU Chaohe, LI Yujin, et al (2496)
- Estimation of leaf area index of secondary *Betula platyphylla* forest in Xiaoxing'an Mountains LIU Zhili, JIN Guangze (2505)
- Optimal number of herb vegetation clusters: a case study on Yellow River Delta YUAN Xiu, MA Keming, WANG De (2514)
- Application of polychaete in ecological environment evaluation of Laizhou Bay ZHANG Ying, LI Shaowen, LÜ Zhenbo, et al (2522)
- Soil meso- and micro arthropod community diversity in the burned areas of *Pinus massoniana* plantation at different restoration stages YANG Daxing, YANG Maofa, XU Jin, et al (2531)

Landscape, Regional and Global Ecology

- Temporal variety of boundary layer height over deep arid region and the relations with energy balance ZHANG Jie, ZHANG Qiang, TANG Congguo (2545)
- Analysis and forecast of landscape pattern in Xi'an from 2000 to 2011 ZHAO Yonghua, JIA Xia, LIU Jianchao, et al (2556)
- Spatio-temporal variation in the value of ecosystem services and its response to land use intensity in an urbanized watershed HU Hebing, LIU Hongyu, HAO Jingfeng, et al (2565)

Resource and Industrial Ecology

- Household optimal forest management decision and carbon supply: case from Zhejiang and Jiangxi Provinces ZHU Zhen, SHEN Yueqin, WU Weiguang, et al (2577)
- Spatial variability characteristics of soil nutrients in tobacco fields of gentle slope based on GIS LIU Guoshun, CHANG Dong, YE Xiefeng, et al (2586)
- Method of determining the maximum leaf area index of spring maize and its application MA Xueyan, ZHOU Guangsheng (2596)

Urban, Rural and Social Ecology

- Morphological structure of leaves and dust-retaining capability of common street trees in Guangzhou Municipality LIU Lu, GUAN Dongsheng, CHEN Yongqin David (2604)

Research Notes

- Morphological responses to temperature, drought stress and their interaction during seed germination of *Platycodon grandiflorum* LIU Zigang, SHEN Bing, ZHANG Yan (2615)
- Effects of nutrients on the growth of the parasitic plant *Cuscuta australis* R. Br. ZHANG Jing, LI Junmin, YAN Ming (2623)

《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,探索自然奥秘,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 吕永龙

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 8 期 (2013 年 4 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 33 No. 8 (April, 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

国内外公开发行

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 90.00 元