

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第 33 卷 第 21 期 Vol.33 No.21 **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 21 期 2013 年 11 月 (半月刊)

目 次

前沿理论与学科综述

- 生态系统生产总值核算:概念、核算方法与案例研究····· 欧阳志云,朱春全,杨广斌,等 (6747)
- 气候变化对传染病爆发流行的影响研究进展····· 李国栋,张俊华,焦耿军,等 (6762)
- 好氧甲烷氧化菌生态学研究进展····· 负娟莉,王艳芬,张洪勋 (6774)
- 氮沉降强度和频率对羊草叶绿素含量的影响····· 张云海,何念鹏,张光明,等 (6786)
- 世界蜘蛛的分布格局及其多元相似性聚类分析····· 申效诚,张保石,张 锋,等 (6795)
- 风向因素对转基因抗虫棉花基因漂移效率的影响····· 朱家林,贺 娟,牛建群,等 (6803)

个体与基础生态

- 长江口及东海春季底栖硅藻、原生动物和小型底栖生物的生态特点····· 孟昭翠,徐奎栋 (6813)
- 长江口横沙东滩围垦潮滩内外大型底栖动物功能群研究····· 吕巍巍,马长安,余 骥,等 (6825)
- 沔阳沿岸土壤和优势植物重金属富集特征和潜在生态风险····· 杨 阳,周正朝,王欢欢,等 (6834)
- 盐分和底物对黄河三角洲区土壤有机碳分解与转化的影响····· 李 玲,仇少君,檀菲菲,等 (6844)
- 短期夜间低温胁迫对秋茄幼苗碳氮代谢及其相关酶活性的影响····· 郑春芳,刘伟成,陈少波,等 (6853)
- 32 个切花菊品种的耐低磷特性····· 刘 鹏,陈素梅,房伟民,等 (6863)
- 年龄和环境条件对泥蚶富集重金属镉和铜的影响····· 王召根,吴洪喜,陈肖肖,等 (6869)
- 角倍蚜虫瘦对盐肤木光合特性和总氮含量的影响····· 李 杨,杨子祥,陈晓鸣,等 (6876)
- 多噬伯克霍尔德氏菌 WS-FJ9 对草甘膦的降解特性····· 李冠喜,吴小芹,叶建仁 (6885)
- 金龟甲对蓖麻叶挥发物的触角电位和行为反应····· 李为争,杨 雷,申小卫,等 (6895)

种群、群落和生态系统

- 白洋淀生态系统健康评价····· 徐 菲,赵彦伟,杨志峰,等 (6904)
- 珠海鹤洲水道沿岸红树林湿地大型底栖动物群落特征····· 王 卉,钟 山,方展强 (6913)
- 典型森林和草地生态系统呼吸各组分间的相互关系····· 朱先进,于贵瑞,王秋风,等 (6925)
- 抚育间伐对油松人工林下大型真菌的影响····· 陈 晓,白淑兰,刘 勇,等 (6935)
- 百山祖自然保护区植物群落 beta 多样性····· 谭珊珊,叶珍林,袁留斌,等 (6944)
- 土霉素对堆肥过程中酶活性和微生物群落代谢的影响····· 陈智学,谷 洁,高 华,等 (6957)

景观、区域和全球生态

- 兴安落叶松针叶解剖结构变化及其光合能力对气候变化的适应性····· 季子敬,全先奎,王传宽 (6967)
- 盐城海滨湿地景观演变关键土壤生态因子与阈值研究····· 张华兵,刘红玉,李玉凤,等 (6975)

半干旱区沙地芦苇对浅水位变化的生理生态响应 马赞花,张铜会,刘新平 (6984)

SWAT 模型融雪模块的改进 余文君,南卓铜,赵彦博,等 (6992)

科尔沁沙地湖泊消涨对气候变化的响应 常学礼,赵学勇,王 玮,等 (7002)

贝壳堤岛 3 种植被类型的土壤颗粒分形及水分生态特征 夏江宝,张淑勇,王荣荣,等 (7013)

三峡库区古夫河着生藻类叶绿素 a 的时空分布特征及其影响因素 吴述园,葛继稳,苗文杰,等 (7023)

资源与产业生态

煤炭开发对矿区植被扰动时空效应的图谱分析——以大同矿区为例 黄 翌,汪云甲,李效顺,等 (7035)

学术信息与动态

《中国当代生态学研究》新书推介 刘某承 (7044)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 300 * zh * P * ¥90.00 * 1510 * 30 * 2013-11



封面图说: 百山祖保护区森林植物群落——百山祖国家级自然保护区位于浙西南闽浙交界处,由福建武夷山向东北伸展而成,主峰海拔 1856.7m,为浙江省第二高峰。其独特的地形和水文地理环境形成了中亚热带气候区中一个特殊的区域,保存着十分丰富的植物种质资源以及国家重点保护野生动植物种,尤其是 1987 年由国际物种保护委员会列为世界最濒危的 12 种植物之一的百山祖冷杉,是第四纪冰川的孑遗植物,素有“活化石”之称。随着海拔的升高,其植被为常绿阔叶林、常绿-落叶阔叶混交林、针阔混交林、针叶林、山地矮林和山地灌草丛。

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/stxb201206270905

陈晓, 白淑兰, 刘勇, 李国雷, 江萍, 张硕. 抚育间伐对油松人工林下大型真菌的影响. 生态学报, 2013, 33(21): 6935-6943.

Chen X, Bai S L, Liu Y, Li G L, Jiang P, Zhang S. Effects of thinning on macro fungi and their relationship with litter decomposition in *Pinus tabulaeformis* plantations. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(21): 6935-6943.

抚育间伐对油松人工林下大型真菌的影响

陈 晓¹, 白淑兰², 刘 勇^{1,*}, 李国雷¹, 江 萍¹, 张 硕²

(1. 北京林业大学省部共建森林培育与保护教育部重点实验室, 北京 100083; 2. 内蒙古农业大学林学院, 呼和浩特 010019)

摘要: 真菌在森林凋落物分解过程中起重要作用, 研究间伐如何影响真菌进而影响凋落物分解, 对深入了解间伐调控人工林凋落物分解有重要意义。以抚育间伐后的中龄油松人工林为研究对象, 设立对照 (I)、轻度 (II)、中度 (III) 和强度 (IV) 4 种间伐强度, 于 2011 年对间伐后林下大型真菌进行两次调查, 分析了不同间伐强度下大型真菌的科的分布、优势种组成和生态指标 (包括丰富度指数、多样性指数和均匀度指数)。结果表明: (1) 8 月、9 月采集到的大型真菌分别为 35 种和 25 种, 分属 13 个科和 10 个科; (2) 在大型真菌出菇期, 间伐改变了大型真菌的优势种组成, 对照林下大型真菌优势种最初为外生菌根菌 (粘盖乳牛肝菌+血红铆钉菇) 后变为腐生菌 (大盖小皮伞和脐顶小皮伞), 而间伐后林下优势种始终为腐生菌; (3) 间伐影响大型真菌的生态指标, 中度间伐林下大型真菌丰富度和多样性指数最高。总之, 适度间伐不仅有利于提高林下大型真菌的丰富度与多样性, 同时使其群落结构发生改变, 群落优势种由外生菌根菌变为以分解凋落物为主的腐生菌, 可促进凋落物的分解和养分循环。
关键词: 抚育间伐; 凋落物; 真菌; 多样性

Effects of thinning on macro fungi and their relationship with litter decomposition in *Pinus tabulaeformis* plantations

CHEN Xiao¹, BAI Shulan², LIU Yong^{1,*}, LI Guolei¹, JIANG Ping¹, ZHANG Shuo²

1 Key Laboratory for Silviculture and Conservation of Ministry of Education, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China

2 College of Forestry, Inner Mongolia Agricultural University, Huhhot 010019, China

Abstract: Chinese pine (*Pinus tabulaeformis* Carr.) is the chief coniferous species used in forest plantations in northern China. However, high tree density and slow rates of decomposition in needle litter have resulted in decreased quality in many plantations. Thinning provides an effective method which can be used to solve this problem. The mechanisms by which thinning promotes litter decomposition have been studied by studying properties of litter, characteristics of understory vegetation, forest microclimate and physicochemical properties of soil, but rarely by studying the important role fungi play in forest litter decomposition. Thus, discovering the relationships between thinning, fungi, and litter decomposition in plantations is very important. It has been hypothesized that forest microclimates improve after thinning, since thinning promotes growth of understory vegetation; this changes stand composition and properties of litter, which in turn affects the macrofungi community. This study analyzes a series of 34-year-old Chinese pine plantations thinned to four different intensities (control-I, light-II, medium-III, and heavy thinning intensity-IV). All macrofungi were identified morphologically and measurements of each species such as quantity, cap diameter and fungal height were made in 12 sample plots. Importance values were calculated using relative density, relative frequency, relative cap diameter and relative height of fungi. The ecological indices (species richness, diversity and evenness) of macrofungi were calculated based on the

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (30972353); 高等学校博士学科点专项科研基金资助项目 (20090014110011)

收稿日期: 2012-06-27; 修订日期: 2013-06-21

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: lyong@bjfu.edu.cn

important values and compared between August and September, 2011. A total of 35 and 25 species belonging to 13 and 10 families of macrofungi were found in August and September, respectively. During the two months of studies, stands with medium thinning intensity supported the highest number of species, but the control stand supported the fewest. The number of species found in September was lower than those found in August possibly because the temperature decreased in September. In the control- I stands, the dominant species changed from ectomycorrhizal fungi (*Chroogomphis rutilus* (Schaeff.: Fr.) O. K. Miller and *Suillus bovinus* (Pers.) Kuntze) in August to rot fungi (*Marasmius maximus* Hongo and *Marasmius chordalis* Fr.) in September. This change may have occurred because ectomycorrhizal fungi reproduce during August, but they rarely grew in September. However, in treatments II, III and IV, the dominant species were rot fungi during the entire study. Rot fungi are generally known to feed on litter as a nutrient source. Thus, the change of dominant species from ectomycorrhizal fungi-rot fungi (control) to rot fungi (treatment II, III and IV) may be explained by the fact thinning improves litter decomposition from the aspect of causing increased fungal populations. Thinning influenced the ecological indices of macrofungi; the stands with medium thinning intensity (III) had the highest species richness and diversity. This indicates moderate thinning had a significant role in protecting macrofungi resources in plantation soils. The measure of species evenness was not significantly different among the four different thinning intensities. The abundant quantity of saprophytic fungi might cause the trend for the evenness indices to be uniform. In conclusion, a medium thinning intensity improves species richness and diversity of macrofungi in Chinese pine plantations, changes the macrofungi community structure, and may promote litter decomposition. Thus, we recommend moderate thinning should be used in plantations of Chinese pine.

Key Words: thinning; litter; fungi; diversity

油松(*Pinus tabulaeformis* Carr.)是我国暖温带湿润半湿润气候区地带性植被^[1],油松人工林在造林绿化、水土保持和生态环境改善中发挥着重要作用^[2],但油松人工林存在着密度偏大、地力衰退的问题^[3-4],这多由凋落物分解缓慢引起。抚育间伐可以改变林下植被多样性,改善凋落物的组成和性质^[5-6],加速凋落物分解与养分归还,其作用机理受到广泛关注。近年来,关于该机理的研究主要集中在抚育间伐后林下植被^[7]、凋落物性质^[6]、林内小气候^[8]、土壤^[9]等的变化规律与凋落物分解的关系方面,而间伐后作为凋落物重要分解者之一的真菌^[10-12]是否受到间伐影响,以及这种影响与凋落物分解的关系尚不清楚。

本试验以 34 年生油松人工林为研究对象,对抚育间伐 9a 后林下大型真菌的生态指标进行调查测定,找出间伐强度对油松人工林下大型真菌群落结构的影响,初步建立“间伐强度-大型真菌-凋落物分解”三者的关系,从而筛选较为合适的间伐强度,为进一步确立油松人工林的经营措施和完善抚育间伐理论提供可靠依据。

1 材料与方法

1.1 研究地概况

试验地位于北京市延庆县刘斌堡乡营盘村北,地貌为低山丘陵,平均海拔高度 500 m,坡位为中,坡向为北,年平均气温 8.8 °C,平均降水量 467 mm,主要分布的乔木有蒙古栎(*Quercus mongolica* Fisch. Ex Ledeb),灌木以鼠李(*Rhamnus davurica* Pall.)、榛(*Corylus heterophylla* Fisch. Rx Trautv)、荆条(*Vitex negundo* Linn. var. *heterophylla* (Franch.) Rehd.)等为主,草本有披针叶苔草(*Carex lanceolata* Boott)、黄精(*Polygonatum sibiricum* Red.)及菊科(Asteraceae)的多种植物。在 20 世纪 50—80 年代进行过大面积人工造林,树种以油松、华北落叶松(*Larix principis-rupprechtii* Mayr)、侧柏(*Platycladus orientalis* (L.) Franco)、刺槐(*Robinia pseudoacacia* L.)等为主。

1978 年春,沿等高线穴状整地,栽植 2 年生的油松苗,密度为 3770 株/hm²。经过 24a 的生长发育,已成为密度较为均匀的油松林。2002 年通过下层抚育法,对林分进行了 3 种不同间伐强度的处理(面积均大于

400 m²),即弱度(48.9%)、中度(54.9%)和强度(62.9%),同时以初始密度作为对照此处删除“(CK)”,间伐后立即进行封山育林,林下植被的生长发育很少受人为干扰,其中对照、弱度间伐、中度间伐和强度间伐林分分别用 I、II、III 和 IV 表示。

1.2 调查方法

本调查于 2011 年 8 月和 9 月分两次进行,该时期为大型真菌的出菇期。在每种处理各设置 3 个 5 m×15 m 样条,采用形态学鉴定的方法对样条内出现的全部大型真菌进行种类鉴定,同时记录子实体大小指标。

1.3 生态指标计算

在重要值的计算中引入相对高度和相对直径,计算公式为:

$$\text{重要值} = \frac{\text{相对密度} + \text{相对频度} + \text{相对高度} + \text{相对直径}}{4}$$

其中:

$$\text{相对密度} = \frac{\text{样方内某种真菌的密度}}{\text{群落内所有真菌密度的总和}} \times 100\%$$

$$\text{相对频度} = \frac{\text{样方内某种真菌的频度}}{\text{群落内所有真菌频度的总和}} \times 100\%$$

$$\text{相对高度} = \frac{\text{样方内某种真菌的高度}}{\text{群落内所有真菌高度的总和}} \times 100\%$$

$$\text{相对直径} = \frac{\text{样方内某种真菌的菌盖直径}}{\text{群落内所有真菌菌盖直径的总和}} \times 100\%$$

选用 Margalef 的丰富度指数 (R_1)、Menhinick 的丰富指数 (R_2)、Shannon-Weaver 的多样性指数 (H') 和 Pielou 的均匀度指数 (E) 作为多样性生态评价指标。计算公式分别如下:

$$\text{Margalef 的丰富度指数} \quad R_1 = \frac{S - 1}{\ln(n)}$$

$$\text{Menhinick 的丰富度指数} \quad R_2 = \frac{S}{\sqrt{n}}$$

$$\text{Shannon-Weaver 的多样性指数} \quad H' = - \sum_{i=1}^s p_i \ln p_i$$

$$\text{Pielou 的均匀度指数} \quad E = \frac{H}{\ln S}$$

式中, S 为种 i 所在样方的物种总数; n 为种 i 所在样方的各个种的重要值之和; P_i 为种 i 的重要值,本文采用重要值作为多样性指数计算的依据。

1.4 数据处理方法

数据分析采用 SPSS17.0 软件,对不同间伐强度林下大型真菌的多样性生态评价指标进行方差分析与 Duncan 多重比较。

2 结果与分析

2.1 抚育间伐对大型真菌科的分布及结构(优势种)的影响

2.1.1 不同抚育间伐强度林下大型真菌科的分布情况

通过对 4 种间伐强度 34 年生油松人工林下大型真菌的两次调查,在 8 月和 9 月分别发现大型真菌 35 种和 25 种(本试验真菌标本存放于北京林业大学省部共建森林培育与保护教育部重点实验室),分属 13 个科和 10 个科(表 1),其中白蘑科占绝对优势,8 月调查 I、II、III 和 IV 间伐强度的白蘑科所占比例分别为 44.44%、52.94%、47.62%和 31.58%,9 月分别为 46.67%、69.23%、58.82%和 56.25%。科的数量 8 月分别为 5、7、10 和 10,9 月分别为 3、5、7 和 8;林下大型真菌的种类数量 8 月分别为 9、17、21 和 19,9 月分别为 8、13、17 和 16(图 1)。可见 9 月较 8 月大型真菌种类减少,且中度间伐(III)和强度间伐(IV)的林下大型真菌中科的

数量和种的数量较大。

表 1 4 种间伐强度 34 年生油松人工林下大型真菌组成

Table 1 Compositions of macro fungi community in Chinese pine plantations under 4 thinning intensities

间伐强度 Thinning intensity	8 月出现大型真菌种类 Species of macro fungi emerged in August	9 月出现大型真菌种类 Species of macro fungi emerged in September
I	血红铆钉菇 (<i>Chroogomphus rutilus</i> (Schaeff.) O. K. Mill.); 马鞍菌 (<i>Helvella elastica</i> Bull.); 粉黄蜡伞 (<i>Hygrophorus discoxanthus</i> Rea); 纯白微皮伞 (<i>Marasmiellus candidus</i> (Bolton) Singer); 脐顶小皮伞 (<i>Marasmius chordalis</i> Fr.); 大盖小皮伞 (<i>Marasmius maximus</i> Hongo); 雪白小皮伞 (<i>Marasmiellus nivosus</i> (Berk.) Singer); 粘盖乳牛肝菌 (<i>Suillus bovinus</i> (Pers.) Roussel); 黄乳牛肝菌 (<i>Suillus flavidus</i> (Fr.) J. Presl)	血红铆钉菇 (<i>Chroogomphus rutilus</i> (Schaeff.) O. K. Mill.); 堆金钱菌 (<i>Connopus acervatus</i> (Fr.) P. Kumm.); 茶褐丝盖伞 (<i>Inocybe imbrinella</i> (Bres) Sacc.); 淡紫丝盖伞 (<i>Inocybe lilacina</i> (Peck) Kauffman); 刺孢蜡蘑 (<i>Laccaria tortilis</i> (Bolton) Cooke); 脐顶小皮伞 (<i>Marasmius chordalis</i> Fr.); 大盖小皮伞 (<i>Marasmius maximus</i> Hongo); 雕纹口蘑 (<i>Tricholoma scalpturatum</i> (Fr.) Quél.)
II	堆金钱菌 (<i>Connopus acervatus</i> (Fr.) K.W. Hughes); 毛咀地星 (<i>Gastrum fimbriatum</i> Fr.); 粉黄蜡伞 (<i>Hygrophorus discoxanthus</i> Rea); 白蜡伞 (<i>Hygrophorus eburneus</i> (Bull.) Fr.); 条柄蜡蘑 (<i>Laccaria proxima</i> (Boud.) Pat.); 冠状环柄菇 (<i>Lepiota cristata</i> (Bolton) P. Kumm.); 漏斗形香菇 (<i>Lentinus connatus</i> Berk.); 纯白微皮伞 (<i>Marasmiellus candidus</i> (Bolton) Singer); 脐顶小皮伞 (<i>Marasmius chordalis</i> Fr.); 雪白小皮伞 (<i>Marasmiellus nivosus</i> (Berk.) Singer); 大盖小皮伞 (<i>Marasmius maximus</i> Hongo); 硬柄小皮伞 (<i>Marasmius oreades</i> (Bolton) Fr.); 小白脐菇 (<i>Omphalia gracillima</i> (Weinm.) Quél.); 白黄小脆柄菇 (<i>Psathyrella candolleana</i> (Fr.) Maire); 喜湿小脆柄菇 (<i>Psathyrella piluliformis</i> (Bull.) P.D. Orton); 冷杉枝瑚菌 (<i>Ramaria abietina</i> (Pers.) Quél.); 苦口蘑 (<i>Tricholoma acerbum</i> (Bull.) Vent.)	血红铆钉菇 (<i>Chroogomphus rutilus</i> (Schaeff.) O. K. Mill.); 堆金钱菌 (<i>Connopus acervatus</i> (Fr.) K.W. Hughes); 毛咀地星 (<i>Gastrum fimbriatum</i> Fr.); 粗柄白鬼伞 (<i>Leucocoprinus cepistipes</i> (Sowerby) Pat.); 雪白小皮伞 (<i>Marasmiellus nivosus</i> (Berk.) Singer); 脐顶小皮伞 (<i>Marasmius chordalis</i> Fr.); 大盖小皮伞 (<i>Marasmius maximus</i> Hongo); 硬柄小皮伞 (<i>Marasmius oreades</i> (Bolton) Fr.); 全紫小菇 (<i>Mycena holoporphyra</i> (Berk. & Curt.) Sing.); 洁小菇 (<i>Mycena pura</i> (Pres.) P. Kumm.); 蒜头状微菇 (<i>Mycetinis scorodoni</i> (Fr.) A. W. Wilson & Desjardin); 小白脐菇 (<i>Omphalia gracillima</i> (Weinm.) Quél.); 冷杉枝瑚菌 (<i>Ramaria abietina</i> (Pers.) Quél.)
III	双环林地蘑菇 (<i>Agaricus placomyces</i> Peck); 小灰球菌 (<i>Bovista pusilla</i> (Batsch) Pers.); 血红铆钉菇 (<i>Chroogomphus rutilus</i> (Schaeff.) O. K. Mill.); 堆金钱菌 (<i>Connopus acervatus</i> (Fr.) K.W. Hughes); 尖顶地星 (<i>Gastrum triplex</i> (Jungh.) Fisch.); 安络裸伞 (<i>Gymnopus androsaceus</i> (L.) J.L. Mata & R.H. Petersen); 粉黄蜡伞 (<i>Hygrophorus discoxanthus</i> Rea); 污白丝盖伞 (<i>Inocybe rimosa</i> (Bull.) P. Kumm.); 刺孢蜡蘑 (<i>Laccaria tortilis</i> (Bolton) Cooke); 红汁乳菇 (<i>Lactarius hatsudake</i> Nobuj. Tanaka); 冠状环柄菇 (<i>Lepiota cristata</i> (Bolton) P. Kumm.); 红顶大环柄菇 (<i>Macrolepiota gracilentia</i> (Krombh.) Wasser); 脐顶小皮伞 (<i>Marasmius chordalis</i> Fr.); 大盖小皮伞 (<i>Marasmius maximus</i> Hongo); 硬柄小皮伞 (<i>Marasmius oreades</i> (Bolton) Fr.); 褐小菇 (<i>Mycena alcalina</i> (Fr.) P. Kumm.); 洁小菇 (<i>Mycena pura</i> (Pres.) P. Kumm.); 蒜头状微菇 (<i>Mycetinis scorodoni</i> (Fr.) A. W. Wilson & Desjardin); 小白脐菇 (<i>Omphalia gracillima</i> (Weinm.) Quél.); 冷杉枝瑚菌 (<i>Ramaria abietina</i> (Pers.) Quél.); 粘盖乳牛肝菌 (<i>Suillus bovinus</i> (Pers.) Roussel)	血红铆钉菇 (<i>Chroogomphus rutilus</i> (Schaeff.) O. K. Mill.); 堆金钱菌 (<i>Connopus acervatus</i> (Fr.) K.W. Hughes); 粉黄蜡伞 (<i>Hygrophorus discoxanthus</i> Rea); 污白丝盖伞 (<i>Inocybe geophylla</i> (Per.) P. Kumm.); 淡紫丝盖伞 (<i>Inocybe lilacina</i> (Peck) Kauffman); 刺孢蜡蘑 (<i>Laccaria tortilis</i> (Bolton) Cooke); 栗色环柄菇 (<i>Lepiota castanea</i> Quél.); 纯白微皮伞 (<i>Marasmiellus candidus</i> (Bolton) Singer); 雪白小皮伞 (<i>Marasmiellus nivosus</i> (Berk.) Singer); 脐顶小皮伞 (<i>Marasmius chordalis</i> Fr.); 大盖小皮伞 (<i>Marasmius maximus</i> Hongo); 全紫小菇 (<i>Mycena holoporphyra</i> (Berk. & Curt.) Sing.); 洁小菇 (<i>Mycena pura</i> (Pres.) P. Kumm.); 小白脐菇 (<i>Omphalia gracillima</i> (Weinm.) Quél.); 美味红菇 (<i>Russula delicata</i> Fr.); 粘盖乳牛肝菌 (<i>Suillus bovinus</i> (Pers.) Kuntze); 雕纹口蘑 (<i>Tricholoma scalpturatum</i> (Fr.) Quél.)
IV	小灰球菌 (<i>Bovista pusilla</i> (Batsch) Pers.); 血红铆钉菇 (<i>Chroogomphus rutilus</i> (Schaeff.) O. K. Mill.); 堆金钱菌 (<i>Connopus acervatus</i> (Fr.) K.W. Hughes); 尖顶地星 (<i>Gastrum triplex</i> (Jungh.) Fisch.); 安络裸伞 (<i>Gymnopus androsaceus</i> (L.) J.L. Mata & R.H. Petersen); 皱马鞍菌 (<i>Helvella crispa</i> (Scop.) Fr.); 小红湿伞 (<i>Hygrocybe miniata</i> (Fr.) P. Kumm.); 粉黄蜡伞 (<i>Hygrophorus discoxanthus</i> Rea); 污白丝盖伞 (<i>Inocybe rimosa</i> (Bull.) P. Kumm.); 茶褐丝盖伞 (<i>Inocybe umbrinella</i> Bres.); 条柄蜡蘑 (<i>Laccaria proxima</i> (Boud.) Pat.); 红汁乳菇 (<i>Lactarius hatsudake</i> Nobuj. Tanaka); 冠状环柄菇 (<i>Lepiota cristata</i> (Bolton) P. Kumm.); 红顶大环柄菇 (<i>Macrolepiota gracilentia</i> (Krombh.) Wasser); 脐顶小皮伞 (<i>Marasmius chordalis</i> Fr.); 大盖小皮伞 (<i>Marasmius maximus</i> Hongo); 蒜头状微菇 (<i>Mycetinis scorodoni</i> (Fr.) A.W. Wilson & Desjardin); 白黄小脆柄菇 (<i>Psathyrella candolleana</i> (Fr.) Maire); 粘盖乳牛肝菌 (<i>Suillus bovinus</i> (Pers.) Roussel);	血红铆钉菇 (<i>Chroogomphus rutilus</i> (Schaeff.) O. K. Mill.); 堆金钱菌 (<i>Connopus acervatus</i> (Fr.) K.W. Hughes); 尖顶地星 (<i>Gastrum triplex</i> (Jungh.) Fisch.); 皱马鞍菌 (<i>Helvella crispa</i> (Scop.) Fr.); 粉黄蜡伞 (<i>Hygrophorus discoxanthus</i> Rea); 污白丝盖伞 (<i>Inocybe geophylla</i> (Per.) P. Kumm.); 条柄蜡蘑 (<i>Laccaria proxima</i> (Boud.) Pat.); 粗柄白鬼伞 (<i>Leucocoprinus cepistipes</i> (Sowerby) Pat.); 雪白小皮伞 (<i>Marasmiellus nivosus</i> (Berk.) Singer); 脐顶小皮伞 (<i>Marasmius chordalis</i> Fr.); 大盖小皮伞 (<i>Marasmius maximus</i> Hongo); 全紫小菇 (<i>Mycena holoporphyra</i> (Berk. & Curt.) Sing.); 洁小菇 (<i>Mycena pura</i> (Pres.) P. Kumm.); 蒜头状微菇 (<i>Mycetinis scorodoni</i> (Fr.) A.W. Wilson & Desjardin); 小白脐菇 (<i>Omphalia gracillima</i> (Weinm.) Quél.); 冷杉枝瑚菌 (<i>Ramaria abietina</i> (Pers.) Quél.)

常见种、稀有种和其它种类从种类差异性角度反映了各处理之间大型真菌群落的区别^[13]。8、9 月两次调查中,4 种间伐强度(I、II、III 和 IV) 林下,大型真菌常见种所占比例 8 月分别为 33.33%、17.65%、14.29% 和 15.79%,9 月分别为 50%、30.77%、23.53% 和 25%;各林分其它种类所占比例较大,稀有种所占比例较小,且差异不大(图 2)。

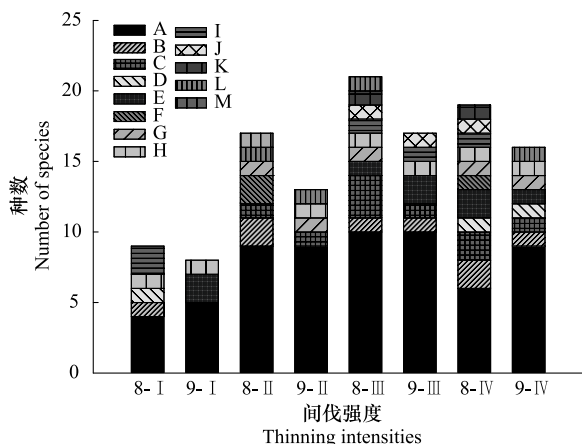


图 1 油松人工林下大型真菌科的分布

Fig.1 The distribution of macro fungi family in Chinese pine plantations under 4 thinning intensities

图中字母代表如下大型真菌科:A 白蘑科,B 蜡伞科,C 蘑菇科,D 马鞍菌科,E 丝膜菌科,F 鬼伞科,G 地星科,H 铆钉菇科,I 牛肝菌科,J 红菇科,K 马勃科,L 枝瑚菌科,M 侧耳科;图中的 8 和 9 分别代表 8 月和 9 月

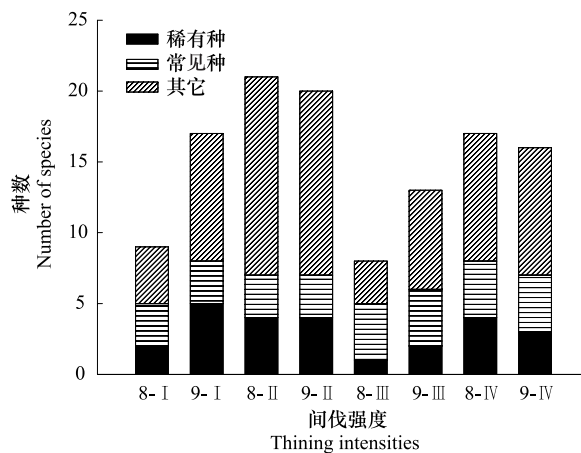


图 2 油松人工林下大型真菌组成

Fig.2 Species composition of macro fungi in Chinese pine plantations under 4 thinning intensities

(1) 常见种,在所有样地均出现的菌种;(2) 稀有种,仅在某一样地出现,即为该样地特有种;(3) 其它,其它种类

2.1.2 间伐强度与大型真菌结构(优势种)的关系

重要值是以综合指数来反映大型真菌在各个群落中的地位 and 作用,其大小是确定优势种的重要依据。由表 2 可知,在 8 月, I 林下大型真菌的优势种为粘盖乳牛肝菌和血红铆钉菇; II 林下为小白脐菇和脐顶小皮伞; III 林下为脐顶小皮伞和大盖小皮伞; IV 林下为脐顶小皮伞和大盖小皮伞。在 9 月, I 林下大型真菌优势种为大盖小皮伞和脐顶小皮伞; II 林下为大盖小皮伞和脐顶小皮伞; III 林下为为脐顶小皮伞和小白脐菇; IV 林下为为脐顶小皮伞和小白脐菇。其中粘盖乳牛肝菌和血红铆钉菇为菌根菌;大盖小皮伞、脐顶小皮伞和小白脐菇为腐生菌。

表 2 不同间伐强度林下大型真菌的重要值

Table 2 Important values of macro fungi in Chinese pine plantations under different thinning intensities

种名 Species	8 月 August				9 月 September			
	I	II	III	IV	I	II	III	IV
双环林地蘑菇 <i>Agaricus placomyces</i>			0.024					
小灰球菌 <i>Bovista pusilla</i>			0.014	0.034				
血红铆钉菇 <i>Chroogomphus rutilus</i>	0.828		0.171	0.270	0.624	0.262	0.234	0.536
堆金钱菌 <i>Connopus acervatus</i>		0.292	0.077	0.215	0.087	0.228	0.030	0.047
毛咀地星 <i>Geastrum fimbriatum</i>		0.040				0.071		
尖顶地星 <i>Geastrum triplex</i>			0.018	0.023				0.141
安络裸伞 <i>Gymnopus androsaceus</i>			0.019	0.155				
皱马鞍菌 <i>Helvella crispa</i>				0.037				0.029
马鞍菌 <i>Helvella elastica</i>	0.086							
小红湿伞 <i>Hygrocybe miniata</i>				0.031				
粉黄蜡伞 <i>Hygrophorus discoxanthus</i>	0.332	0.260	0.086	0.025			0.018	0.030

续表

种名 Species	8月 August				9月 September			
	I	II	III	IV	I	II	III	IV
白蜡伞 <i>Hygrophorus eburneus</i>		0.030						
淡紫丝盖伞 <i>Inocybe lilacina</i>					0.541		0.200	
污白丝盖伞 <i>Inocybe rimosa</i>			0.083	0.044			0.066	0.087
茶褐丝盖伞 <i>Inocybe umbrinella</i>				0.030	0.114			
条柄蜡蘑 <i>Laccaria proxima</i>		0.343		0.027				0.035
刺孢蜡蘑 <i>Laccaria tortilis</i>			0.068				0.017	
红汁乳菇 <i>Lactarius hatsudake</i>			0.018	0.032				
漏斗形香菇 <i>Lentinus connatus</i>		0.590						
栗色环柄菇 <i>Lepiota castanea</i>							0.063	
冠状环柄菇 <i>Lepiota cristata</i>		0.029	0.017	0.041				
粗柄白鬼伞 <i>Leucocoprinus cepistipes</i>						0.129		
红顶大环柄菇 <i>Macrolepiota gracilentia</i>			0.019	0.026				
纯白微皮伞 <i>Marasmiellus candidus</i>	0.078	0.324						
雪白小皮伞 <i>Marasmiellus nivosus</i>	0.274	0.228				0.042	0.017	0.023
脐顶小皮伞 <i>Marasmius chordalis</i>	0.702	0.620	1.305	1.640	0.783	1.124	0.846	1.514
大盖小皮伞 <i>Marasmius maximus</i>	0.376	0.135	0.797	1.088	1.028	1.125		
硬柄小皮伞 <i>Marasmius oreades</i>		0.048	0.099			0.047		
褐小菇 <i>Mycena alcalina</i>			0.265					
全紫小菇 <i>Mycena holoporphyrta</i>						0.288	0.081	0.130
洁小菇 <i>Mycena pura</i>			0.058			0.041	0.020	0.026
蒜头状微菇 <i>Mycetinis scorodoniis</i>			0.031	0.064		0.038		0.025
小白脐菇 <i>Omphalia gracillima</i>		0.698	0.267			0.570	1.029	0.714
白黄小脆柄菇 <i>Psathyrella candolleana</i>		0.048		0.044				
喜湿小脆柄菇 <i>Psathyrella piluliformis</i>		0.033						
冷杉枝瑚菌 <i>Ramaria abietina</i>		0.257	0.381			0.034		
美味红菇 <i>Russula delica</i>								
粘盖乳牛肝菌 <i>Suillus bovinus</i>	1.099		0.182	0.112			0.021	
黄乳牛肝菌 <i>Suillus flavidus</i>	0.224							
苦口蘑 <i>Tricholoma acerbum</i>		0.025						
雕纹口蘑 <i>Tricholoma sculpturatum</i>					0.732		0.477	

2.2 不同抚育间伐强度林下大型真菌的生态指标

为了研究间伐强度与大型真菌多样性的关系,在图力古尔等^[14]研究方法的基础上,引入相对菌盖直径和高度,以相对密度、相对频度、相对菌盖直径和高度作为重要值的计算参数,对34年生油松人工林4种间伐强度林下大型真菌多样性进行调查,并计算丰富度指数(R_1 和 R_2)、香浓多样性指数(H')和均匀度指数(E)等生态指标。

2.2.1 间伐强度与大型真菌丰富度指数的关系

从图3可以看出,丰富度指数8- R_1 、8- R_2 、9- R_1 和9- R_2 的变化规律均为:III>II \approx IV>I,其中在III即中度间伐林分处出现拐点(最大值),分别为8.897 \pm 0.481、6.667 \pm 0.333、7.454 \pm 0.636和5.667 \pm 0.441;相反,I即对照为最低值,分别为2.405 \pm 0.636、2.167 \pm 0.441、2.404 \pm 0.636和2.167 \pm 0.441。

2.2.2 34年生油松林抚育间伐强度与大型真菌多样性指数的关系

从图4可以看出,8- H' 变化规律与丰富度指数相同,在III即中度间伐林分处出现最大值2.039 \pm 0.082,而9月各间伐强度之间差异不显著。两次调查大型真菌均匀度指数(E)之间差异均不显著。

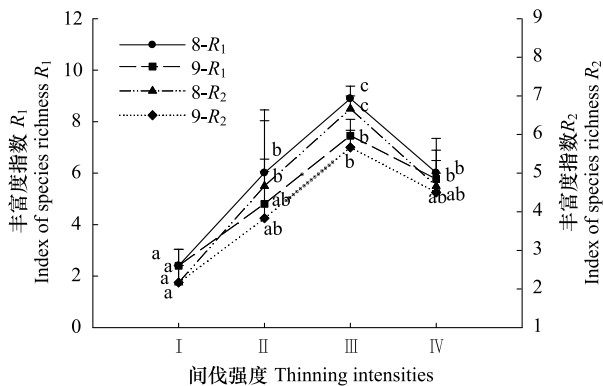
图3 抚育间伐强度与大型真菌多样性 R_1 和 R_2 的关系

Fig.3 Species richness index of macro fungi in different thinning intensities

a, b, c 表示在 0.05 水平上差异显著

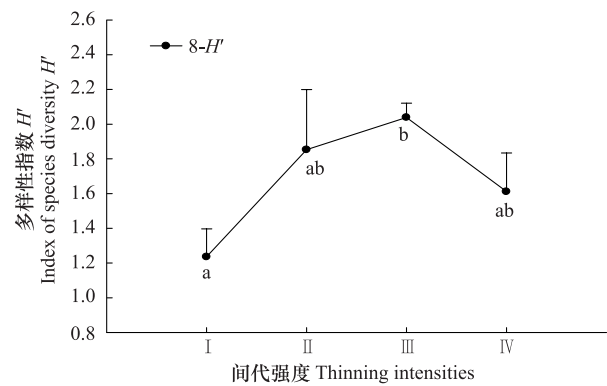
图4 抚育间伐强度与大型真菌香浓多样性指数 H 的关系

Fig.4 Species diversity index of macro fungi in different thinning intensities

3 讨论

3.1 大型真菌科的分布情况、结构(优势种)受到间伐强度的影响

大型真菌的分布与温湿度、林下光照及林龄等生态环境因子的变化有关^[15],间伐后林下环境条件发生变化^[16],影响大型真菌的分布。

在科的分布方面,4种间伐强度的林下大型真菌均以白蘑科为优势科,其所占比例从轻度间伐到强度间伐逐渐降低,可见随间伐强度的增加林下大型真菌的科的分布趋于均匀。两次调查大型真菌种数变化规律分别为:Ⅲ > ⅢⅤ > Ⅱ > Ⅰ,其中对照最小,由此看出间伐增加了大型真菌的丰富度,且中度间伐效果较好;9月大型真菌种类及科的数均较8月减少,这可能是由天气变冷造成。

在大型真菌组成方面,除对照由于种类较少造成常见种所占比例较大外,其余轻度、中度和强度间伐林下常见种所占比例均不高,这表明各样地间大型真菌在组成上存在一定差异。此外,稀有种数量以对照为最低,其余3种间伐强度林分之间差异不大,可见间伐可以增加真菌的种类差异性,且各林分其它种类所占比例较大,因此未间伐林分与间伐林分之间大型真菌的种类组成存在一定差异。

在大型真菌群落结构方面,未间伐林(Ⅰ)下,8月以外生菌根菌“粘盖乳牛肝菌+血红铆钉菇”为优势种;9月优势种变为腐生菌“脐顶小皮伞和大盖小皮伞”,这一改变可能是由于8月外生菌根菌大量出菇,而9月出菇数量和种类减少引起。而间伐林(Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ)下,8、9两个月始终以腐生菌(包括大盖小皮伞、脐顶小皮伞和小白脐菇)为优势种,这可能是由于未间伐林分郁闭度高,光照强度弱,有利于外生菌根菌的生长^[17],进而使菌根菌成为优势种;而间伐后林分郁闭度低,光照增强,抑制了菌根菌的生长,进而使腐生菌成为优势种。其中小皮伞等腐生菌自身功能便是大量分解凋落物^[18],李国雷等^[6]研究发现适度间伐可以改善林下凋落物组成和质量从而加速凋落物分解与养分归环,而凋落物是真菌获得营养的主要来源之一^[12]。因此,在8月和9月大型真菌出菇期,未间伐林下大型真菌优势种最初为菌根菌,而间伐后林下始终以可以分解凋落物的腐生菌为优势种,从促进凋落物分解的角度看,间伐优化了林下真菌的群落结构。

3.2 抚育间伐强度与大型真菌生态指数的关系

Richard 等^[19]研究发现大型真菌物种丰富度与林分的密度密切相关,森林结构对大型真菌的保护起着重要作用。Lance 等^[20]和 Zhou 等^[21]发现林分密度对林下外生菌根菌的侵染率产生影响。因此,抚育间伐改善林分结构,从而影响林下大型真菌的群落结构。植物群落对大型真菌的多样性也产生影响^[13],间伐后林下灌木和草本发生变化^[22],林下植被的丰富度、多样性和物种在科、属上分布的均匀性得到提高^[7],林下凋落物的组成和性质得到改善^[6],凋落物性质的改变会影响真菌群落的生长^[23-25],从而影响凋落物的分解^[10]。

本研究发现,8月,随着间伐强度的增强,大型真菌丰富度指数和多样性指数均呈现先增高后降低的趋势,在中度间伐时产生拐点,即达到最高值;9月,丰富度指数变化规律与8月相同,但其数值比8月有所减低,而多样性指数差异不显著。9月丰富度指数降低和多样性差异不显著可能是由天气变冷大型真菌种类数减少引起。综合来看,中度间伐对保护林下大型真菌丰富度和多样性起到的作用最大。这与生态学中的“干扰假说”基本相符^[26],即在中度干扰下生物多样性达到最大;当干扰水平超过中度干扰后,生物的多样性降低。大型真菌均匀度指数之间差异均不显著,这可能是由于腐生真菌较多,导致均匀度趋于一致引起的^[13]。

3.3 大型真菌多样性的调查方法

大型真菌多样性的调查方法较为复杂,调查方法不同会对研究结果产生影响。目前国内研究方法多参照图力古尔等^[14]提出的方法,即除真菌种类外,还考虑了相对密度(数量)、相对多度、相对频度(均匀程度)和相对质量(生物量),较为全面的反映了林下大型真菌的群落结构。但在实践过程中,会发现数量与质量不对称的问题,例如牛肝菌科某一子实体的生物量近乎为小皮伞科某一子实体生物量的百倍。此外,将大型真菌采回实验室进行烘干称重计算生物量也较为不方便。Tóth等^[27]利用菌盖面积和高度估测了大型真菌的生物量,并拟合了数量模型,因此相对菌盖直径和相对高度在一定程度上代表了大型真菌的相对质量。利用该方法,省去了采集子实体后烘干称重这一环节,简化了野外大型真菌的调查方法,且保护了林下大型真菌资源。为此,本次试验在前人研究的基础上,试探性的加入空间结构(相对直径和相对高度),即相对菌盖直径和相对高度,减少了大型真菌多样性调查中出现的误差,简化了大型真菌的调查方法,较为全面的反映了林下大型真菌的群落结构。

综上所述,适度间伐提高了林下大型真菌的丰富度与多样性,同时也改变其群落结构,使林下大型真菌始终以腐生菌为优势种,减少了群落中菌根菌的优势度,进而促进了凋落物的分解和养分循环。因此有必要对过密油松林进行适度间伐(中度间伐),提高林下凋落物的养分归还速率,进而提升林分质量。

References:

- [1] Liu Y, Li G L, Li R S, Guo P, Xu Y. Effect of tree density on soil fertility in *Pinus tabulaeformis* plantations. *Journal of Northwest Forestry University*, 2008, 23(6): 18-23.
- [2] Ma L Y, Wang X Q, Ja Z K, Xu C Y, Gan J, Du P Z, Wang J Z. Strategies on quality improving of the non-commercial forests in Beijing. *Journal of Southwest Forestry College*, 2005, 25(4): 17-22.
- [3] Lähde E, Lauho O, Norokorpi Y. Diversity-oriented silviculture in the boreal zone of Europe. *Forest Ecology and Management*, 1999, 118(1/3): 223-243.
- [4] Sun S C, Gao X M, Bao W K, Wang Z L. Density effects on tree growth and community structure of Chinese pine plantations in the upper reaches of the minriver, China. *Chinese Journal of Applied and Environmental Biology*, 2005, 11(1): 8-13.
- [5] Su F L, Liu M G, Chi D X, Kong X W, Hu W L. Effect of different thinning intensity on the properties of litter. *Chinese Journal of Soil Science*, 2007, 38(6): 1096-1099.
- [6] Liu G L, Liu Y, Li R S, Xu Y, Guo P. Responses of decomposition rate, nutrient return and composition of leaf litter to thinning intensities in *Pinus tabulaeformis* plantation. *Journal of Beijing Forestry University*, 2008, 30(5): 52-57.
- [7] Li G L, Liu Y, Xu Y, Guo L, Zhang K D, Zhao S R. Effects of thinning intensity on the development of undergrowth in *Pinus tabulaeformis* plantations. *Journal of Beijing Forestry University*, 2007, 29(2): 70-74.
- [8] Zhang H P, Tian D L, Kang W X, Ai S R. Microclimate and its formation mechanism in *Cunninghamia lanceolata* hook. *Forestry Studies in China*, 2001, 3(2): 26-31.
- [9] Lü R H, Liu Y, Yu H Q, Li G L, Li H, Wang Y J. Soil fertility of different forest types in the mountainous area of Beijing. *Journal of Beijing Forestry University*, 2009, 31(6): 158-163.
- [10] Revin V V, Kadimaliev D A, Shutova V V, Samuilov V D. Wood lignin modification by the fungus *Panus tigrinus*. *Applied Biochemistry and Microbiology*, 2002, 38(5): 450-453.
- [11] Steffen K T, Hatakka A, Hofrichter M. Degradation of humic acids by the litter-decomposing basidiomycete *Collybia dryophila*. *Applied and Environmental Microbiology*, 2002, 68(7): 3442-3448.
- [12] Koukol O, Gryndler M, Novák F, Vosátka M. Effect of *Chalara longipes* on decomposition of humic acids from *Picea abies* needle litter. *Folia Microbiologica*, 2004, 49(5): 574-578.
- [13] Bau T, Chen J Z, Wang Y, Fan Y G. Macrofungal diversity in broad-leaved Korean pine forest in the Changbaishan national nature reserve. *Acta Ecologica Sinica*, 2010, 30(17): 4549-4558.
- [14] Bau T, Li Y. Fungal community diversity in Daqinggou nature reserve. *Acta Ecologica Sinica*, 2000, 20(6): 986-991.

- [15] Zhang Y, Xu Y Z, Deng Z X, Liu X K, Wang L, Ou X K. Analyses of diversity and distribution characteristics of macro-fungi in Huafo Mountain Nature Reserve of Yunnan province. *Journal of Plant Resources and Environment*, 2012, 21(1): 111-117.
- [16] Lin N, Liu Y, Li G L, Lü R H, Wang S H, Hou B Z, Yi F J. Research progress of impact of thinning on plantation litter decomposition. *World Forestry Research*, 2010, 23(3): 44-47.
- [17] Xu M L, Zhu J J, Sun J D, Kang H Z, Xu H, Zhang H W. A review on the relationships between forest and environmental factors. *Chinese Journal of Ecology*, 2004, 23(5): 212-217.
- [18] Huang N L. Colored illustrations of macrofungi (mushrooms) of China. Bei Jing: China Agriculture Press, 1998.
- [19] Richard F, Moreau P A, Selosse M A, Gardes M. Diversity and fruiting patterns of ectomycorrhizal and saprobic fungi in an old-growth Mediterranean forest dominated by *Quercus ilex* L. *Canadian Journal of Botany*, 2004, 82(12): 1711-1730.
- [20] Lance W L, Gavin K, Macdonald S E, Khasa D. Effects of partial cutting on the ectomycorrhizae of *Picea glauca* forests in northwestern Alberta. *Canadian Journal of Forest Research*, 2005, 35(6): 1442-1454.
- [21] Zhou M Y, Sharik T L, Jurgensen M F, Richter D L. Ectomycorrhizal colonization of *Quercus rubra* seedlings in response to vegetation removals in oak and pine stands. *Forest Ecology and Management*, 1997, 93(1/2): 91-99.
- [22] Li W W, Gu J C, Chen Y, Shi L L, Chen F J, Chen P. Research on the effects of stand density on understory vegetation diversity of larch principis-rupprechii plantation. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2009, 25(6): 84-88.
- [23] Pant D, Adholeya A. Enhanced production of ligninolytic enzymes and decolorization of molasses distillery wastewater by fungi under solid state fermentation. *Biodegradation*, 2007, 18(5): 647-659.
- [24] Yan H Y, Gu X Y, Shen H. Microbial decomposition of forest litter: a review. *Chinese Journal of Ecology*, 2010, 29(9): 1827-1835.
- [25] Chen F L, Zhang K, Deng H, Lin X Q, Ouyang Z Y, Tu N M. Analyzing the effect of mixed decomposition of conifer and broadleaf litters on soil microbial communities by using PCR-DGGE. *Chinese Journal of Applied and Environmental Biology*, 2011, 17(2): 145-150.
- [26] Jiang Y X, Liu S R. Some problems on regional biodiversity conservation research. *Journal of Natural Resources*, 1983, 8(4): 289-297.
- [27] Tóth B B, Feest A. A simple method to assess macrofungal sporocarp biomass for investigating ecological change. *Canadian Journal of Botany-Revue Canadienne de Botanique*, 2007, 85: 652-658.

参考文献:

- [1] 刘勇, 李国雷, 李瑞生, 郭蓓, 徐扬. 密度调控对油松人工林土壤肥力的影响. *西北林学院学报*, 2008, 23(6): 18-23.
- [2] 马履一, 王希群, 贾忠奎, 徐程扬, 甘敬, 杜鹏志, 王金增. 提高北京市山区生态公益林质量的对策研究. *西南林学院学报*, 2005, 25(4): 17-22.
- [4] 孙书存, 高贤明, 包维楷, 王中磊. 岷江上游油松造林密度对油松生长和群落结构的影响. *应用与环境生物学报*, 2005, 11(1): 8-13.
- [5] 苏芳莉, 刘明国, 迟德霞, 孔祥文, 胡万良. 间伐强度对天然次生林凋落物性质的作用效果分析. *土壤通报*, 2007, 38(6): 1096-1099.
- [6] 李国雷, 刘勇, 李瑞生, 徐扬, 郭蓓. 油松叶凋落物分解速率、养分归还及组分对间伐强度的响应. *北京林业大学学报*, 2008, 30(5): 52-57.
- [7] 李国雷, 刘勇, 徐扬, 郭蓓, 张可栋, 赵双荣. 间伐强度对油松人工林植被发育的影响. *北京林业大学学报*, 2007, 29(2): 70-74.
- [9] 吕瑞恒, 刘勇, 于海群, 李国雷, 刘辉, 王玉江. 北京山区不同林分类型土壤肥力的研究. *北京林业大学学报*, 2009, 31(6): 158-163.
- [13] 图力古尔, 陈今朝, 王耀, 范宇光. 长白山阔叶红松林大型真菌多样性. *生态学报*, 2010, 30(17): 4549-4558.
- [14] 图力古尔, 李玉. 大青沟自然保护区大型真菌群落多样性研究. *生态学报*, 2000, 20(6): 986-991.
- [15] 张颖, 许远钊, 郑志兴, 柳小康, 王丽, 欧晓昆. 云南化佛山自然保护区大型真菌多样性及分布特征分析. *植物资源与环境学报*, 2012, 21(1): 111-117.
- [16] 林娜, 刘勇, 李国雷, 吕瑞恒, 王少华, 侯炳柱, 尹凤君. 抚育间伐对人工林凋落物分解的影响. *世界林业研究*, 2010, 23(3): 44-47.
- [17] 许美玲, 朱教君, 孙军德, 康宏樟, 徐慧, 张惠文. 树木外生菌根菌与环境因子关系研究进展. *生态学杂志*, 2004, 23(5): 212-217.
- [18] 黄年来. *中国大型真菌原色图鉴*. 北京: 中国农业出版社, 1998.
- [22] 李伟伟, 谷建才, 陈瑜, 石丽丽, 陈凤娟, 陈平. 林分密度对华北落叶松人工林林下植被多样性影响的研究. *中国农学通报*, 2009, 25(6): 84-88.
- [24] 严海元, 辜夕容, 申鸿. 森林凋落物的微生物分解. *生态学杂志*, 2010, 29(9): 1827-1835.
- [25] 陈法霖, 张凯, 郑华, 林学强, 欧阳志云, 屠乃美. PCR-DGGE 技术解析针叶和阔叶凋落物混合分解对土壤微生物群落结构的影响. *应用与环境生物学报*, 2011, 17(2): 145-150.
- [26] 蒋有绪, 刘世荣. 关于区域生物多样性保护的若干问题. *自然资源学报*, 1983, 8(4): 289-297.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol.33, No.21 Nov., 2013 (Semimonthly)
CONTENTS

Frontiers and Comprehensive Review

- Gross ecosystem product: theory framework and case study OUYANG Zhiyun, ZHU Chunquan, YANG Guangbin, et al (6747)
- Advances in impacts of climate change on infectious diseases outbreak LI Guodong, ZHANG Junhua, JIAO Gengjun, et al (6762)
- Ecology of aerobic methane oxidizing bacteria (methanotrophs) YUN Juanli, WANG Yanfen, ZHANG Hongxun (6774)
- Nitrogen deposition and *Leymus chinensis* leaf chlorophyll content in Inner Mongolian grassland
..... ZHANG Yunhai, HE Nianpeng, ZHANG Guangming, et al (6786)
- Worldwide distribution and multivariate similarity clustering analysis of spiders
..... SHEN Xiaocheng, ZHANG Baoshi, ZHANG Feng, et al (6795)
- The influence of wind direction on pollen-mediated gene flow in transgenic insect-resistant cotton
..... ZHU Jialin, HE Juan, NIU Jianqun, et al (6803)

Autecology & Fundamentals

- Ecological characteristics of benthic diatoms, protozoa and meiobenthos in the sediments of the Changjiang Estuary and East China
Sea in spring MENG Zhaoctui, XU Kuidong (6813)
- Macrobenthic functional groups at the reclamation and natural tidal flats of Hengsha East Shoal, the Estuary of Changjiang River
..... LV Weiwei, MA Chang'an, YU Ji, et al (6825)
- Enrichment and ecological risk of heavy metal in soils and dominant plants in the riparian of the Fenghe River
..... YANG Yang, ZHOU Zhengchao, WANG Huanhuan, et al (6834)
- Effects of salinity and exogenous substrates on the decomposition and transformation of soil organic carbon in the Yellow River
Delta LI Ling, QIU Shaojun, TAN Feifei, et al (6844)
- Effects of short-term dark chilling on leaves carbon and nitrogen metabolism and involved activities of enzymes in mangrove *Kandelia
obovata* seedling ZHENG Chunfang, LIU Weicheng, CHEN Shaobo, et al (6853)
- Preliminary evaluation on tolerance to phosphorous deficiency of 32 cultivars of cut chrysanthemum
..... LIU Peng, CHEN Sumei, FANG Weimin, et al (6863)
- Effects of age and environmental conditions on accumulation of heavy-metals Cd and Cu in *Tegillarca granosa*
..... WANG Zhaogen, WU Hongxi, CHEN Xiaoxiao, et al (6869)
- Effects of Chinese gallnut on photosynthetic characteristics and total nitrogen content of *Rhus chinensis*
..... LI Yang, YANG Zixiang, CHEN Xiaoming, et al (6876)
- The characterization of glyphosate degradation by *Burkholderia multivorans* WS-FJ9 LI Guanxi, WU Xiaoqin, YE Jianren (6885)
- Electroantennographic and behavioural responses of scarab beetles to *Ricinus communis* leaf volatiles
..... LI Weizheng, YANG Lei, SHEN Xiaowei, et al (6895)

Population, Community and Ecosystem

- Ecosystem health assessment in Baiyangdian Lake XU Fei, ZHAO Yanwei, YANG Zhifeng, et al (6904)
- Characteristics of macrobenthic communities in mangrove wetlands along the waterways of North Hezhou, Zhuhai, South China
..... WANG Hui, ZHONG Shan, FANG Zhanqiang (6913)
- The interaction between components of ecosystem respiration in typical forest and grassland ecosystems
..... ZHU Xianjin, YU Guirui, WANG Qiufeng, et al (6925)
- Effects of thinning on macro fungi and their relationship with litter decomposition in *Pinus tabulaeformis* plantations
..... CHEN Xiao, BAI Shulan, LIU Yong, et al (6935)

- Beta diversity of plant communities in Baishanzu Nature Reserve TAN Shanshan, YE Zhenlin, YUAN Liubin, et al (6944)
- Effect of Oxytetracycline (OTC) on the activities of enzyme and microbial community metabolic profiles in composting
 CHEN Zhixue, GU Jie, GAO Hua, et al (6957)

Landscape, Regional and Global Ecology

- Variations in leaf anatomy of *Larix gmelinii* reflect adaptation of its photosynthetic capacity to climate changes
 JI Zijiang, QUAN Xiankui, WANG Chuankuan (6967)
- The studying of key ecological factors and threshold of landscape evolution in Yancheng Coastal wetland
 ZHANG Huabing, LIU Hongyu, LI Yufeng, et al (6975)
- Eco-physiological response of *Phragmites communis* to water table changes in the Horqin Sand Land
 MA Yunhua, ZHANG Tonghui, LIU Xinpeng (6984)
- Improvement of snowmelt implementation in the SWAT hydrologic model ... YU Wenjun, NAN Zhuotong, ZHAO Yanbo, et al (6992)
- Responses of lake fluctuation to climate change in Horqin Sandy Land
 CHANG Xueli, ZHAO Xueyong, WANG Wei, et al (7002)
- Water ecology and fractal characteristics of soil particle size distribution of three typical vegetations in Shell Island
 XIA Jiangbao, ZHANG Shuyong, WANG Rongrong, et al (7013)
- Spatio-temporal distribution of epilithic algal chlorophyll a in relation to the physico-chemical factors of Gufu River in Three Gorges Reservoir
 WU Shuyuan, GE Jiwen, MIAO Wenjie, et al (7023)

Resource and Industrial Ecology

- Graphic analysis of spatio-temporal effect for vegetation disturbance caused by coal mining: a case of Datong Coal Mine Area
 HUANG Yi, WANG Yunjia, LI Xiaoshun, et al (7035)

《生态学报》2014 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,280 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 余新晓 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 21 期 (2013 年 11 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 33 No. 21 (November, 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