



南亚热带尾巨桉人工林土壤种子库特征研究

段文军, 李达, 李冲

引用本文:

段文军,李达,李冲. 南亚热带尾巨桉人工林土壤种子库特征研究[J]. 热带亚热带植物学报, 2024, 32(1): 75–81.

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.11926/jtsb.4696>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

5种相思树和尾巨桉人工林土壤养分和酶活性特征

Characteristics of Soil Nutrient and Enzyme Activities in Plantations of *Eucalyptus urophylla* × *E. grandis* and Five *Acacia* Species
热带亚热带植物学报. 2021, 29(5): 483–493 <https://doi.org/10.11926/jtsb.4334>

不同林龄尾巨桉人工林凋落物和土壤C、N、P化学计量特征

Ecological Stoichiometric Characteristics of Carbon, Nitrogen and Phosphorus in Litter and Soil of *Eucalyptus urophylla* × *E. grandis* Plantation at Different Forest Ages
热带亚热带植物学报. 2017, 25(2): 127–135 <https://doi.org/10.11926/jtsb.3665>

雷州半岛尾巨桉人工林土壤呼吸动态变化及其对气象因子的响应

Soil Respiration of *Eucalyptus urophylla* × *E. grandis* Plantation and Its Response to Meteorological Factors in Leizhou Peninsula
热带亚热带植物学报. 2018, 26(4): 346–354 <https://doi.org/10.11926/jtsb.3833>

巨桉连栽对土壤微生物生物量和数量的影响

热带亚热带植物学报. 2020, 28(1): 35–43 <https://doi.org/10.11926/jtsb.4081>

氮磷添加对华南地区2种人工林土壤氮磷循环酶活性的影响

Effects of Long-term Nitrogen and Phosphorus Additions on Soil Enzyme Activities Related N and P Cycle in Two Plantations in South China
热带亚热带植物学报. 2021, 29(3): 244–250 <https://doi.org/10.11926/jtsb.4293>

向下翻页，浏览PDF全文

南亚热带尾巨桉人工林土壤种子库特征研究

段文军, 李达, 李冲

(南宁师范大学, 南宁 530001)

摘要: 为了解桉树人工林土壤种子库特征, 对不同林龄尾巨桉(*Eucalyptus urophylla* × *E. grandis*)人工林种子库的储量、垂直分布特征及与林下植被的相似度进行了分析。结果表明, 土壤活力种子储量最高的为 1~2 a 生桉林, 显著高于其他林型; 其次为 3~4 a 生桉林和马尾松(*Pinus massoniana*)林; 最低的为杉木(*Cunninghamia lanceolata*)林, 显著低于其他林型。随林龄增加, 尾巨桉林土壤种子库储量快速下降。土壤种子库中植物种类最为丰富的是杂木林和马尾松林, 显著大于其他林型。随林龄增加, 尾巨桉林土壤种子库植物种类先增后降。所有林型中, 0~5 cm 土壤种子库的密度均显著高于 5~10 cm 土层。杂木林种子库和林下植被共存植物种类最多, 其次是马尾松林, 杉木林最少。尾巨桉人工林随林龄的增加, 共存植物种数呈先升高后下降趋势, 土壤种子库 Jaccard (CJ)和 Sorensens (CS)相似系数也呈先升后降的趋势。因此, 在速生桉人工林经营中适当间种(保留)乡土树种, 可增加森林生态系统的生物多样性和生态功能的稳定性。

关键词: 土壤种子库; 种子储量垂直分布; 尾巨桉人工林; 南亚热带地区

doi: 10.11926/jtsb.4696

Soil Seed Bank Characteristic of *Eucalyptus urophylla* × *Eucalyptus grandis* Plantations in Lower Subtropical China

DUAN Wenjun, LI Da, LI Chong

(Nanning Normal University, Nanning 530001, China)

Abstract: In order to understand the characteristics of soil seed bank in *Eucalyptus* plantations, the storage, vertical distribution and similarity of seed bank in *E. urophylla* × *E. grandis* plantations with different age were analyzed. The results showed that the active soil seed storage of 1–2-year-old *E. urophylla* × *E. grandis* plantations were the highest, which was significantly higher than other plantations, followed by 3–4-year-old *E. urophylla* × *E. grandis* and *Pinus massoniana* plantation, and that of *Cunninghamia lanceolata* plantation was the lowest, which was significantly lower than other plantations. The soil seed bank storage of *E. urophylla* × *E. grandis* plantations decreased rapidly along the stand age. The most abundant plant species in soil seed bank were mixed forest and *P. massoniana* plantation, which were significantly larger than other plantations. In *E. urophylla* × *E. grandis* plantations, the number of plant species in soil seed bank increased at first and then decreased with the increase of stand age. Among all forest types, the seed bank density of 0–5 cm soil layer was significantly higher than that of 5–10 cm soil layer. The co-existed specie number of seed banks and understory in the mixed forest was the largest, followed by *P. massoniana* plantation and the least was *C. lanceolata* plantation. With the increase of stand age, the number of coexisting plant species in *E. urophylla* × *E. grandis* plantation also increased at first and then decreased. The soil seed bank similarity coefficients of Jaccard (CJ) and Sorensen (CS) of *E. urophylla* × *E. grandis* plantations were increased at first and then decreased along stand age. Therefore, appropriate

收稿日期: 2022-07-04 接受日期: 2022-09-05

基金项目: 广西自然科学基金项目(2018JJA130059); 国家自然科学基金项目(31860173)资助

This work was supported by the Project for Natural Science in Guangxi (Grant No. 2018JJA130059), and the National Natural Science Foundation of China (Grant No. 31860173).

作者简介: 段文军(1977年生), 男, 博士, 教授, 博士生导师, 研究方向为生态恢复、生态旅游。E-mail: duanwenjunagr@163.com

interplanting (retention) of native tree species in the management of fast-growing *Eucalyptus* plantations could increase the biodiversity and stability of ecological functions of forest ecosystems.

Key words: Soil seed bank; Vertical distribution of soil seed storage; *Eucalyptus urophylla* × *E. grandis* plantation; Southern subtropical China

人工林的近自然化经营和改造是提高人工林生物多样性和生态系统稳定性的重要手段,也是学术界关注的焦点课题^[1-2]。在人工林近自然化改造和经营过程中,土壤种子库决定人工林潜在的群落结构和演替方向,对人工林植物群落的更新和乡土树种的定居起着关键作用^[3]。乡土树种的定居包括种子扩散、种子库动态、种子萌发和幼苗定居等过程,从种子生产到幼苗定居是植物生活史中最为敏感的阶段之一,存在诸多限制因素,会影响种子和幼苗的存活,进而影响到人工林更新和人工林向地带性天然林恢复^[4]。广西是全国桉树种植面积最大的省份,明确桉树人工林种子库特征对桉树人工林可持续经营和近自然化改造具有重要的理论和现实意义^[5-6]。本研究分析了不同林龄尾巨桉(*Eucalyptus urophylla* × *E. grandis*)人工林土壤种子库含量、垂直分布特征,以及与地上植被的关系,并与同地带的杉木(*Cunninghamia lanceolata*)和马尾松(*Pinus massoniana*)人工林、杂木林进行了比较,以期桉树人工林可持续经营和近自然化改造提供参考。

1 研究区概况

本研究选择桉树种植较为集中、地形地貌具有代表性的广西贵港市覃塘区黄练镇镇水村的桉树人工林(109.258 0° E, 23.189 4° N),以南方种植面积

较为广泛的速生树种尾巨桉(*E. urophylla* × *E. grandis*)为研究对象,并与同地带典型杉木(*C. lanceolata*)、马尾松(*P. massoniana*)人工林和杂木林进行对比。研究区域属亚热带季风气候区,年平均气温在 21.5 °C,年均降水量 1 300~1 700 mm,全年无霜期 350~360 d。地带性土壤主要是砂页岩发育而成的砖红壤、赤红壤,少量区域为石灰土。自然植被为南亚热带季风常绿阔叶林,常绿阔叶林以木兰科(Magnoliaceae)、樟科(Lauraceae)、杉科(Taxodiaceae)、大戟科(Euphorbiaceae)、松科(Pinaceae)、苏木科(Caesalpinaceae)等树种为优势种。

2 材料和方法

2.1 样地设计与多样性调查

于 2021 年 2 月在尾巨桉连片种植区域的 1、2、3、4、5~7 a 生尾巨桉人工林,以及杉木林、马尾松林和杂木林内,沿相同的方向设立 1 条 5 m × 15 m 的样带。采用网格法将样带分割成 3 个 5 m × 5 m 的样方,每个样方的正中心设置 1 个 1 m × 1 m 的小样方。在每个小样方中,去除表层大片凋落物后分 0~5、5~10 cm 两层随机取 5 组 10 cm × 10 cm × 10 cm 土样,将每个小样方中同一层 5 个土样充分混合,装入土袋中。将采集的混和土样过 2 cm 网筛去除杂物和大石块(如有大颗粒种子放回土样)。经筛选

表 1 样地概况

Table 1 General situation of plots

样方 Plot	林分 Plantation	坡度 (°) Slope	海拔(m) Altitude	坡向 (°) Aspect	林龄 (a) Age	抚育措施 Tending measure
A	尾巨桉	14~16	119~125	NE 48	1	萌芽更新、不炼山、施 1 次底肥
B	<i>Eucalyptus urophylla</i> × <i>E. grandis</i>	12~14	155~165	NE 51	2	萌芽更新、不炼山、不除草、10 月间砍 1 次桉苗、每年施 1 次肥
C		13	162~172	NE 49	3	萌芽更新、不炼山、不除草、每年 10 月—11 月间砍 1 次桉苗、每年施 1 次肥
D		14	144~169	NE 48	4	萌芽更新、不炼山、不除草、前 3 a 每年 10 月—11 月间砍 1 次桉苗、每年施 1 次肥
E		14	141~147	NE 49	5~7	萌芽更新、不炼山、不除草、前 3 a 每年 10 月—11 月间砍 1 次桉苗、每年施 1 次肥
F	杉木 <i>Cunninghamia lanceolata</i>	11	122~135	NE 49	8	近 3 年无抚育措施
G	马尾松 <i>Pinus massoniana</i>	11	201~211	NE 52	10	近 3 年无抚育措施
H	杂木 Mixed species	17	155~203	NE 49	≥10	无抚育措施

的土样平铺到萌发盆内放至自然光照下的温棚内萌发。另将 5 个仅装经高温处理砂子的萌发盆作为对照, 以检测是否有外源种子的侵入。萌发过程中土样每天早晚 2 次喷水以保持湿润。萌发时间为 2 个月, 前 1 个月每 2 d 统计 1 次, 其后每 5 d 统计 1 次, 统计萌发幼苗的数量、种类, 移出已鉴定的幼苗, 并将暂时不能识别的幼苗移栽, 以待鉴定。土样中萌发的幼苗数量转换成种子库密度, 以单位面积内的幼苗萌发量来计算。

2.2 数据处理和分析

不同样方的种子萌发量及物种数量采用单因素方差分析(One-Way ANOVA)进行比较, 运用 Origin Pro 2021 进行数据整理、方差分析。

土壤种子库与地上植被之间相似性分析采用点对点分析法, 即每条样线的相似系数取其土壤种子库采样点与对应植被样方的相似系数平均值, 选用 Jaccard 定性相似系数(CJ)^[7]、Sorensen 定量相似系数(CS)^[8]计算。

$CJ=c/(a+b-c)$; $CS=2c/(a+b)$, 式中, a 为采样点土样中种子植物物种数; b 为采样点对应植被样方中种子植物物种数; c 为采样点土样和对应植被样方共有的种子植物物种数。

3 结果和分析

3.1 种子库储量及垂直分布

5 种龄级尾巨桉林与杉木林、马尾松林和杂木林土壤种子库的萌发结果表明(表 2), 活力种子储量最高的为 1~2 a 生尾巨桉林, 达到 2 700 grains/m² 以上, 显著高于其他林型。其次为 3~4 a 尾巨桉林和马尾松林, 种子储量为 1 600~1 900 grains/m², 显著高于杉木林、5~7 a 生尾巨桉林、杉木林和杂木林。种子储量最低的为杉木林, 仅为 633 grains/m², 显著低于其他林型。尾巨桉种子库储量由 1 a 生桉林的 2 796 grains/m² 下降到 5 a 生的 980 grains/m², 呈现快速下降趋势。

表 2 土壤种子库的垂直分布和密度

Table 2 Vertical distribution and density of soil seed bank

人工林 Plantation	种子密度 Soil seed density (grains/m ²)		平均物种数 Number of species	种子储量 (grains/m ²) Soil seed storage
	0~5 cm	5~10 cm		
A	2 148±443a	648±124a	13	2 796±482a
B	2 245±452a	521±115b	20	2 766±502a
C	1 761±321b	122±53d	24	1 883±433b
D	1 542±232b	123±45d	19	1 665±323b
E	861±232c	119±44d	16	980±281c
F	541±112d	92±23e	17	633±125d
G	1 121±439bc	551±196ab	29	1 672±545b
H	765±251cd	221±76c	32	986±328c

A~H 见表 1。同列数据后不同字母表示显著差异($P<0.05$)。下同

A~H see Table 1. Data followed different letters indicate significant differences at 0.05 level. The same below

种子库植物种类最为丰富的是杂木林和马尾松林, 显著大于其他林型。这 2 种林型林龄较长, 且林下生境异质性高, 林下植物种类较多, 积累的种子较丰富。5~7 a 生成熟尾巨桉林和杉木人工林种子库植物种类数量基本相当, 显著低于杂木林和马尾松林。随龄级增长尾巨桉林种子库植物种类数量呈现先增加再下降的趋势, 最为丰富的是 3 a 生桉林, 此时尾巨桉人工林的郁闭度不高, 林下植物群落处在草本和灌木大量共生阶段, 植物多样性最高, 为种子库提供了丰富的种源。0~5 cm 土层土壤种子库密度均明显高于 5~10 cm 土层。

3.2 种子库植物种类及构成

从表 3 可知, 5 种林龄尾巨桉人工林中, 土壤种子库存在较大差异。种子库储量较多的是 1~3 a 生尾巨桉林, 颗粒较小的草本植物种子占比较多, 占总数的 90% 以上。4 a 生以上尾巨桉人工林, 草本植物种子占比仍然较高, 但种子库中植物种类大量增加, 尤其是灌木、乔木和小乔木的种子已有一定占比。尾巨桉人工林土壤种子库储量随林龄增加而减少的主要是五节芒(*Miscanthus floridulus*)、狗尾草(*Setaria viridis*)、白茅(*Imperata cylindrica*)等禾本科草本植物种子。前期研究表明, 尾巨桉人工林下植物群落演

表 3 土壤种子库储量(grains/m²)Table 3 Soil seed bank storage (grains/m²)

植物 Species	A		B		C		D		E		F		G		H	
	SD	%	SD	%	SD	%	SD	%	SD	%	SD	%	SD	%	SD	%
白茅 <i>Imperata cylindrica</i>	720	25.8	533	19.3	326	17.3	329	19.8	122	12.4	168	26.5	422	25.2	212	21.5
南方露珠草 <i>Circaea mollis</i>			76	2.7	254	13.5	321	19.3	343	35.0	132	20.9	124	7.4	131	13.3
地稔 <i>Melastoma dodecandrum</i>	22	0.8	24	0.9	21	1.1			7	0.7	55	8.7	32	1.9	135	13.7
五节芒 <i>Miscanthus floridulus</i>	435	15.6	486	17.6	161	8.6	188	11.3	92	9.4			123	7.4		
狗尾草 <i>Setaria viridis</i>	332	11.9	352	12.7	152	8.1	224	13.5	144	14.7			225	13.5	15	1.5
弓果黍 <i>Cyrtococcum patens</i>	623	22.3	523	18.9	253	13.4	213	12.8	109	11.1	137	21.6	236	14.1	155	15.7
鬼针草 <i>Bidens pilosa</i>	203	7.3	224	8.1	114	6.1	199	12.0	88	9.0			171	10.2	53	5.4
火炭母草 <i>Polygonum chiensis</i>					34	1.8							21	1.3	34	3.4
芒草 <i>Miscanthus sinensis</i>	135	4.8	167	6.0	124	6.6							53	3.2	32	3.2
纤毛鸭嘴草 <i>Ischaemum indicum</i>	122	4.4	94	3.4									24	1.4	35	3.5
两耳草 <i>Paspalum conjugatum</i>			65	2.3	44	2.3							15	0.9	14	1.4
类芦 <i>Neyraudia neyraudiana</i>	121	4.3	82	3.0	31	1.6										
地桃花 <i>Urena lobata</i>			22	0.8	21	1.1							18	1.1	14	1.4
玉叶金花 <i>Mussaenda pubescens</i>			3	0.1	32	1.7			12	1.2	26	4.1	20	1.2	27	2.7
鬼灯笼 <i>Clerodendron fortunatum</i>			14	0.5	23	1.2									15	1.5
九节 <i>Psychotria rubra</i>									7	0.7	25	3.9	4	0.2	5	0.5
米碎花 <i>Eurya chinensis</i>	2	0.1	22	0.8	67	3.6	51	3.1	21	2.1			15	0.9	8	0.8
野牡丹 <i>Melastoma candidum</i>	15	0.5	42	1.5	34	1.8	14	0.8					27	1.6	14	1.4
了哥王 <i>Wikstroemia indica</i>			5	0.2	11	0.6					8	1.3	5	0.3	3	0.3
五指毛桃 <i>Ficus hirta</i>					13	0.7					5	0.8	8	0.5	4	0.4
毛果算盘子 <i>Glochidion eriocarpum</i>													4	0.2	3	0.3
白背叶 <i>Mallotus apelta</i>							2	0.1					7	0.4	4	0.4
山苍子 <i>Litsea cubeba</i>			15	0.5	14	0.7	11	0.7	8	0.8	9	1.4			11	1.1
黄栀子 <i>Gardenia sootepensis</i>									6	0.6	21	3.3			9	0.9
桃金娘 <i>Rhodomyrtus tomentosa</i>	62	2.2	12	0.4	113	6.0	60	3.6					51	3.1		
三叉苦 <i>Evodia lepta</i>							7	0.4	11	1.1	15	2.4	4	0.2	4	0.4
光叶山黄麻 <i>Trema cannabina</i>					12	0.6	4	0.2					11	0.7	3	0.3
鸭脚木 <i>Schefflera octophylla</i>									4	0.4	9	1.4	4	0.2	4	0.4
梅叶冬青 <i>Ilex asprella</i>					23	1.2	22	1.3			1	0.2		0.0	15	1.5
马尾松 <i>Pinus massoniana</i>	4	0.1	5	0.2			5	0.3					25	1.5		
山茶 <i>Camellia japonica</i>							4	0.2							5	0.5
盐肤木 <i>Rhus chinensis</i>							4	0.2			4	0.6			2	0.2
大叶樟 <i>Cinnamomum camphora</i>					2	0.1							4	0.2	2	0.2
山乌柏 <i>Triadica cochinchinensis</i>					4	0.2	5	0.3	3	0.3			12	0.7	10	1.0
木姜子 <i>Litsea pungens</i>							2	0.1	3	0.3	1	0.2	3	0.2	5	0.5
黄樟 <i>Cinnamomum parthenoxylon</i>											5	0.8	4	0.2	3	0.3
杉木 <i>Cunninghamia lanceolata</i>											12	1.9				

替趋势为阳生草本植物群落→草本植物与阳生灌木共生群落→中生灌木群落→阴生灌木群落。土壤种子库跟林下植物群落演替趋势类似, 1~3 a 生尾巨桉林种子库很少有阴生植物和乡土树木种子。4 a 以上人工林种子库中开始出现阴生植物和阔叶乡

土树种种子。

杂木林种子库植物种类最多, 草本、灌木、乔木等种子均有, 涵盖阳生、中生、阴生植物类型, 因此其生态系统具有较强的稳定性和可持续性。杉木林和 5~7 a 生尾巨桉林的土壤种子库相似度较高, 这

2 种人工林的郁闭度较高, 林下植物主要以阴生灌木和草本为主, 其林下植物群落和环境类似, 但二者也有区别, 因为 2 种类型的人工林的直线距离约 2 km, 周边的种源地存在一定差异。马尾松林的土壤种子库类型多样, 主要原因在于其郁闭度不高, 林窗较多, 环境异质性高, 林下植物群落丰富, 为土壤补充了丰富的种源。

3.3 种子库相似度分析

由表 4 可见, 杂木林种子库和林下植被共存植物种类最多, 达到 28 种, 其次是马尾松林 22 种。

表 4 土壤种子库与林下植物的相似系数

Table 4 Similarity coefficient between soil seed bank and understory species

人工林 Plantation	植物种类 Number of species			Jaccard 相似系数 Coefficient of Jaccard	Sorensen 相似系数 Coefficient of Sorensen
	仅在林下植被 Only in understory	仅在种子库 Only in soil seed bank	共存 Co-exist		
A	3	4	9	0.562 5	0.720 0
B	3	3	17	0.739 1	0.850 0
C	6	5	19	0.633 3	0.775 5
D	5	6	13	0.541 7	0.702 7
E	6	6	10	0.454 5	0.625 0
F	8	9	8	0.320 0	0.484 8
G	6	7	22	0.628 6	0.771 9
H	4	4	28	0.777 8	0.875 0

不同林龄尾巨桉人工林土壤种子库的 CJ 和 CS 相似系数随林龄的增加, 均呈先升高后下降的变化趋势, CJ 和 CS 相似系数均为 2 a 生>3 a 生>1a 生>4 a 生>5~7 a 生。不同林型的相似系数比较表明, 杉木林<5~7 a 生尾巨桉林<马尾松林<杂木林。

4 结论和讨论

目前有关人工林种子库的研究主要集中在马尾松^[9-10]、杉木^[11]、赤松(*Pinus densiflora*)^[12]、侧柏(*Platycladus orientalis*)^[13]、西南桦(*Betula alnoides*)^[14]等人工林类型, 而有关桉树人工林种子库的研究较少^[9,15-16]。速生桉人工林植物多样性的研究一直是学术界热点, 也存在较多争议^[5,17-18]。研究表明, 桉树人工林土壤种子库储量丰富, 4 a 后开始出现乡土树种种子, 并未见尾巨桉人工林因种子库缺乏而严重影响林下植物更新的现象, 这与部分学者的研究结论基本一致^[15-16]。部分桉树人工林林下植物稀少的主要原因可能是人工林林下植被过度清理、火烧等人工抚育措施的影响^[19-20]。

杉木林最少, 只有 8 种。不同林龄尾巨桉人工林随林龄的增加, 共存植物种数也呈先升高后下降趋势, 这与林下植物多样性变化一致。共存物种最多为 3 a 生尾巨桉林, 这种林型的林下植被处在阳生草本和灌木共存阶段, 物种丰富度最高。

5~7 a 生尾巨桉林、马尾松林、杉木林仅在种子库中存在的植物种类较多, 说明外来种源较丰富。林龄较大的人工林人类干扰较少, 生态系统相对稳定, 为鸟类和林下小动物提供了良好的栖息环境, 这为外源种子传播提供了较好条件。

植物功能群谱可以作为评估人工林生态系统退化的重要指标。在南亚热带地区, 人工林下以蕨类植物和禾草植物功能群为优势则表明生态系统存在一定程度退化, 而林下以入侵种植物功能群为优势则指示生态系统已严重退化^[21-22]。本研究表明, 桉树人工林土壤种子库虽然丰富, 但主要以禾本科植物种子为主, 其在 1~2 a 生桉林中处于绝对优势地位, 3 a 后有所减少, 这也是种子库含量下降的主要原因。因此, 连种桉树引发的生态系统退化问题仍然值得高度关注^[17]。

土壤种子库可反映林下生物群落的异质性和林下生境的差异性, 决定着群落的稳定性和可持续性^[23]。地上植被种子雨是土壤种子库的直接来源, 地上植物的种子产量直接影响着土壤种子库的数量动态^[24]。本研究结果表明, 杂木林地表植物种类丰富, 土壤种子库和林下植被共存植物种类最多, 生物多样性更高, 生态系统更加稳定。相对而言, 桉树人工林树种单一, 土壤种子库中无法依靠群落自身补充乡土树木种子, 主要依靠鸟类、啮齿动物等进行传播^[25-27]。马尾松林、杉木、桉树人工林土壤

种子库的差异主要受林下植物种类、与天然林的距离、森林生境差异的影响^[9-11,16,28-30]。因此在速生桉人工林近自然化改造和经营过程中必须避免大面积连片种植速生桉林,应适当增加与天然林、次生林的接触边界,或在营林过程中适当间种(保留)乡土树种,从而增加森林生态系统的生物多样性和生态功能的稳定性。

尾巨桉林人工林土壤种子库种子储量随着林龄增加呈快速下降趋势,但种子库中的植物种类呈现先增后降的变化特征,最高值出现在 3 a 生林,低于同地带马尾松人工林和杂木林。所有林型 0~5 cm 土壤种子库的密度均明显高于 5~10 cm 土壤。尾巨桉人工林随林龄的增加,土壤种子库共存植物种数和 CJ、CS 相似系数也呈先升高后下降趋势。

参考文献

- MING A G, LIU S R, LI H, et al. Effects of close-to-nature transformation on biomass and its allocation in *Pinus massoniana* and *Cunninghamia lanceolata* plantations [J]. *Acta Ecol Sin*, 2017, 37(23): 7833-7842. [明安刚, 刘世荣, 李华, 等. 近自然化改造对马尾松和杉木人工林生物量及其分配的影响 [J]. *生态学报*, 2017, 37(23): 7833-7842. doi: 10.5846/stxb201704030573.]
- LUO Y H, SUN D J, LIN J Y, et al. Effect of close-to-nature management on the natural regeneration and species diversity in a masson pine plantation [J]. *Acta Ecol Sin*, 2013, 33(19): 6154-6162. [罗应华, 孙冬婧, 林建勇, 等. 马尾松人工林近自然化改造对植物自然更新及物种多样性的影响 [J]. *生态学报*, 2013, 33(19): 6154-6162. doi: 10.5846/stxb201306101601.]
- BAROT S, GIGNOUX J, MENAUT J C. Seed shadows, survival and recruitment: How simple mechanisms lead to dynamics of population recruitment curves [J]. *Oikos*, 1999, 86(2): 320-330. doi: 10.2307/3546449.
- WANG J, HUI D F, REN H, et al. Effects of understory vegetation and litter on plant nitrogen (N), phosphorus (P), N:P ratio and their relationships with growth rate of indigenous seedlings in subtropical plantations [J]. *PLoS One*, 2013, 8(12): e84130. doi: 10.1371/journal.pone.0084130.
- HAN F R, FENG Y L, FENG J C. Biodiversity and sustainable development of *Eucalyptus* plantation [J]. *S China Agric*, 2016, 10(21): 124-125. [韩富任, 冯亚磊, 冯金朝. 桉树人工林生物多样性及可持续发展 [J]. *南方农业*, 2016, 10(21): 124-125. doi: 10.19415/j.cnki.1673-890x.2016.21.075.]
- WANG K L, YUE Y M, MA Z L, et al. Research and demonstration on technologies for rocky desertification treatment and ecosystem services enhancement in karst peak-cluster depression regions [J]. *Acta Ecol Sin*, 2016, 36(22): 7098-7102. [王克林, 岳跃民, 马祖陆, 等. 喀斯特峰丛洼地石漠化治理与生态服务提升技术研究 [J]. *生态学报*, 2016, 36(22): 7098-7102. doi: 10.5846/stxb201610072003.]
- JACCARD P. The distribution of the flora in the alpine zone [J]. *New Phytol*, 1912, 11(2): 37-50. doi: 10.1111/j.1469-8137.1912.tb05611.x.
- WANG B S, PENG S L. *Vegetation Ecology: Communities and Ecosystems* [M]. Beijing: China Environmental Science Press, 1997: 3-124. [王伯荪, 彭少麟. 植被生态学: 群落与生态系统[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1997: 3-124.]
- LIU J M, ZHOU C, MENG Z Y, et al. Seed bank in a planted forest of *Pinus massoniana* land of different age-class [J]. *J SW Univ (Nat Sci)*, 2007, 29(6): 68-72. [刘济明, 周超, 蒙朝阳, 等. 不同龄级马尾松人工林土壤种子库研究 [J]. *西南大学学报(自然科学版)*, 2007, 29(6): 68-72. doi: 10.3969/j.issn.1673-9868.2007.06.015.]
- ZHANG Y Y, ZHOU Q H, XU J Y, et al. Effects of forest ages on the diversity of understory plants and soil seed bank of *Pinus massoniana* plantations [J]. *Ecol Environ Sci*, 2021, 30(11): 2121-2129. [张洋洋, 周清慧, 许骄阳, 等. 林龄对马尾松人工林林下植物与土壤种子库多样性的影响 [J]. *生态环境学报*, 2021, 30(11): 2121-2129. doi: 10.16258/j.cnki.1674-5906.2021.11.002.]
- ZHU C X, LIU Z G, WANG C H, et al. Characteristics of soil seed bank and its relationship with aboveground vegetation: A case study of Chinese fir plantations in Sanming City, Fujian Province [J]. *China Environ Sci*, 2019, 39(10): 4416-4423. [朱晨曦, 刘志刚, 王昌辉, 等. 土壤种子库特征及与地上植被的关系——以福建省三明市杉木人工林为例 [J]. *中国环境科学*, 2019, 39(10): 4416-4423. doi: 10.19674/j.cnki.issn1000-6923.2019.0515.]
- LIU S L, SONG G, LIU M, et al. The characteristics of soil seed bank and natural regeneration of *Pinus densiflora* plantation in Zhanggutai Sandyland [J]. *Prot For Sci Technol*, 2014(9): 4-6. [刘淑玲, 宋鸽, 刘敏, 等. 章古台沙地赤松人工林土壤种子库及天然更新特征 [J]. *防护林科技*, 2014(9): 4-6. doi: 10.13601/j.issn.1005-5215.2014.09.002.]
- YU Z Q, LIU J L, YANG T T, et al. Seed rain and soil seed bank of *Platycladus orientalis* plantation in Weibei Loess Plateau [J]. *J NW Agric For Univ (Nat Sci)*, 2014, 42(6): 85-92. [于泽群, 刘金良, 杨婷婷, 等. 渭北黄土高原侧柏人工林种子雨和种子库研究 [J]. *西北农林科技大学学报(自然科学版)*, 2014, 42(6): 85-92. doi: 10.13207/j.cnki.jnwafu.2014.06.004.]
- CHEN Y, LIU H J, ZHANG J F, et al. Soil seed bank characteristics preliminary comparison between plantation and natural forest of *Betula alnoides* [J]. *For Invent Plann*, 2013, 38(2): 20-26. [陈勇, 刘海蛟, 张

- 劲峰, 等. 西南桉人工林与天然林土壤种子库特征初步比较 [J]. 林业调查规划, 2013, 38(2): 20–26. doi: 10.3969/j.issn.1671-3168.2013.02.004.]
- [15] TANG Q L, ZHU Y L, ZHANG Z Y, et al. The study on the soil seed bank of *Eucalyptus* plantation [J]. Chin Agric Sci Bull, 2012, 28(1): 12–16. [唐庆兰, 朱宇林, 张照远, 等. 桉树人工林土壤种子库研究 [J]. 中国农学通报, 2012, 28(1): 12–16. doi: 10.3969/j.issn.1000-6850.2012.01.003.]
- [16] ZHU Y L, TANG Q L, ZHANG Z Y, et al. Characteristics of soil seed banks in different *Eucalyptus urophylla*×*E. grandis* forest types [J]. Chin J Trop Crop, 2012, 33(3): 572–577. [朱宇林, 唐庆兰, 张照远, 等. 不同类型桉树人工林土壤种子库特征研究 [J]. 热带作物学报, 2012, 33(3): 572–577. doi: 10.3969/j.issn.1000-2561.2012.03.033.]
- [17] WEN Y G, LIU S R, CHEN F, et al. Plant diversity and dynamics in industrial plantations of *Eucalyptus* [J]. J Beijing For Univ, 2005, 27(4): 17–22. [温远光, 刘世荣, 陈放, 等. 桉树工业人工林植物物种多样性及动态研究 [J]. 北京林业大学学报, 2005, 27(4): 17–22. doi: 10.3321/j.issn:1000-1522.2005.04.004.]
- [18] LIU P, QIN J, LIU J C, et al. Comparison of structure and species diversity of *Eucalyptus* community [J]. Acta Ecol Sin, 2011, 31(8): 2227–2235. [刘平, 秦晶, 刘建昌, 等. 桉树人工林物种多样性变化特征 [J]. 生态学报, 2011, 31(8): 2227–2235.]
- [19] YU Y Y, LIAO B Y, CHENG F, et al. Effects of different tending measures on growth dynamics of *Eucalyptus urophylla*×*Eucalyptus grandis* plantation and variation of vegetation diversity under forest [J]. J SW For Univ, 2018, 38(5): 58–64. [于洋洋, 廖博一, 程飞, 等. 不同抚育措施对尾巨桉人工林生长动态及其林下植被多样性的影响 [J]. 西南林业大学学报, 2018, 38(5): 58–64. doi: 10.11929/j.issn.2095-1914.2018.05.010.]
- [20] MA Q, ZHOU X G, LIANG H W, et al. Effects of different management measures on plant diversity in *Eucalyptus* plantations [J]. Guangxi Sci, 2017, 24(2): 182–187. [马倩, 周晓果, 梁宏温, 等. 不同经营措施对桉树人工林植物多样性的影响 [J]. 广西科学, 2017, 24(2): 182–187. doi: 10.13656/j.cnki.gxkx.20170124.004.]
- [21] HAO J F, WANG D Y, TANG Y B, et al. Effects of human disturbance on species diversity of *Pinus massoniana* plantation in Jiangyou District, Sichuan Province [J]. Ecol Environ Sci, 2014, 23(5): 729–735. [郝建锋, 王德艺, 唐永彬, 等. 人为干扰对江油地区马尾松人工林群落结构和物种多样性的影响 [J]. 生态环境学报, 2014, 23(5): 729–735. doi: 10.3969/j.issn.1674-5906.2014.05.001.]
- [22] WEN Y G, YAN Y H, TAO Y L, et al. Effects of different ground clearance and fertilizing treatments on plant diversity of *Eucalyptus* plantations in subtropical China [J]. Guangxi Sci, 2018, 25(2): 117–127. [温远光, 严宇航, 陶彦良, 等. 不同林地清理和施肥措施对桉树人工林植物多样性的影响 [J]. 广西科学, 2018, 25(2): 117–127. doi: 10.13656/j.cnki.gxkx.20180504.001.]
- [23] REN H, SHEN W J, LU H F, et al. Degraded ecosystems in China: Status, causes, and restoration efforts [J]. Landscape Ecol Eng, 2007, 3(1): 1–13. doi: 10.1007/s11355-006-0018-4.
- [24] YANG Y J, SUN X Y, WANG P P. Forest soil seed bank and natural regeneration [J]. Chin J Appl Ecol, 2001, 12(2): 304–308. [杨跃军, 孙向阳, 王保平. 森林土壤种子库与天然更新 [J]. 应用生态学报, 2001, 12(2): 304–308.]
- [25] LU C H, YUAN L. Effect of dry-fruit eating birds to seed dispersal [J]. Chin J Ecol, 1997, 16(5): 44–47. [鲁长虎, 袁力. 食干果鸟对种子传播的作用 [J]. 生态学杂志, 1997, 16(5): 44–47.]
- [26] KANG H B, WANG D X, CHANG M J, et al. Selection mechanism of rodents on the removal and predation microhabitats of seeds from different tree species [J]. Acta Ecol Sin, 2017, 37(22): 7604–7613. [康海斌, 王得祥, 常明捷, 等. 啮齿动物对不同林木种子的搬运和取食微生境选择机制 [J]. 生态学报, 2017, 37(22): 7604–7613. doi: 10.5846/stxb201609171871.]
- [27] HUO X Y, KANG H B, WANG D X, et al. Effects of rodents on seed dispersal patterns of constructive species in the pine-oak mixed forests of the Qinling Mountains, Shaanxi Province, China [J]. Acta Ecol Sin, 2019, 39(7): 2435–2443. [霍雪莹, 康海斌, 王得祥, 等. 啮齿动物对秦岭松栎混交林建群种种子扩散格局的影响 [J]. 生态学报, 2019, 39(7): 2435–2443. doi: 10.5846/stxb201804140859.]
- [28] SHI N, MA J Z, JIANG Q C, et al. Species diversity of five plantation communities in Toutang Small Watershed of Jinsha River [J]. For Eng, 2021, 37(3): 44–51. [师楠, 马建忠, 江期川, 等. 金沙江头塘小流域5种人工林种子库研究 [J]. 森林工程, 2021, 37(3): 44–51. doi: 10.3969/j.issn.1006-8023.2021.03.006.]
- [29] GUO S S, LIU L, LI Y L, et al. Soil seed bank of *Larix principis-rupprechtii* plantations and natural *Pinus tabulaeformis* forests at different slope positions in northern Hebei mountainous regions [J]. J Agric Univ Hebei, 2013, 36(3): 55–60. [郭耸松, 刘琳, 李玉灵, 等. 冀北山地华北落叶松人工林和油松天然林不同坡位土壤种子库研究 [J]. 河北农业大学学报, 2013, 36(3): 55–60. doi: 10.13320/j.cnki.jauh.2013.03.011.]
- [30] REN H, LI Z A, SHEN W J, et al. Changes in biodiversity and ecosystem function during the restoration of a tropical forest in south China [J]. Sci China Ser C Life Sci, 2007, 50(2): 277–284. doi: 10.1007/s11427-007-0028-y.