

云南南部和中部地区公路旁紫茎泽兰 土壤种子库分布格局

唐樱殷^{1 2 3} 沈有信^{1 2 *}

(1. 中国科学院热带森林生态学重点实验室(西双版纳热带植物园), 云南勐仑 666303;
2. 中国科学院西双版纳热带植物园, 昆明 650223; 3. 中国科学院研究生院, 北京 100049)

摘要:公路边缘生境促进外来植物的入侵, 土壤种子库作为植被天然更新的物质基础对未来植被的构成至关重要。研究路旁生境中紫茎泽兰土壤种子库的分布格局, 对揭示路旁紫茎泽兰种群的补充和更新、探讨公路与入侵植物之间的关系以及科学制定紫茎泽兰防除对策具有重要意义。在紫茎泽兰入侵的云南南部和中部地区选择 3 种不同级别的 9 条公路的 23 个取样地点, 沿垂直于公路方向设置 55 条样线, 采得 374 个 10 cm × 10 cm × 10 cm 土样。采用温室萌发法, 研究了紫茎泽兰土壤种子库从公路沿线到邻近景观的储量、影响因子以及分布格局。结果表明: 9 条公路旁的土壤中贮藏着丰富的紫茎泽兰种子, 其种子库密度变动于 3 152—25 225 粒/m², 占所有有效种子密度的平均比例为 48.7%。公路级别、路旁景观类型和海拔对路旁紫茎泽兰种子库密度有显著影响, 密度随公路级别的提高而增加; 不同路旁景观类型中的种子库密度排序为: 稀树林 > 稀树灌木林 > 撂荒地 > 荒坡 > 森林; 海拔 1 700—1 900 m 范围内的种子库密度最大。不同样线的种子库密度值随垂直于公路的距离变化格局略有不同, 平均密度值和平均种子数量占样线总数的比例值都呈单峰变化, 在距离公路最近端已经有很高密度, 大多数样线的高峰值出现在 9 m 以内。公路旁已经分布有一个紫茎泽兰种子带, 因而提高路旁本地植物的盖度及郁闭度有利于控制紫茎泽兰通过种子更新进一步扩散。

关键词:紫茎泽兰; 公路; 土壤种子库; 分布格局

The soil seed bank of *Eupatorium adenophorum* along roadsides in the south and middle area of Yunnan, China

TANG Yingyin^{1 2 3}, SHEN Youxin^{1 2 *}

1 Key Laboratory of Tropical Forest Ecology, Xishuangbanna Tropical Botanical Garden, Chinese Academy of Sciences, Menglun, Yunnan 666303, China
2 Xishuangbanna Tropical Botanical Garden, Chinese Academy of Sciences, Kunming 650223, China;
3 Graduate University, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China

Abstract: Accumulated evidence has indicated that roads are contributing to the spread of invasive exotic plants in numerous ecosystems by providing corridors for invasion and suitable habitat. However, little has been known about the effect of roads on the exotic plant soil seed banks (SSBs) which are important components of population dynamics, affecting the ecosystem resilience. Herein, we examined the effect of different roadside habitats and distance from roads on SSB of *Eupatorium adenophorum* (EA) towards revealing the regeneration and recruitment of its population. Importantly, our study will be remarkably helpful to realize the relationship between roads and exotic plant invasion and propose measurements for weed regulation. We performed the study at 23 sites along 9 roads of three different grades in southern and middle part of Yunnan where was invaded by EA. 10 cm × 10 cm × 10 cm soil samples were taken along transects leading away from the edges of roads at each site. Totally, 55 transects were established and 374 soil samples were collected. Greenhouse germination method was applied to determine SSB storage and density. The results showed that there were abundant EA

基金项目: 中国科学院西部之光项目“典型喀斯特退化山地植被恢复中的自然演替动力研究”

收稿日期: 2010-05-18; 修订日期: 2010-12-07

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: yxshen@xtbg.ac.cn

seeds stored in SSBs as well as the 9 roads with densities ranged from 3 152 to 25 225 ind/m². Averagely, the proportion of EA seeds reached 48.7% of the total SSBs. The grade of roads, landscape along roadsides and elevation showed significant effects on EA seed bank density: it increased with road grade; density of different roadside landscape together with the order of Open forest > Open shrubs > Abandoned land and slope > Forest; it reached its maximum within 1 700—1 900 m above sea level. The curve of both seed bank density and the proportion of the total number of transects seeds have only a single peak. Density of EA seeds at the nearest point of the roads was already very high, however, the highest density in any transects was usually found within 9 m distance to the roadside. Taken together, we can conclude that there exists a seed storage belt along with roadsides, and management of roadside habitats should be considered as a key to prevent and controll exotic plant invasion, and the maintenance of a dense canopy of native vegetation would benefit the regulation of EA.

Key Words: *Eupatorium adenophorum*; roadside; soil seed bank; distribution pattern

越来越多的研究表明,公路在外来植物入侵进程中起到了重要作用^[1-4],它作为外来植物繁殖体的扩散通道以及人类干扰活动的渠道促进了外来植物的入侵,其两侧经过干扰的生境为外来入侵种的扩散与定居提供庇护^[5-8]。成功定居并形成种群优势后的入侵植物将向公路旁扩散,改变邻近区域物种组成、分布和生态系统过程,导致景观格局的改变,进而影响整个生态系统的结构和功能^[1-3,9]。紫茎泽兰(*Eupatorium adenophorum*)系菊科泽兰属多年生杂草,原产中美洲墨西哥和哥斯达黎加一带,继20世纪40年代从中缅、中越边境侵入我国云南南部以来,已经在云南、四川、贵州、广西、西藏等地区泛滥成灾^[10-11]。种子传播是紫茎泽兰扩散蔓延的主要方式,其每年产生大量的细小种子通过自然和人为活动传播并在土壤中保持有较大且具有持久性的土壤种子库^[12-13]。路旁生境易贮存入侵植物的种子,为未来大规模入侵提供充分条件^[4,14]。很多学者已就紫茎泽兰的生理生态特征、竞争机理等方面进行了广泛研究,探讨其入侵机制或预测其扩张区域^[10,15-17]。仅少数研究关注公路旁包括紫茎泽兰在内的入侵植物的地上部分扩散格局^[18-19],公路旁紫茎泽兰土壤种子库的研究还未见报道。本文通过对云南南部和中部地区路旁紫茎泽兰种子库的研究,探讨公路生境中紫茎泽兰种子库的储量及空间格局的变化规律,揭示公路与紫茎泽兰入侵的关系,为紫茎泽兰防治和影响评价提供科学依据。

1 研究样地概况与研究方法

1.1 研究区域

研究地区位于云南省思茅地区、临沧地区、大理州和楚雄彝族自治州,均属亚热带高原季风气候,干湿季分明,雨热同期。区域内地形起伏较大,公路网发达且类型多样,紫茎泽兰广为分布。本研究选择了3种公路级别的9条公路(表1),于有紫茎泽兰分布的典型路段设置23个取样地点。选点时,同一条公路上的不同点之间尽量具有多样的路旁景观类型,同时尽量保持其它生态因子的相对一致性。

1.2 研究方法

在每一取样地点,以路肩为起点,垂直公路向路旁生境设2—3条平行样线,在每条样线上距离路肩0、2、4、9、14、24、34、50、100、200 m处向外设置样点,取10 cm × 10 cm × 10 cm土样,分3层(0—2 cm, 2—5 cm, 5—10 cm)放置于无种子的布袋中^[20],封口,带回实验室。共设置55条样线,取得374个实验土样。路旁植被景观类型沿垂直方向的变异很大,为尽量保证同一样线上的各点受到的地表植被影响一致,取样止于景观变化后格局已经稳定的样点,而不跨越新的植被类型区,因此各样线实际取样数目不一。取回土样用水冲洗过5目(4 mm)和75目(0.21 mm)筛^[21],将中间部分转入萌发皿,编号后置于温室内,隔离外界可能的种子干扰,保持土壤湿润以利于种子萌发。记录出苗种类与数量,直到一周内无新苗出现为止。根据出苗数量计算紫茎泽兰种子库密度值,经对数转化($\lg(\text{土壤种子库密度} + 1)$)后用Excel和SPSS 13.0进行统计分析和作图。

2 研究结果

2.1 路旁紫茎泽兰土壤种子库的密度

萌发实验共检测出89 627棵幼苗,其中紫茎泽兰33 625棵。23个样地的55条样线中均存在紫茎泽兰种

子。9 条公路的紫茎泽兰种子库密度为 3152—25225 粒/ m^2 , 变化差异大, 平均种子库密度值为 8 985 粒/ m^2 ; 占有有效种子密度的比例为 34.4%—64%, 平均为 48.7%, 几乎占了总种子库密度的一半(表 2)。垂直方向上 0—2 cm 土层中紫茎泽兰种子密度占总种子密度的比例平均为 61.3%; 由 0—2 cm 土层向下逐渐减少, 2—5 cm 与 5—10 cm 土层中紫茎泽兰种子密度占总种子密度的平均比例分别为 26.4% 和 13.3% (图 1)。

表 1 研究样地概况

Table 1 Basic information of research sites

样地 Sampling sites	样地数量 Plot quantity	公路性质 Property of roads	公路级别 Grade of roads	路旁景观类型 Landscape type	海拔范围/m Elevation range	经纬度 Longitude and latitude
耿马南滚河	3	砂石路 Sandstone road	四级 Grade 4	F, SS, A	1409—1815	N: 23°35', E: 99°22'
临沧	2	土路 Sand road	四级 Grade 4	A	1588—1749	N: 23°54', E: 100°07'
祥临公路	2	国道 214 National Highway214	三级 Grade 3	SS	1370—1520	N: 23°51', E: 100°05'
云县	2	乡镇公路 Town road	三级 Grade 3	A	1326—1656	N: 24°18', E: 100°14'
楚雄-双柏	2	省道 218 Province Highway218	三级 Grade 3	F	1934—2021	N: 24°46', E: 101°57'
双柏-镇沅	1	省道 307 Province Highway307	四级 Grade 4	F	2059	N: 23°93', E: 101°46'
哀牢山	4	土路 Sand road	等外 Substandard	F, SF	1505—2489	N: 24°48', E: 101°01'
无量山	4	砂石路 Sandstone road	等外 Substandard	F, A	1474—1903	N: 24°34', E: 100°86'
下关-巍山-大理	3	省道 224 Province Highway224	三级 Grade 3	F, SF	1973—2386	N: 25°49', E: 100°26'

F: 森林 Forest; SF: 稀树林 Open forest; SS: 稀树灌木林 Open shrubs; A: 撂荒地和荒坡 Abandoned land and slopes

表 2 路旁紫茎泽兰土壤种子库密度(平均值 ± 标准误差)

Table 2 Soil seed bank density(Mean ± SE) of *E. adenophorum* along roadsides

样地 Sampling sites	最远取样距离/m Farthest sampling distance	土壤种子库密度/(粒/ m^2) Soil seed bank density	占总种子库密度百分比/% Percentage of the total soil seed banks
耿马南滚河	200	15074 ± 1747	62.7
临沧	24	6475 ± 934	47.6
祥临公路	50	7559 ± 5823	51.5
云县	50	3152 ± 424	44.1
楚雄-双柏	50	8930 ± 1480	64.0
双柏-镇沅	24	25225 ± 8242	61.9
哀牢山	50	9410 ± 1634	44.9
无量山	24	6417 ± 1032	37.1
下关-巍山-大理	34	5531 ± 803	34.3
平均 Average		8985 ± 588	48.7

2.2 环境因素对路旁紫茎泽兰土壤种子库的影响

本研究的 23 个样地分别位于三级公路、四级公路、等外公路旁的森林(12 个)、稀树灌木林(3 个)、稀树林(2 个)、撂荒地和荒坡(6 个)4 种景观类型中。通用线性模型(GLM)分析表明,公路级别($F = 4.608$, $P = 0.010$)、路旁景观类型($F = 3.133$, $P = 0.025$)与海拔($F = 2.675$, $P = 0.031$)对紫茎泽兰种子库密度有显著影响,而坡向对其影响不显著($F = 1.763$, $P = 0.135$)。进一步的 LSD 多重比较发现,三级和四级公路旁紫茎泽兰种子库密度显著高于等外公路($P < 0.05$)。稀树林的紫茎泽兰种子库密度显著高于森林($P < 0.05$)。研

究调查的海拔范围为 1 362—2 489 m, 路旁紫茎泽兰的种子库密度在海拔 1 700—1 900 m 的范围内达到峰值, 然后开始下降 ($P < 0.05$) (图 2)。

2.3 路旁紫茎泽兰土壤种子库的分布格局

由于公路两侧的群落变异较大, 在距离公路稍远的地方, 因为群落变异而终止土壤样品采集。因此, 在距离公路不同远近的地方, 采集到的样本数量明显不同 (表 3)。从平均密度看, 紫茎泽兰土壤种子库密度随垂直于公路的距离变化而变化, 最高值出现在距公路 100 m 和 200 m 处 (表 3), 但由于此处的样本数相对偏

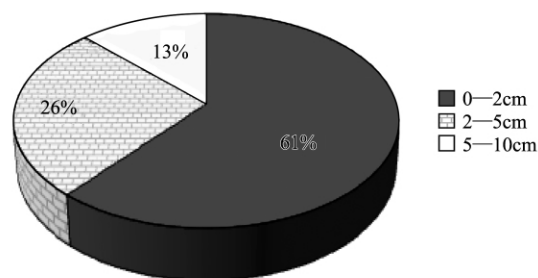


图1 紫茎泽兰种子在土壤中的垂直分布格局

Fig.1 Depth distribution pattern of *E. adenophorum* soil seeds

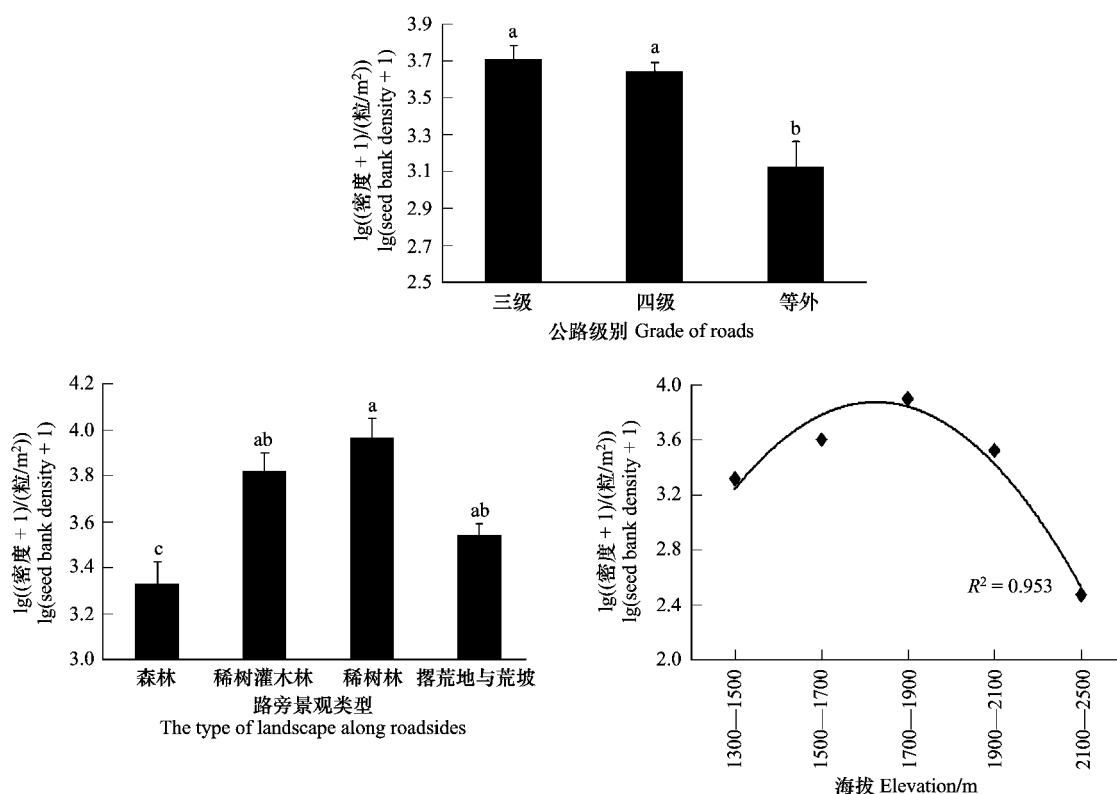


图2 路旁紫茎泽兰土壤种子库密度与公路级别、路旁景观类型、海拔之间的关系

Fig.2 The relationship between soil seed bank density of *E. adenophorum* along roadsides and grade of roads, landscape along roadsides and elevation

不同小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$)

少, 而且其密度值变异太大, 有待于未来更多的样本对其特性进行判断。公路 2、6、8 的最远取样点只达 24 m 处, 从 0—24 m 的数据来看, 密度值由距离公路路肩 (0 m) 处的高基点平缓上升然后降低, 在 4 m 处有一相对的高峰值。方差分析表明距公路不同距离处的紫茎泽兰土壤种子库的密度值差异显著 ($F = 83.652$, $P < 0.001$)。由于不同样地间的紫茎泽兰土壤种子库密度值之间也存在显著差异 ($F = 7.0$, $P < 0.001$), 因此距公路不同距离的各样点之间的差异也有可能受到样地差异的影响。将各样点的种子数量除以该样地的样线总种子数量得到各样点种子数量占样线总数的比例, 通过消除量纲的方式来降低样地差异造成的影响, 其结果仍与平均密度值的结果一致, 距公路不同距离各样点间的差异更为显著 (图 3)。从各样线的 0—24 m 数据分布情况来看 (图 4), 最高密度值出现在 4 m 处的样地数占总样地数的 30.4%, 出现在 9 m 内的比例为

91.3%。综合各种途径的分析结果可看出,紫茎泽兰种子分布的高峰值主要在距离公路 9 m 范围内。

表 3 距公路边不同距离处采集到的土壤样本数量和紫茎泽兰种子特征值

Table 3 Number of soil samples and the *E. adenophorum* seed bank eigen value at different distance to roads

距公路距离/m Distance to roads	样本数量 No. of samples	土壤种子库密度/(粒/m ²) Soil seed bank density (平均值 ± 标准误 Mean ± SE)	种子数量占样线总种子数的百分比/% The proportion of the total number of transects seeds (平均值 ± 标准误 Mean ± SE)
0	55	4565 ± 684	9.4 ± 1.1
2	55	7775 ± 926	18.9 ± 1.9
4	55	13205 ± 2163	23.7 ± 1.9
9	55	11152 ± 1634	18.6 ± 1.6
14	55	8187 ± 1368	13.0 ± 1.5
24	55	5743 ± 1208	8.1 ± 1.3
34	21	9471 ± 1984	8.9 ± 1.7
50	17	10059 ± 2016	9.6 ± 1.4
100	3	49300 ± 14386	26.0 ± 8.3
200	3	19267 ± 14317	9.8 ± 4.5
总计 Total	374	8984 ± 588	14.7 ± 0.6

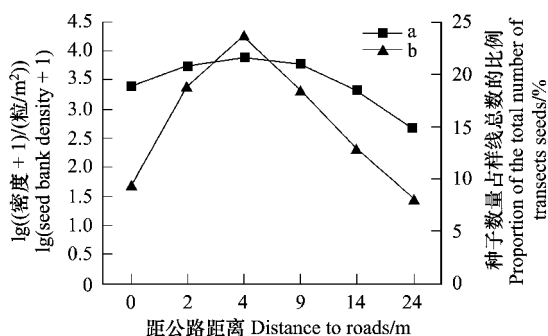


图 3 距公路不同距离的紫茎泽兰土壤种子库密度 (a) 和种子数量占样线总数的比例 (b)

Fig. 3 Soil seed density (a) and the proportion of total transects seeds (b) of *E. adenophorum* at different distance to roads

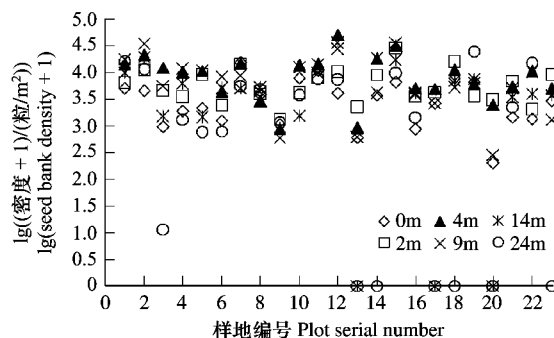


图 4 不同样地距公路不同距离的紫茎泽兰土壤种子分布

Fig. 4 The patterns of soil seed density of *E. adenophorum* at different distance to roads at different plots

3 讨论

本研究检测出的紫茎泽兰活力种子平均密度高达 8 985 粒/m²,说明紫茎泽兰种子已经广泛分布于中国云南南部和中部区域的公路沿线土壤中。与同是紫茎泽兰入侵地的非公路生境相比,这一密度值显著高于云南各种非公路生境土壤中的紫茎泽兰种子密度(2 202 粒/m²)^[13],也高于四川攀枝花地区的紫茎泽兰种子库密度(1 950 粒/m²)^[22],可见公路边缘生境的紫茎泽兰种子储量远大于非公路生境,这将极大地促进该区域紫茎泽兰的更新与扩散并为其被除灭后的再生提供便利。外来植物入侵需要跨越生物、物理与环境的三重障碍,公路可为外来植物种子提供廊道、创造或改变原有的干扰机制而有利于外来植物跨越物理和环境障碍从而入侵路旁生境^[7]。当公路廊道穿越某一自然生境时,引起周围理化环境的改变为入侵植物提供合适的生境,使路旁外来植物生物量、种子产量和生长率都增大^[23]。同时车辆交通与公路维护等干扰活动促进外来植物种子的传播,使部分当地种受到胁迫,土壤种子库也会发生相应的变化^[24]。紫茎泽兰种子占土壤中所有种子总密度的 48.7%,表明紫茎泽兰在公路边缘生境的土壤种子库中占绝对优势,具备强大的更新潜力和入侵潜能,这些潜在种群将提供足够的入侵种源。

入侵植物从公路旁向周围扩散的距离是评价公路对入侵植物影响的一个重要指标。Flory 和 Clay^[5]在对

印第安那州落叶林内公路的研究中发现入侵种密度与到公路距离呈负相关, 0 m 处密度最高。澳大利亚 Dartmouth 地区高频率的外来种沿土路路旁扩散的距离为 5 m, 少数物种扩散到 30 m 处^[25]。美国威斯康辛 Chequamegon 国家公园中外来种在路边 15 m 内最多^[23]。在美国蒙大纳州冰河国家公园, 外来植物主要富集在两车道的高速路旁 1—2 m 范围内^[7]。在我国四川犍为县, 紫茎泽兰主要分布在公路附近 15 m 的范围内^[26]。土壤种子库的空间格局反映了种子在土壤中的初始分布和以后的运动状况^[27], 种子水平分布越广, 说明其传播能力越强, 有利于种子迅速找到适宜的生存环境促进群落更新^[28]。本研究发现, 紫茎泽兰种子已经形成一个公路沿线的分布带, 其在公路边缘的土壤(0 m)中的密度值已经很高, 4 m 处有一个峰值。张黎等^[18]和赵金丽等^[19]得到的该地区路旁紫茎泽兰的地上生物量、密度值也表现出相似的分布格局, 距离公路 4 m 处紫茎泽兰生物量和种子密度都有一个峰值, 表明路旁紫茎泽兰的地上和地下土壤种子库之间具有协同性, 母株产生的大量种子散落在土壤中成为其种子库的来源, 公路的存在使紫茎泽兰能保持一个植株与土壤种子存在的连续带。Forman 在评价美国道路系统的生态效应区是指出, 外来植物在入侵森林时的道路效应带大于 100 m, 最远距离是 120 m^[29], 然而在本文中由于云南地区的公路多数依山而建, 地形复杂以及景观类型多变, 而取样又止于景观变化后格局已经稳定的样点即直达非公路边缘生境, 因此取样距离很多时候都小于 50 m 甚至更短。研究结果发现绝大多数样地的紫茎泽兰种子分布可直达路旁景观类型改变后的非公路生境生态系统中, 从而使其对周围本地种生物多样性的危害成为现实, 这个分布距离就是公路效应带可达到的最远距离, 可见公路效应带的距离大小因地域不同而具有相对性。

公路级别、路旁景观类型和海拔显著影响紫茎泽兰种子库密度。高等级公路相对于低等级公路有更频繁的交通运输与路面养护活动, 更易创造合适的生境供紫茎泽兰繁殖。光照差异可能是导致不同路旁景观类型之间土壤种子库密度差异的原因。紫茎泽兰生长的最佳光照条件以全光照的 50%—80% 最佳^[11], 遮荫对其成苗生长有明显的抑制作用, 光水平的变化通常也影响了温度与土壤湿度进而影响种子萌芽率与存活率^[30-32]。稀树林和稀树灌木林中较其它植被类型的光照条件更适宜紫茎泽兰生长, 茂盛的母体提供了庞大的种子基数增补土壤种子库。森林由于林冠封闭, 光照少从而限制了紫茎泽兰的扩散, 因而其土壤种子库密度最小。卢志军和马克平^[33]在云南、广西、贵州、四川和重庆海拔范围 75—2 330 m 的调查发现紫茎泽兰最易生长在海拔 2 000 m 左右, 本研究中土壤种子库密度在海拔 1 700—1 900 m 时达最大, 表明土壤种子库与地表母体的海拔响应是一致的。

本研究紫茎泽兰土壤种子库样品采集的最远端点为公路边地表植物群落稳定区域, 当群落稳定后, 采样即停止, 其实际位置位于 24—200 m 处不等。从这个意义上而言, 紫茎泽兰种子已经渗入到公路沿线的各种景观类型的植物群落内, 至少已经存在于周围群落与公路交接的边缘地带, 形成一条沿公路两侧的土壤种子库分布带。紫茎泽兰能形成持久性土壤种子库^[13], 一旦周围的植物群落发生改变, 这条带状的种子分布将为其扩散提供巨大的前期物种种源。紫茎泽兰种子在每个样地均表现出递减的垂直分布的特点, 仍有近 40% 的种子存活于 2 cm 以下的土层中, 这些下层种子的长时间存活将对原有植被的恢复与重建形成潜在的危害。

References:

- [1] Angold P G. The impact of a road upon adjacent heathland vegetation: effects on plant species composition. *Journal of Applied Ecology*, 1997, 34 (2): 409-417.
- [2] Gelbard J L, Belnap J. Roads as conduits for exotic plant invasions in a semiarid landscape. *Conservation Biology*, 2003, 17(2): 420-432.
- [3] Godefroid S, Koedam N. The impact of forest paths upon adjacent vegetation: effects of the path surfacing material on the species composition and soil compaction. *Biological Conservation*, 2004, 119(3): 405-419.
- [4] Trombulak S C, Frissell C A. Review of ecological effects of roads on terrestrial and aquatic communities. *Conservation Biology*, 2003, 14(1): 18-30.
- [5] Flory S L, Clay K. Invasive shrub distribution varies with distance to roads and stand age in eastern deciduous forests in Indiana, USA. *Plant Ecology*, 2006, 184(1): 131-141.
- [6] Parentes L A, Jones J A. Role of light availability and dispersal in exotic plant invasion along roads and streams in the H. J. Andrews Experimental

- Forest , Oregon. Conservation Biology , 2000 , 14(1) : 64-75.
- [7] Tyser R , Worley C A. Alien flora in grasslands adjacent to road and trail corridors in Glacier National Park , Montana (USA) . Conservation Biology , 1992 , 6(2) : 253-262.
- [8] Williamson J , Harrison S. Biotic and abiotic limits to the spread of exotic revegetation species. Ecological Applications , 2002 , 12(1) : 40-51.
- [9] Xu C D , Dong X D , Lu S G. Invasive plants in Honghe River Basin of Yunnan Province. Chinese Journal of Ecology , 2006 , 25(2) : 194-200.
- [10] Qiang S. The history and status of the study on crofton weed (*Eupatorium adenophorum* spreng) , a worst worldwide weed. Journal of Wuhan Botanical Research , 1998 , 16(4) : 366-372.
- [11] Zhou S , Tang C J , Zhang X Y. The damage situation and control countermeasures for *Eupatorium adenophorum* in Sichuan Province. Pratacultural Science , 2004 , 21(1) : 24-26.
- [12] Liu L H , Xie S C , Zhang J H. Studies on the distribution , harmfulness and control of *Eupatorium adenophorum* Spreng. Acta Ecologica Sinica , 1985 , 5(1) : 1-6.
- [13] Shen Y X , Liu W Y. Persistent soil seed bank of *Eupatorium adenophorum*. Acta Phytocologica Sinica , 2004 , 28(6) : 768-772.
- [14] Banks A , Lesica P , Pokorny M , Weeden C. Roads Enhance Exotic Plant Invasions. Montana Native Plant Society Conservation Committee , 2004.
- [15] Li A F , Gao X M , Dang W G , Wang J F. Growth trends of Crofton weed (*Eupatorium adenophorum*) seedlings in different habitats. Biodiversity Science , 2007 , 15(5) : 479-485.
- [16] Peterson A T , Papes M , Kluza D A. Predicting the potential invasive distributions of four alien plant species in North America. Weed Science , 2003 , 51(6) : 863-868.
- [17] Yu X J , Yu D , Lu Z J , Ma K P. A new mechanism of invader success: exotic plant inhibits natural vegetation restoration by changing soil microbe community. Chinese Science Bulletin , 2005 , 50(11) : 1105-1112.
- [18] Zhang L , Ma Y X , Li H M , Liu W J , Cao Z W , Zhang Q. Patterns of *Eupatorium adenophorum* along roadsides in Lincang region , Yunnan Province , China. Ecology and Environment , 2007 , 16(2) : 516-522.
- [19] Zao J L , Ma Y X , Zhu H , Li H M , Liu W J , Li Z J. Invasion patterns of seven alien plant species along roadsides in southern mountainous areas of Yunnan Province. Biodiversity Science , 2008 , 16(4) : 369-380.
- [20] Wang J , Bai Y. The hot topics and perspectives of soil seed bank research. Ecology and Environment , 2006 , 15(6) : 1372-1379.
- [21] Heerd G N J , Verweij G L , Bekker R M , Bakker J P. An improved method for seed-bank analysis: seedling emergence after removing the soil by sieving. Functional Ecology , 1996 , 10(1) : 144-151.
- [22] Dang W G , Gao X M , Wang J F , Li A F. Soil seed bank traits in an area invaded by *Eupatorium adenophorum*. Biodiversity , 2008 , 16(2) : 126-132.
- [23] Watkins R Z , Chen J Q , Pickens J , Brosfokske K. Effects of forest roads on understory plants in a managed hardwood landscape. Conservation Biology , 2003 , 17(2) : 411-419.
- [24] Tikka P M , Högmänder H , Koski P S. Road and railway verges serve as dispersal corridors for grassland plants. Landscape Ecology , 2001 , 16(7) : 659-666.
- [25] Amor R L , Stevens P L. Spread of weeds from a roadside into sclerophyll forests at Dartmouth , Australia. Weed Research , 1976 , 16(2) : 111-118.
- [26] Yi J P , Yin L P , Li D C , Li F T , Ye J. Invasion and establishment of crofton weed (*Eupatorium adenophorum* Spreng) in Leshan area Sichuan Province and its pest risk analysis. Plant Quarantine , 2003 , 17(6) : 333-336.
- [27] Yu S L , Jiang G M. The research development of soil seed bank and several hot topics. Acta Phytocologica Sinica , 2003 , 27(4) : 552-560.
- [28] Zhang Y M , He J , Pan K W , Chen H Z , Zhao Y F. Potential contribution of soil banks to the restoration of native plants. Chinese Journal of Applied and Environmental Biology , 2003 , 9(3) : 326-332.
- [29] Forman R T. Estimate of the area affected ecologically by the road system in the United States. Conservation Biology , 2000 , 14(1) : 31-35.
- [30] Brothers T , Spingarn A. Forest fragmentation and alien plant invasion of central Indiana old-growth forests. Conservation Biology , 1992 , 6(1) : 91-100.
- [31] Gehlhausen S M , Schwartz M W , Augspurger C K. Vegetation and microclimatic edge effects in two mixed-mesophytic forest fragments. Plant Ecology , 2000 , 147(1) : 21-35.
- [32] Witkowski E T E , Wilson M. Changes in density , biomass , seed production and soil seed banks of the non-native invasive plant , *Chromolaena odorata* , along a 15 year chronosequence. Plant Ecology , 2001 , 152(1) : 13-27.
- [33] Lu Z J , Ma K P. The influence of topographical factors on the invasion of the alien species , *eupatorium adenophorum*. Acta Phytocologica Sinica , 2004 , 28(6) : 761-767.

参考文献:

- [9] 徐成东,董晓东,陆树刚. 红河流域的外来入侵植物. 生态学杂志, 2006, 25(2): 194-200.
- [10] 强胜. 世界性恶性杂草——紫茎泽兰研究的历史及现状. 武汉植物学研究, 1998, 16(4): 366-372.
- [11] 周俗,唐川江,张新跃. 四川省紫茎泽兰危害状况与治理对策. 草业科学, 2004, 21(1): 24-26.
- [12] 刘伦辉,谢寿昌,张建华. 紫茎泽兰在我国的分布、危害及防除策略的探讨. 生态学报, 1985, 5(1): 1-6.
- [13] 沈有信,刘文耀. 长久性紫茎泽兰土壤种子库. 植物生态学报, 2004, 28(6): 768-772.
- [15] 李爱芳,高贤明,党伟光,王瑾芳. 不同生境条件下紫茎泽兰幼苗生长动态. 生物多样性, 2007, 15(5): 479-485.
- [18] 张黎,马友鑫,李红梅,刘文俊,曹智伟,张强. 云南临沧地区公路两侧紫茎泽兰分布格局. 生态环境, 2007, 16(2): 516-522.
- [19] 赵金丽,马友鑫,朱华,李红梅,刘文俊,李增加. 云南省南部山地 7 种主要入侵植物沿公路两侧的扩散格局. 生物多样性, 2008, 16(4): 369-380.
- [20] 王俊,白瑜. 土壤种子库研究的几个热点问题. 生态环境, 2006, 15(6): 1372-1379.
- [22] 党伟光,高贤明,王瑾芳,李爱芳. 紫茎泽兰入侵地区土壤种子库特征. 生物多样性, 2008, 16(2): 126-132.
- [26] 易建平,印丽萍,李大春,李风婷,叶军. 四川乐山地区紫茎泽兰的入侵定殖和风险评估. 植物检疫, 2003, 17(6): 333-336.
- [27] 于顺利,蒋高明. 土壤种子库的研究进展及若干研究热点. 植物生态学报, 2003, 27(4): 552-560.
- [28] 张咏梅,何静,潘开文,陈宏志,赵云锋. 土壤种子库对原有植被恢复的贡献. 应用与环境生物学报, 2003, 9(3): 326-332.
- [33] 卢志军,马克平. 地形因素对外来入侵种紫茎泽兰的影响. 植物生态学报, 2004, 28(6): 761-767.