

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

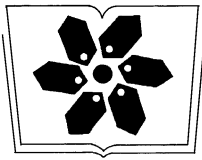
Acta Ecologica Sinica



第31卷 第10期 Vol.31 No.10 **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 10 期

2011 年 5 月 (半月刊)

目 次

大熊猫取食竹笋期间的昼夜活动节律和强度·····	张晋东, Vanessa HULL, 黄金燕, 等 (2655)
高枝假木贼的胎生萌发特性及其生态适应·····	韩建欣, 魏 岩, 严 成, 等 (2662)
准噶尔盆地典型地段植物群落及其与环境因子的关系 ·····	赵从举, 康慕谊, 雷加强 (2669)
喀斯特山地典型植被恢复过程中表土孢粉与植被的关系·····	郝秀东, 欧阳绪红, 谢世友, 等 (2678)
青藏高原高寒草甸土壤 CO ₂ 排放对模拟氮沉降的早期响应·····	朱天鸿, 程淑兰, 方华军, 等 (2687)
毛乌素沙地南缘沙漠化临界区域土壤水分和植被空间格局·····	邱开阳, 谢应忠, 许冬梅, 等 (2697)
雪灾后粤北山地常绿阔叶林优势树种幼苗更新动态·····	区余端, 苏志尧, 解丹丹, 等 (2708)
四川盆地四种柏木林分类型的水文效应·····	龚固堂, 陈俊华, 黎燕琼, 等 (2716)
平茬对半干旱黄土丘陵区柠条林地土壤水分的影响·····	李耀林, 郭忠升 (2727)
连栽杉木林林下植被生物量动态格局·····	杨 超, 田大伦, 胡日利, 等 (2737)
近 48a 华北区太阳辐射量时空格局的变化特征·····	杨建堂, 刘 勤, 严昌荣, 等 (2748)
中型景观尺度下杨树人工林林分特征对树干病害发生的影响——以河南省清丰县为例·····	王 静, 崔令军, 梁 军, 等 (2757)
耕作措施对冬小麦田杂草生物多样性及产量的影响·····	田欣欣, 薄存瑶, 李 丽, 等 (2768)
官山保护区白颈长尾雉栖息地适宜性评价·····	陈俊豪, 黄晓凤, 鲁长虎, 等 (2776)
花椒园节肢动物群落特征与气象因子的关系·····	高 鑫, 张晓明, 杨 洁, 等 (2788)
沙漠前沿不同植被恢复模式的生态服务功能差异·····	周志强, 黎 明, 侯建国, 等 (2797)
大豆出苗期和苗期对盐胁迫的响应及耐盐指标评价·····	张海波, 崔继哲, 曹甜甜, 等 (2805)
不同耐盐植物根际土壤盐分的动态变化·····	董利苹, 曹 靖, 李先婷, 等 (2813)
短期 NaCl 胁迫对不同小麦品种幼苗 K ⁺ 吸收和 Na ⁺ 、K ⁺ 积累的影响 ·····	王晓冬, 王 成, 马智宏, 等 (2822)
套袋微域环境对富士苹果果皮结构的影响·····	郝燕燕, 赵旗峰, 刘群龙, 等 (2831)
畜禽粪便施用对稻麦轮作土壤质量的影响·····	李江涛, 钟晓兰, 赵其国 (2837)
土霉素胁迫下拟南芥基因组 DNA 甲基化的 MSAP 分析·····	杜亚琼, 王子成, 李 霞 (2846)
甲藻孢囊在长山群岛海域表层沉积物中的分布·····	邵魁双, 巩 宁, 杨 青, 等 (2854)
湖南省城市群生态网络构建与优化 ·····	尹海伟, 孔繁花, 祈 毅, 等 (2863)
基于多智能体与元胞自动机的上海城市扩展动态模拟 ·····	全 泉, 田光进, 沙默泉 (2875)
城市道路绿化带“微峡谷效应”及其对非机动车道污染物浓度的影响 ···	李 萍, 王 松, 王亚英, 等 (2888)
专论与综述	
北冰洋微型浮游生物分布及其多样性·····	郭超颖, 王桂忠, 张 芳, 等 (2897)
种子微生物生态学研究进展 ·····	邹媛媛, 刘 洋, 王建华, 等 (2906)
条件价值评估的有效性与可靠性改善——理论、方法与应用·····	蔡志坚, 杜丽永, 蒋 瞻 (2915)
问题讨论	
中国生态学期刊现状分析 ·····	刘天星, 孔红梅, 段 靖 (2924)
研究简报	
四季竹耐盐能力的季节性差异·····	顾大彤, 郭子武, 李迎春, 等 (2932)
新疆乌恰泉地震前后泉水细菌群落的变化·····	杨红梅, 欧提库尔·玛合木提, 曾 军, 等 (2940)
两种猎物对南方小花蝽种群增长的影响及其对二斑叶螨的控害潜能 ·····	黄增玉, 黄林茂, 黄寿山 (2947)
学术信息与动态	
全球变化下的国际水文学研究进展: 特点与启示 ——2011 年欧洲地球科学联合会会员大会述评·····	卫 伟, 陈利顶 (2953)

期刊基本参数: CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 302 * zh * P * ¥ 70.00 * 1510 * 34 * 2011-05



封面图说: 藏酋猴 (*Macaca thibetana*) 属猴科 (*Cercopithecidae*) 猕猴属 (*Macaca*) 又名四川短尾猴、大青猴, 为我国特有灵长类之一, 被列为国家二级保护野生动物; 近年来, 由于人类活动加剧, 栖息环境恶化, 导致藏酋猴种群数量和分布日趋缩小; 本照片摄于四川卧龙国家级自然保护区 (拍摄时间: 2010 年 3 月)。

彩图提供: 中国科学院生态环境研究中心张晋东博士 E-mail: zhangjd224@163.com

中型景观尺度下杨树人工林林分特征对 树干病害发生的影响

——以河南省清丰县为例

王 静¹, 崔令军², 梁 军¹, 张星耀¹, 张兆欣³, 王会勤⁴, 孙志强^{1,2,*}

(1. 国家林业局森林保护重点实验室, 中国林业科学研究院森林生态环境与保护研究所, 北京 100091;

2. 国家林业局泡桐研究开发中心, 郑州 450003; 3. 河南濮阳林业科学研究所, 濮阳 457000;

4. 河南省鄆陵县林业工作站, 鄆陵 461200)

摘要:首次利用景观病理学原理和方法对河南省清丰县一个中型景观下杨树人工林干部病害发生特征开展了研究,目的是解析在大尺度下杨树人工林病害发生与寄主本身及其群体特征间的关系。在 100 km² 的调查区域,杨树人工林的平均发病株率在不同林龄、不同密度及不同郁闭度下均存在极显著的差异,且发病株率与林龄(1—12 a)及林分密度呈极显著的正相关关系,并随着林分郁闭度升高而增高。以种植方式和林分类型划分斑块类型,分析显示发病株率在不同斑块间差异显著:农田间作斑块的林木发病株率显著低于孤立斑块、纯林斑块、混交林等斑块的发病株率;但发病株率在孤立斑块、纯林斑块及混交林等斑块间无显著差异。不同品种、不同树龄个体的发病指数(即病害严重程度)差异极显著,所有品种的发病指数均在 10—12 a 时达到最大;其中三倍体毛白杨的平均发病指数最高,达 10.48%,显著高于其他所有品种。总体看,林分密度及林龄对发病株率、发病指数起到关键作用。因此,分龄期间伐以调节林分密度有可能成为预防杨树人工林病害在林分及景观水平上发生、流行与爆发的关键;确立不同用途的人工林栽培模式也是预防病害发生的一个有效途径,如采用密植技术并以 2—4 a 为采伐周期、以收获生物量为目的的短周期作物林,可以避免到生长后期发病株率和发病指数升高的问题。根据发病指数的差异,I-69 杨和三倍体毛白杨不适宜在这个区域培育大径级用材;因此,景观病理学能够帮助判别不同栽培品种在同一景观区域内的适应性,尤其是在气候条件一致以及土壤条件基本一致的情况下。

关键词:景观病理学;杨树人工林;溃疡病;发病株率;发病指数;林分特征;适应性

Impact of stand features of short-rotation poplar plantations on canker disease incidence at a mesoscale landscape: a case study in Qingfeng County, Henan Province, China

WANG Jing¹, CUI Lingjun², LIANG Jun¹, ZHANG Xingyao¹, ZHANG Zhaoxin³, WANG Huiqin⁴, SUN Zhiqiang^{1,2,*}

1 The Key Laboratory of Forest Protection of China State Forestry Administration, Research Institute of Forest Ecology, Environment and Protection, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091, China

2 Paulownia Research and Development Center of China, Chinese Academy of Forestry, Zhengzhou 450003, China

3 Puyang Forest Institute of Henan Province, Puyang 457000, China

4 Yanling Forest Station of Henan Province, Yanling 461200, China

Abstract: Landscape pathology is a research approach that can provide validation of the effectiveness of regional controls of forest disease at landscape scale on the rate of pathogen spread, occurrence and severity of diseases. So far few studies have been made on the disease epidemics in poplar plantations at landscape scale in China using the approaches and principles of

基金项目:中国林业科学研究院中央级公益性基本研究专项基金项目(CAFYBB2008016);国家“十一五”科技支撑项目(2006BAD08A11)

收稿日期:2010-05-11; **修订日期:**2010-10-11

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: sun371@163.com

landscape pathology. Little guidance is available for disease control for the managed poplar short-rotation forestry (SRF) communities at a landscape scale in China, which has the largest area of poplar SRF plantations in the world. Here we reported the results from the first study in China using the approach of landscape pathology on the occurrence characteristics of the disease syndromes in the short-rotation poplar plantations in Qingfeng County, Henan Province. We analyzed the effects of some stand characteristics of plantations on disease incidence (DI) and disease severity index (DSI) of individual trees. Within a 100km² area, DI varied significantly with stand age ($F=4.711$, $P<0.001$), tree densities ($F=3.890$, $P=0.021$) and the degree of canopy closure ($F=11.122$, $P<0.001$). DI in the stands younger than 4 years old was significantly lower than that in the stands older than 6 years old. DI reached the highest value at a stand age of 8 to 10 years. Overall DI was positively correlated with stand age (ranging from 1 to 12 years old) ($R^2=0.281$, $P<0.001$), stands density ($R^2=0.195$, $P=0.003$), and the degree of canopy closure ($R^2=0.246$, $P<0.001$). DI was significantly lower in agro-forest stand patch than in other three patch types, i. e. isolated patch, pure stand patch and mixed stand patch. On the other hand, DSI was not significantly correlated with stand density, but varied significantly with tree varieties ($F=2.693$, $P=0.013$) and trees ages ($F=1.917$, $P=0.004$). DSI was highest in the stand about 10 to 12 years old for all poplar varieties we studied here. DSI of triploid clone of *Populus tomentosa* was significantly higher than all other varieties. Plantation density and plantation age were thus critical factors determining DI and DSI. Adjustment of stand density by thinning at different plantation age is a key approach to control the occurrence and epidemic of disease in short-rotation poplar plantations at landscape scale. Planting mode, which for instance develops short-rotation coppice culture with high density and 2 to 4 years rotation for biomass harvest, was also an effective way to prevent outbreaks of disease by avoiding higher DI and DSI occurred in the stands with longer rotation. Our study found that *P. deltoids* Bartr. Cl. Lux I-69/55 and triploid clone of *P. tomentosa* were not suitable for large diameter timber in this area due to their high DSI after 6-year-old. Our study here shows that landscape pathology can help discriminate adaptive abilities of different varieties/clones in the same geographical region under the same climate and soil conditions.

Key Words: landscape pathology; poplar plantation; canker disease; disease incidence; disease severity incidence; stand features; adaptation

杨树(*Populus* spp.)在我国分布极广、其人工栽培可追溯到数千年前^[1-2]。全球 100 多种杨树中有约 53 种(不包括杂交品种和引进种)分布在中国^[3]。作为我国重要的经济及环境资源,杨树目前被广泛用于防护林、短周期工业用材林的营造,其规模已超过 1000 万 hm²,其中 700 万 hm²是短周期工业用材林,主要用于提供生物质材料和原材料^[4-5]。除此以外,这些人工林兼具重要的生态服务功能,如水土保持、碳吸收以及立地改良,等^[4, 6-8]。

杨树是多种病虫害的寄主^[9-11];长期以来,我国杨树生产受到病虫害为害的严重制约。有些杨树人工林如三北防护林,因为杨树溃疡病、烂皮病和蛀干害虫的为害出现大面积死亡,严重影响木材收获及其利用价值并降低其整体生态防护功能^[12-13]。徐梅卿等^[14]总结了我国 40a 来杨树病害研究的成果,指出共有 205 种真菌、12 种细菌及近 30 种病毒、线虫和寄生植物为害我国 96 种杨树(包括种、无性系及栽培品种)。

过去数十年随着杨树人工林的大面积种植,杨树病害更多地呈现出区域性爆发的特点。例如,杨树黑斑病(*Marssonina* spp.)在全球流行,限制了许多易感病品种的推广^[15]。这种叶部病害造成生长量损失达 40%—60%;由于树木提早落叶,使得树势降低,因而更易受到冻害并间接引发次生病原、如壳囊孢属(*Dothichiza*)、小穴壳属(*Dothiorella*)和壳囊孢属(*Cytospora*)等真菌引起的溃疡病和烂皮病爆发。在我国中西部地区,由壳囊孢属真菌引起的烂皮病对杨树人工林的致死率最高达 50%,而杨树溃疡病的发病株率在全国范围内通常达到 50%—100%^[10, 16-17]。最近,在河南、山东等地相继出现由腐皮镰刀菌(*Fusarium solani*)引起的溃疡,该病原主要侵染 4—8 年生中林 46(*P. euramerican* ‘zhonglin 46’)和 I-69 杨(*P. deltoids* Bartr. Cl. Lux

I-69/55),导致寄主猝死,个别林分的树木死亡率高达 50%—80%^[18-19]。

在小尺度上、如在苗圃及林分水平上,人们对杨树与病原的互作机制、病害的发病机理已经有了较为全面的认识和了解^[16-17, 20];但杨树人工林病害的整体防控技术及防治效果未有大的改观^[21]。基于此,许多学者强调区域性的森林及人工林病害控制与治理需要在更广阔的范围内调查取证。最近几年,随着景观生态学的发展,森林病理学与景观生态学结合形成的交叉学科——景观病理学——渐渐成为森林病害研究的新手段^[22-24]。许多研究证实,通过运用景观生态学的空间和时间分析方法,景观病理学在开展病原扩散、病害发生及其严重程度方面以其全新的视角,为森林病害的区域控制提供了不可替代的研究技术及理论支持^[25]。

近年来的研究成果着重强调了景观病理学原理在大区域尺度下解析森林病害流行机制的重要性。例如 2006 年对美国科罗拉多州圣胡安国家森林保护区面积达 56091hm² 的山杨(*Populus tremuloides*)猝死病调查后,造成大面积山杨猝死的主要原因是近十年来的持续高温和干旱导致树木生长势衰弱、诱发一些次期性病虫害的暴发从而加重和加快了树木大面积死亡,如溃疡病和烂皮病(*Valsa sordida*)的爆发、主要侵染衰弱木的蛀干害虫如杨长角小蠹虫(*Trypophloeus populi*)和杨前隐小蠹(*Procryphalus mucronatus*)、杨黄斑楔天牛(*Saperda calcarata*)和杨铜窄吉丁(*Agrilus liragus*)的大爆发^[26]。另一方面,景观病理学能够帮助辨明非生物因素对树木感病性和病害流行方式的影响。La Manna 等^[27]运用遥感技术和地理信息系统,对阿根廷巴塔哥尼亚地区的景观气候、地形和土壤对智利柏(*Austrocedrus chilensis*)病害特征的影响进行分析,指出土壤排水状况极显著影响病害发生。Van Mantgem 等^[28]报道,美国西部沿经度纵向的天然林自然死亡率最近数十年急速增长,这种死亡率增长不分海拔高度、树木大小、种类或是否有林火史;区域高温和随之发生的干旱可能是主要原因。

张忠华等^[29]对我国黑龙江省大庆市红旗林场 5817hm² 林地中 14 年生的 25 种杨树罹患烂皮病(*Valsa sordida*)及其发病程度作了调查,指出 25 种杨树的保存率有很大差异,但未对引起病害差异的生物及非生物影响因素做深入分析。目前,我国在利用景观病理学原理和方法开展人工林病害流行与爆发的研究鲜见报道。本文首次报道利用景观病理学原理和方法对一个中型景观下的杨树人工林病害发生特征进行调查与分析,解析在较大尺度范围内杨树人工林干部病害发生与寄主本身及其群体特征间的关系,为进一步旨在制定和完善减轻杨树人工林病害风险的区域化管理措施提供理论依据。

1 研究方法

1.1 研究区概况

河南省濮阳市于 2005 年获全国造林绿化先进城市称号,平均森林覆盖率为 22%^[30-31]。其中,清丰县(114°27′—115°23′E, 35°45′—36°5′N)规模化造林面积和森林覆盖率排在该市各县前列;全县总面积 872 km²,森林覆盖率 31%。当地平均海拔 45—55m;气候温和,四季分明,无霜期 210—215 d,年平均温度 13.4℃,年降水量 700—900mm。由于地处黄河冲击平原,土壤类型为典型的潮土和风沙土两类。主栽品种有中林 46,107 杨(*Populus × euramericana* cv. '74/76'),三倍体毛白杨(*P. tomentosa* triploid clone),廊坊杨(*P. langfangensis*)、毛白杨(*P. tomentosa*)、I-69 杨、108 杨(*P. xeuramericana* cv. 'Guariento'),等;种植类型主要有短周期工业用材林、农林间作、防护林及四旁绿化;采伐周期 8—12 a;由于当地许多小型林地所有者无序采伐和人工更新,使得当地的林分在景观上形成多种类型的由不同品种、不同林龄及不同栽培方式的林分构成的斑块。品种构成上,中林 46 和 107 分别占 30% 和 34%,其他品种占 36%、其中包括泡桐等速生树种及少量经济林果树种植园。

调查区集中在以清丰县阳邵乡为中心的 10km×10 km 区域,该县大部分林木集中栽植在这片区域。该区域的土壤以沙壤土为主。两条省级公路贯穿其间,公路两旁栽种宽度为 200—3000 m 的林带,大部分为连片林带,有些地段被农田、村落分割,形成农业用地和村落居住区斑块。

1.2 调查方法

2009 年 7—9 月,依据清丰县林业局提供的森林资源分布地图并参考 50m 分辨率卫星图片,在设定的调

查区域以 $1\text{ km} \times 1\text{ km}$ 在地图上标注,每 1 km^2 格子上选 10 点 ($30\text{ m} \times 30\text{ m}$),每点设 1 个临时样地 ($15\text{ m} \times 15\text{ m}$),共计 1000 点。样地间间隔不少于 90 m,选点时的最小成片林地(孤立斑块)大于 700 m^2 。配备 GPS 对每块样地定位。对每格子上的 10 个点(临时样地)分别记录林分类型(纯林、混交林、农田间作或防护林如围村林、道路及河岸林网,将孤立斑块归为单独的类型)、栽植密度、林龄、种/品种、树木个体状况(健康、感病、死亡)、感病及死亡原因(溃疡病、烂皮病、蛀干害虫及食叶害虫等);目测样地内每株树木的树高、用胸径尺测量胸径(1.3 m 高处树干直径);并采用 CI-110 树冠成像仪测量林分郁闭度(CID Inc., USA)。

通过咨询当地林业工作人员、当地居民、林地所有者及实地观察、评估每个调查点林分的经营情况和生长状况,将所调查的林分分为粗放管理林(无修枝、无施肥和锄草等)和精细管理林(有修枝、施肥和锄草),测量并记录各个调查点距离公路、村庄、河流或水渠以及农田的最短距离并只记录其中 1 项,即距上述目标的最短距离。当调查点离上述目标的距离同时有 2 项或 3 项相等时,优先记录距离村庄或道路的最短距离,依此距离表示此地的林分一般情况下受人为干扰更多一些。

本文针对杨树树干病害发生情况,通过目测胸径上下 50 cm 范围树干、即树干距地面高度 0.8—1.8 m 范围内的病斑数量、病斑面积和长度等指标,重点记录当年新发的溃疡病病斑数量、估测病斑平均面积、以及烂皮病的长度和宽度。病害发生状况采用发病株率% (Disease incidence DI%) 和发病指数% (Disease severity index DSI%) 分别描述,其中:

$$\text{DI}(\%) = \text{样地内罹病树木株数} / \text{样地内总株数} \times 100\%$$

罹病树木包括所有罹患溃疡病或烂皮病的树木及同时具有上述症状者。

发病指数 DSI 用来描述病害发生的严重程度,以单株树木树干高度 0.8—1.8 m 范围内病斑面积占该段树干总表面积的百分比表示^[17]

$$\text{DSI}(\%) = 0.8\text{—}1.8\text{ m 树干上病斑总面积} / \text{该段树干总表面积} \times 100\%$$

1.3 数据分析

为了对调查区随机抽取的 1000 点的数据进行统计分析,从中挑选了任意两点直线距离 $>150\text{ m}$ 的 500 个点,并从这 500 点中选出 239 点(临时样地)的数据用于统计分析。挑选样地(即样地间距 $>150\text{ m}$)的主要目的是减少样地间的空间自相关性、避免因样本数量大可能产生的误差,该距离确保 95% 的参与分析的样地具有如下特征:或品种不同、或林分类型不同、或管理类型不同、或地理位置不同,等^[28, 32]。

1.3.1 杨树人工林林分特征对病害发生的影响

采用方差分析和 Fisher's *f*-test ($P < 0.05$) 检验解析不同树龄、密度及郁闭度的林分发病株率差异性,并通过多重比较(Tukey's *t*-test, $\alpha = 0.05$) 比较病害在不同树龄、不同密度以及不同郁闭度下的林分中发生的差异性,其中根据郁闭度将林分分为疏林(郁闭度 $<30\%$)、中疏林(郁闭度 $30\% \text{—} 70\%$) 和密林(郁闭度 $>70\%$),并根据密度分为低密度林($<750\text{ 株/hm}^2$)、中密度林($750\text{—}1200\text{ 株/hm}^2$) 和高密度林($>1200\text{ 株/hm}^2$)。同时,进一步对发病株率与林龄及林分密度进行 Person 相关性分析并进行双尾显著性检验。采用方差分析和 Fisher's *f*-test ($P < 0.05$) 比较不同斑块^[33](纯林斑块、混交林斑块、农田间作斑块等)的林分发病株率差异性,并通过多重比较(Tukey's *t*-test, $\alpha = 0.05$) 解析病害在不同斑块类型中发生的差异性。

1.3.2 不同杨树品种的发病指数

采用方差分析和 Fisher's *f*-test ($P < 0.05$) 检验解析不同密度的林分发病指数差异性,进一步对发病指数与林分密度进行 Person 相关性分析并进行双尾显著性检验。采用双因素方差分析和 Fisher's *f*-test ($P < 0.05$) 检验对中林 46, 107, 三倍体毛白杨, 廊坊杨、毛白杨、I-69、108 等主栽品种的发病指数分别进行分析并进行多重比较(Tukey's *t*-test, $\alpha = 0.05$),同时考虑品种与树龄的交互作用,判别不同树龄的林木发病指数差异。

对所有数据采用 SPSS 软件(13.0 版)进行分析,处理时将发病株率和树木发病指数作 $\sqrt{i+1}$ 转换,其中 *i* 表示第 *i* 个样地的平均发病株率或树木平均发病指数。

2 结果与分析

2.1 杨树人工林林分特征对病害发生的影响

2.1.1 林龄

调查区域内的林分林龄从 1—24a 均有分布,其中超过 13 a 的大树组成的林分较少,占调查总数的 <4%,同时考虑到当地大部分林木主伐周期为 8—12a,故在进行数据分析时将林龄 ≥ 13 a 的数据剔除。整体上,1—4 a 的幼龄林所占比例为 15%、5—8 a 林分占 48%、9—12 a 林分占约 36.7%。

分析表明,不同林龄间林分的整体发病株率存在极显著的差异 ($F=4.711, P<0.001$)。多重比较显示,4 a 前林木发病的比例逐渐增加,4 a 后逐渐出现全部发病的情况,发病株率随着林龄的增加而增加,第 10 年达到最大,随后逐渐降低(图 1)。相关分析表明:整体上,发病株率与林龄呈极显著的正相关关系 ($R^2=0.281, P<0.001$) (表 1)。相关分析结果验证了多重比较中发病株率随林龄增大而逐渐增高的规律。

2.1.2 林分密度

景观水平上,不同密度下林分的发病株率存在显著差异 ($F=3.890, P=0.021$)。将林分密度分组作多重比较后发现,密度越低,整体发病株率也越低,并与高密度林分 (>1200 株/ hm^2) 间差异显著(图 2)。相关分析显示,发病株率与林分密度呈极显著正相关 ($R^2=0.195, P=0.003$),说明随着密度的增加,林木的发病株率增加(表 1)。

2.1.3 林分郁闭度

不同郁闭度林分间的发病株率存在极显著差异 ($F=11.122, P<0.001$);多重比较表明,发病株率在疏林(郁闭度 $<30\%$ 、 $n=14$)与中疏林(郁闭度 $30\%—70\%$ 、 $n=75$)间没有显著差异,而疏林与密林(郁闭度 $>70\%$ 、 $n=150$)间存在显著差异,并且发病株率在中疏林与密林间差异显著(图 3)。说明随着郁闭程度的增加,林木的发病株率增加。发病株率与郁闭度呈极显著正相关 ($R^2=0.246, P<0.001$),说明随着林分郁闭度的增加,林木的发病株率增加(表 1)。虽然存在的问题是疏林样方数目较少、且林龄大多在 4 龄以下,而 4 龄以下林

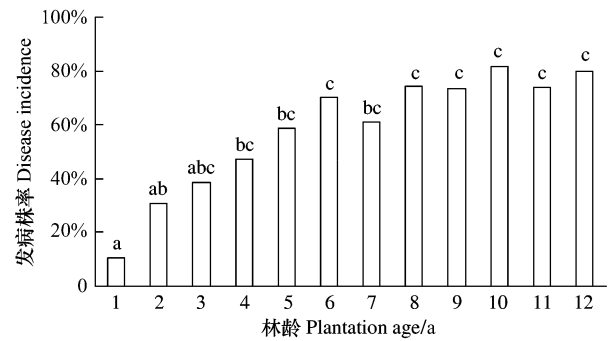


图 1 不同林龄的林分发病株率差异比较

Fig. 1 Comparison of disease incidence (DI) among stands with age range 1 to 12 years old in Qingfeng County

图中柱上字母相同者表示差异不显著

表 1 发病株率与杨树人工林林分特征指标的相关分析

Table 1 Significance test of relations between DI and *Populus* stand indexes

		林龄	郁闭度	林分密度
发病株率	Person Correlation	0.281 **	0.246 **	0.195 **
	显著性检验 P	0.000	0.000	0.003
n		239	239	239

** $P=0.01$, * $P=0.05$

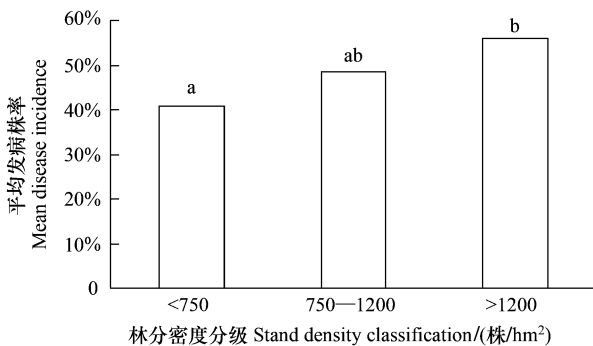


图 2 不同密度的林分发病株率差异

Fig. 2 Differences of disease incidence (DI) among stands in different densities in Qingfeng County

图中柱上字母相同者表示差异不显著

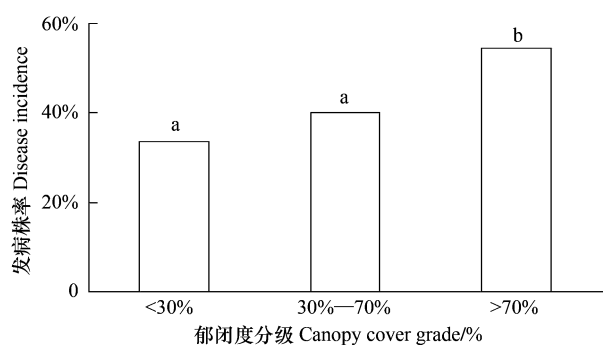


图 3 不同郁闭度林分的发病株率差异

Fig. 3 Comparison of disease incidence (DI) among stands with different canopy cover in Qingfeng County

图中柱上字母相同者表示差异不显著

分本身的发病株率较低(图1),但整体上,疏林、中疏林的发病株率显著低于密林的发病株率,该分析结果与田间调查的结果是相符的。

2.1.4 斑块类型

参考 Perkins 等的方法^[33],采用林分类型和不同种植方式划分调查区的斑块类型,将调查区划分为孤立斑块、农田间作斑块、纯林斑块、混交林斑块和其他林分斑块。发病株率在斑块间表现出极显著的差异($F=5.448$, $P=0.0003$),经多重比较证实,农田间作的林木发病株率显著低于其他4种斑块类型的林分发病株率;孤立斑块的整体现发病株率虽然低于纯林、混交林和其他林分(主要为四旁绿化林),但这些栽种方式的林木发病株率没有显著差异(图4)。

2.2 发病指数

方差分析发现,虽然不同林分密度下树木的发病指数、即寄主发病的程度存在极显著差异($F=8.766$, $P<0.001$),但相关分析显示发病指数与密度并不显著相关(数据未显示)。双因素方差分析结果表明,不同品种间的树木个体 DSI 存在显著差异($F=2.693$, $P=0.013$)、同时不同树龄的树木个体 DSI 差异极显著($F=1.917$, $P=0.004$);当考虑品种与树龄交互作用的情况下考察发病指数的差异时发现,DSI 在不同品种、不同树龄下的差异是极显著的($F=2.293$, $P<0.001$)。

通过多重比较解析中林46,107,三倍体毛白杨,廊坊杨、毛白杨、I-69、108等主栽品种的发病指数差异时发现(图5),107杨的平均发病指数最低(DSI% $<4\%$)、显著低于其他各品种;三倍体毛白杨的发病指数最高,平均达10.48%,显著高于其他所有品种。总体上,中林46、廊坊杨、毛白杨、69杨和108杨等品种之间的发病指数差异不显著,但均显著低于三倍体毛白杨。

由于当地杨树的主采伐年龄普遍为8—12a、少量从6a开始采伐,本研究重点分析了1—12a发病指数的变化趋势。整体上,发病指数的分布可以分为3个等级,即1a的发病指数、2—9a的发病指数和10—12a的发病指数(图6)。1a的树木个体发病指数显著低于所有其他树龄的发病指数;2—9a的杨树发病指数较低、并且该龄组内发病指数差异不显著,其中6—9a时发病指数有明显上升的趋势,但仍显著低于10—12a的发病指数;10—12a发病指数最高,显著和极显著高于其他各龄组的发病指数。从以上分析结果看,发病指数似乎与发病株率存在一定的相关性,即4a前林木发病的比例逐渐增加,4a后逐渐出现全部发病的情况,全部发病株率随着林龄的增加而增加,第10年达到最大,随后逐渐降低(图1)。当发病株率随着树龄的增加而逐渐升高,树木的发病程度显著增高,并在10—12a时最为严重。

比较不同品种6—8a时的发病指数,发现I-69杨和三倍体毛白杨的发病指数显著高于其他主栽品种(图7)。

3 讨论

有学者将人工林景观称之为“人造景观”^[33]、并将人工林斑块称为“引入式斑块”^[34-35];同时将集约栽培管理的人工林生长动态定义为“经济利益驱动”下的“强制性演替”,以此与“生态过程驱动”的“自然演替”相区别^[36]。因此,人工林从种植到采伐期间的病虫害发生明显有别于天然林中病虫害的发生特点。首先,天然林在自然演替过程中普遍存在由“种群自疏”导致的密度制约下的树木个体自然死亡,从而使得种群在茎干互斥阶段的径级分布成倒-J形^[37];同时天然林中原生的病原与植食性昆虫在倒J形径级形成过程中起到重要的促进作用,但病虫害发生的严重程度与树木的树龄增长不具有普遍的相关性^[38-41]。其次,天然林的林分

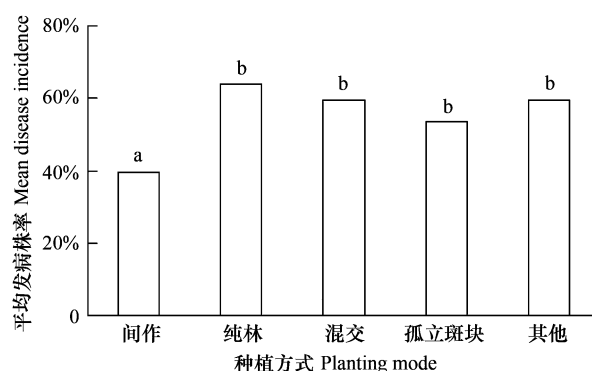


图4 不同斑块类型发病株率差异;图中柱上字母相同者表示差异不显著

Fig. 4 Comparison of disease incidence (DI) among poplar stand types, in which stand types also represent patch types in Qingfeng County

密度是影响树势的最直接因素,而树势与竞争压力直接相关,并且树势衰弱容易引发病虫害的发生^[42]。对特定的人工林而言,由于龄期一致,其径级分布也大致相同;因此,随着林龄的增长,由于不存在因自疏效应导致的林分密度调节,因此在林分水平上,密度因素有可能成为影响人工林树木个体树势的关键因素^[43];而树势降低则有进一步诱发病虫害爆发的可能。同时,人工林的种植由于品种单一,在景观水平上形成资源种类贫乏、分布过于集中等特征,因而使群体内和群体间的联合抗性作用降低^[44-45],进而使得人工林的病虫害大规模爆发成为可能。因为“联合抗性假说”认为,在特定森林系统中除寄主树木本身的抗性外,寄主树木与临近的其它物种整体上会表现出“联合抗性”从而在一定程度上能自主调控病虫害的爆发^[44-45]。

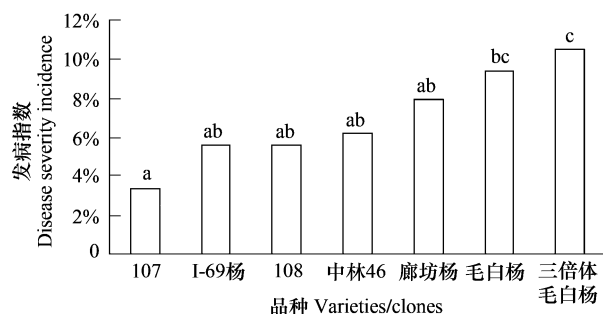


图5 不同杨树品种发病指数差异比较

Fig. 5 Comparison of disease severity incidence (DSI) among poplar varieties in Qingfeng County

图中柱上字母相同者表示差异不显著

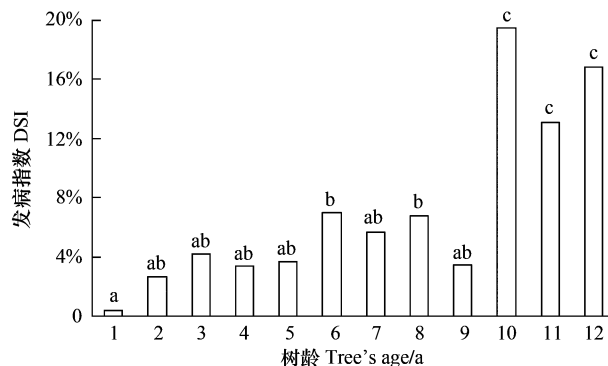


图6 树龄1—12a发病指数差异

Fig. 6 Comparison of disease severity incidence (DSI) among stands with age range 1 to 12 years old in Qingfeng County

图中柱上字母相同者表示差异不显著

本研究结果发现,在中型景观尺度下(100 km²),杨树人工林的平均发病株率在不同林龄、不同密度及不同郁闭度林分中均存在极显著的差异。整体上,林分发病株率与林龄(1—12 a) ($R^2 = 0.281$, $P < 0.001$) (表1)、林分密度 ($R^2 = 0.195$, $P = 0.003$) (表1) 分别呈极显著正相关关系;同时随着林分郁闭度升高,林分平均发病株率也随之增高 ($R^2 = 0.246$, $P < 0.001$) (表1)。一般地,林分郁闭度与林龄和密度呈现一定的相关关系^[46-47],因此可以认为,林龄和林分密度在病害发生过程中起到相对重要的作用。因为随着林分密度增加,密度效应会增强林分内个体间的竞争,林分中树木个体的树势有可能因个体间对空间、光照及水肥竞争加剧呈现整体降低的趋势^[48];而杨树枝干病害的病原大多为弱寄生菌,只有当树势降低,这些病害才有逐渐加重的可能^[16-17, 21, 49]。在林分水平上,许多研究证实杨树人工林的林分密度影响发病株率、尤其对叶部病害,同时这种影响在世界各地杨树人工林中的表现具有一定的普遍性^[10-11, 50-52]。本研究结果再次从景观水平上验证这一结论,同时也验证林分密度对杨树干部病害的发生也具有关键作用。

研究证实,在微型或中型景观尺度(如数十至数百公顷),景观连接度能够促进病原传播和扩散,但病害的爆发又受到景观内斑块面积和斑块孤立程度的制约^[53-55]。因此,有学者建议采用小面积(10—20 hm²)独立斑块的网格状形式营造人工林,斑块间设置600—900m的间隔并种植抗病品种作为隔离带,可以较为有效地控制病原扩散以及病害的爆发^[33, 56]。在本调查区域,采用林分类型和不同种植方式划分调查区的斑块类型^[33],孤立的人工林斑块数量较少。发病株率在不同斑块类型间表现出显著的差异;虽然孤立斑块的整体发

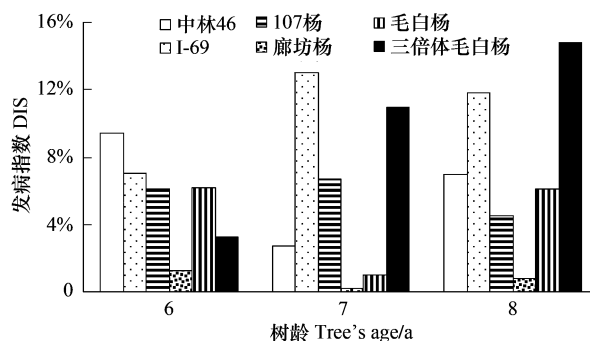


图7 主栽品种6—8龄期发病指数比较

Fig. 7 Comparison of disease severity index (DSI) among 6—8 years old poplar clone in Qingfeng County, China

病株率低于纯林、混交林和其他林分(主要为四旁绿化林),但这些种植方式内林木发病株率没有显著差异(图4),同时均显著高于农田间作的林木发病株率。农田间作林分发病株率低可以归结为两个原因:(1)农田间作林大都有较好的生长条件和管理水平,如水肥条件相对较高、定期的修枝抚育措施,同时也可能存在一些病虫害防治方面的措施;(2)农田间作多采用较大的株行距,因而林分多保持在较低的密度水平,而低密度林分在该区域的整体发病株率均维持在较低水平。

当考察不同品种的发病指数(DSI)时发现,不同品种间的DSI存在显著差异、同时整体上不同树龄的DSI差异也极显著;当考虑品种与树龄交互作用的情况下考察DSI的差异时发现,DSI在不同品种、不同树龄下的差异是极显著的。其中107杨的平均DSI最低(<4%);三倍体毛白杨的DSI最高,平均达10.48%,显著高于其他所有品种。总体上,中林46、廊坊杨、毛白杨、I-69杨和108杨等品种之间的DSI差异不显著,但均显著低于三倍体毛白杨(图5)。从不同龄期树木DSI的分布看,1a的寄主DSI显著低于所有其他树龄的,而10—12a时DSI最高,显著和极显著高于其他各龄组的DSI。虽然发病指数与发病株率分别反映了树木个体发病程度和整体的林分发病株率,其相关性不一定是紧密的、即发病株率高不一定意味着树木个体发病程度严重,但发病指数高很可能与发病株率高是相关的。从本研究结果看,发病指数似乎与发病株率存在一定的相关性,如整体上林分发病株率随着林龄的增加而增加,第10年达到最大,随后逐渐降低(图1);而相对应的,林分内树木个体的发病指数随着树龄增加有逐渐加重的趋势,并在10—12a时最为严重。

尽管当前我国杨树人工林面积占全球杨树人工林面积的73%,但我国杨树人工林的木材年产量仅占全球杨树人工林木材年产量的53%^[4, 57],说明我国杨树人工林单位面积的立木生长量和产量均处于较低的水平。其中,最重要的制约因素之一是杨树人工林病虫害的大面积持续为害。杨树病害的发生特点表现为寄主主导性,特别是枝干病害如溃疡病和烂皮病发生主要受到寄主树势的影响,当树势衰弱时,这类病害更容易大规模爆发^[12, 58]。杨树病害的这种发生特点成为限制区域化人工林病害防治的主要制约因素,因为树势的强弱受到许多相关因素的影响,如立地条件(包括土壤类型、气候条件、水肥条件等)、管理水平、林分特征以及品种(或无性系)的生长特性和适应性,等。由于树势强弱的评估受到上述因素的限制,病害的预测预报常常滞后于病害的实际发生情况。

综上所述,本研究得到如下启示:

(1)区域化的杨树人工林病害防治应当更加注重营林技术与病虫害防控技术相结合,从而达到病害“生态控制”的最终目标^[41, 59]。由于林分密度(及林龄)对发病株率、发病指数起到关键作用,适时间伐以调节林分密度有可能成为预防杨树人工林病害在景观水平上发生、流行与爆发的关键。例如:通过数十年定位标准地研究发现,利用间伐措施可以有效增加留存的樟子松(*Pinus sylvestris* var. *mongolica*)的生长量,并大大降低松枯梢病的为害程度^[60]。因此,确定杨树人工林用途并采取不同龄期的间伐以降低林分密度有可能降低整体发病株率,同时符合保留少量优良个体培养大径级用材的目的。

(2)从分析结果看,景观病理学研究不但能够解析大区域尺度下人工林病害流行机制,还能够帮助判别不同栽培品种在同一地理区域内的适应性、尤其是当气候条件一致以及土壤条件基本一致的情况下。例如,I-69杨和三倍体毛白杨的发病指数显著高于其他主栽品种(图7),田间调查发现6—8a时I-69杨因感染溃疡病发生猝死率较高,而三倍体毛白杨在当地主要存在蛀干害虫严重、主干干形扭曲等问题,尤其6a后这种状况更加严重,很多个体树冠部主干折断,诱发侧枝大量萌发,使得主干可利用率降低。因此,这2个品种不适宜在这个区域培育大径级用材。

(3)在本调查区域,1—4a的林分整体发病株率以及树木个体发病指数均较低;因此,确立不同用途的人工林栽培模式也是预防病害发生的一个有效途径。例如,目前许多国家和地区采用密植技术并以2—4a为采伐周期,发展以收获生物量为目的的短周期作物林,其产量高、固碳效果明显^[61-64]。在本研究区域,如果能利用三倍体毛白杨苗期及幼龄期生长性状良好的特点^[65],采用这种密植方式,将采伐时间提前,这样就有可能避免到生长后期因发病株率和发病指数显著提高、严重降低产量和利用价值的问题。

致谢:濮阳市林科所赵俊芳、清丰县林技站工作人员协助田间数据收集;国家林业局泡桐研究开发中心杨超伟、朱景乐协助数据收集、整理和分析;北京师范大学石建斌博士、澳大利亚联邦科工组织(CSIRO)大气研究所王应平博士对写作给予帮助,特此致谢。

References:

- [1] Jin Z D. Present managing situations and intensive management of man-made forest in China. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2003, 11(1): 133-134.
- [2] Freer-Smith P H, Broadmeadow M S J, Lynch J M. *Forestry and Climate Change*. Trowbridge: Cromwell Press, 2007: 4-5.
- [3] Li C Y, Zhou X F. Status and future trends in plantation silviculture in China. *AMBIO: A Journal of the Human Environment*, 2000, 29(6): 354-355.
- [4] Liang W, Hu H Q, Liu F J, Zhang D M. Research advance of biomass and carbon storage of poplar in China. *Journal of Forestry Research*, 2006, 17(1): 75-79.
- [5] Li S W, Zhang Z Y, Luo J M, He C Z, Pu Y S, An X M. Progress and strategies in cross breeding of poplars in China. *Forestry Studies in China*, 2005, 7(3): 54-60.
- [6] Coyle D R, Nebeker T E, Hart E R, Mattson W J. Biology and management of insect pests in North American intensively managed hardwood forest systems. *Annual Review of Entomology*, 2005, 50: 1-29.
- [7] Christersson L. Poplar plantations for paper and energy in the south of Sweden. *Biomass and Bioenergy*, 2008, 32(11): 997-1000.
- [8] Fang S, Xue J, Tang L. Biomass production and carbon sequestration potential in poplar plantations with different management patterns. *Journal of Environmental Management*, 2007, 85(3): 672-679.
- [9] Cao H. Occurrence and control of poplar canker disease. *Modern Agricultural Sciences*, 2009, 11. DOI: CNKI:SUN:NCSY.0.2009-11-045.
- [10] Nenad K, Milan M, Stania B, Biljana, Mirjana N, Radmila K, Jelena M, Martin B, Sinia A, Zoran G. Diseases in poplar plantations. *Glasnik*, 2008, 97: 7-31.
- [11] Dickmann D I, Isebrands J G, Eckenwalder J E, Richardson J. *Poplar Culture in North America*. Ottawa: NRC Research Press, 2001: 219-248.
- [12] Zhang X Y, Luo Y Q, Ye J R, Sun J H, Liang J. Forest biological disasters in China in the new forestry times. *Forest Pest and Disease*, 2004, 23(6): 8-12.
- [13] Zhang X Y, Luo Y Q. *Major Forest Pest and Disease in China*. Beijing: Forestry Press of China, 2003.
- [14] Xu M Q, Zhou X D, Piao C G. Populus cultivation-clones in different cultivated area and its diseases in China. *Forest Research*, 2009, 22(5): 705-714.
- [15] Steenackers J, Steenackers M, Steenackers V, Stevens M. Poplar diseases, consequences on growth and wood quality. *Biomass and Bioenergy*, 1996, 10(5/6): 267-274.
- [16] Liang J, Jiang J Q, Liu H X, Jia X Z, Zhao J P, Wang Y. Study on the pathology of poplar-canker pathogen interaction in China. *Forest Research*, 2005, 18(2): 214-221.
- [17] Zhang X Y, Zhao J P, Liang J, Lu Q. Pathogenicity differentiation of tree stem canker pathogenic fungi. *Forest Pest and Disease*, 2008, 27(1): 1-4.
- [18] Guo L M, Zhang M F, Wang H X. New poplar disease found in Puyang. *Journal of Henan Forest Technology*, 2008, 28(3): 36-36, F0004.
- [19] He W, Ren F J, Guo L M, Li Y, Chang J P. Pathogen identification of *Populus xeuramericana* canker disease. *Scientia Silvae Sinicae*, 2009, 45(6): 104-108.
- [20] Huang J L, Su X H. The advance of canker disease-resistance breeding in poplar. *World Forestry Research*, 2003, 16(4): 49-53.
- [21] Liu H X, Jia X Z, Lu Q, Liang J. Occurrence and control of poplar canker disease in China. *World Forestry Research*, 2005, 18(4): 60-63.
- [22] Ostfeld R S, Glass G E, Keesing F. Spatial epidemiology: an emerging (or re-emerging) discipline. *Trends in Ecology & Evolution*, 2005, 20(6): 328-336.
- [23] Plantegenest M, Le May C, Fabre F. Landscape epidemiology of plant diseases. *Journal of the Royal Society Interface*, 2007, 4(16): 963-973.
- [24] Holdenrieder O, Pautasso M, Weisberg P J, Lonsdale D. Tree diseases and landscape processes: the challenge of landscape pathology. *Trends in Ecology & Evolution*, 2004, 19(8): 446-452.
- [25] Sun Z Q, Zhang X Y, Xiao W F, Liang J, Zhang Z X. Landscape pathology—a new perspective in forest protection field. *Scientia Silvae Sinicae*, 2010, 46(3): 139-145.
- [26] Worrall J J, Egeland L, Eager T, Mask R A, Johnson E W, Kemp P A, Shepperd W D. Rapid mortality of *Populus tremuloides* in southwestern Colorado, USA. *Forest Ecology and Management*, 2008, 255(3/4): 686-696.

- [27] La Manna L, Matteucci S D, Kitzberger T. Abiotic factors related to the incidence of the *Austrocedrus chilensis* disease syndrome at a landscape scale. *Forest Ecology and Management*, 2008, 256(5): 1087-1095.
- [28] Van Mantgem P J, Stephenson N L, Byrne J C, Daniels L D, Franklin J F, Fule P Z, Harmon M E, Larson A J, Smith J M, Taylor A H, Veblen T T. Widespread increase of tree mortality rates in the western United States. *Science*, 2009, 323(5913): 521-522.
- [29] Zhang Z H, Dong X W, Yan D L, Wang L M. On infectious degree of 25 species of poplar by *Valsa sordida*. *Protection Forest Science and Technology*, 2005, (4): 28-29.
- [30] Lou J Z, Wang J X, Zhao S M. Suggestions for Puyang to create a 'National Forestry City'. *Modern Agriculture Technology*, 2009, (18): 33-36.
- [31] Wei R F. Assessment of ecological value of urban forest of Puyang City. *Journal of Chinese Urban Forestry*, 2008, 6(2): 15-16.
- [32] Ramsey F L, Schafer D W. *The Statistical Sleuth: A Course in Methods of Data Analysis*. California: Duxbury Press Belmont, 1997.
- [33] Perkins T E, Matlack G R. Human-generated pattern in commercial forests of southern Mississippi and consequences for the spread of pests and pathogens. *Forest Ecology and Management*, 2002, 157(1/3): 143-154.
- [34] Forman R T T, Godron M. Patches and structural components for landscape ecology. *BioScience*, 1981, 31(10): 733-740.
- [35] Wu J G. *Landscape Ecology—Pattern, Process, Scale and Hierarchy*. Beijing: Advanced Educational Press, 2000.
- [36] Bodin P, Wiman B L B. The usefulness of stability concepts in forest management when coping with increasing climate uncertainties. *Forest Ecology and Management*, 2007, 242(2/3): 541-552.
- [37] Oliver C D, Larson B C. *Forest Stand Dynamics*. New York: John Wiley & Sons, 1996.
- [38] McCarthy J W, Weetman G. Self-thinning dynamics in a balsam fir (*Abies balsamea* (L.) Mill.) insect-mediated boreal forest chronosequence. *Forest Ecology and Management*, 2007, 241(1/3): 295-309.
- [39] Karlsson P S, Weih M. Long-term patterns of leaf, shoot and wood production after insect herbivory in the Mountain Birch. *Functional Ecology*, 2003, 17(6): 841-850.
- [40] Wulder M A, Franklin S E. *Understanding Forest Disturbance and Spatial Pattern: Remote Sensing and GIS Approaches*. Boca Raton: CRC Press, 2006.
- [41] Liang J, Sun Z Q, Qiao J, Zhang X Y. Relations between natural forest stability and pest disturbance- to control and to be controlled. *Acta Ecologica Sinica*, 2010, 30(9): 2454-2464.
- [42] Larsson S. Stressful times for the plant stress: insect performance hypothesis. *Oikos*, 1989, 56(2): 277-283.
- [43] Waring R H, Schroeder P E, Oren R. Application of the pipe model theory to predict canopy leaf area. *Journal of Forest Research*, 1982, 12: 556-560.
- [44] Tahvanainen J O, Root R B. The influence of vegetational diversity on the population ecology of a specialized herbivore, *Phyllotreta cruciferae* (Coleoptera: Chrysomelidae). *Oecologia*, 1972, 10(4): 321-346.
- [45] Root R B. Organization of a plant-arthropod association in simple and diverse habitats: the fauna of collards (*Brassica oleracea*). *Ecological Monographs*, 1973, 43(1): 95-124.
- [46] Xie F J, Xiao D N, Li X Z. Forest crown density restoration and influencing factors in the burned area of northern Great Xing'an Mountains of China. *Acta Ecologica Sinica*, 2007, 27(3): 879-888.
- [47] Li Y N, Zhang B L, Qin S Y, Li S Y, Huang X R. Review of research and application of forest canopy closure and its measuring methods. *World Forestry Research*, 2008, 21(1): 40-46.
- [48] Lin Q Y, Li W S. Competition density effect of *Populus deltoids* Bartr. CI. Lux I-69/55. *Forest Science and Technology*, 1999, (11): 10-12.
- [49] Weiland J E, Stanosz J A C, Stanosz G R. Prediction of long-term canker disease damage from the responses of juvenile poplar clones to inoculation with *Septoria musiva*. *Plant Disease*, 2003, 87(12): 1507-1514.
- [50] Schiffer A L Jr. Poplar plantation density influences foliage disease//Intensive Plantation Culture: Five Years Research. USDA For Serv Gen Tech Rep NC-21. Washington DC: Perkin-Elmer Corporation, 1976: 81-84.
- [51] Newcombe G, Ostry M, Hubbes M, Perinet P, Mottet M J. Poplar diseases//Dickmann D I, Isebrands J G, Eckenwalder J E, Richardson J, eds. *Poplar Culture in North America*. Ottawa: NRC Research Press, 2001: 249-276.
- [52] Dickmann D I. Silviculture and biology of short-rotation woody crops in temperate regions: then and now. *Biomass and Bioenergy*, 2006, 30(8/9): 696-705.
- [53] Hamelin R C, Hunt R S, Geils B W, Jensen G D, Jacobi V, Lecours N. Barrier to gene flow between eastern and western populations of *Cronartium ribicola* in North America. *Phytopathology*, 2000, 90(10): 1073-1078.
- [54] Powers J S, Sollins P, Harmon M E, Jones J A. Plant-pest interactions in time and space: a Douglas-fir bark beetle outbreak as a case study. *Landscape Ecology*, 1999, 14(2): 105-120.

- [55] Ylioja T, Slone D H, Ayres M P. Mismatch between herbivore behavior and demographics contribute to scale-dependence of host susceptibility in two pine species. *Forest Science*, 2005, 51(6): 522-531.
- [56] Mattson W J, Hart E A, Volney W J A. Insect pests of *Populus*: coping with the inevitable//Dickmann D I, Isebrands J G, Eckenwalder J E, Richardson J, eds. *Poplar Culture in North America*. Ottawa: NRC Research Press, 2001: 219-248.
- [57] Ball J, Carle J, Del Lungo A. Contribution of poplars and willows to sustainable forestry and rural development. *UNASYLVA-FAO*, 2005, 56(2): 3-14.
- [58] Luo Y Q, Zhang X Y. Forest protection towards 21st century. *Review of China Agricultural Science and Technology*, 2000, 2(1): 67-72.
- [59] Liang J, Zhang X Y. Biological control of forest pest. *Scientia Silvae Sinicae*, 2005, 41(4): 168-176.
- [60] Song X D, Liu G R, Chen J Y, Wu J Y, Xu G J, Li S H, Wu X G. The causes and management of the decline of *Pinus sylvestris* var. *mongolica*. *Journal of Beihua University: Natural Science Edition*, 2003, 4(2): 166-169, 177-177.
- [61] Deckmyn G, Laureysens I, Garcia J, Muys B, Ceulemans R. Poplar growth and yield in short rotation coppice: model simulations using the process model SECRETS. *Biomass and Bioenergy*, 2004, 26(3): 221-227.
- [62] Deckmyn G, Muys B, Quijano J G, Ceulemans R. Carbon sequestration following afforestation of agricultural soils: comparing oak/beechn forest to short-rotation poplar coppice combining a process and a carbon accounting model. *Global Change Biology*, 2004, 10(9): 1482-1491.
- [63] Labrecque M, Teodorescu T I. Field performance and biomass production of 12 willow and poplar clones in short-rotation coppice in southern Quebec (Canada). *Biomass and Bioenergy*, 2005, 29(1): 1-9.
- [64] Afas N A, Marron N, Van Dongen S, Laureysens I, Ceulemans R. Dynamics of biomass production in a poplar coppice culture over three rotations (11 years). *Forest Ecology and Management*, 2008, 255 (5/6): 1883-1891.
- [65] Ma Y M, Wang Y, Xuan C L, Yang H W, Di Y J, Gao H. Growth traits of triploid clone of *Populus tomentosa*. *Journal of Shandong Forestry Science and Technology*, 2005, (5): 11-14.

参考文献:

- [1] 金正道. 我国人工林经营现状与集约经营对策. *中国农业生态学报*, 2003, 11(1): 133-134.
- [12] 张星耀, 骆有庆, 叶建仁, 孙江华, 梁军. 国家林业新时期的森林生物灾害研究. *中国森林病虫*, 2004, 23(6): 8-12.
- [13] 张星耀, 骆有庆. 中国森林重大生物灾害. 北京: 中国林业出版社, 2003.
- [14] 徐梅卿, 周旭东, 朴春根. 中国不同栽培区杨树品系及其病害种类. *林业科学研究*, 2009, 22(5): 705-714.
- [16] 梁军, 姜俊清, 刘会香, 贾秀贞, 赵嘉平, 王媛. 我国杨树与溃疡病菌互作的病理学研究. *林业科学研究*, 2005, 18(2): 214-221.
- [17] 张星耀, 赵嘉平, 梁军, 吕全. 树木枝干溃疡病菌致病力分化研究. *中国森林病虫*, 2008, 27(1): 1-4.
- [18] 郭利民, 张鸣放, 王洪轩. 濮阳市发现杨树新病害. *河南林业科技*, 2008, 28(3): 36-36, F0004.
- [19] 贺伟, 任飞娟, 郭利民, 李永, 常聚普. 欧美杨溃疡病的病原鉴定. *林业科学*, 2009, 45(6): 104-108.
- [20] 黄烈健, 苏晓华. 我国杨树溃疡病研究进展. *世界林业研究*, 2003, 16(4): 49-53.
- [21] 刘会香, 贾秀贞, 吕全, 梁军. 中国杨树溃疡病的发生与防治. *世界林业研究*, 2005, 18(4): 60-63.
- [25] 孙志强, 张星耀, 肖文法, 梁军, 张兆欣. 景观病理学: 森林保护学领域的新视角. *林业科学*, 2010, 46(3): 139-145.
- [29] 张忠华, 董希文, 闫敦梁, 王丽敏. 25 种杨树感发烂皮病程度的研究. *防护林科技*, 2005, (4): 28-29.
- [30] 姜建周, 王军霞, 赵素梅. 濮阳市创建“国家森林城市”的对策建议. *现代农村科技*, 2009, (18): 33-36.
- [31] 魏瑞芳. 濮阳市城市森林生态功能价值评估. *中国城市林业*, 2008, 6(2): 15-16.
- [35] 邬建国. 景观生态学——格局, 过程, 尺度与等级. 北京: 高等教育出版社, 2000.
- [41] 梁军, 孙志强, 乔杰, 张星耀. 天然林生态系统稳定性与病虫害干扰的关系: 调控与被调控. *生态学报*, 2010, 30(9): 2454-2464.
- [46] 解伏菊, 肖笃宁, 李秀珍. 大兴安岭北坡火烧迹地森林郁闭度恢复及其影响因子. *生态学报*, 2007, 27(3): 879-888.
- [47] 李永宁, 张宾兰, 秦淑英, 李帅英, 黄选瑞. 郁闭度及其测定方法研究与应用. *世界林业研究*, 2008, 21(1): 40-46.
- [48] 林全业. 李伟山. I-69 杨林分竞争密度效应. *林业科技通讯*, 1999, (11): 10-12.
- [58] 骆有庆, 张星耀. 面向 21 世纪的森林防灾减灾. *中国农业科技导报*, 2000, 2(1): 67-72.
- [59] 梁军, 张星耀. 森林有害生物生态控制. *林业科学*, 2005, 41(4): 168-176.
- [60] 宋晓东, 刘桂荣, 陈江燕, 吴景云, 徐贵军, 李淑华, 吴锈钢. 樟子松枯死原因与防治技术研究. *北华大学学报: 自然科学版*, 2003, 4(2): 166-169, 177-177.
- [65] 马玉敏, 王迎, 玄成龙, 杨红河, 耿玉杰, 高红. 三倍体毛白杨无性系生长性状研究. *山东林业科技*, 2005, (5): 11-14.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 31, No. 10 May, 2011 (Semimonthly)

CONTENTS

Circadian activity pattern of giant pandas during the bamboo growing season	ZHANG Jindong, Vanessa HULL, HUANG Jinyan, et al (2655)
The vivipary characteristic of <i>Anabasis elatior</i> and its ecological adaptation	HAN Jianxin, WEI Yan, YAN Cheng, et al (2662)
Relationships between plant community characteristics and environmental factors in the typical profiles from Dzungaria Basin	ZHAO Congju, KANG Muyi, LEI Jiaqiang (2669)
The relationship between pollen assemblage in topsoil and vegetation in karst mountain during different restoration period of typical vegetation community	HAO Xiudong, OUYANG Xuhong, XIE Shiyong, et al (2678)
Early responses of soil CO ₂ emission to simulating atmospheric nitrogen deposition in an alpine meadow on the Qinghai Tibetan Plateau	ZHU Tianhong, CHENG Shulan, FANG Huajun, et al (2687)
Spatial pattern of soil moisture and vegetation attributes along the critical area of desertification in Southern Mu Us Sandy Land	QIU Kaiyang, XIE Yingzhong, XU Dongmei, et al (2697)
Dynamics of dominant tree seedlings in montane evergreen broadleaved forest following a snow disaster in North Guangdong	OU Yudian, SU Zhiyao, XIE Dandan, et al (2708)
A comparative analysis of the hydrological effects of the four cypress stand types in Sichuan Basin	GONG Gutang, CHEN Junhua, LI Yanqiong, et al (2716)
Effect of cutting management on soil moisture in semi-arid Loess Hilly region	LI Yaolin, GUO Zhongsheng (2727)
Dynamics of understory vegetation biomass in successive rotations of Chinese fir (<i>Cunninghamia lanceolata</i>) plantations	YANG Chao, TIAN Dalun, HU Yueli, et al (2737)
Spatial and temporal variation of solar radiation in recent 48 years in North China	YANG Jianying, LIU Qin, YAN Changrong, et al (2748)
Impact of stand features of short-rotation poplar plantations on canker disease incidence at a mesoscale landscape: a case study in Qingfeng County, Henan Province, China	WANG Jing, CUI Lingjun, LIANG Jun, et al (2757)
Effects of different soil tillage systems on weed biodiversity and wheat yield in winter wheat (<i>Triticum aestivum</i> L.) field	TIAN Xinxin, BO Cunyao, LI Li, et al (2768)
Habitat suitability evaluation of Elliot's pheasant (<i>Syrnaticus ellioti</i>) in Guanshan Nature Reserve	CHEN Junhao, HUANG Xiaofeng, LU Changhu, et al (2776)
Relationships between arthropod community characteristic and meteorological factors in <i>Zanthoxylum bungeanum</i> gardens	GAO Xin, ZHANG Xiaoming, YANG Jie, et al (2788)
The differences of ecosystem services between vegetation restoration models at desert front	ZHOU Zhiqiang, LI Ming, HOU Jianguo, et al (2797)
Response to salt stresses and assessment of salt tolerability of soybean varieties in emergence and seedling stages	ZHANG Haibo, CUI Jizhe, CAO Tiantian, et al (2805)
Dynamic change of salt contents in rhizosphere soil of salt-tolerant plants	DONG Liping, CAO Jing, LI Xianting, et al (2813)
Effect of short-term salt stress on the absorption of K ⁺ and accumulation of Na ⁺ , K ⁺ in seedlings of different wheat varieties	WANG Xiaodong, WANG Cheng, MA Zhihong, et al (2822)
Effects of the micro-environment inside fruit bags on the structure of fruit peel in 'Fuji' apple	HAO Yanyan, ZHAO Qifeng, LIU Qunlong, et al (2831)
Enhancement of soil quality in a rice-wheat rotation after long-term application of poultry litter and livestock manure	LI Jiangtao, ZHONG Xiaolan, ZHAO Qiguo (2837)
MSAP analysis of DNA methylation in <i>Arabidopsis</i> (<i>Arabidopsis thaliana</i>) under Oxytetracycline Stress	DU Yaqiong, WANG Zicheng, LI Xia (2846)
Distribution of dinoflagellate cysts in surface sediments from Changshan Archipelago in the North Yellow Sea	SHAO Kuishuang, GONG Ning, YANG Qing, et al (2854)
Developing and optimizing ecological networks in urban agglomeration of Hunan Province, China	YIN Haiwei, KONG Fanhua, QI Yi, et al (2863)
Dynamic simulation of Shanghai urban expansion based on multi-agent system and cellular automata models	QUAN Quan, TIAN Guangjin, SHA Moquan (2875)
"Micro-canyon effect" of city road green belt and its effect on the pollutant concentration above roads for non-motorized vehicles	LI Ping, WANG Song, WANG Yaying, et al (2888)
Review and Monograph	
The abundance and diversity of nanoplankton in Arctic Ocean	GUO Chaoying, WANG Guizhong, ZHANG Fang, et al (2897)
Advances in plant seed-associated microbial ecology	ZOU Yuanyuan, LIU Yang, WANG Jianhua, et al (2906)
Improving validity and reliability of contingent valuation method through reducing biases and errors: theory, method and application	CAI Zhijian, DU Liyong, JIANG Zhan (2915)
Discussion	
The analysis of Chinese ecological academic journals	LIU Tianxing, KONG Hongmei, DUAN Jing (2924)
Scientific Note	
Seasonal variations in salt tolerance of <i>Oligostachyum lubricum</i>	GU Daxing, GUO Ziwu, LI Yingchun, et al (2932)
Variation of a spring bacterial community from Wuqia Sinter in Xinjiang during the pre- and post-earthquake period	YANG Hongmei, OTKUR Mahmut, ZENG Jun, et al (2940)
Comparison of the effect of two prey species on the population growth of <i>Orius similis</i> Zheng and the implications for the control of <i>Tetranychus urticae</i> Koch	HUANG Zengyu, HUANG Linmao, HUANG Shoushan (2947)

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 10 期 (2011 年 5 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 31 No. 10 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	Edited by	Editorial board of ACTA ECOLOGICA SINICA Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China Tel:(010)62941099 www.ecologica.cn Shengtaixuebao@rcees.ac.cn
主 编	冯宗炜	Editor-in-chief	FENG Zong-Wei
主 管	中国科学技术协会	Supervised by	China Association for Science and Technology
主 办	中国生态学会 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@csppg.net	Distributed by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel:(010)64034563 E-mail:journal@csppg.net
订 购	全国各地邮局	Domestic	All Local Post Offices in China
国外发行	中国国际图书贸易总公司 地址:北京 399 信箱 邮政编码:100044	Foreign	China International Book Trading Corporation Add:P. O. Box 399 Beijing 100044, China
广告经营 许 可 证	京海工商广字第 8013 号		



ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

国内外公开发行

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 70.00 元