生 态 学 报 2010,30(8):2220—2227
Acta Ecologica Sinica

清除优势草本植物对西双版纳飞机草-马唐群落中木本幼苗的影响

沈 维[1,2],曹 敏[1,*]
(1. 中国科学院西双版纳热带植物园热带森林生态学重点实验室,勐腊 666303;2. 中国科学院研究生院,北京 100049)

摘要:在农业弃耕地上通常会出现由草本植物占优势的演替早期群落。为研究优势草本植物对群落中木本幼苗及群落微环境的影响以及外来入侵植物和本地植物对木本幼苗的影响有何差异,在西双版纳地区选取由外来入侵植物飞机草和本地植物马唐共同占优势的演替早期群落,实施物种清除实验,观测样地中木本幼苗的高增长及死亡补充情况,同时对群落微环境进行观测。结果显示,清除优势种显著提高了木本幼苗的高增长,降低了其死亡率,并且使新增幼苗数量有所提高。清除优势种对0—50 cm幼苗高增长和死亡率的影响均大于50—100(或200)cm幼苗。清除处理显著提高了样地的冠层下可见天空比例,但对土壤含水量和土壤养分的影响并不显著。飞机草和马唐均能形成浓密的冠层,通过对光的竞争抑制木本幼苗的生长,且这两者的抑制作用没有显著差异。该地区次生林中常见的先锋树种在研究样地内均有幼苗存在,但其生长却受到优势草本植物的强烈抑制。因此,对演替早期群落中草本植物的控制与管理应同时注意外来入侵物种与本地杂草。

关键词:演替早期群落;木本幼苗;外来入侵种;本地种

The effects of removing dominant herbaceous species on woody seedling growth in *Chromolaena odorata* + *Digitaria ciliaris* community in Xishuangbanna, Southwest China

SHEN Wei[1,2], CAO Min[1,*]
1 *Key Laboratory of Tropical Forest Ecology, Xishuangbanna Tropical Botanical Garden, Chinese Academy of Sciences, Mengla* 666303, *China*
2 *Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing* 100049, *China*

Abstract: Early successional communities in abandoned agricultural fields are often dominated by herbaceous species. To study the effects of dominant herbaceous species on woody seedlings and microenvironmental factors, and to contrast these effects between invasive species and native species, we conducted a species-removal experiment in an early successional community dominated by invasive species (*Chromolaena odorata*) and native species (*Digitaria ciliaris*) in Xishuangbanna, southwest China. After the removal treatment, we investigated the recruitment, growth and mortality of woody seedlings. We also measured microenvironmental factors in the community. We found that the seedling height increment was substantially greater in removal plots than in control plots, the mortality of woody seedlings decreased, and the number of new seedlings increased after removal treatments. The effect of removing dominant species on height increment and seedling mortality was larger on 0—50 cm seedlings than on seedlings taller than 50 cm. The removal treatments increased the diffuse non-interceptance value (*DIFN*) significantly but had little effects on soil moisture or soil nutrient status. Both the invasive species and the native species formed dense canopies and inhibited the growth of woody seedlings by competing for light, with no significant difference between these two species. The seedlings of pioneer tree species were found in the study area but they were subjected to severe inhibition by dominant herbaceous species; both the invasive and the native weed species. Therefore, attention should be paid to both invasive species and native weeds in

基金项目:中国科学院重要方向资助项目(KSCX2-YW-N-066)
收稿日期:2009-02-25; **修订日期**:2009-04-27
* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: caom@xtbg.ac.cn

managing dominant herbaceous species in early successional communities.

Key Words: early successional community; woody seedlings; invasive species; native species

随着全球人口增长及经济的快速发展,人类对热带雨林的开发利用日益加剧,砍伐木材、农田开垦、道路建设等都会使森林面积急剧减少,因此对已遭破坏的森林的恢复就显得尤为重要。由农业弃耕地等形成的次生演替早期群落越来越受到人们的关注,对于此类群落的物种分布格局、群落结构和物种组成变化等方面已有很多研究[1-4]。从这种处于演替早期的群落恢复到森林群落的过程中存在着各种障碍和限制[5-9],如种子传播限制、与草本植物竞争、植食动物的取食等。通过研究找到限制森林更新的因子后就可以采取积极的管理措施来促进森林的恢复[10-13]。

以往研究显示,外来种与本地种在竞争能力、对环境变化的反应等方面存在显著差异[14-17],Burns 对鸭跖草科 5 组入侵与非入侵植物的研究显示,入侵种与非入侵种所表现出来的不同是与环境有关的[18]。Galbraith-Kent 和 Hande 在 New Jersey 对入侵树木 *Acer platanoides* 的研究以及 Hoffmann 和 Haridasan 在新热带 savanna 对入侵草本 *Melinis minutiflora* 的研究显示,外来入侵植物会抑制树木更新和本地幼苗生长[19-20]。

在我国西双版纳地区,当农业耕种的土地(包括农用旱地、经济植物种植园等)被弃耕之后,通常会出现由草本植物占优势的演替早期群落,它们通常是由少数几个物种占优势的群落,具有较高的群落盖度和个体密度。然而,这些优势草本植物对群落中木本幼苗及群落微环境的影响我们还不甚了解,而这正是我们研究群落更新时所需了解的问题,对森林的恢复有重大意义。

基于以往研究结果及对西双版纳地区演替早期群落的了解,提出如下假设:(1)在西双版纳地区,由外来入侵植物飞机草 *Chromolaena odorata*(原产于中美洲)和本地杂草马唐 *Digitaria ciliaris* 占优势的群落长期处于稳定状态,次生演替进程受到严重抑制。因此假设在该群落中这两种优势草本植物会阻碍木本幼苗的生长、提高其死亡率,并对群落环境产生显著影响;(2)由于飞机草入侵能力较强,在该地区广泛分布,因此假设飞机草对群落中木本幼苗的影响显著大于马唐。为了验证上述假设,本研究选取该地区由飞机草和马唐共同占优势的群落,开展物种清除实验,观测清除飞机草和马唐后木本幼苗生长情况及群落微环境的变化。

1　实验方法

1.1　研究样地概况

研究地区位于云南省西双版纳傣族自治州勐腊县勐仑镇,地理位置为 21°54′N,101°15′E,平均海拔约 600 m,属于西南季风气候区滇南热带季风气候类型。该地区年均气温为 21.7 ℃,最热月为 6 月份,平均气温为 25.3 ℃,最冷月为 1 月份,平均气温为 15.6 ℃[21]。年均降水量为 1493 mm,其中 84% 的降水都发生在雨季。该地区具有明显干季和雨季交替的现象,干季分为雾凉季(11—2 月份)和干热季(3—4 月份),雨季是 5—10 月份[22]。雾的存在很大程度上缓解干季期间的水分缺乏[21]。该地区的土壤母质来自于火成岩和沉积岩。当地低海拔自然森林群落的土壤类型主要是砖红壤[23]。

本研究样地选在小腊公路 68km 路碑附近,面积约 1.5 hm^2,样地周围是团花(*Anthocephalus chinensis*)幼林。该样地曾经种植过旱稻(*Oryza sativa*)、番木瓜(*Carica papaya*)和团花,后因团花长势不好而被放弃,现为演替早期草本群落。样地内草本植物盖度大于 70%,优势草本植物的平均高度约为 2—2.5 m。对样地内 16 个 1 m × 1 m 小样方进行调查,记录种名、个体数及估计盖度。调查结果显示,马唐、飞机草在该群落内占优势,胜红蓟、苦竹、假耳草、耳草等也较多(表 1)。

1.2　样地设置及优势种清除处理

在研究区域内设置 3 种处理(清除飞机草 RF、清除马唐 RM、同时清除飞机草和马唐 RFM)及对照 CK。每种处理设置 4 个重复。每个重复的样地面积为 6 m × 12 m。每块样地分为 2 个 6 m × 6 m 的样方,其中之一(A 样方)用于木本幼苗生长情况和群落光环境、土壤含水量观测,另一个(B 样方)用于土壤养分取样。

但由于土壤养分取样对地上植被破坏较大,取样后不再适合继续观测,因此将 B 样方分为 9 个 2 m × 2 m 的小样方,每次随机选择一个小样方进行土壤养分取样,取样后该小样方废弃不用。

表 1 飞机草-马唐群落中重要值排在前 10 位的物种

Table 1 Important value of species in *Chromolaena odorata* + *Digitaria ciliaris* community

种名 Species	相对密度 Relative density/%	相对频度 Relative frequency/%	相对盖度 Relative coverage/%	重要值 Important value/%
马唐 *Digitaria ciliaris*	16.41	93.75	53.28	54.48
飞机草 *Chromolaena odorata*	15.73	100.00	46.82	54.18
胜红蓟 *Ageratum conyzoides*	21.70	100.00	13.11	44.94
苦竹 *Pleioblastus amarus*	12.46	81.25	21.35	38.35
假耳草 *Neanotis calycina*	2.55	75.00	8.72	28.76
耳草 *Hedyotis auricularia*	2.79	68.75	9.04	26.86
华马唐 *Digitaria chinensis*	9.14	62.50	6.38	26.01
棕叶芦 *Thysanolaena maxima*	3.61	31.25	19.07	17.98
包疮叶 *Measa indica*	0.43	37.50	4.92	14.28
苏门白酒草 *Conyza sumatrensis*	0.48	25.00	10.70	12.06

* 重要值 = (相对密度 + 相对频度 + 相对盖度)/3

于 2007 年 10 月对所选定的样地进行清除处理,为了减少对土壤及样地内其他植物的干扰,仅用割草方法清除植物的地上部分。此后每月定期对样地进行检查,清除从地下部分萌生出来的枝叶。

1.3 木本幼苗生长情况观测

于 2007 年 12 月对各样地 A 样方内出现的木本幼苗进行挂牌标记,记录每株幼苗的高度,此后 1a 内每月测量幼苗的高度,计算出幼苗每月的高增长及整个实验期间的高增长,并记录幼苗的死亡和补充情况。本研究将高度小于 1m 的灌木、高度小于 2m 的乔木定义为幼苗[24]。为比较清除优势草本植物对不同高度幼苗的影响的差异,将标记的幼苗分为 0—50 cm 和 50—100(或 200)cm 两组。其中 0—50 cm 的幼苗共 293 株,占幼苗总数的 62.74%;50—100(或 200)cm 的幼苗共 174 株,占幼苗总数的 37.26%。

1.4 群落环境观测

2007 年 11 月至 2008 年 10 月期间,每月在各样地 A 样方中测定冠层下可见天空比例 *DIFN*(使用仪器为 LAI-2000)和土壤体积含水量(使用仪器为 MPM-160)。

于 2007 年 11 月、2008 年 4 月和 2008 年 8 月进行土壤养分取样。在每块样地 B 样方 9 个 2 m × 2 m 小样方中随机选取一个,用环刀按梅花状取 0—10 cm、10—20 cm 层的各层土壤混合样(每层取 5 个点),带回实验室,风干、制样、保存。测定 pH 值、土壤有机碳、土壤全氮、土壤全磷、土壤全钾、有效氮、有效磷、有效钾。

1.5 数据分析

使用 SPSS13.0 中 GLM(一般线性模型)中的 Repeated Measures 和 Multivariate 过程对实施优势种清除处理后每月木本幼苗的高增长及冠层下可见天空比例、土壤含水量数据进行重复测量方差分析和多元方差分析,并对每个时间点上不同处理及对照进行多重比较。对木本幼苗死亡率及新增幼苗数、不同高度木本幼苗的高增长及死亡率、土壤养分数据则使用单因素方差分析。

2 结果

2.1 清除优势种对木本幼苗的影响

2.1.1 清除优势种对木本幼苗高增长的影响

重复测量方差分析结果显示,木本幼苗的高增长有随时间变化的趋势,不同处理及对照间木本幼苗的高增长存在显著差异($P = 0.00$)。多元方差分析结果显示,2008 年 1 月至 4 月,CK 样方内幼苗的高增长小于 RF、RM 和 RFM 样方,但是差异并不显著($P > 0.05$);从 5 月份开始,CK 样方内幼苗的高增长显著小于 RF、RM 和 RFM 样方($P < 0.05$);11 月份 CK 样方中幼苗的高增长仍小于 RF、RM 和 RFM 样方,但是差异并不显

著。除 5 月和 8 月外,其余各月 RF 样方中幼苗的高增长均小于 RM 样方,但是差异并不显著(图 1)。

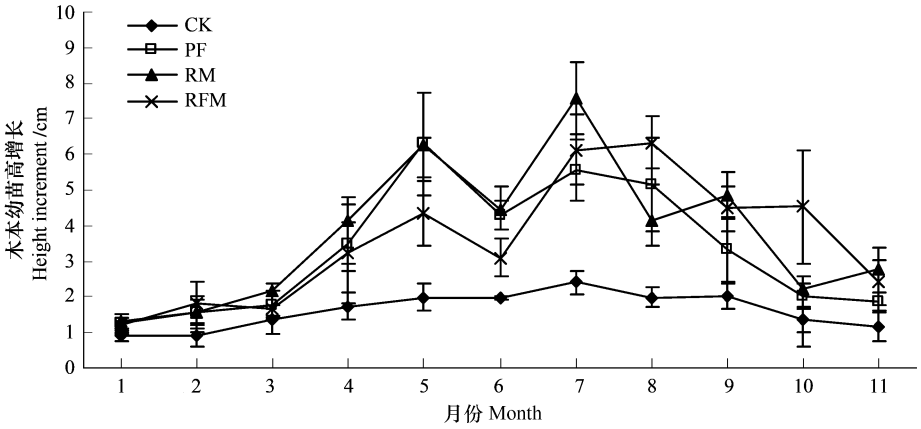

图 1　实施清除处理后每月各处理与对照样方的木本幼苗的高增长(平均值 ± 标准误)

Fig. 1　Height increment of woody seedlings in control and treatments (mean ± SE)

对整个实验期间不同高度木本幼苗的高增长进行分析。0—50 cm 幼苗的高增长在不同处理及对照间存在显著差异($P = 0.02$),CK 样方中幼苗的高增长显著小于 RF、RM 和 RFM 样方($P < 0.05$),但 RF 样方与 RM 样方的幼苗的高增长没有显著差异;50—100(或 200)cm 幼苗的高增长在不同处理及对照间差异不显著($P = 0.07$),CK 样方中幼苗的高增长仅显著小于 RFM 样方($P = 0.02$),RF 样方与 RM 样方的幼苗的高增长也没有显著差异(图 2)。对比同一处理中两组不同高度幼苗的高增长,发现各处理中 0—50 cm 幼苗的高增长均显著小于 50—100(或 200)cm 幼苗($P < 0.05$)。清除优势草本植物对 0—50 cm 幼苗高增长的影响比 50—100(或 200)cm 幼苗高增长的影响显著。

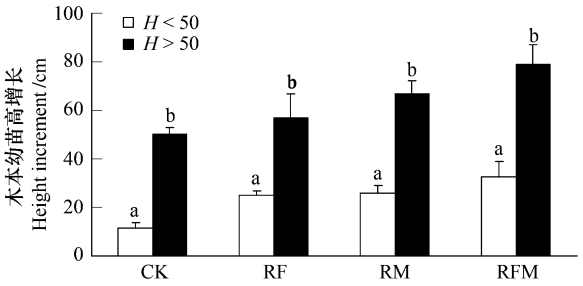

图 2　不同高度木本幼苗在整个实验期间的高增长(平均值 ± 标准误)

Fig. 2　Height increment of woody seedlings in different height during the experiment (mean ± SE)

不同小写字母表示同一处理中不同高度幼苗的高增长差异显著 $P < 0.05$

2.1.2　清除优势种对木本幼苗死亡及补充情况的影响

方差分析结果显示,CK 样方及 RF、RM、RFM 样方间木本幼苗死亡率存在显著差异($P = 0.04$),而新增幼苗数量则差异不显著($P = 0.07$)。多重比较结果显示,RM 样方及 RFM 样方的木本幼苗死亡率显著低于 CK 样方,RM 样方的新增木本幼苗数显著高于 CK 样方(表 2)。

表 2　实验期间木本幼苗死亡率与新增幼苗株数

Table 2　Seedling mortality and the number of new seedlings during the experiment

项目 Item	CK	RF	RM	RFM
幼苗死亡率 Seedling mortality/%	41.76 ± 12.69	20.56 ± 5.49	9.22 ± 4.03 *	13.53 ± 3.95 *
新增幼苗数 New seedling/株	5.25 ± 1.11	10.00 ± 1.78	17.25 ± 4.67 *	13.75 ± 2.79

* 表示该处理与对照存在显著性差异($P < 0.05$)

0—50 cm 幼苗的死亡率在不同处理及对照间存在显著差异($P = 0.03$),CK 样方中幼苗的死亡率显著高于 RF、RM 和 RFM 样方($P < 0.05$),但 RF 样方与 RM 样方的幼苗死亡率没有显著差异。50—100(或 200)cm 幼苗的死亡率在不同处理及对照间差异不显著($P = 0.67$),RF 样方与 RM 样方的幼苗死亡率也没有显著差异。对比同一处理中两组不同高度幼苗的死亡率,发现各处理中 0—50 cm 幼苗的死亡率均高于

50—100(或 200)cm 幼苗($P < 0.05$),但只有在 CK 和 RFM 样方中差异达到显著水平(图 2)。清除优势草本植物对 0—50 cm 幼苗死亡率的影响比对 50—100(或 200)cm 幼苗死亡率的影响显著。

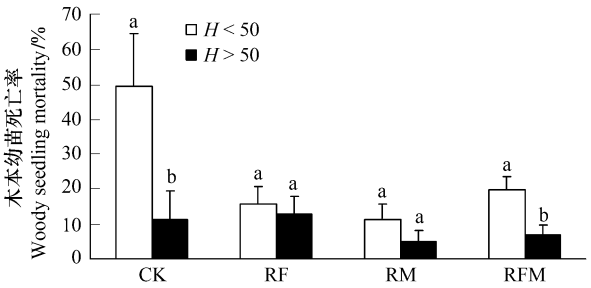

图 3 不同高度木本幼苗死亡率(平均值 ± 标准误)

Fig. 3 Woody seedling mortality in different height (mean ± SE)

不同小写字母表示同一处理中不同高度幼苗死亡率差异显著 $P < 0.05$

2.2 清除优势种对群落环境的影响

2.2.1 清除优势种对群落光环境的影响

重复测量方差分析结果显示,样地的冠层下可见天空比例 *DIFN* 同样具有随时间变化的趋势,不同处理及对照间存在显著差异($P = 0.00$)。多元方差分析结果显示,除 2008 年 9 月、10 月外,其余月份的观测值在不同清除处理与对照间均存在显著差异($P < 0.05$)。2007 年 11 月,CK 样方的 DIFN 显著小于 RM 和 RFM 样方($P < 0.05$);2007 年 12 月和 2008 年 1 至 2 月,CK 样方的 DIFN 显著小于 RF 和 RFM 样方($P < 0.05$);2008 年 3 至 7 月,CK 样方的 DIFN 仅显著小于 RFM 样方($P < 0.05$)(图 4)。

2.2.2 清除优势种对群落土壤环境的影响

(1) 清除优势种对土壤含水量的影响

重复测量方差分析结果显示,各处理的土壤含水量有随时间变化的趋势,不同处理及对照间的土壤水分含量没有显著差异($P = 0.58$)。多元方差分析结果显示,除 2008 年 4 月 CK 样方的土壤含水量显著高于 RF、RM 和 RFM 样方外($P = 0.01$),其余月份 CK、RF、RM 与 RFM 样方的土壤含水量差异均不显著($P > 0.05$)。2007 年 11 月至 2008 年 2 月,RFM 样方土壤含水量略高于 RF、RM 和 CK 样方;2008 年 3 月、5 月、6 月和 7 月,CK 样方的土壤含水量略高于 RF、RM 和 RFM 样方。由此可见清除优势种并没有对群落土壤含水量产生显著影响(图 5)。

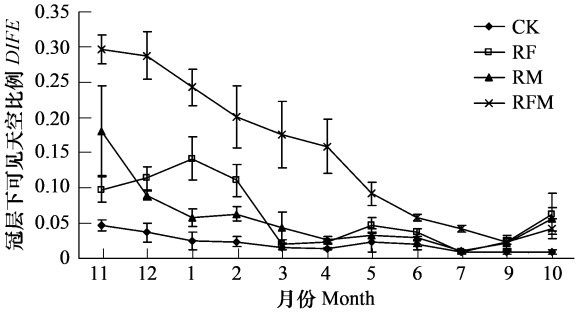

图 4 实施清除处理后各处理与对照样方的冠层下可见天空比例(平均值 ± 标准误)

Fig. 4 *DIFN* of control and treatments after removal experiment (mean ± SE)

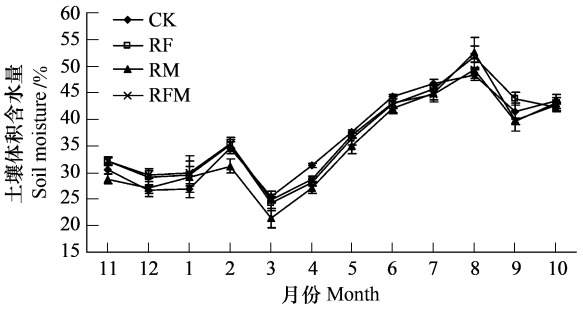

图 5 实施清除处理后各处理与对照样方的土壤体积含水量(平均值 ± 标准误)

Fig. 5 Soil moisture of control and treatments after removal experiment (mean ± SE)

(2) 清除优势种对土壤养分及 pH 值的影响

对土壤养分数据的方差分析结果显示,2007 年 11 月、2008 年 4 月和 2008 年 8 月进行的 3 次土壤养分取样中,对照样方与各处理样方之间各土壤养分指标(包括土壤有机碳、土壤全氮、土壤全磷、土壤全钾、有效氮、有效磷、有效钾)均未检测出显著差异。

2008 年 4 月(10—20 cm 层)RFM 样方的 pH 值与 CK 样方间存在显著差异($P = 0.01$),2008 年 8 月(10—20 cm 层)RFM 样方的 pH 值与 RF 样方间存在显著差异($P = 0.04$)。

3 讨论

3.1 演替早期群落中优势草本植物对木本幼苗更新的影响

许多研究发现,在弃耕地上有很多因素会阻碍木本幼苗更新,如种子传播限制、与草本植物竞争、植食动物的取食及土壤养分水平低等[6-9, 25-27]。处于演替早期的群落大多以草本植物占优势,因此与草本植被的竞争是幼苗更新限制中非常重要的因素之一。Hooper 等对 Panama 农业弃耕地的研究显示,与草本植物的竞争显著降低了木本幼苗的生长[8]。本研究也得到相似的结果,清除优势草本植物飞机草和马唐后,木本幼苗的高增长显著增加且死亡率有所下降。这一结果支持前面提出的第一个假设,优势草本植物的确对木本幼苗的生长有显著的抑制作用。Holl 在热带弃耕草地的研究表明,草本植物的地上部分与地下部分均对幼苗的高度生长有明显的抑制作用,但地上部分的影响更大[28]。与 Holl 的研究地区特征相似,在本研究区域内土壤水分、养分条件并不是植物生长的限制性因子,植物之间地上部分的竞争大于地下部分的竞争,因此只需清除地上部分就能够很好的检测出优势草本植物对木本幼苗生长的影响。

本研究结果还显示,优势草本植物对不同高度幼苗的影响不同,清除优势草本植物对 0—50 cm 幼苗的高增长和死亡率的影响均大于 50—100(或 200)cm 幼苗,这主要是由于当幼苗生长到一定高度后,其生长状况比较稳定,不易受到外界环境变化的影响,而矮小的幼苗更易受到优势草本植物的抑制,甚至死亡。在对样地中木本幼苗进行首次调查并按高度分组是在该地区的雨季末期,调查结果显示,0—50 cm 幼苗的数量约为 50—100(或 200)cm 幼苗数量的两倍,然而很多 0—50 cm 幼苗由于受到优势草本植物的抑制而死亡,没有机会继续生长直至超出草本层。

为了解优势草本植物对木本幼苗生长影响的机制,本研究对清除优势种后群落微环境条件的变化进行观测。实施清除处理样地的冠层下可见天空比例 *DIFN* 显著大于对照样地,因此在本研究群落中优势草本植物形成的浓密冠层可能是抑制木本幼苗生长并降低其存活率的主要原因。本研究中观测到清除优势种对地表土壤含水量没有显著影响,然而这可能是受到实验方法的影响,由于土壤含水量观测时间在 8:00—10:00,因此并没有观测到地表土壤含水量在一天内的变化情况。Zimmerman 等研究显示,清除草本植物后地表土壤温度在一天内的变化增大[7]。因此地表土壤含水量很可能也存在着相似的变化,而这种变化可能会对木本幼苗生长及存活产生一定的影响,这一假设有待进一步研究证实。一些研究显示,土壤养分水平或物理特征差也会影响木本幼苗的生长[26, 29-30]。本研究中,清除优势种样方与对照样方的土壤养分水平没有显著差异,这可能与只清除了植物的地上部分有关。虽然有研究表明飞机草对一些物种的幼苗具有不同程度的化感作用[31],但本研究由于野外条件难以控制因此没有涉及对化感作用的检测。此外,在对幼苗生长情况进行观测时发现,植食性昆虫取食也是导致木本幼苗存活率下降的原因之一,但是其与优势草本植物之间的关系还需要进一步研究。

3.2 本地和外来入侵草本植物对木本幼苗生长影响的差异

Hoffmann 和 Haridasan 在 Brazil 研究入侵草本植物和本地草本植物对本地树种幼苗存活率的影响,其结果显示,入侵种占优势的样地中幼苗存活率远远小于本地种占优势的样地,其原因主要是入侵的草本植物能产生更高的生物量,对光的竞争导致了幼苗存活率降低[20]。而在本研究中,清除马唐处理显著降低了木本幼苗死亡率并且显著增加了新增幼苗数量,而清除飞机草处理虽然也降低了木本幼苗死亡率和提高了新增幼苗数量,但是却没有达到显著水平。对不同高度幼苗的分析也显示,清除飞机草处理和清除马唐处理之间木本幼苗的高增长和死亡率均没有显著差异。因此本研究结果并不支持第 2 个假设,在本研究群落中外来入侵植物飞机草和本地植物马唐均会抑制木本幼苗的生长,并且这两者的抑制作用并没有显著差异。而冠层下可见天空比例 *DIFN* 数据显示,清除飞机草处理与清除马唐处理之间并没有显著差异,在野外观测中也发现马唐和飞机草均能形成浓密的冠层,表明在本研究中外来入侵草本与本地草本均可能是通过对光的竞争来抑制木本幼苗生长的。

3.3 西双版纳地区演替早期群落的恢复

西双版纳是我国热带雨林的主要分布区之一,分布于此的热带季节雨林由于发生在季风热带北缘纬度和

海拔的极限条件下[32],在森林结构和森林生态系统过程等方面均与世界其他地区的热带雨林存在一定的差异,是一种独特的热带雨林类型。然而从 1988 年到 2003 年遥感资料看,林地正在逐步被橡胶园、灌木林和果园等取代[33]。土地利用方式的快速改变使得该地区的热带森林遭到破坏,并出现大量次生林及农业弃耕地。以往研究显示该地区在演替过程中形成的次生植被主要有山黄麻(*Trema orientalis*)林、中平树(*Macaranga denticulata*)林、白背桐(*Mallotus paniculatus*)林、山乌桕林(*Sapium discolor*)等,这些次生演替中的先锋树种改善了演替初期的生境,在森林动态演替及植被恢复中起着重要作用[34-35]。而该地区农业用地被弃耕后,通常会迅速被外来入侵草本植物和本地杂草占据,形成演替早期草本群落。本研究发现,西双版纳次生林中常见的先锋树种如山黄麻、中平树、白背桐等在演替早期草本群落样地中均有幼苗存在,但其生长却受到优势草本植物的强烈抑制。这些优势草本植物(无论是外来入侵种还是本地杂草)严重阻碍了木本幼苗的生长,从而延缓了该地区次生演替的过程。因此,在对西双版纳地区农业弃耕地进行管理时不仅要注意对外来入侵草本的控制,同时也应对本地常见杂草进行管理,以达到促进本地区次生演替过程顺利进行的目的。

致谢:感谢崔景云老师在幼苗鉴定方面提供的帮助及西双版纳热带雨林生态系统研究站在野外工作中提供的帮助。

References:

[1] Saxena K G, Ramakrishnan P S. Herbaceous vegetation development and weed potential in slash and burn agriculture (Jhum) in NE India. Weed Research, 1984, 24(2): 135-142.

[2] Armesto J J, Pickett S T A. Experiments on disturbance in old-field plant communities: impact on species richness and abundance. Ecology, 1985, 66(1): 230-240.

[3] Halpern C B. Early successional patterns of forest species: interactions of life history Traits and disturbance. Ecology, 1989, 70(3): 704-720.

[4] Ohtsuka T. Early stages of secondary succession on abandoned cropland in north-east Borneo Island. Ecological Research, 1999, 14(1): 281-290.

[5] Clark J S, Beckage B, Camill P, Cleveland B, HilleRisLambers J, Lichter J, McLachlan J, Mohan J, Wyckoff P. Interpreting recruitment limitation in forests. American Journal of Botany, 1999, 86(1): 1-16.

[6] Holl K D. Factors limiting tropical rain forest regeneration in abandoned pasture: seed Rain, seed germination, microclimate, and soil. Biotropica, 1999, 31(2): 229-242.

[7] Zimmerman J K, Pascarella J B, Aide T M. Barriers to forest regeneration in an abandoned pasture in Puerto Rico. Restoration Ecology, 2000, 8(4): 350-360.

[8] Hooper E, Legendre P, Condit R. Barriers to forest regeneration of deforested and abandoned land in Panama. Journal of Applied Ecology, 2005, 42(6): 1165-1174.

[9] Standish R J, Cramer V A, Wild S L, Hobbs R J. Seed dispersal and recruitment limitation are barriers to native recolonization of old-fields in western Australia. Journal of Applied Ecology, 2007, 44(2): 435-445.

[10] Holl K D, Loik M E, Lin E H V, Samuels I A. Tropical montane forest restoration in Costa Rica: overcoming barriers to dispersal and establishment. Restoration Ecology, 2000, 8(4): 339-349.

[11] Cabin R J, Weller S G, Lorence D H, Cordell S, Hadway L J, Montgomery R, Goo D, Urakami A. Effects of light, alien grass, and native species additions on Hawaiian dry forest restoration. Ecological Applications, 2002, 12(6): 1595-1610.

[12] Ogden J A E, Rejmanek M. Recovery of native plant communities after the control of a dominant invasive plant species, *Foeniculum vulgare*: Implications for management. Biological Conservation, 2005, 125(4): 427-439.

[13] Zamith L R, Scarano F R. Restoration of a restinga sandy coastal plain in Brazil: survival and growth of planted woody species. Restoration Ecology, 2006, 14(1): 87-94.

[14] Pattison R R, Goldstein G, Ares A Growth, biomass allocation and photosynthesis of invasive and native Hawaiian rainforest species. Oecologia, 1998, 117(3): 449-459.

[15] Badgery W B, Kemp D R, Michalk D L, King W. Competition for nitrogen between Australian native grasses and the introduced weed *Nassella trichotoma*. Annals of Botany, 2005, 96(5): 799-809.

[16] King W, Wilson J B. Differentiation between native and exotic plant species in a dry grassland: realized responses to perturbation, and comparison with fundamental responses. Austral Ecology, 2006, 31(8): 984-995.

[17] Kyle G P, Beard K H, Kulmatiski A. Reduced soil compaction enhances establishment of non-native plant species. Plant Ecology, 2007, 193(2): 223-232.

[18] Burns J H. Relatedness and environment affect traits associated with invasive and noninvasive introduced commelinaceae. Ecological Applications, 2006, 16(4): 1367-1376.

[19] Galbraith-Kent S L, Handel S N. Invasive *Acer platanoides* inhibits native sapling growth in forest understory communities. Journal of Ecology, 2008, 96(2): 293-302.

[20] Hoffmann W A, Haridasan M. The invasive grass, *Melinis minutiflora*, inhibits tree regeneration in a Neotropical savanna. Austral Ecology, 2008, 33(1): 29-36.

[21] Liu W J, Meng F R, Zhang Y. Water input from fog drip in the tropical seasonal rain forest of Xishuangbanna, Southwest China. Journal of Tropical Ecology, 2004, 20(5): 517-524.

[22] Zhang K Y. The influence of deforestation of tropical rainforest on local climate and disaster in Xishuangbanna region of China. Climatological Notes, 1986, 35: 223-236.

[23] Sha L Q, Meng Y, Feng Z L, Zheng Z, Cao M, Liu H M. Nitrification and net N mineralization rate of soil under different tropical forest in Xishuangbanna, Southwest China. Acta Phytoecologica Sinica, 2000, 24(2): 152-156.

[24] Honu Y A K, Dang Q L. Responses of tree seedlings to the removal of *Chromolaena odorata* Linn. in a degraded forest in Ghana. Forest Ecology and Management, 2000, 137(1/3): 75-82.

[25] DeSteven D. Experiments on mechanisms of tree establishment in successional old fields: seedling survival and growth. Ecology, 1991, 72(3): 1076-1088.

[26] Aide T M, Cavelier J. Barriers to tropical lowland forest restoration in the Sierra Nevada de Santa Marta, Colombia. Restoration Ecology, 1994, 2(4): 219-229.

[27] Nepstad D C, Uhl C, Pereira C A, DaSilva J M. A comparative study of tree establishment in abandoned pasture and mature forest of Eastern Amazonia. Oikos, 1996, 76(1):25-39.

[28] Holl K D. Effects of above-and below-ground competition of shrubs and grass on *Calophyllum brasiliense* (Camb.) seedling growth in abandoned tropical pasture. Forest Ecology and Management, 1998, 109(1-3): 187-195.

[29] Buschbacher R, Uhl C, Serrao E A S. Abandoned pastures in eastern Amazonia. Ⅱ. Nutrient stocks in the soil and vegetation. Journal of Ecology, 1988, 76(3): 682-699.

[30] Fernandes D N, Sanford R L. Effects of recent land-use practices on soil nutrients and succession under tropical wet forest in Costa Rica. Conservation Biology, 1995, 9(4): 915-922.

[31] He Y B, Zhang M X, He T Y, Gu W X. Studies on the Allelopathic Effects of *Chromolaena odoratum*. Journal of South China Agricultural University, 2002, 23(3): 60-62.

[32] Zhu H. On the Classification of Forest Vegetation in Xishuangbanna, Southern Yunnan. Acta Botanica Yunnanica, 2007, 29(4): 377-387.

[33] Liu W J, Ma Y X, Hu H B, Cao M, Wang W. Land use and land cover change in the tropical rainforest region of southern Yunnan: a case study of menglun, Xishuangbanna. Journal of Mountain Research, 2005, 23(1): 71-79.

[34] Cao M, Fu X H, YangY G, Tang Y, He Y T. Patch dynamics in tropical forests and the maintenance of tree species diversity. Biodiversity Science, 2000, 8(2): 172-179.

[35] Tang J W, Zhang J H, Song Q S, Feng Z L. Community analysis of secondary tropical vegetations in Xishuangbanna. Chinese Journal of Applied Ecology, 1999, 10(2): 135-139.

参考文献:

[23] 沙丽清,孟盈,冯志立,郑征,曹敏,刘宏茂. 西双版纳不同热带森林土壤氮矿化和硝化作用研究. 植物生态学报,2000,24(2):152-156.

[31] 何衍彪. 飞机草化感作用的初步研究. 华南农业大学学报,2002,23(3):60-62.

[32] 朱华. 论滇南西双版纳的森林植被分类. 云南植物研究,2007,29(4):377-387.

[33] 刘文俊,马友鑫,胡华斌,曹敏,王伟. 滇南热带雨林区土地利用/覆盖变化分析. 山地学报,2005,23(1):71-79.

[34] 曹敏,付先惠,杨一光. 热带森林中的斑块动态与物种多样性维持. 生物多样性,2000,8(2):172-179.

[35] 唐建维,张建侯,宋启示,冯志立. 西双版纳热带次生植被不同抚育方式下的群落学分析. 应用生态学报,1999,10(2):135-139.