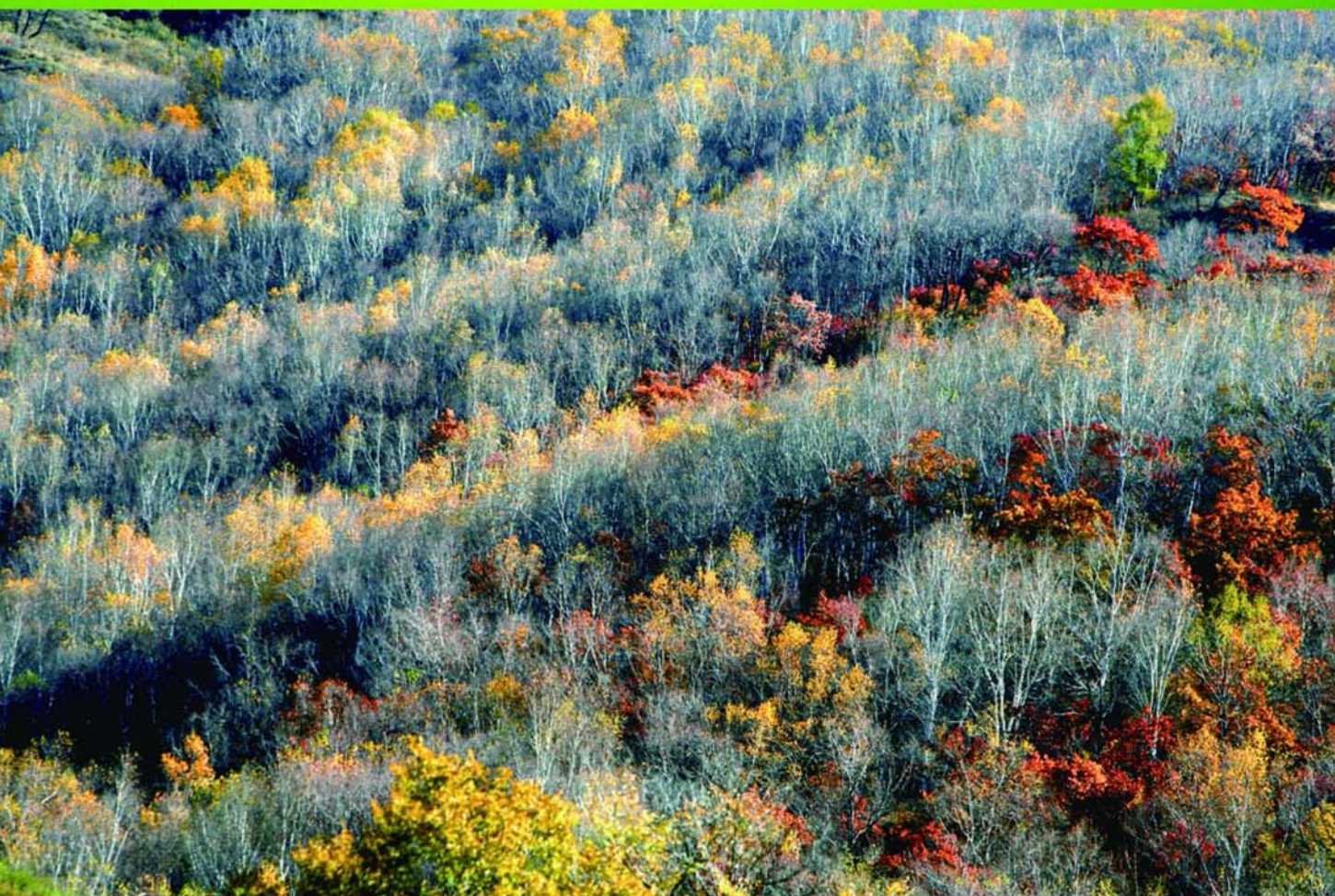


ISSN 1000-0933

CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第31卷 第16期 Vol.31 No.16 **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 16 期

2011 年 8 月 (半月刊)

目次

人工和天然湿地芦苇根际土壤细菌群落结构多样性的比较·····	汪仲琼,王为东,祝贵兵,等 (4489)
不同土壤水分下山杏光合作用光响应过程及其模拟·····	郎莹,张光灿,张征坤,等 (4499)
不同颜色遮阳网遮光对丘陵茶园夏秋茶和春茶产量及主要生化成分的影响·····	秦志敏,付晓青,肖润林,等 (4509)
镉胁迫对烟草叶激素水平、光合特性、荧光特性的影响·····	吴坤,吴中红,邵付菊,等 (4517)
条浒苔和缘管浒苔对镉胁迫的生理响应比较·····	蒋和平,郑青松,朱明,等 (4525)
盐胁迫对拟南芥和盐芥莲座叶芥子油苷含量的影响·····	庞秋颖,陈思学,于涛,等 (4534)
长期双季稻绿肥轮作对水稻产量及稻田土壤有机质的影响·····	高菊生,曹卫东,李冬初,等 (4542)
基于水量平衡下灌区农田系统中氮素迁移及平衡的分析·····	杜军,杨培岭,李云开,等 (4549)
苏北海滨湿地互花米草种子特征及实生苗生长·····	徐伟伟,王国祥,刘金娥,等 (4560)
基于 AnnAGNPS 模型的三峡库区秭归县非点源污染输出评价·····	田耀武,黄志霖,肖文发 (4568)
镉污染对不同生境拟水狼蛛氧化酶和金属硫蛋白应激的影响·····	张征田,庞振凌,夏敏,等 (4579)
印度洋南赤道流区水体叶绿素 a 的分布及粒级结构·····	周亚东,王春生,王小谷,等 (4586)
长江口滩涂围垦后水鸟群落结构的变化——以南汇东滩为例·····	张斌,袁晓,裴恩乐,等 (4599)
应用鱼类完整性指数 (FAII) 评价长江口沿岸碎波带健康状况·····	毛成贵,钟俊生,蒋日进,等 (4609)
基于渔业调查的南极半岛北部水域南极磷虾种群年龄结构分析·····	朱国平,吴强,冯春雷,等 (4620)
水稻模型 ORYZA2000 在湖南双季稻区的验证与适应性评价·····	莫志鸿,冯利平,邹海平,等 (4628)
旱地农田不同耕作系统的能量/碳平衡·····	王小彬,王燕,代快,等 (4638)
宁夏黄灌区稻田冬春休闲期硝态氮淋失量·····	王永生,杨世琦 (4653)
太湖沉积物有机碳与氮的来源·····	倪兆奎,李跃进,王圣瑞,等 (4661)
日偏食对乌鲁木齐空气可培养细菌群落的影响·····	马晶,孙建,张涛,等 (4671)
灰飞虱与褐飞虱种内和种间密度效应比较·····	吕进,曹婷婷,王丽萍,等 (4680)
圈养马来熊行为节律和时间分配的季节变化·····	兰存子,刘振生,王爱善,等 (4689)
塔里木荒漠河岸林干扰状况与林隙特征·····	韩路,王海珍,陈加利,等 (4699)
珍稀植物伯乐树一年生更新幼苗的死亡原因和保育策略·····	乔琦,秦新生,邢福武,等 (4709)
垃圾堆肥复合菌剂对干旱胁迫下草坪植物生理生态特性的影响·····	多立安,王晶晶,赵树兰 (4717)
CLM3.0-DGVM 中植物叶面积指数与气候因子的时空关系·····	邵璞,曾晓东 (4725)
基于生态效率的辽宁省循环经济分析·····	韩瑞玲,佟连军,宋亚楠 (4732)
专论与综述	
土壤食物网中的真菌/细菌比率及测定方法·····	曹志平,李德鹏,韩雪梅 (4741)
生态社区评价指标体系研究进展·····	周传斌,戴欣,王如松,等 (4749)
问题讨论	
不同胁迫条件下化感与非化感水稻 PAL 多基因家族的差异表达·····	方长甸,王清水,余彦,等 (4760)
研究简报	
钦州湾大型底栖动物生态学研究·····	王迪,陈丕茂,马媛 (4768)
人工恢复黄河三角洲湿地土壤碳氮含量变化特征·····	董凯凯,王惠,杨丽原,等 (4778)
基于地统计学丰林自然保护区森林生物量估测及空间格局分析·····	刘晓梅,布仁仓,邓华卫,等 (4783)
晋西黄土区辽东栎、山杨树干液流比较研究·····	隋旭红,张建军,文万荣 (4791)
小兴安岭典型苔草和灌木沼泽 N ₂ O 排放及影响因子·····	石兰英,牟长城,田新民,等 (4799)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 316 * zh * P * ¥ 70.00 * 1510 * 35 * 2011-08



封面图说:在长白山麓低海拔地区的晚秋季节,成片的白桦林用无数根白色的树干、树枝烘托着林冠上跳动的金黄色叶片,共生的柞木树冠用更浓重的颜色显示了它的存在,整个山梁层林尽染,秋意浓浓。

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

韩路,王海珍,陈加利,于军. 塔里木荒漠河岸林干扰状况与林隙特征. 生态学报, 2011, 31(16): 4699-4708.

Han L, Wang H Z, Chen J L, Yu J. Disturbance regimes and gaps characteristics of the desert riparian forest at the middle reaches of Tarim River. Acta Ecologica Sinica, 2011, 31(16): 4699-4708.

塔里木荒漠河岸林干扰状况与林隙特征

韩 路^{1,2,*}, 王海珍^{1,2}, 陈加利², 于 军²

(1. 新疆生产建设兵团塔里木盆地生物资源保护利用重点实验室, 新疆阿拉尔 843300; 2. 塔里木大学植物科学学院, 新疆阿拉尔 843300)

摘要:对塔里木河中游荒漠河岸林林隙基本特征和干扰状况进行了研究。结果表明:形成的林隙形状近似于椭圆形,椭圆长短轴比率在扩展林隙(EG)和冠空隙(CG)有所不同,平均分别为 1.52 和 2.31;林隙密度约为 62.5 个/hm², EG 和 CG 在塔里木荒漠河岸林景观中的面积比例分别为 69.52% 和 29.03%, 干扰频率分别为 1.45%/a 和 0.61%/a, 林隙干扰返回间隔期约为 164 a。林隙大小结构表现出以小林隙为主的偏正态分布, EG 大小 40—200 m², CG 大小 0—80 m²。林隙形成速率为 1.30 个·hm⁻²·a⁻¹, 20—30 a 前形成的林隙最多。林隙形成方式由树木折干+枯立形成的最为普遍, 占形成木总数 95.73%。林隙大多由 2—5 株形成木形成, 而由 4 株形成木创造的林隙最多, 平均每个林隙拥有形成木 4.1 株。林隙形成木主要为森林建群种, 林隙形成木分布最多的径级在 5—25 cm, 高度在 4—8 m, 每株形成木所能形成的 EG 面积为 27.12 m², CG 面积为 11.32 m²。边缘木的径级结构呈正态分布, 而高度结构呈偏左的正态分布, 平均每个林隙拥有 8.375 株边缘木, 林隙边缘木平均胸径比形成木平均胸径高 73.1%, 表明荒漠河岸林林隙干扰十分频繁, 地下水位的持续下降是林隙形成的驱动力。

关键词:塔里木河; 荒漠河岸林; 林隙; 干扰状况

Disturbance regimes and gaps characteristics of the desert riparian forest at the middle reaches of Tarim River

HAN Lu^{1,2,*}, WANG Haizhen^{1,2}, CHEN Jiali², YU Jun²

1 Xinjiang Production & Construction Corps Key Laboratory of Protection and Utilization of Biological Resources in Tarim Basin, Alar 843300, China

2 College of Plant Science, Tarim University, Alar, 843300, China

Abstract: Desert riparian forests, widely distributed in the basins of inland rivers of the northwest arid regions of China, are dominated mainly by *Populus euphratica* Oliv. and *Populus pruinosa* Schrenk species. The largest and most typical desert riparian forest is found along the Tarim River Basin and occupies over 350000 km². This forest plays an active role in climatic regulation, desert expansion control, river banks protection, channels stabilization and oasis conservation. The riparian forest not only protects the fragile desert ecological system but also acts as an irreplaceable natural barrier. The Tarim River riparian forest is highly prized in the Tarim Basin for its great ecological, economical and social benefits. As a consequence of the increase in human population, an excessive exploitation of soil and water resources in upper and middle reaches of the Tarim River, induced recession, nonbearing trees and death of a large area of the desert riparian forest beginning with the 1960s. These effects directly endangered projects for development of sustainable oasis agriculture and for maintenance of an ecological balance. The objective of this study was to elucidate the characteristics of gaps in the riparian forest, the disturbance regimes and causal factors of gaps and predict a developmental trend as a theoretical base to manage and realistically protect the desert riparian forest. The *P. euphratica* forests of the Nature Reserve Region of Luntai County in the middle reaches of Tarim River, is the only remaining original desert forest and the center zone of distribution for

基金项目:中国科学院“西部之光”项目(RCPY200807); 国家自然科学基金项目(31060066); 国家科技支撑计划资助项目(2009BAC54B04)

收稿日期:2010-08-14; **修订日期:**2011-05-13

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

P. euphratica. The research plots were located in Luntai ($84^{\circ}15'E$, $41^{\circ}09'N$). The expanded gaps and canopy gaps were investigated in a 0.64hm^2 plot in 2009, by identifying all gap makers and gap border trees and measuring their stems. The results show that gaps in the desert riparian forest were nearly elliptical in horizontal shape, and the average ratio of long axis to short axis for each gap was about 1.52 for expanded gaps (EG) and 2.31 for canopy gaps (CG). Gap density was approx 62.5 per hectare, and the area occupied by EG and CG in desert riparian forest landscape was 69.52% and 29.03%, respectively. The results also show that the natural disturbance frequency was 1.45%/a for EG and 0.61%/a for CG, and the return interval of canopy gaps was about 164 years. For most EG and CG, whose size were in the range of 40–200 m^2 , and 0–80 m^2 , respectively. The gaps were formed within the last 50 years, most of them being 20 to 30 years old, and their formation rate was about 1.30 gap $\text{hm}^{-2}\text{a}^{-1}$. Most gaps were created by a combination of stem breakage and natural death (95.73% of total gaps). The majority of gaps consisted of 2 to 5 gap makers with the 4 gap makers category being the most abundant group and the average number of gap makers was 4.1 per gap. The diameter at breast height (DBH) of most gap makers ranged from 5 to 25cm, and their height varied from 4 to 8m. The average area of EG and CG formed by each gap maker was 27.12 m^2 and 11.32 m^2 , respectively. The structure of DBH classes of the gap border trees (GBT) show a normal distribution, but tree height classes show a left-skewed distribution. The average numbers of GBTs was 8.375 per gap. The average DBH of GBT was 73.1% higher than that of gap makers, indicating the gap disturbance was a frequent occurrence in the desert riparian forest, and the continuously declining level of underground water was the driving force of gap formation.

Key Words: Tarim River; desert riparian forest; gaps; disturbance regimes

林隙是森林内普遍存在和经常发生的重要干扰之一,是森林动态的重要特征。林隙形成改善了林隙内的生态环境,改变土壤微生物区系活性、林隙及周边各种生物学过程,使森林生境更加复杂,显著改变了环境和资源的可利用程度,为生活史周期中具有不同生物生态学特性的植物种子萌发、苗木定居、幼树生长等自然更新过程提供了有利条件^[1];同时改变了群落物种组成与群落结构及其动态。因此,林隙的形成与消亡过程正是森林不断发育与更新的生态学过程,其已成为探讨森林群落物种共存、群落结构动态与维持机制及认识森林景观宏观结构发生机制和可持续管理环境资源的重要理论基础^[2-3]。自 Watt 定义和研究林隙以来,关于林隙的形成、干扰与特点等研究日益深入^[4-6],林隙研究成为生态学研究的热点和重点之一。我国自 20 世纪 90 年代初以来就林隙干扰状况、林隙更新与微环境、植被响应、群落动态等开展了相关研究^[2-3,7-10],但有关塔里木荒漠河岸林林隙方面的研究尚未见报道。

荒漠河岸林是干旱区内陆河流域河流廊道植被类型的主体,是温带荒漠气候条件下流域植被自然演替进程中近顶级的天然乔木群落,已成为抵御风沙、遏制沙化、维护区域生态平衡、保护生物多样性和保障绿洲农牧业生产的重要屏障。近 50a 来,干旱的地理环境加上人类对塔里木河上、中游水土资源的过度开发利用,致使由地下水维系的荒漠河岸林退化、建群种衰败、生态系统严重受损,这已引起众多学者和政府的关注^[11]。因此,加强塔里木荒漠河岸林水文过程、水资源格局改变、林隙干扰与结构动态以及由此衍生的制约胡杨林更新的因素和胡杨繁殖适应对策关系的研究是解决胡杨林保护与恢复问题的有效突破口。本文对塔里木河中游荒漠河岸林林隙特征与干扰状况进行研究,从林隙干扰角度探讨荒漠河岸林植物群落结构动态、格局形成与维持机制,为揭示极端干旱区荒漠河岸林生态系统的动态变化、物种共存及生物多样性维持机制等研究奠定基础,有助于进一步对塔里木荒漠河岸林演替规律、调控机理的研究、合理保护及可持续经营管理提供科学依据。

1 研究区概况及研究方法

1.1 研究区自然状况

研究区位于轮台县轮南镇($E84^{\circ}15'$, $N41^{\circ}09'$),海拔 917 m,属暖温带大陆性干燥气候,四季分明,冬季寒

冷,年日照时数为 2442—2925 h,年平均气温为 10.9 ℃,极端最低气温为-25.5 ℃,年平均日较差为 14.6 ℃,≥10 ℃积温 4125.3 ℃,无霜期 180—224 d。年平均降水量为 65.5 mm,年平均蒸发量为 2024 mm,平均风速 1.8 m/s,主导风为 NE。该镇胡杨林自然保护区是国内面积最大和较少受人类破坏的原始森林。胡杨群落随远离河道呈阶梯状分布于台阶地上,群落结构简单、物种多样性低。乔木层主要有胡杨(*Populus euphratica* Oliv)和灰胡杨(*Populus pruinosa* Schrenk)。林下灌木层以荒漠成分种类组成,草本层主要由荒漠化草甸或盐渍化草甸的多年生植物种类组成,林下植被种主要有怪柳(*Tamarix* spp.)、盐豆木(*Halimodendron halodendron*)、骆驼刺(*Alhagi sparsifolia*)、芦苇(*Phragmites communis*)、甘草(*Glycyrrhiza inflata*)等植物。研究样地地下水位 4 m 左右,林分结构简单,林下植被稀少,乔木层郁闭度 0.4 左右,灌木层盖度 0.92%,土壤质地为砂壤土,pH8.65,整个林分处于成熟林阶段。塔里木河中游段地下水由塔河向两侧补给,地下水位向塔河两岸逐渐加深。由塔里木河上游阿拉尔站与中游英巴扎站历年径流量变化可知,中游英巴扎站 2007、2008 年的径流量大幅度减少(表 1)。全年中夏季径流量最大,占全年流量的 68% 左右,发生时间集中在 6—9 月份^[12-13]。

表 1 塔里木河径流量动态/($\times 10^8 \text{ m}^3$)
Table 1 Dynamics of runoff of Tarim river

	1950's	1960's	1970's	1980's	1990's	2001—2006	2007	2008	平均 Average
阿拉尔站 Alar station	49.35	51.62	44.98	44.76	42.41	50.82	31.3	25.3	43.48
英巴扎站 Yingbaza station	37.48	36.85	28.83	26.59	22.92	22.78	9.63	7.42	23.92

1.2 研究方法

2009 年 7—9 月在轮南镇胡杨林自然保护区进行充分踏查的基础上,选取有代表性、受人类破坏少的林分设置标准样地(40 m $\times$ 40 m)4 块,总面积 0.64 hm²。野外调查样地内的每一个林隙,检测各林隙内所有树种和幼树($DBH < 2.5 \text{ cm}$)的种名、高度、胸径或地径,并记录林隙形成木的种类、数量、胸径与高度结构及形成方式和腐烂等级等特征。精确测量每个林隙边缘木的胸径、树高、冠幅及树木种类;记录林隙内灌木及草本的种类与数量。在林隙内量测最远的两株树干间的距离做椭圆的长轴和与之垂直的两树干间的距离做短轴(分别按扩展林隙 EG 和冠空隙 CG 记载),并同时量测这 4 株树冠的宽度。按实测 EG 或 CG 计算,荒漠河岸林林隙椭圆曲率随林隙大小而有变化,但基本均呈椭圆形(图 1)。因此,本文计算林隙面积均采用椭圆面积公式。本次共调查了 40 个林隙,计算林隙大小结构时按面积(EG 以 40 m²,CG 以 20 m²为级别,上限排外法)分别对调查样地的 EG 和 CG 进行分级,统计各大小级内的林隙数量百分比,得出不同等级的林隙数量及面积分配情况。林隙形成速率 $V = N / ((A_{\max} - A_{\min}) \times S)$,干扰频率 $DF = B / (A_{\max} - A_{\min})$,周转率 $RI = 1 / DF$,式中 N 为调查林隙个数, $A_{\max}$ 为最老林隙年龄, $A_{\min}$ 为最短林隙年龄, S 为调查林隙面积, B 为 CG 或 EG 在森林景观中所占的面积比例。林隙形成方式分枯立、掘根风倒、干中折断(残桩 1.5 m 以上)和干基折断(残桩 1.5 m 以下)4 类记录^[3,7];林隙形成木的腐烂程度分 4 个等级^[2-3]。由于调查时条件的限制,以倒木或枯立木腐烂等级结合保护区周围采伐树桩的腐烂状况并参考当地林业工作者的实践经验来估测林隙形成木的年龄。用倒木的腐烂状况来估测林分干扰年代是重构森林历史的方法之一^[14]。本文以 10 a 为龄级统计不同龄级内的林隙数。

2 结果与分析

2.1 林隙形状

从图 1 看出,塔里木荒漠河岸林中绝大多数的林隙接近于椭圆形,且林隙椭圆的长、短轴比例与林隙面积大小并不相关。40 个林隙的 EG 长轴平均长为 14.23 m,短轴平均长为 9.49 m,长/短轴之比的均值为 1.52。CG 的长轴平均长为 10.91 m,短轴平均长为 5.02 m,长/短轴之比的均值为 2.31。

2.2 林隙在森林景观中所占的面积比例及干扰频率

根据所调查的样地面积和林隙出现的数量,可推算出塔里木河中游荒漠河岸林林隙出现的平均密度为

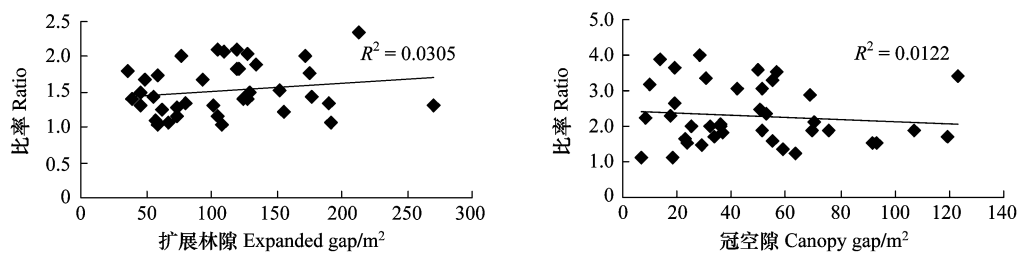


图1 林隙长短轴比例随扩展林隙(EG)/冠空隙(CG)面积的变化

Fig. 1 Relationships between expanded gaps/ canopy gaps and the long to short axis ratios

62.5 个/hm²。在所调查的 40 个林隙中 EG 的最小面积为 35.3 m², 最大面积为 269.7 m², 平均为 111.2 m², 而 CG 的最小面积为 5.5 m², 最大面积为 123.0 m², 平均为 46.4 m², 森林中 CG 和 EG 的相对比例平均为 41.73%, 即 CG 大约是 EG 的 41.73% 左右。因此, 塔里木荒漠河岸林 EG 和 CG 在森林景观中所占的面积比例分别为 69.52% 和 29.03% (表 2)。荒漠河岸林林隙的平均形成速率为 1.30 个·hm⁻²·a⁻¹。以面积计算, 塔里木荒漠河岸林 EG 的干扰频率为 144.84 m²·hm⁻²·a⁻¹, 与 EG 计算方法类同, CG 的干扰频率为 60.48 m²·hm⁻²·a⁻¹; 若以面积百分比计算, 则荒漠河岸林 EG 年平均干扰频率为 1.45%, CG 年平均干扰频率为 0.61%。以上统计结果表明, 塔里木河中游荒漠河岸林平均每年每公顷林地上约 1.30 个林隙形成; 有 1.45% 约 144.84 m² 的土地面积转化为 EG; 有 0.61% 约 60.48 m² 的土地面积转化为 CG。荒漠河岸林林隙的周转率或返回间隔期为 164 a。即林分中的某一点, 每 164a 经受一次干扰。

表 2 林隙在森林景观中所占的面积比例

Table 2 Percentage of gaps in the forest area

林隙密度 Gap density /(个/hm ²)	扩展林隙总面积 Total area of EG/m ²	在林分中所占面积比例 Percentage of EG/%	冠空隙总面积 Total area of CG/m ²	在林分中所占面积比例 Percentage of CG/%
62.5	4449.4	69.52	1857.9	29.03

2.3 林隙大小结构

从图 2 可见, 荒漠河岸林中 40—200 m² EG 占总数的 90.0%, 小于 40 m² 和大于 200 m² EG 各仅占 5.0%, 其中以 40—80 m² 数量最多, 为 35%。从各级林隙在所有林隙中所占的面积百分比看, 120—200 m² 的 EG 所占的比例最大, 为 48.7%, 其次是 40—120 m², 为 38.8%; ≥200 m² 的 EG 虽然其在林隙总个数中仅占 5.0%, 而其在总面积中则达 10.9%。CG 不同等级林隙的分配与 EG 不同, <60 m² CG 占总数 75%, 其中以 20—60 m² 级别的数量最多达 52.5%, 其所占面积比例相对也最大, 达 46.15%; 但 <20 m² CG 占总数 25%, 而面积仅

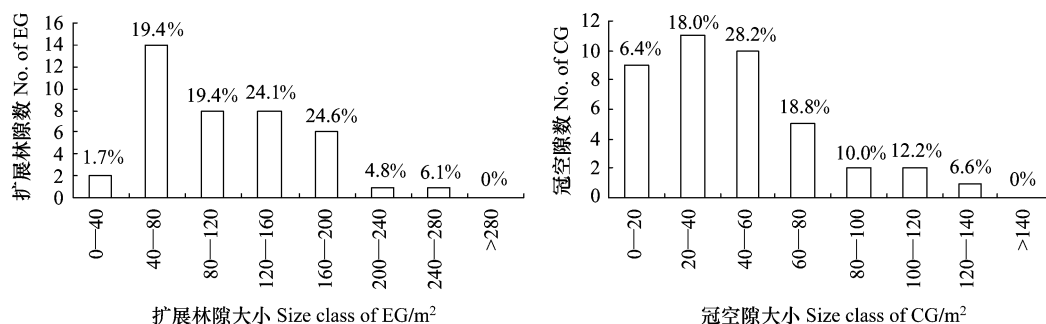


图2 塔里木荒漠河岸林林隙大小结构

Fig. 2 Size distribution of expanded gap (EG) and canopy gap (CG) of desert riparian forest in Tarim basin

图柱上百分数值%, 为不同大小的扩展林隙(冠空隙)占林隙总数的百分比

占 6.4%。概括而言,无论是 CG 还是 EG,塔里木河中游荒漠河岸林的林隙均属小林隙型,其大小结构都呈峰值左偏的偏山状分布。同时,荒漠河岸林的林隙大小级呈小林隙数量多,面积比例小,大林隙数量少,但面积比例却较大的分布情况。可见,林隙在林分中所占的面积比例既与其个数有关,又与其平均大小有关,进一步说明林隙大小和数量是衡量林分中林隙干扰规模的重要参数。

图 3 可见,塔里木荒漠河岸林 CG 和 EG 的相对比例在 0.2—0.6 之间占 92.5%,其中 CG/EG 的相对比例 ≥ 0.4 占 55.0%。用所有 CG 的平均面积除以所有 EG 的平均面积,则 CG 平均约为 EG 面积的 41.73%。CG/EG 在一定程度上反应了林隙的侧生长填充情况或林隙周围林冠的大小,这与 CG、EG 长短轴比反映的结果一致。

2.4 林隙年龄结构

从图 4 可见,10—30 a 前这段时间形成的林隙较多,特别是 20—30 a 期间形成的林隙最多,占 42.5%,其它阶段形成的林隙较少。这说明塔里木荒漠河岸林在 20—30 a 前曾受到过较大的干扰,这是由于 20 世纪 60 年代以来塔里木盆地大规模毁林草开荒,耕地面积急骤增加致使河水流量减少,地下水位大幅度下降所引起^[12,15]。

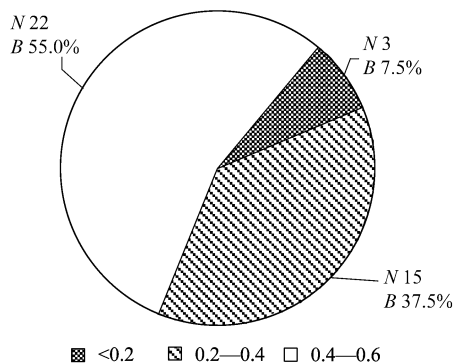


图 3 冠空隙(CG)/扩展林隙(EG)的相对大小

Fig. 3 The relative size of CG vs. EG

N: 林隙数; B: 所占比例

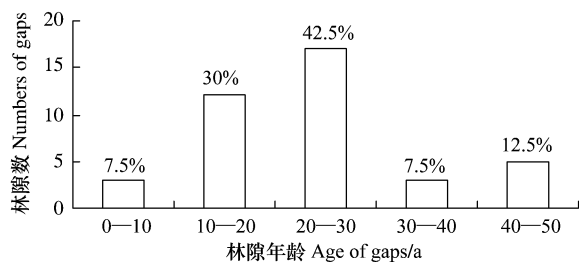


图 4 林隙年龄结构与比例

Fig. 4 The ratio and age structure of gap

2.5 林隙形成方式

以塔里木荒漠河岸林中 40 个林隙的 164 株形成木为基础,统计不同死亡形式的形成木在林隙形成木中所占比例(表 3)。164 株形成木中掘根风倒、枯立、干基折断和干中折断分别有 7 株、32 株、69 株和 56 株,其中以折干形成的林隙比较普遍,占 76.22%,其次是枯立,占 19.51%。在不同的森林中,形成林隙的各种主导因素各不相同。在同一个林隙中,常可见到各种方式的混合作用。对 40 个林隙的形成方式统计结果表明(图 5),塔里木荒漠河岸林中既存在由上述 4 种方式单独形成的林隙,又存在由不同组合方式形成的林隙,其中由折干形成的林隙所占比例最多,占调查林隙总数的 72%;其次,枯立形成的林隙占调查林隙总数的 20%,而由枯立+折干几乎普遍存在所有林隙中,这种组合形成方式是本区林隙形成的主要形式。

表 3 林隙形成方式

Table 3 The manners of gap formation and percentage, number of gap marker in desert riparian forest

林隙形成方式 Manners of gap formation	掘根风倒 Uprooting	干基折断 Breakage at trunk base	枯立 Standing death	干中折断 Breakage on trunk	Σ
形成木株数 No. of gap maker	7	69	32	56	164
比例 Percentage/%	4.27	42.07	19.51	34.15	100.00

2.6 林隙形成木特征

2.6.1 林隙形成木的组成与数量

40 个林隙的调查结果经统计显示, 塔里木荒漠河岸林林隙形成木组成简单, 仅有胡杨、灰胡杨二种乔木树种。从比例来看, 灰胡杨占优势, 比例较高占 97.76%, 胡杨占 2.24%。从图 6 可知, 塔里木荒漠河岸林中林隙绝大多数是由 2—5 株形成木形成, 其中以 4 株形成木者最为普遍, 有 11 个林隙占总数的 27.5%, 其次是由 3 株和 5 株形成的林隙, 各有 8 个占林隙总数的 20%; 由 2 株形成木形成的林隙有 5 个, 占林隙总数的 12.5%; 由 7 株形成木形成的林隙有 3 个, 占林隙总数的 7.5%; 由 1 株形成木形成的林隙有 2 个, 占林隙总数 5%, 由 6、8、9 株形成木形成的林隙各有 1 个, 占林隙总数 2.5%。由此可见, 塔里木荒漠河岸林中形成一个林隙的形成木数量大多是 2—5 株, 5 株以上者很少, 这与其它森林类型情况不同。调查 40 个林隙中共有 164 株形成木, 则平均每个林隙拥有的形成木为 4.1 株, 每个形成木能形成的 EG 面积平均为 27.12 m², 形成 CG 面积为 11.32 m²。

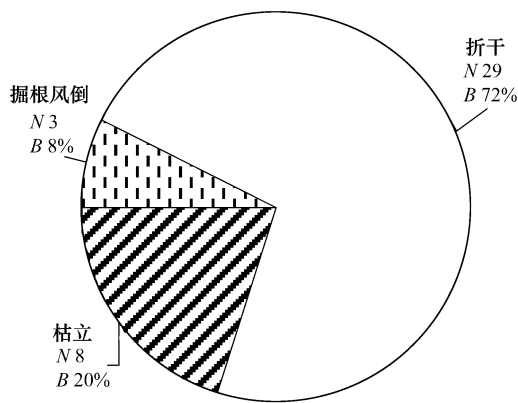


图 5 林隙形成方式

Fig. 5 The manners of gap formation and percentage of gap number

N: 林隙数; B: 所占比例

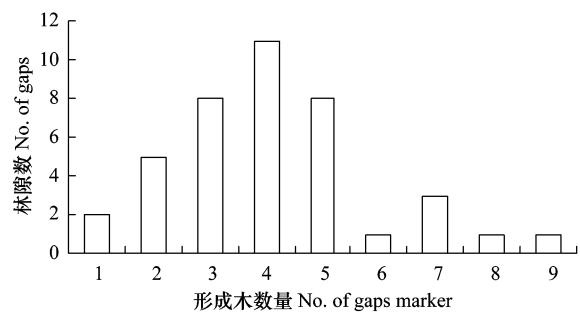


图 6 林隙数量随形成木数量的分布

Fig. 6 Distribution of gaps among different numbers of gap makers

2.6.2 林隙形成木的径级结构

以 5 cm 为径级单位(上限排外法), 统计各树种在不同径级内的株数及占总形成木数的比例(表 4)。由表 4 可见, 调查到的 164 株形成木的径级分布范围较宽, 在 3.1—51 cm 之间, 平均胸径为 16.19 cm, 径级主要集中在 5—25 cm 范围内, 占总株数的 78.05%, 其中 5—10、10—15、15—20 径级数量相似, 各占 21% 左右; 胸径(DBH)小于 5 cm 和大于 30 cm 的形成木数量显著减少, 各占总数的 6.71%。表明塔里木荒漠河岸林中林隙主要是由小径级的个体死亡所构成, 5—20 cm 径级则是荒漠河岸林形成林隙可能性最大的阶段, 30 cm 以上的个体死亡较低, 由其形成的林隙也不多。

表 4 林隙形成木的径级结构

Table 4 Diameter class structure of gap makers in desert riparian forest

项目 Item	径级 Diameter class/cm					
	<5	5—10	10—15	15—20	20—25	25—30
株数 Numbers	11	38	34	36	20	14
百分比 Percentage/%	6.71	23.17	20.73	21.95	12.20	8.54
径级 Diameter class/cm	30—35	35—40	40—45	45—50	>50	Σ
株数 Numbers	3	3	2	2	1	164
百分比 Percentage/%	1.83	1.83	1.22	1.22	0.61	100

2.6.3 林隙形成木的高度结构

所调查的 40 个林隙 164 株形成木中最高的为 13.6 m,最低的为 3.8 m,平均高度为 6.0 m。高度结构特征是:高度主要集中在 4—8 m,其中 4—6 m 最多,有 86 株,占总体的 52.4%,其次为 6—8 m,有 60 株,占总体的 36.6%,高于 10 m 以上个体较少,有 5 株,仅占总体的 3.0%,低于 4 m 的个体有 4 株,占总体 2.4%。形成木高度结构总体呈偏左的正态分布(图 7)。表明塔里木荒漠河岸林乔木树种形成林隙时的高度为 4—8 m。一般来说,上层林隙形成木是林隙的真正制造者,下层部分林隙形成木是由于上层形成木折倒时受机械损伤或生境剧烈改变以及竞争中的自然淘汰而引起的。

2.7 林隙边缘木特征

2.7.1 林隙边缘木的径级结构

以 5 cm 为径级单位(上限排外法),统计各树种在不同的径级内的株数及占总边缘木数的比例(图 8)。40 个林隙中边缘木的径级分布范围较宽,在 4.2—69.4 cm 之间,平均胸径 28.03 cm。边缘木径级主要集中在 25—35 cm 内,有 196 株,占总数 58.51%,其次为 20—25 cm 径级,占总数 17.01%。大径级和小径级的个体较少,胸径大于 50 cm 的边缘木仅有 7 株,小于 5 cm 的仅有 2 株,共占总株数的 2.69%。塔里木荒漠河岸林边缘木径级结构总体呈正态分布,其平均胸径较林隙形成木的平均胸径高 73.1%。

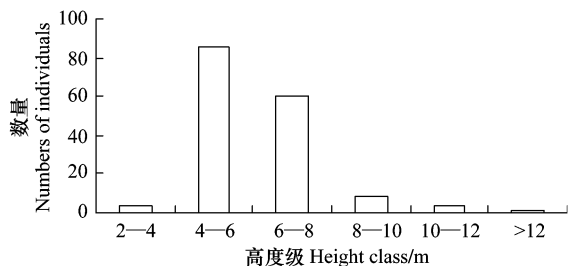


图 7 林隙形成木的高度结构

Fig. 7 Height structure of gap makers

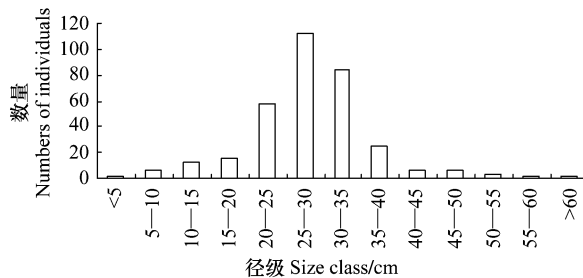


图 8 林隙边缘木的径级结构

Fig. 8 Diameter class structure of gap border trees

所调查的 40 个林隙共有 335 株边缘木,单个林隙边缘木最多为 16 株,最少为 4 株,平均为 8.375 株。该调查林隙边缘木种类有灰胡杨和胡杨,其中胡杨有 8 株,其胸径平均为 20.6 cm,仅占边缘木总数的 2.38%。灰胡杨与胡杨占林隙边缘木总数的比例与该群落乔木层中两者的比例相一致。

2.7.2 林隙边缘木的高度结构

在 40 个林隙中共调查到 335 株边缘木,最高的为 15.1 m,最矮的为 4.5 m,平均高度为 8.4 m,因此,塔里木荒漠河岸林林隙高度可看作为 8.4 m。大多数边缘木高度在 6—10 m 之间,其中 8—10 m 的个体最多,有 187 株,占总体 55.8%,其次为 6—8 m 个体,占总体 29.6%。小于 6 m 与大于 10 m 的边缘木占总体的 14.6% (表 5)。这表明一部分林窗的个别边缘木个体较小,但大多数边缘木的个体与群落乔木层中主要树木的个体平均大小是一致的。

表 5 荒漠河岸林林隙边缘木的高度结构

Table 5 Height structure of gap border trees in desert riparian forest

高度级 Height class/m	4—6	6—8	8—10	10—12	12—14	>14
边缘木株数 Numbers of gap markers	17	99	187	25	5	2
比例 Percentage/%	5.1	29.6	55.8	7.5	1.5	0.6

3 结论与讨论

林隙概念是伴随森林循环研究而产生的,用以表示群落中 1 株以上林冠层(主林层)树木死亡而形成的将由新个体占据与更新的空间。干扰作为林隙形成与群落时空格局的驱动力,也是森林环境异质性、群落动

态和结构维持的必要成分^[16]。将干扰状况与森林群落特征结合起来的研究方法,大大促进人们对森林干扰体系与植被响应关系及自然群落动态规律系统深入的研究,有助于人们全面认识森林群落多样性动态和物种共存及自然群落的调控机制^[16-17]。当前,林隙干扰已成为现代生态学中活跃的一个研究领域。

塔里木盆地地处欧亚大陆腹地,干旱少雨、风沙频繁,沿塔里木河两岸呈阶梯状分布的荒漠河岸林因其特殊气候、生境条件和群落结构,林隙结构与干扰方式具其独特性。因此,荒漠河岸林林隙特征明显不同于其它类型森林。在塔里木荒漠河岸林中,大多数林隙接近于椭圆形,其 CG 长/短轴的比例平均值 2.31 比 EG 长/短轴的比例平均值 1.52 大,表明两种比例波动比较大,椭圆曲率随林隙大小的变化而有变化。同一林隙,多数 CG 长轴/短轴比例比 EG 的大^[16]。这与武夷山中亚热带常绿阔叶林林隙结果一致,但与安徽查湾甜槭林林隙^[2]、海南岛热带山地雨林林隙^[18]调查结果不同。这可能是由建群种不同或优势种所占比例不同、树种自身的生物学特性与生境恶化相互作用的结果。塔里木荒漠河岸林 CG 和 EG 大小分布均呈以小林隙为主的峰值左偏的偏山状分布,最大林隙面积小于 300 m²。林隙平均密度为 62.5 个/hm²,CG 平均面积为 46.4 m²,EG 平均面积 111.2 m²,CG/EG 相对比例平均为 41.73%,EG 和 CG 在森林景观中所占的面积比例分别为 69.52% 和 29.03%。这些数据均不同于温带、中亚热带、南亚热带与热带林隙的研究结果^[3,16,18]。这因为荒漠河岸林与这些森林类型所受的干扰方式、强度和规模不同。在荒漠河岸林发育的过程中,虽然没有受到如热带山地雨林的台风、暴风雨^[18]和温带针叶林的雪压、火灾^[3]等明显而严重的自然干扰,但塔里木荒漠河岸林生态系统十分脆弱,风沙频繁、土壤含水率与地下水位不断降低^[15,19](表 1)、局部区域甚至超过植被合理生存水位^[20],导致胡杨枯梢、枯枝、枯株趋势且老龄个体占绝对多数,林间沙地活化,郁闭度降低,完全失去更新能力^[19],结果使其抵抗外界干扰的能力大大降低。因此,荒漠河岸林林隙的形成主要是森林树种发育过程中自身竞争与地下水位下降及大风相互作用的结果,造成其林隙密度与面积之比相对较大。荒漠河岸林小林隙占多数,大林隙数量少,但其所占面积不小,是由于形成木的径级与冠幅较小、树木所受的干扰状况和倒伏方式造成的。塔里木荒漠河岸林 EG 和 CG 干扰频率分别为 1.45% 和 0.61%。林隙干扰的返回间隔期约为 164 a,大于海南岛热带山地雨林 159a^[18]而小于武夷山中亚热带常绿阔叶 176 a^[16]及其它温带、亚热带^[2-3,17]。在塔里木盆地土壤日益干化的恶劣生境中,树木自然衰亡的年龄较低,加上大风刮折枝干使其返回间隔期较短,存在着较快的森林循环过程。塔里木盆地荒漠河岸林中林隙干扰特征符合国内外学者对不同类型森林计算出林隙的干扰频率大约是在 0.5%—2.0% 之间,自然干扰的返回间隔期为 50—300 a 左右^[21]。塔里木荒漠河岸林林隙年龄一般不超过 50 a,大部分林隙在 20—30 a 间形成。这说明塔里木荒漠河岸林在 20—30 a 前曾受到过较大的干扰,致使较大部分个体在此阶段死亡。荒漠河岸林林隙形成方式以树木折干最为普遍,占调查林隙总数的 72%,其次是枯立形成林隙数占调查林隙总数的 20%,由枯立+折干形成方式是本区林隙形成的主要形式。这一结果明显不同于温带(掘根风倒)、亚热带与热带(树木折干)林隙形成方式^[3,16,18]。原因主要由于荒漠河岸林是成过熟林分,树龄较老,干基折断和枯死均为林木接近生理寿命而衰老死亡,或由于木材干基强度减弱易染病虫害或心腐严重而受外力作用下折断。此外,20 世纪 60 年代以来塔里木河流域水土资源开发加剧、河水流量减少,致使胡杨林地下水位持续下降、土壤自然含水量降低、林下土壤结构疏松沙化,进一步加速老龄个体的衰老倒伏与幼树枯立死亡,老树倒伏又致使树冠下个体压折树干而死亡。野外调查时发现的干基折断林木几乎都是由于干基部中空而折倒的。总的来说,塔里木河中游荒漠河岸林林隙形成方式主要是其生境恶化的结果。

塔里木荒漠河岸林中林隙形成木组成简单,仅有灰胡杨、胡杨 2 种乔木树种,胡杨比例不足 5%。林隙绝大多数是由 2—5 株形成木组成,平均形成木 4.1 株。每个形成木能形成 EG 的面积平均为 27.12 m²,CG 面积为 11.32 m²。荒漠河岸林林隙形成木数量与长白山暗针叶林^[3]相似,而明显高于中亚热带、南亚热带与热带林隙^[2,18],但其单木形成的 EG 与 CG 面积相对较小,反映出荒漠河岸林林隙形成木以小径级个体为多,这是生境恶化的结果。林隙形成木的高度在 4—6 m 个体数最多,径级主要集中在 5—25 cm,15 cm 以下个体占总数的 50.51%,它们一般处于林中层;而大径级(>30 cm)的较少,仅占 6.71%。产生此现象的原因是 20 世

纪 60 年代以来塔里木盆地大规模开垦土地,耗水量大增^[12],致使中下游维系胡杨林生长的地下水位大幅度下降,使根系较浅的小径级个体获取水分困难而死亡。此外,部分大径级个体由于环境恶化其根系与生理功能衰退,木材干基的强度大大减弱,遇一定大小的风吹,加上其自身的重量,而使树木自干基部附近断裂或大枝断裂而倒下,同时压折林下个体而致使其死亡。调查还发现,林隙内有较少的幼苗、幼树更新,偶尔可见少量枸杞(*Lycium ruthenicum*)、骆驼刺等植物,反映荒漠河岸林生境恶化较严重,制约林分的更新,若长期以往,林分将不复存在。林隙边缘木的种类、大小、年龄与其高度、径级分布特征直接影响着林隙内的生态环境^[7]。塔里木荒漠河岸林林隙边缘木种类稀少,以灰胡杨居多,径级主要集中在 25—35 cm,平均胸径比形成木高 73.1%;林隙边缘木平均为 8.375 株,平均高度为 8.4 m,这一结果与茂兰喀斯特森林林隙^[10]边缘木特征相似,但明显低于川西亚高山针叶林^[22]。原因是塔里木荒漠生态系统在自然与人类干扰下逐渐退化,植被退化越来越明显,使林分开始稀疏,生境条件的剧变使小个体生长困难与老龄个体死亡增多,造成小径级林隙形成木较多,林隙边缘木径级相对较大、边缘木高度与数量均高于形成木。国内学者研究指出,林隙边缘木的形状、生长状况等生物内因和地形、干扰状况等外因相结合是森林中多时序林隙产生的重要原因,它不但使林隙面积和形状发生变化,其生长发育过程中高度、冠长和冠形的变化对林隙环境也起到再改造的作用,增加了林隙微环境的时空异质性特征^[10],从而使林隙干扰与更新远比人们所预见的要复杂得多。因此,深入开展塔里木荒漠河岸林林隙干扰规律的研究,有助于了解林隙形成、植物群落结构动态与维持机制、恢复动态及其生境特征,从而为塔里木荒漠河岸林保护与恢复提供林隙更新与演替的有关信息,进而指导生产实践,实现塔里木荒漠河岸林的可持续经营管理。

References:

- [1] Zhang Y P, Liu Y H, Ma Y X, Wang J X. The spatial characteristics of air temperature in canopy gap in a tropic secondary forest in Xishuangbanna. *Acta Ecologica Sinica*, 2001, 21(2): 211-215.
- [2] Jiang G H, Wu Z M, Shen H H, Zhang L. Formation and characteristics of gaps in *Castanopsis eyrei* stands in Zhawan Natural Reserve of Anhui Province. *Journal of Anhui Agricultural University*, 2008, 35(3): 385-389.
- [3] Yang X. Gap characteristics and disturbance regime in a dark coniferous forest in Changbai mountain areas. *Acta Ecologica Sinica*, 2002, 22(11): 1825-1831.
- [4] Ott R A, Juday G P. Canopy gap characteristics and their implications for management in the temperate rainforests of southeast Alaska. *Forest Ecology and Management*, 2002, 159(3): 271-291.
- [5] Arunachalam A, Arunachalam K. Influence of gap size and soil properties on microbial biomass in a subtropical humid forest of north-east India. *Plant and Soil*, 2000, 223(1/2): 185-193.
- [6] Raymond P, Munson A D, Ruel J C, Coates K D. Spatial patterns of soil microclimate, light, regeneration, and growth within silvicultural gaps of mixed tolerant hardwood-white pine stands. *Canadian Journal of Forest Research*, 2006, 36(3): 639-651.
- [7] Long C L, Yu S X, Wei L M, Xiong Z B. Disturbance regimes and the characteristics of gaps in Maolan Karst Forest, Guizhou Province. *Scientia Silvae Sinicae*, 2005, 41(4): 13-19.
- [8] Duan W B, Wang J, Li Y. Microclimatic characteristics of different size gaps in *Pinus koraiensis*-dominated broadleaved mixed forests. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2008, 19(12): 2561-2566.
- [9] Cao D C, Li J W, Chen W Q, Peng C, Li J Q. Development and growth of root suckers of *Populus euphratica* in different forest gaps in Ejina Oasis. *Acta Ecologica Sinica*, 2009, 29(4): 1954-1961.
- [10] Long C L. Studies on the characteristics of gap border trees in the Karst forest in MaoLan nature reserve of Guizhou Province. *Journal of Southwest Agricultural University: Natural Science Edition*, 2006, 28(6): 1039-1044.
- [11] Liu J Z, Chen Y N, Li W H, Chen Y P. Analysis on the distribution and degraded succession of plant communities at lower reaches of Tarim River. *Acta Ecologica Sinica*, 2004, 24(2): 379-383.
- [12] Wang J, Liu X, Gong W H, Zhou S H, Mao W Y, Gao Q Z, Shen Y P, Wang S D. Streamflow variations and flow-break causes of four source rivers and mainstream of Tarim River, Xinjiang in 2008. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2010, 32(3): 593-601.
- [13] Zhao R F, Chen Y N, Li W H, Chen Z S, Hao X M. Trends in runoff variations of the mainstream of the Tarim River during the last 50 years. *Resources Science*, 2010, 32(6): 1196-1203.

- [14] Dynesius M, Johnson B G. Dating uprooted trees: comparison and application of eight methods in a boreal forest. *Canadian Journal of Forest Research*, 1991, 21(5): 655-665.
- [15] Chen Y P, Chen Y N, Li W H, Zhang H F. Effect of ecological water input on MDA of *Populus euphratica* Oliv leaf in the lower reaches of the Tarim River. *Chinese Journal of Applied and Environmental Biology*, 2004, 10(4): 408-411.
- [16] Chen B H, Ye G F, Lin J, Le T C, He J Y, He W, Chi S Y, Huang K D, Gao Y J. Studies on the gap dynamic and their natural disturbance characteristics in Wuyishan mountain mid-subtropical evergreen broad-leaved forests. *Wuyi Science Journal*, 2008, 24(12): 89-97.
- [17] Yan S J, Hong W, Wu C Z, Bi X L, Wang X G, Feng L. Gaps and their natural disturbance characteristics in mid-subtropical evergreen broad-leaved forest in Wanmulin. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2004, 15(7): 1126-1130.
- [18] Zang R G, Yang Y C, Liu J Y, Yu S X, Yang X S. Gaps and their natural disturbance regimes in the tropical montane rain forest of Hainan Island. *Scientia Silvae Sinicae*, 1999, 35(1): 2-8.
- [19] Chen Y N, Li W H, Xu H L, Liu J Z, Zhang H F, Chen Y P. The influence of groundwater on vegetation in the lower reaches of Tarim River, China. *Acta Geographica Sinica*, 2003, 58(4): 542-549.
- [20] Xu H L, Song Y D, Wang Q, Ai M T I. The effect of groundwater level on vegetation in the middle and lower reaches of the Tarim River, Xinjiang, China. *Acta Phytocologica Sinica*, 2004, 28(3): 400-405.
- [21] Tyrrell L E, Crow C R. Structural characteristics of old-growth hemlock-hardwood forests in relation to age. *Ecology*, 1994, 75(2): 370-386.
- [22] Xan J R, Hu T X, Wang K Y, Zhang Y B, Zhu X M, Xu J W. Studies on the characteristics of gap border trees in the subalpine coniferous forest in Western Sichuan. *Forest Research*, 2004, 17(5): 636-640.

参考文献:

- [1] 张一平, 刘玉洪, 马友鑫, 王进欣. 西双版纳干季晴天次生林林窗气温时空分布特征. *生态学报*, 2001, 21(2): 211-215.
- [2] 江国华, 吴泽民, 沈后海, 张磊. 安徽查湾自然保护区甜槠林林隙形成及特征研究. *安徽农业大学学报*, 2008, 35(3): 385-389.
- [3] 杨修. 长白山暗针叶林林隙一般特征及干扰状况. *生态学报*, 2002, 22(11): 1825-1831.
- [7] 龙翠玲, 余世孝, 魏鲁明, 熊志斌. 茂兰喀斯特森林干扰状况与林隙特征. *林业科学*, 2005, 41(4): 13-19.
- [8] 段文标, 王晶, 李岩. 红松阔叶混交林不同大小林隙小气候特征. *应用生态学报*, 2008, 19(12): 2561-2566.
- [9] 曹德昌, 李景文, 陈维强, 彭程, 李俊清. 额济纳绿洲不同林隙胡杨根蘖的发生特征. *生态学报*, 2009, 29(4): 1954-1961.
- [10] 龙翠玲. 茂兰喀斯特森林林隙边缘木特征的研究. *西南农业大学学报: 自然科学版*, 2006, 28(6): 1039-1044.
- [11] 刘加珍, 陈亚宁, 李卫红, 陈亚鹏. 塔里木河下游植物群落分布与衰退演替趋势分析. *生态学报*, 2004, 24(2): 379-383.
- [12] 王进, 刘湘, 龚伟华, 周四宏, 毛炜峰, 高前兆, 沈永平, 王顺德. 2008 年塔里木河流域“四源一干”径流运行与河道断流成因分析. *冰川冻土*, 2010, 32(3): 593-601.
- [13] 赵锐锋, 陈亚宁, 李卫红, 陈忠升, 郝兴明. 1957 年至 2005 年塔里木河干流径流变化趋势分析. *资源科学*, 2010, 32(6): 1196-1203.
- [15] 陈亚鹏, 陈亚宁, 李卫红, 张宏峰. 新疆塔里木河下游生态输水对胡杨叶片 MDA 含量的影响. *应用与环境生物学报*, 2004, 10(4): 408-411.
- [16] 陈碧华, 叶功富, 林捷, 乐通潮, 何建源, 何伟, 池善燕, 黄克鼎, 高元竞. 武夷山中亚热带常绿阔叶林林隙动态及自然干扰特征. *武夷科学*, 2008, 24(12): 89-97.
- [17] 闫淑君, 洪伟, 吴承祯, 毕晓丽, 王新功, 封磊. 中亚热带常绿阔叶林林隙及其自然干扰特征的研究. *应用生态学报*, 2004, 15(7): 1126-1130.
- [18] 臧润国, 杨彦承, 刘静艳, 余世孝, 杨秀森. 海南岛热带山地雨林林隙及其自然干扰特征. *林业科学*, 1999, 35(1): 2-8.
- [19] 陈亚宁, 李卫红, 徐海量, 刘加珍, 张宏峰, 陈亚鹏. 塔里木河下游地下水位对植被的影响. *地理学报*, 2003, 58(4): 542-549.
- [20] 徐海量, 宋郁东, 王强, 艾合买提. 塔里木河中下游地区不同地下水位对植被的影响. *植物生态学报*, 2004, 28(3): 400-405.
- [22] 鲜骏仁, 胡庭兴, 王开运, 张远彬, 朱雪梅, 徐精文. 川西亚高山针叶林林窗边界木特征的研究. *林业科学研究*, 2004, 17(5): 636-640.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol.31 ,No. 16 August ,2011 (Semimonthly)

CONTENTS

A comparative study on the diversity of rhizospheric bacteria community structure in constructed wetland and natural wetland with reed domination	WANG Zhongqiong, WANG Weidong, ZHU Guibing, et al (4489)
Light response of photosynthesis and its simulation in leaves of <i>Prunus sibirica</i> L. under different soil water conditions	LANG Ying, ZHANG Guangcan, ZHANG Zhengkun, et al (4499)
Effects of colour shading on the yield and main biochemical components of summer-autumn tea and spring tea in a hilly tea field	QIN Zhimin, FU Xiaoqing, XIAO Runlin, et al (4509)
Effects of cadmium on the contents of phytohormones, photosynthetic performance and fluorescent characteristics in tobacco leaves	WU Kun, WU Zhonghong, TAI Fujun, et al (4517)
Comparative physiological responses of cadmium stress on <i>Enteromorpha clathrata</i> and <i>Enteromorpha linza</i>	JIANG Heping, ZHENG Qingsong, ZHU Ming, et al (4525)
Effects of salt stress on glucosinolate contents in <i>Arabidopsis thaliana</i> and <i>Thellungiella halophila</i> rosette leaves	PANG Qiuying, CHEN Sixue, YU Tao, et al (4534)
Effects of long-term double-rice and green manure rotation on rice yield and soil organic matter in paddy field	GAO Jusheng, CAO Weidong, LI Dongchu, et al (4542)
Nitrogen balance in the farmland system based on water balance in Hetao irrigation district, Inner Mongolia	DU Jun, YANG Peiling, LI Yunkai, et al (4549)
Seed characteristics and seedling growth of <i>Spartina alterniflora</i> on coastal wetland of North Jiangsu	XU Weiwei, WANG Guoxiang, LIU Jin'e, et al (4560)
Assessment of non-point source pollution export from Zigui county in the Three Gorges Reservoir area using the AnnAGNPS model	TIAN Yaowu, HUANG Zhilin, XIAO Wenfa (4568)
Effects of Cadmium pollution on oxidative stress and metallothionein content in <i>Pirata subpiraticus</i> (Araneae: Lycosidae) in different habitats	ZHANG Zhengtian, PANG Zhenling, XIA Min, et al (4579)
The distribution of size-fractionated chlorophyll a in the Indian Ocean South Equatorial Current	ZHOU Yadong, WANG Chunsheng, WANG Xiaogu, et al (4586)
Change of waterbird community structure after the intertidal mudflat reclamation in the Yangtze River Mouth: a case study of NanHui Dongtan area	ZHANG Bin, YUAN Xiao, PEI Enle, et al (4599)
Application of fish assemblage integrity index (FAII) in the environment quality assessment of surf zone of Yangtze River estuary	MAO Chengze, ZHONG Junsheng, JIANG Rijin, et al (4609)
Population age structure of Antarctic krill <i>Euphausia superba</i> off the northern Antarctic Peninsula based on fishery survey	ZHU Guoping, WU Qiang, FENG Chunlei, et al (4620)
Validation and adaptability evaluation of rice growth model ORYZA2000 in double cropping rice area of Hunan Province	MO Zhihong, FENG Liping, ZOU Haiping, et al (4628)
Coupled energy and carbon balance analysis under dryland tillage systems	WANG Xiaobin, WANG Yan, DAI Kuai, et al (4638)
The nitrate-nitrogen leaching amount in paddy winter-spring fallow period	WANG Yongsheng, YANG Shiqi (4653)
The sources of organic carbon and nitrogen in sediment of Taihu Lake	NI Zhaoxui, LI Yuejin, WANG Shengrui, et al (4661)
Effect of partial solar eclipse on airborne culturable bacterial community in Urumqi	MA Jing, SUN Jian, ZHANG Tao, et al (4671)
Comparative study on density related intra- and inter-specific effects in <i>Laodelphax striatellus</i> (Fallen) and <i>Nilaparvata lugens</i> (Stål)	LÜ Jin, CAO Tingting, WANG Liping, et al (4680)
Behavior rhythm and seasonal variation of time budget of sun bear (<i>Helarctos malayanus</i>) in captivity	LAN Cunzi, LIU Zhensheng, WANG Aishan, et al (4689)
Disturbance regimes and gaps characteristics of the desert riparian forest at the middle reaches of Tarim River	HAN Lu, WANG Haizhen, CHEN Jiali, et al (4699)
Death causes and conservation strategies of the annual regenerated seedlings of rare plant, <i>Bretschneidera sinensis</i>	QIAO Qi, QIN Xinsong, XING Fuwu, et al (4709)
Effects of municipal compost extracted complex microbial communities on physio-ecological characteristics of turfgrass under drought stress	DUO Lian, WANG Jingjing, ZHAO Shulan (4717)
Spatiotemporal relationship of leaf area index simulated by CLM3.0-DGVM and climatic factors	SHAO Pu, ZENG Xiaodong (4725)
Analysis of circular economy of Liaoning Province based on eco-efficiency	HAN Ruiling, TONG Lianjun, SONG Yanan (4732)
Review and Monograph	
The fungal to bacterial ratio in soil food webs, and its measurement	CAO Zhiping, LI Depeng, HAN Xuemei (4741)
Indicators for evaluating sustainable communities: a review	ZHOU Chuanbin, DAI Xin, WANG Rusong, et al (4749)
Discussion	
Differential expression of <i>PAL</i> multigene family in allelopathic rice and its counterpart exposed to stressful conditions	FANG Changxun, WANG Qingshui, YU Yan, et al (4760)
Scientific Note	
Ecology study on the benthic animals of QinZhou Bay	WANG Di, CHEN Pimao, MA Yuan (4768)
Change characteristics of soil carbon and nitrogen contents in the Yellow River Delta soil after artificial restoration	DONG Kaikai, WANG Hui, YANG Liyuan, et al (4778)
Estimation and spatial pattern analysis of forest biomass in Fenglin Nature Reserve based on Geostatistics	LIU Xiaomei, BU Rencang, DENG Huawei, et al (4783)
Study on sap flow in forest of <i>Quercus liaotungensis</i> and <i>Populus davidiana</i> by using the TDP method	SUI Xuhong, ZHANG Jianjun, WEN Wanrong (4791)
N ₂ O Emission and its driving factors from typical marsh and shrub swamp in Xiaoxing'an Mountains, Northeast China	SHI Lanying, MU Changcheng, TIAN Xinmin, et al (4799)

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 16 期 (2011 年 8 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 31 No. 16 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@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 70.00 元