

鸟类传播种子对几种树篱中侵入植物多样性的影响

李新华¹, 尹晓明², 夏 冰³, 李维林³, 李 亚³

(1. 南京农业大学 生命科学学院, 南京 210095; 2. 南京农业大学 资源与环境科学学院, 南京 210095;

3. 江苏省·中国科学院植物研究所(南京中山植物园), 南京 210014)

摘要: 2001 年 4 月至 2003 年 11 月, 在南京中山植物园内调查了冬青卫矛(*Euonymus japonicus*)、日本珊瑚树(*Viburnum awabuki*) 和 漫 疏 (*Deutzia scabra*) 3 种树篱, 以及位于不同生境的 2 个黄杨(*Buxus microphylla* var. *sinica*) 树篱中侵入生长的杂草及杂树种类, 并选择 3 km 外南京农业大学实验楼周围的冬青卫矛树篱作为参照。在 6 个树篱类型中调查到侵入生长的种子植物共计 1230 株, 分隶于 42 科 57 属 70 种植物。其中适应于鸟类传播的植物有 55 种 1047 株植物; 适应于风力传播的植物有 10 种 161 株植物; 传播媒介不明的植物有 5 种 22 株植物。各树篱类型中, 适应于鸟类传播种子的侵入植物种类数目显著多于风力传播的植物种类($t = 5.086$, $df = 10$, $p < 0.0001$) 和种子传播媒介不明的植物种类($t = 8.446$, $df = 10$, $p < 0.0001$), 但各树篱中适应于风力传播的侵入植物与种子传播媒介不明的植物在种类数目上无显著差异($t = 1.977$, $df = 10$, $p = 0.076$)。南京中山植物园的 5 个树篱类型中, 适应于鸟类传播的侵入植物物种多样性的 Shannon-Wiener 指数都较高, 为 2.151 至 2.917, 平均 2.671 ± 0.306 , 并且种类数目也较多, 为 15~36 种, 平均 25.6 ± 8.1 种。而南京农业大学内冬青卫矛树篱的物种多样性指数最低, 为 1.679, 并且种类数目也最少, 为 12 种。Bray-Curtis 相似性指数的聚类分析结果显示, 不同树篱类型中适应于鸟类传播种子的侵入植物组成的相似性主要受到树篱周围的种子源及其距离、食果鸟类、人为干扰活动等生境因子的影响, 而非简单取决于树篱种类本身。鸟类传播种子增加了单一树种构成的树篱中的种子植物多样性, 同时也对树篱的景观产生了一定的不利影响, 不过人工对树篱的日常修剪等管护措施严格限制了这些侵入植物实生苗及小树的正常生长。研究结果反映出种子源、鸟类传播种子和灌丛在促进植物群落的发展和演替过程中具有重要的生态意义。

关键词: 树篱; 侵入植物; 种子传播; 鸟类; 种子源; 干扰; 南京中山植物园; 群落演替

文章编号: 1000-0933(2006)06-1657-10 中图分类号: Q143, Q948.12, Q958.1 文献标识码: A

Effects of bird seed dispersal on diversity of the invaded plants in several hedge types

LI Xin-Hua¹, YIN Xiao-Ming², XIA Bing³, LI Wei-Lin³, LI Ya³ (1. College of Life Sciences, Nanjing Agricultural University, Nanjing, 210095, China; 2. College of Resources and Environmental Sciences, Nanjing Agricultural University, Nanjing, 210095, China; 3. Nanjing Botanical Garden Mem. Sun Yat.-Sen, Institute of Botany, Jiangsu Province and Chinese Academy of Sciences, Nanjing, 210014, China). *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26(6): 1657~1666.

Abstract: Nanjing Botanical Garden Mem. Sun Yat.-Sen(NBG) is a semi-natural place located at the southern foot of Zhongshan Mountain, Nanjing, Jiangsu Province, China. It is rich in seed plants, both cultivated and wild, and contains a diversity of habitats within its 186 km² area. From April 2001 to November 2002, the plants which have invaded as weeds including woody weeds were surveyed in three hedge types of *Euonymus japonicus* (HEa), *Viburnum awabuki* (HV) and *Deutzia scabra* (HD) respectively, and two hedge types of *Buxus microphylla* var. *sinica* (HBa, HBB) cultivated in different habitats in NBG. Another

基金项目: 南京农业大学生物学实验教学中心和南京农业大学国家理科基础科学研究与教学人才培养生物学基地资助项目

收稿日期: 2005-08-09; **修订日期:** 2006-04-09

作者简介: 李新华(1968~), 男, 安徽合肥人, 博士, 副教授, 主要从事植物学和生态学研究. E-mail: Lixinhua@njau.edu.cn

致谢: 国际植物园协会主席、江苏省·中国科学院植物研究所(南京中山植物园) 贺善安研究员对研究工作给予了关心和指导; 澳大利亚 Griffith 大学 Ronda J. Green 博士润色英文摘要, 在此一并致谢!

Foundation item: The project was supported by the open programs from the Experimental Teaching Center of Biology of Nanjing Agricultural University, and from the National Training Base of Biology for Talents of Research and Teaching in Basic Disciplines of Science of Nanjing Agricultural University

Received date: 2005-08-09; **Accepted date:** 2006-04-09

Biography: LI Xin-Hua (1968~), Ph.D., Associate professor, mainly engaged in botany and ecology. E-mail: Lixinhua@njau.edu.cn

hedge type of *Euonymus japonicus* (HEb) was also investigated as a contrast cultivated in Nanjing Agricultural University (NAU) about 3 km away from NBG between April 2003 and November 2003. In total 1230 plant individuals were found to have invaded in these six hedge types, and they were identified as belonging to 70 species in 57 genera and 42 families. Among these plants, 1047 individuals of 55 species were adapted for bird seed dispersal based on previous research results of the seeds found in birds' faeces and on the fruit characteristics, and 161 individuals of 10 species were adapted for wind seed dispersal according to their winged or plumed fruits or seeds, but the seed dispersal mode of the other 22 individuals of 5 species was uncertain.

Among the six hedge types, we found a significantly higher occurrence of bird-dispersed plant species than that of wind-dispersed species ($t = 5.086$, $df = 10$, $p < 0.0001$) and of species with unknown dispersal mode ($t = 8.446$, $df = 10$, $p < 0.0001$). However, the difference of occurrence between wind-dispersed species and species of unknown dispersal mode was not significant ($t = 1.977$, $df = 10$, $p = 0.076$). The species number of bird-dispersed plants recorded in the five hedge types of NBG varied from 15 to 36, $M \pm SD = 25.6 \pm 8.1$, and their Shannon-Wiener indices were between 2.151 and 2.917, $M \pm SD = 2.671 \pm 0.306$. In contrast with NGB, only 12 species of bird-dispersed plants occurred in the hedge of NAU, with a lower Shannon-Wiener index of 1.679. This was largely due to a few critical limiting factors, such as lower species richness or poor seed sources, less abundant frugivorous birds, and much more frequent disturbances of human activities in its surrounding habitats.

As a result of cluster analysis of Bray-Curtis similarity of the invaded plant species adapted for bird seed dispersal, two hedge types of HBa and HEa were assorted into one group, three hedge types of HBb, HEb and HV were classified as another group, whereas the hedge of *Deutzia scabra* shared the least similarity with any of the other five hedge types attributed to its distinct habitat in the coniferous garden of NBG. The similarity of species composition of bird-dispersed plants between hedges was influenced to a large extent by the surrounding habitat characteristics, e. g. locality, seed source diversity, distances from seed sources, bird dispersal agent, and frequency of human disturbance, rather than simply dependent on the tree hedge species itself.

Avian seed dispersal has enriched the species composition of each of the six hedge types consisting of just a single tree species. Although survival and colonization of the migrated plants will inevitably cause some influences to the aesthetic view of hedges, these invaded weeds or woody weeds could be managed and suppressed through regular artificial pruning and by eradication. The results indicate the important ecological significances of seed sources, bird seed dispersal, and shrub patches in promoting the successional development of woody vegetation.

Key words: tree hedges; invaded plants; seed dispersal; birds; seed sources; disturbance; Nanjing Botanical Garden Men. Sun Yat-Sen; community succession

生境可看作为生物的生存、繁殖和迁徙提供所需资源的斑块,而作为生物廊道(biological corridor)的线型生境斑块具有生物运动的路径和本地动物栖息地两方面的生态功能^[1]。生物廊道不但促进动物的运动和迁徙,而且可以通过动物活动引起的种子传播对植物种群产生显著的间接影响^[2]。树篱和林带等景观结构都具有生物廊道的功能,有利于增加鸟类传播的种子的积淀,对于鸟类传播的种子植物的生长和迁移具有积极的影响^[2~4]。树篱作为常见的园林景观,一般由单一树种或少数种类的灌木树种组成,内部条件比较隐蔽,有利于鸟类等动物在其中栖息和活动;同时,树篱内部具有一定的透光性,特别是散射光和斜射光,为种子的萌发和生长提供了必要的条件,并且,树篱也为植物实生苗的生长提供了相对稳定的生境条件。这种情况往往导致鸟类等动物传播的植物种类在树篱中具有很高的出现频率^[3,4]。Holl^[5]认为大的灌木斑块可以吸引更多的鸟类,因此导致很强的种子雨出现,即使是小的灌木条带也具有增加种子雨输入的功能,并且许多种类实生苗的存活率在大的灌木条带中最高,在小的灌木条带中中等,而在草丛中最低。相应地,鸟类传播种子可以加快森林植物群落的演替进程^[6~10]。然而,迄今为止,尚未见到我国在食果鸟类与树篱等灌丛之间生态关系方面的研究报道。

南京中山植物园地处南京市紫金山南麓,园内具有丰富多样的植物种类和相对稳定的不同生境类型,吸引了多种鸟类在此栖息和繁衍,这些鸟类在取食植物果实的同时,可以在其栖息和活动的范围内传播植物种

子^[11-13]。目前, 树篱在南京中山植物园内是一种常见的园林景观, 并且, 多数树篱中都不同程度地混杂生长着一些杂树和杂草, 其中很多植物都可产生适应于鸟类取食和传播的浆果、核果等肉质果实。因此, 为了深入了解这些在树篱中侵入生长的植物的来源和传播途径, 本文在已有研究的基础上, 通过调查南京中山植物园等地几种树篱中侵入植物的种类及其数量, 一方面可以进一步揭示鸟类传播种子对植物自然更新与分布的影响; 另一方面也有利于从不同的角度去深入了解树篱的生态功能。同时也为树篱的管理和维护提供有益的参考。

1 研究地点、研究方法与树篱类型

1.1 研究地点的自然条件

南京中山植物园位于南京钟山风景名胜区内, 地处南京紫金山南麓。年平均温度 15.4℃, 1 月份平均温度 2.3℃, 7 月份平均温度 27.7℃, 年平均降水量 1013 mm。该园面积 186 hm², 海拔高度多为 30~ 50 m, 土壤类型以山地黄棕壤为主。植物园内有小山岗、缓坡、平地、山溪、水塘等多种地形条件, 以及树木园、松柏园、药用植物园及园林植物区等不同园林景观。园内已收集保存有近 3000 种栽培和野生植物类型, 其中室外栽培种类有 1000 多种, 许多中、北亚热带的植物种类能够在露天条件下生长良好且正常开花结实。在植物园的外围地区还保留有面积达 100 hm² 的自然植被保护区, 主要为栓皮栎 (*Quercus variabilis*)、麻栎 (*Q. acutissima*)、枫香 (*Liquidambar formosana*)、枫杨 (*Pterocarya stenoptera*) 和朴树 (*Celtis sinensis*) 等高大树种占优势的次生落叶阔叶林和黑松 (*Pinus thunbergii*)、马尾松 (*P. massoniana*) 人工林, 使植物园与紫金山森林植被连成一体。在植物园北侧海拔 85m 的虎山上, 在立地条件较好的地段分布有郁闭度为 0.7~ 0.9 的栓皮栎、麻栎和枫香林, 在其他地段主要为含有枫香的黑松、马尾松林, 郁闭度为 0.4~ 0.8。这些优越的自然条件为各类植物的生长发育和繁殖更新创造了相对稳定且多样化的生境条件, 同时也为鸟类提供了丰富的食物来源和良好的栖息场所。南京农业大学位于南京中山植物园的东南部, 二者之间距离约 3 km, 校园内植物基本上都是人工栽培的行道树和观赏树木, 以及由单一种类组成的大面积草坪绿地。室外栽培和野生植物种类只有大约 300 种左右, 主要为悬铃木 (*Platanus acerifolia*)、枫香 (*Liquidambar formosana*)、栾树 (*Koelreuteria paniculata*)、重阳木 (*Bischofia polycarpa*)、水杉 (*Metasequoia glyptostroboides*) 等落叶树种, 以及樟树 (*Cinnamomum camphora*)、广玉兰 (*Magnolia grandiflora*)、龙柏 (*Sabina chinensis* cv. *kaizuka*) 等常绿树种。

1.2 研究方法

2001 年 4 月至 2002 年 10 月, 在南京中山植物园内全面调查黄杨 (*Buxus micrphylla* var. *sinica*)、冬青卫矛 (*Euonymus japonicus*)、日本珊瑚树 (*Viburnum awabuki*) 和溲疏 (*Deutzia scabra*) 4 种灌木树种构成的树篱中侵入生长的植物种类及其个体数量。所调查的侵入植物包括那些植物体伸出树篱表面的种类, 以及从树篱侧面见到的生于树篱内部的实生苗种类。但对于狗牙根 (*Cynodon dactylon*) 等树篱内外常见的草本植物则未予调查。作为比较, 于 2003 年 4 月至 11 月, 在与南京中山植物园相距约 3 km 的南京农业大学校园内, 调查了实验楼周围冬青卫矛树篱中侵入生长的植物种类及其个体数量。分析不同树篱中侵入植物可产生的果实结构特点和生活型组成、种子来源及可能的种子传播方式。根据 Shannon-Wiener 指数公式: $H' = - \sum (P_i \ln P_i)$, P_i 为第 i 种植物的个体数占群落样方内所有种类个体总数的比例, $i = 1, 2, \dots, S$ (种类总数), 计算不同树篱中侵入植物的物种多样性指数^[14]; 并根据 Pielou 的均匀度公式: $J = H' / \ln S$, 计算不同树篱中侵入植物的物种均匀度指数^[15]。

利用 SPSS 11.5 for Windows 统计软件进行数据分析处理。有关原始数据经过平方根转换后, 使用 Kolmogorov-Smirnov test 来验证数据的正态分布。应用单因素方差分析 (One-way ANOVA) 来检验 6 个树篱类型中分别适应于 3 种不同种子传播媒介的侵入植物种类数目及其个体数量之间的差异, 并使用独立样本 t 检验来分析任意 2 种不同种子传播媒介对 6 个树篱类型中相关侵入植物种类数目影响的差异性, 同时应用 Levene test 来验证上述数据分析中方差的相等性。

根据树篱中侵入植物种类及其数量特征, 利用 Bray-Curtis 的群落相似性系数公式, 计算不同树篱中适应于鸟类传播种子的侵入植物种类组成的 β 多样性指数。Bray-Curtis 群落相似性指数公式为: $C = \frac{2w}{a+b}$, 其中

a 表示一个群落样本中不同植物种类的个体数量之和, b 表示第二个群落样本中不同植物种类的个体数量之和, w 则表示这两个群落之间共有种类中那些个体数目相对较少种类的个体数量之和^[14]。该指数值在 0~ 1 范围内^[14, 16]。

1.3 树篱种类及其生境特点

上述 6 个树篱类型之间的区别主要表现为周围生境条件的不同(表 1), 以及树篱种类的生物学特性差异上。其中仅有洩疏为落叶灌木, 并且该树篱由于位于较偏僻的南京中山植物园松柏园, 平时不象其他树篱那样受到经常性人工修剪的影响, 基本上处于自然生长的状态, 因而比较高大。然而, 这些树篱类型也具有如下的共同特点: (1) 树篱周围仅分别生长着 1~ 5 种栽培的树木, 它们的种子即使落入下方的树篱中, 并能萌生出实生苗, 也容易辨别其来源; (2) 树篱内部很少受人为干扰的影响, 有利于被传播至树篱中的种子的萌发和生长; (3) 各树篱的栽植时间基本上都在 20a 以上, 因而为侵入植物实生苗的生长提供了相对稳定的环境条件。

表 1 树篱类型及其生境特征
Table 1 Hedge types and its habitats

树篱类型 Hedge type	生活型 Life form	地点 Locality	长度(m) Length	宽度(m) Width	高度 Height(m)	周围栽培树种 CTAH
①黄杨 a HBa	常绿灌木 Evergreen shrub	蔷薇园, NBG Rose Garden, NBG	116 0	1.0~ 1.3	1.0	龙柏 Sc
②黄杨 b HBb	常绿灌木 Evergreen shrub	主楼, NBG Main Building, NBG	116 0	0.9~ 1.0	1.0	桂花, 广玉兰, 龙柏 Of, Md, Sc
③冬青卫茅 a HEa	常绿灌木 Evergreen shrub	蔷薇园及温室边, NBG Rose Garden and Greenhouse, NBG	116 0	1.0~ 1.1	0.8	臭椿, 银杏, 紫薇, 龙柏 Aa, Gb, Li, Sc
④冬青卫茅 b HEB	常绿灌木 Evergreen shrub	南京农业大学 NAU	116 0	0.9~ 1.0	0.9	紫薇, 龙柏, 桂花, 广玉兰 Li, Of, Md, Sc
⑤日本珊瑚树 HV	常绿灌木 Evergreen shrub	重点实验室, NBG Key Laboratory, NBG	116 0	1.2~ 1.4	1.0	朴树, 拐枣, 榔榆, 蜡梅 Cs, Ha, Up, Cp
⑥洩疏 HD	落叶灌木 Deciduous shrub	松柏园, NBG Coniferous Garden, NBG	114 0	2.0~ 2.5	4.0	樟树, 朴树, 马尾松, 侧柏, 池杉 Cc, Cs, Pm, Po, Ta

HB-Hedge of *Buxus microphylla* var. *sinica*; HE-Hedge of *Euonymus japonicus*; HV- Hedge of *Viburnum awabuki*; HD- Hedge of *Deutzia scabra*; NBG-Nanjing Botanical Garden Mem. Sun Yat-Sen; NAU- Nanjing Agricultural University; CTAH-Cultivated tree species around the hedge; Aa: 臭椿 *Ailanthus altissima*; Cc: 樟树 *Cinnamomum camphora*; Cp: 蜡梅 *Chimonanthus praecox*; Cs: 朴树 *Celtis sinensis*; Glx 银杏 *Ginkgo biloba*; Ha: 拐枣 *Hovenia acerba*; Li: 紫薇 *Lagerstroemia indica*; Md: 白玉兰 *Magnolia denudata*; Of: 桂花 *Osmanthus fragrans*; Pm: 马尾松 *Pinus massoniana*; Po: 侧柏 *Platycladus orientalis*; Sc: 龙柏 *Sabina chinensis* cv. *kaizuka*; Ta: 池杉 *Taxodium ascendens*; Up: 榔榆 *Ulmus parvifolia*

2 结果与分析

2.1 树篱中侵入植物种类及个体数量

在这 6 个树篱类型中调查到侵入生长的种子植物共计 1230 株, 分隶于 42 科 57 属 70 种植物(含变种, 下同), 其中裸子植物 3 科 3 属 3 种共 52 株, 被子植物 39 科 54 属 67 种共计 1178 株, 详见表 2。

然而, 由于受到经常性人工修剪树篱及拔除杂木、杂草的影响, 树篱中绝大多数侵入生长的乔灌木种类都处于实生苗阶段, 少数个体茎干较粗的小树, 因上部被砍折, 高度都不能超过树篱表面。不过树篱中仍有一些侵入生长的植物种类能够开花结果, 如野蔷薇、蓬、枸杞等一些不易被清除的小灌木, 何首乌、木防己、乌菰莓、白英等草质藤本及美洲商陆等草本植物。另外, 在树篱中侵入生长的植物种类中, 蔷薇科植物最多, 达 4 属 10 种, 并且全部具有适应于鸟类传播的肉质果实类型。

2.2 树篱中侵入植物的传播方式分析

根据植物果实及种子的结构特征, 结合已有的调查研究结果, 大体上将植物种子的传播方式分为以下 3 类。①适应于食果鸟类传播种子的植物种类: 这类植物的果实一般为肉质的核果、浆果、梨果、聚合瘦果及球果等类型, 种皮坚硬, 或者种子包被于坚硬的果核中; 并且已经观察到其中一些种类的果实被鸟类取食, 或者在鸟粪样品中见到它们结构完整的种子^[11~ 13]。另外, 在对树篱中侵入植物种类及其个体数量进行调查过程中, 在南京中山植物园的一些树篱内部及树篱上方树上观察到的常见鸟类有山斑鸠 (*Streptopelia orientalis*)、白

Table 2 Survey of the invaded plants occurred in different hedge types							
植物种类 Plant species	分布及个体数量 Occurrence habitat and individual number						传播媒介* Dispersal agent
	HBa	HBb	HEa	HEb	HV	HD	
柏科 Sabinaceae							
圆柏 <i>Sabina chinensis</i>	1	0	1	0	0	0	B
罗汉松科 Podocarpaceae							
罗汉松 <i>Podocarpus macrophyllus</i>	0	0	0	0	0	25	B
红豆杉科 Taxaceae							
红豆杉 <i>Taxus chinensis</i>	0	0	0	0	0	25	B
榆科 Ulmaceae							
榔榆 <i>Ulmus parvifolia</i>	2	0	4	4	2	0	W
朴树 <i>Celtis sinensis</i>	16	6	36	2	7	6	B
桑科 Moraceae							
柘树 <i>Cudrania tricuspidata</i>	5	0	0	0	1	1	B
桑树 <i>Morus alba</i>	0	3	1	3	2	1	B
构树 <i>Broussonetia papyrifera</i>	2	3	1	21	2	44	B
马兜铃科 Aristolochiaceae							
马兜铃 <i>Aristolochia debilis</i>	0	0	0	0	2	0	W
蓼科 Polygonaceae							
何首乌 <i>Polygonum multiflorum</i>	62	17	25	3	3	0	W
商陆科 Phytolaccaceae							
美洲商陆 <i>Phytolacca americana</i>	0	2	0	0	1	0	B
木通科 Lardizabalaceae							
木通 <i>Akebia quinata</i>	0	0	2	0	0	5	B
小檗科 Berberidaceae							
南天竹 <i>Nandina domestica</i>	8	0	0	0	0	0	B
防己科 Menispermaceae							
木防己 <i>Cocculus trilobus</i>	2	0	2	4	2	0	B
木兰科 Magnoliaceae							
白玉兰 <i>Magnolia denudata</i>	2	0	0	0	4	0	B
樟科 Lauraceae							
樟树 <i>Cinnamomum camphora</i>	1	26	6	2	10	5	B
天竺桂 <i>C. japonicum</i>	0	0	0	0	0	12	B
海桐科 Pittosporaceae							
海桐 <i>Pittosporum tobira</i>	8	0	2	0	0	3	B
金缕梅科 Hamamelidaceae							
蚊母树 <i>Distylium racemosum</i>	0	0	0	0	1	0	Un
蔷薇科 Rosaceae							
石楠 <i>Photinia serrulata</i>	0	2	0	0	0	0	B
檫木石楠 <i>P. davidsoniae</i>	2	0	0	0	0	1	B
枇杷 <i>Eriobotrya japonica</i>	0	0	1	0	0	0	B
野蔷薇 <i>Rosa multiflora</i>	3	0	2	1	2	48	B
小果蔷薇 <i>R. cymosa</i>	0	0	0	0	0	4	B
蓬 <i>Rubus hirsutus</i>	12	0	27	0	0	39	B
茅莓 <i>R. parvifolius</i>	0	0	0	0	0	1	B
插田泡 <i>R. coreanus</i>	0	0	0	1	0	1	B
山莓 <i>R. corchorifolius</i>	0	0	5	0	4	3	B
高粱泡 <i>R. lambertianus</i>	0	0	30	0	0	1	B
豆科 Leguminosae							
鹿藿 <i>Rhynchosia volubilis</i>	0	0	4	0	0	0	Un
芸香科 Rutaceae							
竹叶椒 <i>Zanthoxylum armatum</i>	2	0	1	0	0	3	Un
苦木科 Simaroubaceae							
臭椿 <i>Ailanthus altissima</i>	1	0	1	0	0	0	W
楝科 Meliaceae							
楝树 <i>Melia azedarach</i>	2	0	3	0	1	0	B
大戟科 Euphorbiaceae							
重阳木 <i>Bischofia polycarpa</i>	0	0	0	1	0	0	B

续表 2

漆树科 Anacardiaceae							
黄连木 <i>Pistacia chinensis</i>	0	0	7	0	0	0	B
盐肤木 <i>Rhus chinensis</i>	2	0	2	0	0	0	B
冬青科 Aquifoliaceae							
枸骨 <i>Ilex cornuta</i>	0	2	0	0	0	7	B
冬青 <i>I. chinensis</i>	0	0	0	0	0	3	B
卫矛科 Celastraceae							
丝棉木 <i>Euonymus bungeanus</i>	0	1	0	0	0	1	B
扶芳藤 <i>E. fortunei</i>	0	0	0	0	0	13	B
槭树科 Aceraceae							
三角枫 <i>Acer buergerianum</i>	2	1	2	0	1	0	W
红枫 <i>A. palmatum</i> var. <i>atropurpureum</i>	0	0	0	1	4	0	W
无患子科 Sapindaceae							
栲树 <i>Koelraetia paniculata</i>	3	2	3	1	0	0	W
鼠李科 Rhamnaceae							
拐枣 <i>Hovenia acerba</i>	0	0	0	0	3	0	B
马甲子 <i>Paliurus hemsleyana</i>	0	0	0	0	0	2	Un
葡萄科 Vitaceae							
爬山虎 <i>Parthenocissus tricuspidata</i>	6	0	3	0	2	0	B
乌藟莓 <i>Cayratia japonica</i>	8	6	28	37	13	0	B
梧桐科 Sterculiaceae							
梧桐 <i>Firmiana simplex</i>	0	0	1	0	0	0	W
胡颓子科 Elaeagnaceae							
胡颓子 <i>Elaeagnus pungens</i>	1	0	2	0	0	22	B
八角枫科 Alangiaceae							
瓜木 <i>Alangium platanifolium</i>	3	0	3	0	2	0	B
山茱萸科 Comaceae							
毛 <i>Cornus walteri</i>	1	1	2	0	0	0	B
木犀科 Oleaceae							
桂花 <i>Osmanthus fragrans</i>	0	6	1	0	0	5	B
女贞 <i>Ligustrum lucidum</i>	18	1	7	1	1	6	B
小蜡 <i>L. sinense</i>	1	0	0	0	0	0	B
夹竹桃科 Apocynaceae							
络石 <i>Trachelospermum jasminoides</i>	10	0	3	0	0	0	W
旋花科 Convolvulaceae							
打碗花 <i>Calystegia hederacea</i>	0	9	0	0	0	0	Un
茄科 Solanaceae							
枸杞 <i>Lycium chinensis</i>	0	1	2	0	2	0	B
白英 <i>Solanum lyratum</i>	0	0	7	1	3	0	B
茜草科 Rubiaceae							
鸡矢藤 <i>Paederia scandens</i>	4	5	47	21	12	0	B
忍冬科 Caprifoliaceae							
接骨草 <i>Sambucus chinensis</i>	0	0	2	0	0	0	B
木绣球 <i>Viburnum microcephalum</i> var. <i>keteleeri</i>	8	0	5	1	0	5	B
英迷 <i>V. dilatatum</i>	0	0	1	0	0	0	B
葫芦科 Cucurbitaceae							
马兜儿 <i>Melothria indica</i>	0	0	2	0	0	0	B
菊科 Compositae							
野菊 <i>Chrysanthemum indicum</i>	0	0	1	0	0	0	W
棕榈科 Palmae							
棕榈 <i>Trachycarpus fortunei</i>	12	15	24	0	3	57	B
百合科 Liliaceae							
菝葜 <i>Smilax china</i>	6	0	2	0	0	8	B
土麦冬 <i>Liriope spicata</i>	10	0	6	0	0	0	B
阔叶土麦冬 <i>L. platyphylla</i>	0	0	13	0	1	4	B
麦冬 <i>Ophiopogon japonicus</i>	0	0	5	0	0	0	B
万年青 <i>Rohdea japonica</i>	0	0	0	0	0	1	B
合计 Total	226	111	336	104	91	362	

* 传播媒介 Dispersal agent: B-鸟类 Bird; W-风 Wind; Un-传播媒介不明 Uncertain
© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

头鹀 (*Pycnonotus sinensis*)、灰喜鹊 (*Cyanopica cyana*)、红胁蓝尾鸲 (*Tarsiger cyanurus*)、北红尾鸲 (*Phoenicurus aureus*)、灰背鸲 (*Turdus hortulorum*)、乌鸲 (*Turdus merula*)、斑鸲 (*Turdus naumanni*) 和黑脸噪鹛 (*Garrulax perspicillatus*) 等种类。这些鸟类常常在白天钻入到树篱中隐蔽或夜晚在树篱中栖息, 导致树篱下方的地面上落入一些鸟类传播的种子。如从搜疏树篱下面捡到的鸟粪样品分离出构树 (*Broussonetia papyrifera*)、蓬 (*Rubus hirsutus*)、海桐 (*Pittosporum tobira*)、木绣球 (*Viburnum microcephalum* var. *keiskeeri*) 及菝葜 (*Smilax china*) 等种子, 同时见到被鸟类呕出的楝树和桂花的果核; 在黄杨树篱中也见到了被鸟类呕出的楝树果核。这些鸟类活动显然有利于多样化的种子输入到树篱中。② 适应于风力传播种子的植物种类: 此类植物的果实一般为翅果、囊状的蒴果, 或者种子重量轻且具有翅、绢毛或冠毛等在空气中飘浮的结构。③ 传播媒介不明的植物种类: 这类植物的果实或种子的结构特征均不适应于鸟类或风力传播, 主要为蒴果、荚果等干果类型。虽然水力也是传播种子或果实的媒介之一, 但是根据树篱周围种子源及地形特点, 有关种子被水力传播至树篱中的情况很少, 并且在植物园中可能被水力传播的果实或种子在结构上无显著的共同特征, 因此对水力传播种子的情况不作专门的分析。

此外, 蚂蚁虽然也具有搬运果实及种子的功能, 但是作用相对很小, 这里也不列入考虑。类似地, 鼠类等啮齿动物主要以贮藏种子 (果实) 的方式进行种子传播, 那些未被取食的贮藏种子 (果实) 有可能萌发出苗生长。由于在早年栽种树篱时地面经过平整, 这几种树篱中内部目前未发现适应于鼠类贮藏种子 (果实) 的洞穴, 并且内部结构比较简单的几种树篱周围毕竟存在着一定的人为干扰活动, 不利于易惊多疑的鼠类活动。因此, 鼠类等啮齿动物传播种子对树篱中侵入植物影响的可能性也非常小, 这里亦不予以考虑。

由此认为, 在上述 6 个树篱类型中侵入生长的 70 种植物中 (表 2), 适应于鸟类传播的种类有 30 科 43 属 55 种, 共计 1047 株植物, 占种类总数的 79%, 占个体总数的 81%; 适应于风力传播的植物有 9 科 9 属 10 种, 共计 161 株植物, 占种类总数的 14%, 占个体总数的 17%; 传播媒介不明的植物有 5 科 5 属 5 种, 共计 22 株植物, 占种类总数的 7%, 占个体总数的 2% (图 1 和图 2)。总的看来, 无论在种类数目上, 还是在个体数目上, 6 个树篱类型中大多数侵入植物都适应于鸟类传播种子, 而风力等其他种子传播媒介的所起的作用都很小。并且, 这种情况在各树篱类型中可以得到更加具体的反映。

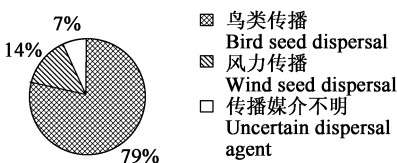


图 1 树篱中侵入生长的 70 种植物种子传播方式比较

Fig. 1 Comparison of seed dispersal mode of 70 plant species invaded in the hedges

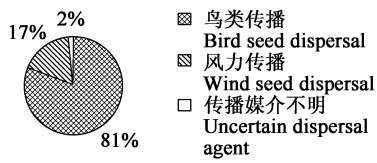


图 2 树篱中侵入生长的 1230 株植物种子传播方式比较

Fig. 2 Comparison of seed dispersal mode of 1230 plant individuals invaded in the hedges

根据图 3 和图 4, 6 个树篱类型中具不同种子传播方式的侵入植物在种类数目方面存在着显著的差异 (ANOVA, $F_{2,15} = 32.069$, $p < 0.0001$), 并且具不同种子传播方式的侵入植物在个体数目方面也存在着显著的不同 (ANOVA, $F_{2,15} = 19.899$, $p < 0.0001$)。各树篱类型中适应于鸟类传播种子的侵入植物种类数目分别为 12~ 36 种, 平均 23.3 ± 9.1 种; 适应于风力传播的侵入植物种类数目分别为 0~ 8 种, 平均 4.3 ± 2.7 种; 而种子传播媒介不明的侵入植物种类数目分别为 0~ 2 种, 平均 1.2 ± 0.8 种。显然, 各树篱类型中适应于鸟类传播种子的侵入植物种类数目显著多于风力传播的植物种类 ($t = 5.086$, $df = 10$, $p < 0.0001$), Levene 检验 ($F = 0.099$, $p = 0.759$), 同时也显著多于种子传播媒介不明的植物种类 ($t = 8.446$, $df = 10$, $p < 0.0001$), Levene 检验 ($F = 3.489$, $p = 0.091$); 但各树篱中适应于风力传播的侵入植物与种子传播媒介不明的植物在种类数目上无显著差异 ($t = 1.977$, $df = 10$, $p = 0.076$), Levene 检验 ($F = 1.248$, $p = 0.290$)。

2.3 不同树篱中适应于鸟类传播的侵入植物多样性

各类型树篱中适应于鸟类传播的侵入植物物种多样性指数及植物组成的相似性指数比较分别见表 3 和

图5。根据表 3, 位于南京中山植物园内的 HBa、HEa、HD、HV 和 HBb 这 5 个树篱类型都具有较高的物种多样性指数, 为 2.151 至 2.917, 平均 2.671 ± 0.306 ; 并且种类数目也较多, 为 15~ 36 种, 平均 25.6 ± 8.1 种。而位于南京农业大学实验楼周围的冬青卫矛树篱(HEb)的物种多样性指数最低, 为 1.679, 并且有关种类数目也最少, 为 12 种。值得一提的是, 生长于南京中山植物园不同生境条件下的两处黄杨树篱 (HBa 和 HBb) 中, Shannon- Wiener 指数及有关种类数目都差别很大。而分别生长在南京中山植物园和南京农业大学两地相距约 3 km 的 2 个冬青卫矛树篱(HEa 和 HEb) 中, 类似的情况显得更加突出。

根据图 5, 各树篱类型中适应于鸟类传播的侵入植物的 Bray- Curtis 相似性指数都低于 50%。从相似性指数的聚类分析结果看, 这 6 个不同的树篱类型大体上可归为 3 类。其中类型 I 包括 HBa 和 HEa, 因为这两处树篱分别位于南京中山植物园蔷薇园及展览温室周围, 并且蔷薇园与展览温室彼此紧邻, 所以二者周围的生境条件比较相似; 类型 II 包括 HBb、HV 和 HEb, 这 3 处树篱周围生境的显著特点是人为活动十分频繁; 类型 III 仅为 HD, 该树篱为落叶性的洩疏树篱, 位于南京中山植物园比较僻静的松柏园内, 平时基本上不受到人工修剪的影响, 内部土壤条件较荫湿, 周围生境条件与其他树篱类型明显不同。由此也导致洩疏树篱中在适应于鸟类传播的侵入植物种类组成上与其他树篱类型存在较大的不同, 如罗汉松、红豆杉、天竺桂、冬青及扶芳藤等常绿树种仅出现在该树篱中。

表 3 6 个树篱类型中适应于鸟类传播的侵入植物物种多样性指数

Table 3 Indices of species diversity of the invaded plants species adapted for bird seed dispersal in the six hedge types						
树篱类型 Hedge type	HBa	HBb	HEa	HEb	HV	HD
Shannon- Wiener 指数 Shannon- Wiener index	2.917	2.151	2.871	1.679	2.684	2.733
均匀度指数 Evenness index	0.895	0.794	0.801	0.676	0.881	0.804
物种数目 Species number	26	15	36	12	21	30

3 讨论

研究结果表明, 南京中山植物园等地 6 个树篱类型中侵入生长的 70 种种子植物大多数都适应于鸟类传播种子, 鸟类传播种子对树篱中侵入植物多样性产生了十分显著的影响。这种情况也反映了树篱不但吸引食果鸟类在其内部活动和栖息, 促进鸟类传播种子的沉积作用, 而且可以为实生苗的存活和生长提供有利的生境条件^[2-5]。与此形成鲜明对照的是, 风力等种子传播媒介对树篱中侵入植物多样性的影响则不明显。这种情况可能因为树篱表层对翅果、囊状的蒴果, 以及具有绢毛或冠毛等飘浮结构的果实或种子具有一定的阻碍性。在瑞典南部的相关研究显示, 动物传播的植物种类在树篱中具有很高的分布频率, 而风力传播的植物种类在森林边缘的分布频率很高^[4]。

然而, 无论是不同种类的树篱, 还是生长在不同生境中的同种树篱, 在适应于鸟类传播种子的侵入植物多样性方面却都分别存在着相当的差异。基于 Bray- Curtis 相似性指数的聚类分析结果显示, 树篱中适应于鸟类

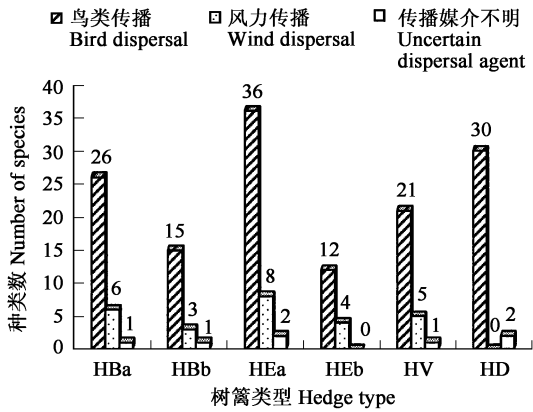


图 3 6 个树篱类型中具不同种子传播方式的侵入植物种类数目比较
Fig. 3 Comparison of species number of the invaded plants with different seed dispersal mode in the six hedge types

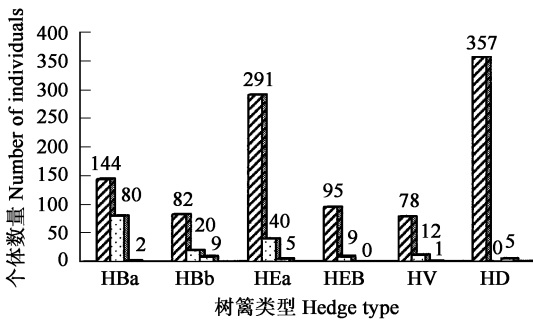


图 4 6 个树篱类型中具不同种子传播方式的侵入植物个体数目比较
Fig. 4 Comparison of individual number of the invaded plants with different seed dispersal mode in the six hedge types

传播种子的侵入植物组成的相似性主要受到树篱周围生境特点的影响,而非简单取决于树篱种类本身。如生长在不同生境条件下的黄杨树篱及冬青卫矛树篱,同种树篱之间的相似性指数均低于生长在相似生境条件下的不同种类树篱(图5)。究其原因,主要由于各类型树篱周围在种子源的丰富性及其距离、人为活动的干扰程度、食果鸟类的丰度及其活动特点,以及树篱内部的光照、土壤条件等方面存在着差异性。

在种子源距离对树篱中侵入植物多样性的影响方面,以位于南京中山植物园松柏园的洩疏树篱为例,在该树篱中分别调查到25棵红豆杉和25棵罗汉松实生苗,并且这2种侵入植物在其他几种树篱中都没有见到。一个重要的原因就是洩疏树篱北面60~90 m距离

处,分布着植物园内唯一的一处由11棵成年树木组成的红豆杉栽培种群;而在该树篱北面约100 m距离处,生长有数十棵栽培的罗汉松成年植株。在实际观察中发现,白头鹎、灰喜鹊等鸟类取食红豆杉或罗汉松具肉质假种皮的种子后常常在洩疏树篱中活动和栖息,从而将红豆杉和罗汉松的种子传播至树篱等生境中。虽然鸟类可以在较大的距离范围内传播种子,但是与种子源距离较近的树篱等生境中落入种子的机会更多。有关美国纽约州树篱的研究显示,树篱中迁入的森林草本植物在种类组成上与邻近的森林植物群落具有高度的相似性。并且,在树篱内部具有一种距离效应(distance effect),即树篱中侵入植物在种类丰富度(richness)及种类组成方面与邻接森林的相似性随着距离的增加而下降。如随着树篱与邻近的森林之间距离的增加,一些动物传播的森林草本植物在树篱中的出现频率和丰富度均呈下降趋势^[3]。

在人为干扰活动对树篱中侵入植物多样性的影响方面,由于食果鸟能否在树篱中或树篱上方活动和栖息,在树篱中活动和栖息时间的长短等环境因素,都会影响到鸟类传入树篱中的种子种类及其数量,而频繁的人为活动对鸟类的活动和栖息会产生干扰影响,因此,频繁的人为干扰活动对树篱中鸟类传播的侵入植物也会造成重要的影响。以黄杨树篱为例,两处黄杨树篱尽管在树篱的长度、高度及内部结构等方面都比较相似,但彼此之间在侵入植物种类及其个体数量方面都存在着明显的差异(表2和图3),并且适应于鸟类传播的侵入植物物种多样性指数也差别较大,分别为2.917(HBa)和2.151(HBb)。导致这种差异的原因,除了种子源距离的影响外,另一个重要的原因就在于黄杨树篱b(HBb)位于植物园办公大楼周围,附近的人为活动比较频繁,影响了鸟类在树篱周围及在树篱中活动和栖息;而黄杨树篱a(HBa)位于蔷薇园北侧,周围人为干扰活动相对较少,有利于鸟类在树篱中活动和栖息,增加了鸟类传入种子的机会。

然而事实上,种子源的距离、食果鸟类及树篱的生长环境等因素往往共同对树篱中侵入植物种类的多样性产生综合影响。这种情况在南京农业大学实验楼周围的黄杨树篱中可以得到充分的反映。南京农业大学位于南京紫金山南侧,虽然与南京中山植物园相距仅约3 km,但在两地长度相同、高度和宽度相近的冬青卫矛树篱中,该校实验楼周围树篱(HEb)中侵入植物的种类及其数量都明显少于南京中山植物园的同种树篱(HEa)(表2和图3)。导致二者之间显著差异的原因主要为:①南京农业大学校园内栽培及野生种子植物种类数目和数量都远远少于南京中山植物园,可供的种子源类型少。如红豆杉、美洲商陆、天竺桂、小果蔷薇、蓬、插田泡、山莓、高粱泡及瓜木等种类在南京农业大学都没有栽培和生长,而在该处冬青卫矛树篱中侵入生长的所有植物种类中,仅有重阳木1种未见于南京中山植物园被调查的树篱;②校园内生境类型比较简单,鸟类种类多样性较低,只有乌鸫、灰喜鹊、白头鹎、山斑鸠等南京地区常见的鸟类,而红嘴蓝鹊(*Urocissa erythroryncha*)、黑领噪鹛(*Garrulax pectoralis*)等典型的森林鸟类根本难以见到。③树篱周围的人流量和人为活动的频度却显著高于南京中山植物园。类似地,在南京市中山东路等一些车流量和行人流量很大的主干街

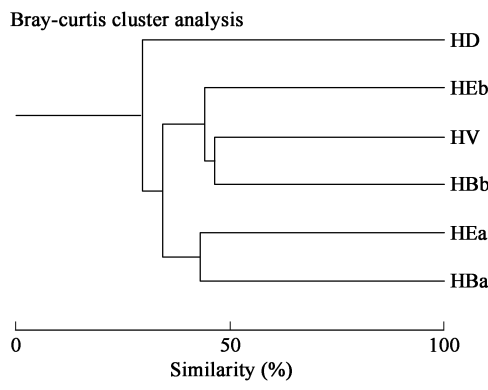


图5 6个树篱类型中适应于鸟类传播的侵入植物的 Bray-Curtis 相似性指数比较

Fig.5 Comparison of Bray-Curtis indices of the invaded plants adapted for bird seed dispersal in the six hedge types

道边生长的树篱中, 由于树篱周围人为干扰活动十分频繁, 以及附近栽培树种单一或植物种类很少等原因, 在树篱中几乎见不到适应于鸟类传播的侵入种子植物。

鸟类传播种子丰富了单一树种构成的树篱中的种子植物多样性。然而, 不可否认, 鸟类传播种子也对树篱的景观产生了一定的不利影响, 不过人工对树篱的日常修剪及不定期地(如在一些重要的庆典活动到来之前)拔除杂树和杂草等管护措施严格限制了这些侵入植物实生苗及小树的正常生长。如果没有这种人工干扰, 那么少数树篱将可能逐渐发展为结构较为复杂的植物群落。这种情况也反映出种子源、鸟类传播种子和灌丛在促进植物群落的发展和演替过程中具有重要的生态意义。事实上, 在热带及亚热带地区弃用的牧场中, 孤立生长的树木及灌丛都能够增加鸟类等动物传播的种子雨输入, 对于退化土地上森林树种的种群建立, 以及森林植被的恢复都具有积极的促进作用^[5, 17, 18]。相反, 在废弃的缺少树木的空旷牧场中, 由于有关鸟类不敢冒险在其中活动, 因此导致鸟类传播的种子雨十分稀少^[9]。类似地, 在缺少灌木的废弃田地中, 乔木和灌木等木本植物区系的发展都需要更长的时间^[19]。当前, 我国许多地区, 尤其是山区在开展退耕还林的实践中, 如果能够综合分析和利用当地可供种子源、传播种子的鸟类等食果动物, 并保留或人工栽植一些灌丛或林带, 那么这些生态措施将会有助于加快植物群落的演替进程, 促进该地森林植被的自然恢复。另外, 由于鸟类对种子的有效传播作用, 美洲商陆在南京中山植物园已经从栽培的药用植物逸生为外来杂草^[3], 并且在蔷薇园边的黄杨树篱及日本珊瑚树树篱中都调查到开花结果的个体, 表明该种植物具有利用树篱等生物廊道继续向周围生境中扩散蔓延的潜力。

References:

- [1] Rosenberg D K, Noon B R, Meslow E C. Biological corridors: form, function, and efficacy. *BioScience*, 1997, 47: 677~ 687.
- [2] Tewksbury J J, Levey D J, Haddad N M, *et al.* Corridors affect plants, animals, and their interactions in fragmented landscapes. *Proceedings of the National Academy of Sciences(USA)*, 2002, 99: 12923~ 12926.
- [3] Corbit M, Marks P L, Gardescu S. Hedgerows as habitat corridors for forest herbs in central New York, USA. *Journal of Ecology*, 1999, 87: 220~ 232.
- [4] Saito-Herlin I, Fry G. Dispersal of woody plants in edges and hedgerows in a southern Swedish agricultural area: the role of site and landscape structure. *Landscape Ecology*, 2000, 15: 229~ 242.
- [5] Holl K D. Effect of shrubs on tree seedling establishment in an abandoned tropical pasture. *Journal of Ecology*, 2002, 90: 179~ 187.
- [6] Debnusche M J, Lepart E J. Omithochory and plant succession in Mediterranean abandoned orchards. *Vegetatio*, 1982, 48: 255~ 266.
- [7] McClanahan T R, Wolfe W. Accelerating forest succession in a fragmented landscape: the role of birds and perches. *Conservation Biology*, 1993, 7: 279~ 288.
- [8] Whittaker R J, Jones S H. The role of frugivorous bats and birds in the rebuilding of a tropical forest ecosystem, Kraktau, Indonesia. *Journal of Biogeography*, 1994, 21: 245~ 258.
- [9] Cardoso da Silva J M, Uhl C, Murray G. Plant succession, landscape management, and the ecology of frugivorous birds in abandoned *Amazonian pastures*. *Conservation Biology*, 1996, 10: 491~ 503.
- [10] Shiels A B, Walker L R. Bird perches increase forest seeds on Puerto Rican landslides. *Restoration Ecology*, 2003, 11(4): 457~ 465.
- [11] Li X H, Yin X M, He S A. Tree fruits eaten by birds in Nanjing Botanical Garden Mem. Sun Yat-Sen in autumn and winter. *Chinese Journal of Zoology*, 2001, 36(6): 20~ 24.
- [12] Li X H, Yin X M, He S A. Seed dispersal by frugivorous birds in Nanjing Botanical Garden Mem. Sun Yat-Sen in autumn and winter. *Biodiversity Science*, 2001, 9(1): 68~ 72.
- [13] Li X H, Yin X M. Seed dispersal by frugivorous birds in Nanjing Botanical Garden Mem. Sun Yat-Sen in spring and summer. *Acta Ecologica Sinica*, 2004, 24(7): 1452~ 1458.
- [14] Magurran A E. *Ecological Diversity and Its Measurement*. Princeton: Princeton University Press, 1988.
- [15] Pielou E C. *Ecological diversity*. New York: John Wiley & Sons, 1975.
- [16] Bray J R, Curtis J T. An ordination of the upland forest communities of southern Wisconsin. *Ecological Monographs*, 1957, 27: 325~ 349.
- [17] Galindo-Gonzalez J, Guevara S, Sosa V J. Bat- and bird-generated seed rains at isolated trees in pastures in a tropical rainforest. *Conservation Biology*, 2000, 14(6): 1693~ 1073.
- [18] Ing T, Gillespie M, Lamb D. The role of isolated trees in facilitating tree seedling recruitment at a degraded sub-tropical rainforest site. *Restoration Ecology*, 1999, 7(3): 288~ 297.
- [19] Marshall, E J P, Hopkins A. Plant species composition and dispersal in agricultural land. In Bunce & Howard, eds. *Species Dispersal in Agricultural Habitats*. Belhaven Press, London, 1990. 98~ 116.

参考文献:

- [11] 李新华, 尹晓明, 贺善安. 南京中山植物园秋冬季鸟类对树木果实的取食作用. *动物学杂志*, 2001, 36(6): 20~ 24.
- [12] 李新华, 尹晓明, 贺善安. 南京中山植物园秋冬季鸟类对植物种子的传播作用. *生物多样性*, 2001, 9(1): 68~ 72.
- [13] 李新华, 尹晓明. 南京中山植物园春夏季节鸟类对植物种子的传播作用. *生态学报*, 2004, 24(7): 1452~ 1458.