

温州地区黑荆树入侵群落的竞争与动态

李 乐¹, 骆争荣², 李 琮¹, 胡志勇¹, 丁炳扬^{1,*}

(1. 温州大学生命与环境科学学院, 温州 325035; 2. 浙江大学生命科学院, 杭州 310058)

摘要:黑荆树作为一种入侵植物在国外已经引起了相当的重视,被作为经济植物引入我国以后,目前在很多地区也形成了黑荆树天然更新林。但至今其对于我国生态系统的入侵风险的研究仍然很少。以温州地区 6 个黑荆树群落为样本,对黑荆树和其它树种的竞争强度、空间关系和群落中物种的相互替代进行了分析,结果表明:(1)黑荆树在群落竞争中并没有体现出优势;(2)黑荆树与其它物种在空间上基本是独立的,这可能是由于竞争强度比较弱,并不能造成明显的竞争性死亡;(3)除马尾松外各群落中物种都维持较高的自我替代,但是在 PY04、CN02 和 RN01 群落未来黑荆树仍可能替代其它物种变成主要优势种,而由于其存在幼苗更新困难这种优势不会长久;(4)黑荆树的入侵风险不高,保持群落的生物多样性能够有效地防止黑荆树成为优势物种,因此今后要尽力维持本地群落的生物多样性。

关键词:黑荆树;外来种;竞争;空间分析;替代

文章编号:1000-0933(2009)12-6622-08 中图分类号:Q948.1 文献标识码:A

Species competition and dynamics in the communities invaded by Black Wattle in Wenzhou

LI Le¹, LUO Zheng-Rong², LI Qiong¹, HU Zhi-Yong¹, DING Bing-Yang^{1,*}

1 College of Life & Environmental Science, Wenzhou University, Wenzhou 325027, China

2 College of Life, Zhejiang University, Hangzhou 310058, China

Acta Ecologica Sinica, 2009, 29(12): 6622 ~ 6629.

Abstract: Black wattle (*Acacia mearnsii*), an invasive species in many countries, has received much attention abroad. It was introduced into China as commercial plant in the late 1950s. Presently, it has become a sustainable part in many secondary forests in China. Few studies, however, have focused on the risk of its invasion to native ecosystems. Sample plots were established in six communities invaded by black wattle in Wenzhou (one sample plot for each community). All individuals whose DBH (diameter at 1.3m height) larger than 1cm were mapped, identified and measured. The competitive strength and the spatial relationship between black wattle and indigenous species, and the replacement relationships among all species in each community were analyzed. The results suggest that (1) black wattle has no significant advantage in competing with indigenous species in a community; (2) black wattle is spatially independent from other species in a community, which is probably related to its weak competition that is not strong enough to lead to the mortality of its competitors; (3) all species, excluding masson pine, in each community are subject to self-replacement. Black wattle, however, is likely to replace other species and becomes the only dominant species in three communities (PY04, CN02 and RN01), though its dominance may not sustain for long periods of time because of its recruitment restriction; (4) overall, the risk of invasion of black wattle to an indigenous vegetation is not very high, and the wide diversity of species in a native community is able to keep black wattle from becoming a dominant species.

基金项目:浙江省新苗计划资助项目(2007R40G2250013);温州市科技计划资助项目(S2004A015)

收稿日期:2009-02-22; **修订日期:**2009-06-22

致谢:温州市工科院生物资源实验基地在本项调查研究中给予大力支持;平阳山门镇林业站曾范营先生、浙江省亚热带作物研究所马站试验站黄天建站长和乐清市林业局牟爱友先生协助野外调查工作;温州大学生命与环境科学学院吴庆玲、南康武等和 2006 和 2005 级生物科学(师范)专业部分同学参与野外调查工作,特此致谢。

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: dby@wzu.edu.cn

Key Words: *Acacia mearnsii*; alien species; competition; spatial analysis; replacement

外来种入侵是全球性变化研究的重要组成部分,已经成为各国生物多样性保护和管理的核心问题^[1]。黑荆树作为一种入侵植物在国外已经引起了相当的重视,由于其具有很强的入侵性,已经被列为世界 100 种恶性外来入侵物种之一,目前已经在新西兰、夏威夷、南非和津巴布韦形成入侵^[2~6]。黑荆树(*Acacia mearnsii* De Willd.) 隶属于含羞草科(Mimosaceae),原产澳大利亚东南沿海地带和塔斯马尼亚岛,是一种喜光性常绿乔木^[7]。其作为工业原料资源,在南半球和亚洲的一些发展中国家被广泛引种,营造了大面积人工林^[8]。中国引种黑荆树已有多年的历史,在国内广大的中、南亚热带地区都有引种^[9]。浙江省的黑荆树种植面积曾经达 750hm²,集中分布于温州地区的平阳和苍南一带,是我国种植面积最大的栲胶原料基地之一^[10]。国外研究表明黑荆树入侵以后对入侵地造成的生态和环境后果十分严重^[5]。调查发现,在温州,早期种植的黑荆树于 20 世纪 80~90 年代被砍伐利用后,由于经济效益不高,不再进行大面积造林,基本处于被弃状态,从而形成了目前存在于各地的次生性天然更新林。但是,黑荆树在我国还没有被列为入侵种,对其研究也大多还停留在营林和经济利用方面。付增娟等通过研究云南的黑荆树的繁殖扩散特性、群体交配系统和遗传结构、对当地物种的影响 3 个方面评价了黑荆树的入侵性,结果表明它具有较高的入侵潜力^[11,12]。因此,对黑荆树的入侵生态学已十分必要。

从达尔文时代起,竞争就一直是生态学和进化论研究的焦点^[13]。生态位理论尤其强调竞争在群落构建、演化、稳定中的作用。在自然群落中,竞争是普遍存在的,可以影响生态系统从个体到群落的各个层次^[14]。竞争在外来种入侵过程中更起着十分重要的作用,外来种入侵常常都发生竞争和排斥作用^[15]。外来植物往往是先锋植物,有强大而快速的繁殖能力,有迅速扩大种群的能力和极强的竞争力。研究发现,成功的外来种在新栖息地的环境条件下竞争能力往往强于处于相似生态位的土著种,在这种情况下外来种可以通过排挤土著种而获得成功^[16]。黑荆树是一种喜光植物,对光资源的不对称竞争可能对其入侵能力会产生重要的影响。本文将通过研究温州地区 6 个黑荆树入侵群落内的竞争关系和群落物种的替代关系,预测入侵群落的发展动态、评估黑荆树的入侵风险,为今后关于黑荆树的管理提供科学资料。

1 自然概况

温州市地处于浙江东南部,全境介于北纬 27°03′~28°36′之间。其属于亚热带海洋性季风气候,温暖湿润,年平均气温为 18℃,最热月(7 月份)平均气温为 27.9℃,最冷月(1 月份)平均气温在 6~8℃,山区偏低 1~2℃。年平均无霜期 275~280d。年降水量 1500~1800mm,为我国多雨区域之一,全年降水量以 11~2 月份最少,梅雨期(5、6 月份)和台风期(8、9 月份)最多。

2 研究方法

2.1 样地设置与调查

采用样方法进行调查。在浙江温州地区由南至北选择了 10 个样地,根据具体分布情况设置 40m×40m、20m×20m、10m×40m 3 种类型,并将每个样地划分为 5m×5m 的小样方。由于有些样地尺度(边长)太小,不适合空间分析,本研究只选取其中 6 个作分析:PY01(40m×40m)、PY03(20m×20m)、PY04(20m×20m)、PY05(20m×20m)、CN02(20m×20m)、RN01(20m×40m)。各样地基本信息见表 1。

在各小样方中对每棵胸高(高 1.3m 处)直径(DBH)大于 1cm 的乔木和灌木个体进行物种鉴定,确定其在小样方中的位置,测量并记录 DBH,估计树高和冠幅。对于样地中 DBH 大于 1cm 的死亡个体鉴定其物种并测量 DBH、估计树高。

2.2 数据处理和统计

由胸径、株间距形成的竞争指标能反映林木的竞争关系,本研究采用经改进的 Hegyi 单木竞争指数,该指数充分考虑了自疏规律,能较好地反应竞争木对资源的竞争能力^[17~19]。

$$I_{ci} = \sum_{j=1}^n S_j^2 S_i^{-1} d_{ij}$$

I_{ci} 为单木竞争指数, S_i 为对象木 i 的胸高断面积, S_j 为竞争木 j 的胸高断面积, d_{ij} 为对象木与竞争木之间的距离, n 为竞争木的株数。根据上述的竞争指数模型, 计算出每个竞争木对对象木的竞争指数, 然后将同一竞争种的所有单木的指数平均, 即得出种内和种间的竞争强度。本研究只用离对象木最近的 4 个竞争个体。如果 4 个竞争木中有大于或等于 3 个个体和对象木属于同一物种就被归为种内竞争; 如果 4 个竞争木中有小于或等于 1 个个体和对象木属于同一物种就被归为种间竞争。这样就有 3 种竞争系数: 总竞争、种间竞争和种内竞争。为了简便, 在这里将除黑荆树以外的物种合并成“非黑荆”处理。

表 1 各样地基本信息
Table 1 Basic information of the researched plots

样地 Plot code	位置 Location	坡向 Aspect	坡度 Slope(°)	海拔高度 Altitude(m)	干扰 Disturbance	郁闭度 Canopy density
PY01	E120°25'15"; N 27°39'57"	北 North	45	163m	有过砍伐 Disafforestation	0.85
PY03	E120°24'40"; N 27°39'13"	北 North	40	231m	有过砍伐 Disafforestation	0.7
PY04	E120°24'30"; N 27°39'15"	东 北 Northeast	50°	226m	有过砍伐 Disafforestation	0.6
PY05	E120°15'20"; N 29°39'03"	南 South	30	116m	— Unknown	0.7
RN01	E120°26'06"; N 27°41'53"	东 南 Southeast	30	101m	部分砍伐种植杨梅 Planted other economic species	0.4
CN02	E120°25'08"; N 27°12'55"	南 South	35	110m	台风, 火灾 Typhoon and fire	0.95

有时候竞争并不一定造成个体的死亡, 本研究考察了竞争系数与群落中黑荆树的死亡率之间的关系。由于黑荆树死亡以后其残体分解不是很快, 可以用空间替代时间的办法大致估计较近一段时间内黑荆树的死亡率。黑荆树的死亡率计算公式为:

$$M = \frac{n}{N} \times 100\%$$

式中, M 表示黑荆数的死亡率, n 表示死亡个体数, N 表示总的黑荆树个体数即死树和活树的个体数总和。

利用 Ripley 的双变量 K 函数来检测群落中黑荆树与其他物种的空间关系。 K 值的统计估计公式为:

$$K_{12}(t) = \frac{A}{n_1 n_2} \sum_{i=1}^{n_1} \sum_{j=1}^{n_2} \frac{1}{W_{ij}} I_t(u_{ij})$$

式中, t 为个体间的距离, n_1 为物种 1 包含的个体数, n_2 为物种 2 包含的个体数。 u_{ij} 为个体 i 和个体 j 之间的距离, 当 $u_{ij} \leq t$ 时, $I_t(u_{ij}) = 1$, 当 $u_{ij} > t$ 时, $I_t(u_{ij}) = 0$; W_{ij} 为以点 i 为圆心 u_{ij} 为半径的圆周长在样地总面积 A 中的比例。由于小尺度上的空间关系对大尺度的 $K_{12}(t)$ 值产生影响, 在这里为了反映每个尺度上的种间空间关系, 对 K 函数的衍生函数 $pcf(r)$ 进行计算:

$$pcf_{12}(t) = K'_{12}(t) / 2t\pi$$

$K'_{12}(t)$ 为 $K_{12}(t)$ 的导数。用 Monte Carlo 拟合 99 次检验计算原假设为物种 1 和物种 2 之间相互独立条件下的置信度为 99% 的上下置信区间^[20,21]。 $g_{12}(t)$ 大于置信区间的上限时表示为两物种正相关, $g_{12}(t)$ 小于置信区间的下限是表示为两物种负相关, 在置信区间内时为两物种不相关。由于有些物种个体树太少, 在处理时我们把那些多度较少的物种合并成一个其它“物种”加以处理。

为了预测群落未来的物种组成, 对各群落中的乔木物种进行了替代分析。首先, 将每个种群分为成熟群体 ($DBH > 7.5\text{cm}$) 和小树群体 ($1\text{cm} < DBH < 7.5\text{cm}$)。作每个成熟个体与其邻近成熟个体之间连线的中垂线, 将样地的水平面积分成许多蜂巢状排列的多边形。每个多边形中仅包含一个成熟个体, 并使被围在该多

边形中的每个小树个体到该成熟个体的距离小于到其他成熟个体的距离。假设所有的成熟个体将同时被其下层的小树群体所替代,即与某成熟个体在同一多边形中的所有小树都有可能取代该成熟个体,那么某一物种被特定物种替代的可能性即为该特定物种在被替代物种下同一多边形中的小树所占的多度比例^[22]。在这里也同样把那些多度较少的物种合并成一个其它“物种”加以处理。

3 结果

从表 2 可以看到,各群落的种间和种内竞争强度依样地不同而有所变化:在 PY01 样地中黑荆树和非黑荆的种间竞争强度都大于内部竞争;PY03、PY04 样地中非黑荆对黑荆树的影响大于黑荆树种内竞争,黑荆树对非黑荆的影响也大于非黑荆内部的竞争;而在 PY05、RN01、CN02 样地中内部竞争都大于种间竞争。

表 2 各样地黑荆树与其它物种的种间、种内竞争强度 I_c 的比较
Table 2 Intra- and inter-specific competition between Black wattle and other species in each plot

样地 Plot code	黑荆树种内竞争 Intraspecific competition of Bw	“非黑荆”对黑荆树影响 The impact of nBw on Bw	“非黑荆”内部竞争 Internal competition of nBw	黑荆树对“非黑荆”影响 The impact of Am on nBw
PY01	1164.482	1426.151	1487.109	4212.651
PY03	53.04615	244.4542	908.251	533.1834
PY04	629.113	973.6277	548.8546	405.0732
PY05	12.97916	12.14214	1027.768	210.9305
CN02	440.7622	281.0043	248.0051	—
RN01	183.4031	4.241358	443.35	259.7482

Bw 表示黑荆树,nBw 表示非黑荆 Bw indicates Black wattle and nBw indicates species other than Black wattle

对各样地黑荆树种间、种内竞争系数和群落内黑荆树死亡率作相关分析,结果显示不管是种内竞争还是种间竞争或总竞争强度和黑荆树死亡率之间不存在显著关系。

对各群落黑荆树与其它物种的空间关系分析显示,除与少数物种在某些尺度上存在亲和或排斥关系外,黑荆树和其它物种不存在显著的空间关系。图 1 显示了 4 个与黑荆树存在空间关系的物种的 pcf 值随尺度 t 变化情况。从图上可以看出这种空间关系主要发生在 1~4m 的尺度上。

如表 3~表 5 所示各物种主要是进行自我替代。在上层树中,黑荆树物种自我替代的可能性除在 PY03 样地中较低外,在其它样地中都较高。在群落 PY01、PY03、PY05 中其它物种被黑荆树替代的可能性较低。并不是任何物种都能被任何物种替代,在黑荆树入侵群落中,有些物种更可能被某些特定种替代,而完全不能被其它一些物种替代。马尾松、杉木等群落先锋种自我替代和替代其它物种的几率都较低,明显存在更新困难。从表 3~表 5 中可以看到,在 PY01 群落中另外物种被黄瑞木替代的可能性比较高,PY03 和 PY05 群落中,野梧桐替代另外物种的可能性较大,但是在群落 PY04、CN02、RN01 中大多数个体都将被黑荆树替代。

表 3 PY01 样地几个主要物种的替代分析
Table 3 Matrix of replacement probabilities for common species in plot PY01

成熟树 Mature tree	小树 Sapling(%)								
	杉木 Cf	黑荆树 Bw	黄瑞木 Ad	马尾松 Mp	山鸡椒 Ms	盐肤木 Cs	大青 Mg	铁冬青 Oh	其它 Os
杉木 Chinese fir (Cf)	19.05	9.52	38.10	9.52	—	—	—	19.05	4.76
黑荆树 Black wattle(Bw)	0.55	35.36	28.18	6.91	1.93	2.49	9.94	3.59	11.05
黄瑞木 Adinandra (Ad)	5.13	5.13	38.46	—	—	7.69	12.82	5.13	28.21
马尾松 Masson pine (Mp)	—	23.91	26.09	4.35	6.52	13.04	—	2.17	23.91
山鸡椒 Mountain spicy (Ms)	—	9.43	18.87	—	22.64	3.77	35.84	—	9.43
盐肤木 Chinese sumac (Cs)	—	11.11	22.22	—	—	5.56	61.11	—	—
大青 Manyflower glorybower (Mg)	—	7.14	7.14	—	14.29	—	57.14	—	14.29
铁冬青 Ovetleaf holly (Oh)	—	66.67	—	33.33	—	—	—	—	—
其它 Other species (Os)	—	4.55	40.91	4.55	4.55	—	9.09	9.09	27.27

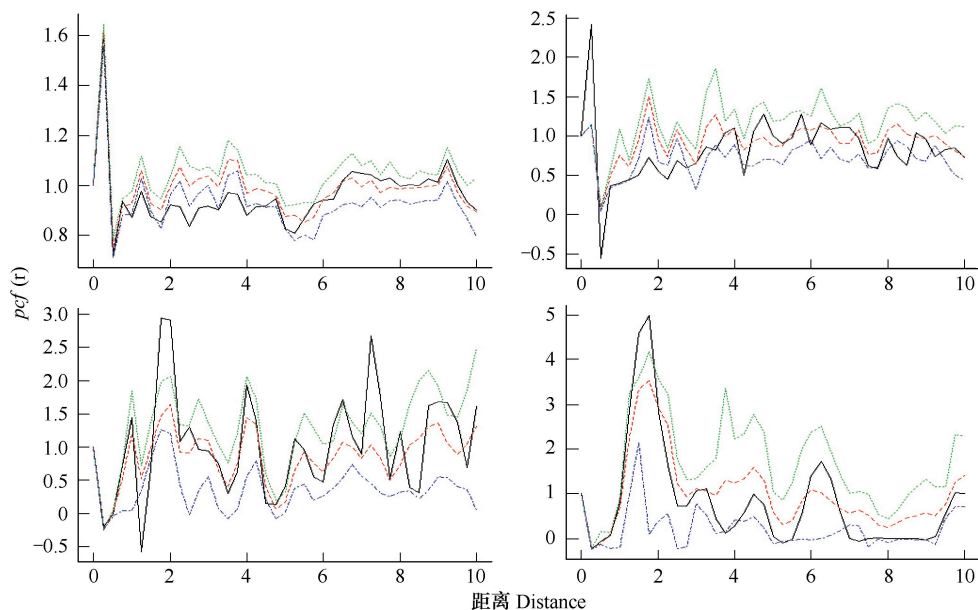


图1 黑荆树与其它几个物种的空间关系

Fig. 1 Spatial associations between *A. mearnsii* and some of other species in some plots

黑线表示实际观察值,红线表示拟合均值,绿线和蓝线之间的区域表示上下置信区间;从左到右、从上到下依次表示 PY01 样地黑荆树与几个非优势物种集合“物种”、RN01 样地黑荆树与非优势物种集合“物种”、PY05 样地黑荆树与野梧桐、PY05 样地黑荆树与绿竹之间的空间关系。Black lines show observations, red lines show theoretical values, green and blue lines show up and low confidence envelopes. From left to right and from top to bottom pictures indicate relationship between *A. mearnsii* and “other species” in plot PY01, relationship between *A. mearnsii* and “other species” in plot RN01, relationship between *A. mearnsii* and *Mallotus japonicus* as well as *Bambusa oldhami* in plot PY05 respectively.

表4 PY03 样地的几个主要物种的替代分析

Table 4 Matrix of replacement probabilities for common species in plot PY03

成熟树 Mature tree	小树 Sapling(%)				
	野梧桐 Bm	黑荆树 Bw	马尾松 Mp	桉木 <i>Eurya japonica</i>	其它 Os
野梧桐 Bark of Japanese mallotus (Bm)	15.38	7.69	—	—	76.92
黑荆树 Black wattle (Bw)	20	—	—	10	70
马尾松 Masson pine (Mp)	3.33	—	3.33	—	93.33
其它 Other species (Os)	3.7	3.7	—	—	92.59

4 讨论

与乡土物种在竞争上有优势是外来物种成功入侵的关键之一^[23],外来种入侵一个竞争水平相对不高的生境时,其成功的可能性相对较高^[24]。根据 Lotka-Volterra 种间竞争模型,物种竞争会出现 3 种情况:第一种情况是当种 A 对自身的抑制作用大于种 B 对种 A 产生的种间竞争作用,而种 A 对种 B 的影响大于种 B 自身的种内竞争影响。因此,种 A 对种 B 而言是优势种,这样种 B 就会在竞争中消亡。另一情况是当个体种间竞争影响都大于各自种内竞争影响时,竞争结果将依赖于种群的初始密度,初始密度占优势的种群将会驱使另一个种灭绝。第三种情况就是两个种都是种内竞争作用大于种间竞争作用时,两种能稳定共存^[13,25]。总的来看,在群落上层个体的竞争中,黑荆树没有优势(PY01、PY05、CN02、RN01)甚至处于劣势(PY03、PY04)。PY05、CN02、RN01 3 个群落黑荆树与其它物种在中上层的竞争处于稳定共存状态,而 PY01 群落中的中上层竞争处于非稳定的状态。

替代分析表明,群落 PY04、CN02、RN01 中黑荆树可能替代其它物种成为优势物种。这 3 个群落生物多样性都较其它 3 个群落低(物种丰富度指数较低)。这说明群落本身的生物多样性对黑荆树能否成功入侵存

在较大的影响。Elton 提出群落的生物多样性对抵抗外来种的入侵起着关键性的作用,物种组成丰富的群落较物种组成简单的群落对生物入侵的抵抗能力要强^[26]。生物多样性低的群落,外来种有更多的机会获得空生态位和资源^[27]。那些生物多样性低的群落往往生态位分化不完善,乡土物种内部存在较大的相互竞争的关系,而它们对黑荆树的影响却相对较小,这为黑荆树的成功入侵创造了很好的条件。

表 5 其它样地的几个主要物种的替代分析

Table 5 Matrix of replacement probabilities for common species in other plots

成熟树 Mature tree	小树 Sapling(%)			成熟树 Mature tree	小树 Sapling(%)		
	PY04				PY05		
	黑荆树 Bw	铁冬青 Oh	其它 Os		野梧桐 Bm	黑荆树 Bw	其它 Os
黑荆树 Black wattle (Bw)	76.00	4.00	20.00	黑荆树 Black wattle (Bw)	71.43	28.57	—
铁冬青 Ovateleaf holly (Oh)	40.00	20.00	40.00	马尾松 Masson pine (Mp)	—	—	100
其它 Other species (Os)	33.33	33.33	33.33	野梧桐 Bark of Japanese mallotus (Bm)	100	—	—
				绿竹 Green Bamboo (Gb)	100	—	—
				其它 Other species (Os)	75	25	—
	CN02				RN01		
	黑荆树 Bw	其它 Os			苦槠木 Ra	黑荆树 Bw	其它 Os
黑荆树 Black wattle (Bw)	98.55	1.45		苦槠木 Retuse ash (Ra)	20.00	60.00	20.00
其它 Other species (Os)	89.83	10.17		黑荆树 Black wattle (Bw)	2.04	83.67	14.29

除马尾松外,各样地的物种自我替代的概率普遍都比较高,这说明群落中很少存在物种的自我阻遏,包括黑荆树在内的大部分物种都未达到发生严重自我阻遏的密度^[28]。这种高自我替代也反映了群落存在一定的物种扩散限制效应。从表 3 ~ 表 5 可以看到,有些物种替代另外物种的概率特别高,这就使预测群落未来的组成变得比较确定。黄端木可能成为 PY01 群落中的优势种,野梧桐将成为 PY03 和 PY05 群落优势种的可能性较大,而群落 PY04、CN02、RN01 将主要被黑荆树占据。

本研究的群落中其它物种对黑荆树的影响和黑荆树种内竞争的相对重要性都比较低。有时候这种弱的竞争关系并不足以使参与竞争的个体死亡^[29]。对竞争指数和黑荆树死亡率的相关性分析结果表明两者不存在显著的相关性,支持了这种判断。由于这种弱的竞争不能直接导致个体的死亡,反映在物种空间关系上就是物种之间未出现普遍的相互排斥的现象。虽然大多数群落黑荆树和其它物种之间的相互竞争大于它们内部的竞争,但是由于这种竞争关系不直接导致个体的死亡,大多数物种间的空间关系是独立的。有 4 个例外, PY01 样地黑荆树与几个非优势物种集合“物种”、RN01 样地黑荆树与非优势物种集合“物种”之间分别在较小的尺度上相互排斥,而 PY05 样地黑荆树与野梧桐及绿竹之间在较小尺度上却都为正相关。竞争结果主要是资源捕获潜力的反映^[30]。这样的结果一方面说明黑荆树对那些竞争能力不强或刚进入群落的物种存在较大的排斥;另一方面说明野梧桐这样的耐阴物种和绿竹这样的克隆植物能够比较好的适应与黑荆树竞争。这种耐阴物种和阳性先锋种之间竞争关系比较弱的现象在自然植物群落也存在^[29]。

付增娟等人对黑荆树繁殖扩散特性的研究表明,其具有较强的结实能力,但种子扩散能力和繁殖成功率都较低^[11,12]。他们认为从繁殖特性、群体交配系统和遗传结构看黑荆树具有较高的入侵风险,但是木本植物从种子萌发以后需要经历较长时间的种间、种内竞争才能到达性成熟,竞争将导致个体死亡而使更新失败,本研究的结果表明黑荆树的竞争能力没有显著强于甚至弱于处于相似生态位的土著种,在这种情况下黑荆树通过排挤土著种而获得成功的可能性就不高。如果没有太大干扰 PY01、PY03、PY05 群落中的黑荆树将逐渐退出该群落, PY04、CN02、RN01 群落中黑荆树可能在未来二三十年替代其它物种成为优势物种。然而上层黑荆树在这些群落中并不具有明显的竞争优势,而且从黑荆树的径级结构可以看到这几个群落 DBH 小于 1cm 黑荆树很少,若干年后群落黑荆树的更新将出现严重的困难,这就为其它乡土物种进入群落并扩展种群创造了条件,黑荆树在这些群落中也将逐渐退出。但是入侵生态学普遍存在这样一个困惑:尽管由于不适应环境,

外来种经历多次早期引入后入侵的失败,但其最终能够入侵并替代非常适应当地环境的乡土种^[31]。从这个角度来看,黑荆树引入我国的时间并不长,今后其成为入侵种的风险依然存在。

References:

- [1] Wu H Y, Bao W K, Wang A. Influence of alien species invasion on native biodiversity. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2004, 13(1):40—46.
- [2] Lowe S, Browne M, Boudjelas S, Poorter M D. 100 of the world's worst invasive alien species. Auckland: The Invasive Species Specialist Group, 2000.
- [3] Smith C W. Impact of alien plants on Hawaii's native biota, in *Hawaii's Terrestrial Ecosystems: preservation and management*. In: Stone C P and Scott J M, eds. Cooperative National Park Resources Studies Unit, University of Hawaii, Honolulu, 1985. 180—250
- [4] Quentin C B, Fuller J L. *Plant invaders: the threat to natural ecosystem*. London: Chapman & Hall, 1995.
- [5] Maitre D C L, Wilgen B W V, Gelderblom C M, Bailey C, Chapmana R A, Nel J A. Invasive alien trees and water resources in South Africa: case studies of the costs and benefits of management. *Forest Ecology and Management*, 2002, 160(1):143—159.
- [6] Nyoka B I. *Biosecurity in Forestry: A case study on the status of invasive forest tree species in Southern Africa*. Roman: FAO, 2003.
- [7] Ye S M, Zhang L J. Influence of abiotic factors on the growth of *Acacia mearnsii*. *Guangxi Forest Science and Technology*, 1991, 20(2): 98—102.
- [8] Gao C B, Fang Y L, Wang H J. Resource using status of *Acacia mearnsii* abroad and its domestic development perspective. *World Forestry Reaserch*, 1990, 3(1):46—51.
- [9] Tan Z L. The status quo of *Acacia mearnsii* in Guangxi and disposals we should take. *Guangxi Forest Science and Technology*, 1989, 18(1): 31—33.
- [10] Subtropical Crops Research Institute of Zhejiang Province. *Cultivation mearnsii*. Beijing: China Forestry Publishing House, 1988. 5
- [11] Fu Z J. *Research of Acacia mearnsii and Acacia dealba invasion*. Beijing: Institute of Chinese Forestry Research, 2005.
- [12] Fu Z J, Zhang C H, Zheng Y Q, Wang Z H, Duan F W. Invasive potential of two introduced tree species: *Acacia mearnsii* and *Acacia dealba*. *Scientia Silae Sinicae*, 2006, 42(10): 48—53.
- [13] Zhang D Y, Jiang X H, Lei G C, Hanski I. *Researches on theoretical ecology*. Beijing: Higher Education Press ; Heidelberg :Springer-Verlag, 2000.
- [14] Hou J H, Ma K P. On mechanisms of species coexistence in plant communities. *Acta Phytoecologica Sinica*, 2002, 28(supplement):1—8.
- [15] Mack R N, Simberloff D, Lonsdale W M, Evans H, Clout M, Bazzaz F A. Biotic invasions: causes, epidemiology, global consequences, and control. *Ecological Applications*, 10(3):689—710.
- [16] Xu C Y, Zhang W J, Lu B R, Chen J K. Progress in studies on mechanisms of biological invasion. *Biodiversity Science*, 2001, 9(4):430—438.
- [17] Zhang Y X. Application and improvement of the neighborhood interference model. *Acta Phytoecologica et Geobotanica Sinica*, 1993, 17(4): 352—357.
- [18] Fang J Y, Kan M. Effects of competition on growth rate and death probability of plant individuals: a study based on nursery experiments of *Larix leptolepis* populations. *Acta Phytoecologica Sinica*, 2000, 24(3):340—345.
- [19] Ma L Y, Wang X Q. Growth space competition index (GSCI) and application in the individual intraspecies competition of *Pinus tabulaeformis* and *Platycladus orientalis* forests. *Ecologic Science*, 2006, 25(5):385—389
- [20] Zhang J T. *Numerical ecology*. Beijing: Science Press, 2004.
- [21] Wiegand T, Moloney K A. Rings, circles, and null-models for point pattern analysis in ecology. *Oikos*, 2004, 104(2): 209—229.
- [22] Horn H S. Markovian processes of forest succession. In: Cody M L and Diamond J, eds. *Ecology and Evolution of Communities*. Cambridge, Massachusetts: Belnap Press, 1975. 196—211.
- [23] Xu R M, Ye W H. *Biological invasion-theory and practice*. Beijing: Science Press, 2003.
- [24] Huang J H, Han X G, Yang Q E, Bai Y F. Fundamentals of invasive species biology and ecology. *Biodiversity Science*, 2003, 11(3):240—247.
- [25] Xian D Y. The role of competition in coexistence among species. *Forest Inventory and Planning*, 2008, 33(2):97—102.
- [26] Elton C. S. *The ecology of invasions by plants and animals*. London: Methuen, 1958.
- [27] Qi X Z, Lin Z S, Wen T. Resistance of available resource fluctuation to alien species invasion. *Acta Ecologica Sinica*, 2007, 27(9):3835—3843.
- [28] Hubbell S P, Foster R B. The spatial context of regeneration in a neotropical forest. In: Gray A, Crawley M J, Edwards P J, eds. *Colonization*,

succession and stability. Oxford: Blackwell Scientific, 1986. 395—412.

- [29] Getzin S, Dean C, He F, Trofymow J A, Wiegand K, Wiegand T. Spatial patterns and competition of tree species in a Douglas-fir chronosequence on Vancouver Island. *Ecography*, 2006, 29(5): 671—682.
- [30] Grime J P. Vegetation classification by reference to strategies. *Nature*, 1974, 250(5461): 26—31
- [31] Sax D F, Brown J H. The paradox of invasion. *Global Ecology and Biogeography*, 2000, 9(5): 363—371.

参考文献:

- [7] 叶绍明, 张丽军. 立地因子对黑荆树林分生长影响的调查研究. *广西林业科技*, 1991, 20(2): 98~102
- [8] 高传壁, 方玉霖, 王浩杰. 国外黑荆树资源利用状况及我国发展的前景. *世界林业研究*, 1990, 3(1): 46~51
- [9] 谭忠良. 黑荆树在我区的现状及应采取的措施. *广西林业科技*, 1989, 18(1): 31~33.
- [10] 浙江省亚热带作物研究所. 荆树栽培. 北京: 中国林业出版社, 1988. 5.
- [11] 付增娟. 黑荆和银荆的生物入侵研究. 北京: 中国林业科学研究院, 2005.
- [12] 付增娟, 张川红, 郑勇奇, 王志和, 段福文. 黑荆和银荆的繁殖扩散与入侵潜力. *林业科学*, 2006, 42(10): 48~53.
- [13] 张大勇, 姜新华, 雷光春, Hanski I. 理论生态学研究. 北京: 高等教育出版社; 海德堡: 施普林格出版集团, 2000.
- [14] 侯继华, 马克平. 植物群落物种共存机制的研究进展. *植物生态学报*, 2002, 26(增刊): 1~8.
- [16] 徐承远, 张文驹, 卢宝荣, 陈家宽. 生物入侵机制研究进展. *生物多样性*, 2001, 9(4): 430~438.
- [17] 张跃西. 邻体干扰模型的改进及其在营林中的应用. *植物生态学与地植物学报*, 1993, 17(4): 352~357.
- [18] 方精云, 营诚. 邻体竞争对植物个体生长速率和死亡概率的影响: 基于日本落叶松种群试验的研究. *植物生态学报*, 2000, 24(3): 340~345.
- [19] 马履一, 王希群. 生长空间竞争指数及其在油松、侧柏种内竞争中的应用研究. *生态科学*. 2006, 25(5): 385~389
- [20] 张金屯. 数量生态学. 北京: 科学出版社, 2004.
- [23] 徐汝梅, 叶万辉. 生物入侵——理论与实践. 北京: 科学出版社, 2003.
- [24] 黄建辉, 韩兴国, 杨亲二, 白永飞. 外来种入侵的生物学与生态学基础的若干问题. *生物多样性*, 2003, 11(3): 240~247.
- [25] 鲜冬娅. 竞争在物种共存中的作用. *林业调查规划*, 2008, 33(2): 97~102.
- [27] 齐相贞, 林振山, 温腾. 可利用资源波动对外来种入侵的抵抗性. *生态学报*, 2007, 27(9): 3835~3843.