

天然东北红豆杉土壤种子库研究

刘 彤, 胡林林, 郑 红, 周志强*

(东北林业大学, 哈尔滨 150040)

摘要:在黑龙江省穆棱东北红豆杉自然保护区内,对 10 株天然东北红豆杉结实母树冠下的土壤种子库进行了调查分析。结果表明:东北红豆杉土壤种子库中的种子数量在垂直方向和水平方向上都表现出明显的规律性。在不同深度土层中的种子数量差异显著($p < 0.05$)。枯枝落叶层及 0~5cm 土层集中了最大量的种子,占总量的 84%,随土层深度的增加,种子数量逐渐减少,15cm 以下极少有种子出现。土壤种子库中具有活力的种子数量极少,不到总量的 1%。种子丧失活力的首要原因是被昆虫和啮齿类动物啃食,占损失量的 52%,其次是腐烂,占 29%。在水平方向上,东北红豆杉种子具有近母株分布的特点,且在不同方向上种子数量差异极显著($p < 0.01$)。当年下落到地面的东北红豆杉种子,按远离母株的顺序,种子数量逐渐减少;在围绕母株的八个方向上,东向的种子数量最多,其次是东北、北和东南方向,西面的种子数量最少。当年下落的 3% 的完好种子补充到土壤种子库中。自然条件下,东北红豆杉以种子繁殖,土壤种子库是其自然更新及种群恢复的重要基础,本研究结果对于东北红豆杉濒危机制的探索及种群恢复具有重要的理论意义。

关键词:东北红豆杉;土壤种子库;种子分布

文章编号:1000-0933(2009)04-1869-08 中图分类号:Q948 文献标识码:A

Researchs on soil seed bank of Japanese yew

LIU Tong, HU Lin-Lin, ZHENG Hong, ZHOU Zhi-Qiang*

Northeast Forestry University, Harbin 150040, China

Acta Ecologica Sinica, 2009, 29(4): 1869 ~ 1876.

Abstract: We investigated and analyzed the soil seed bank under 10 female Japanese yew (*Taxus cuspidata*) trees in Muling Nature Reserve of Heilongjiang Province. The distribution of Japanese yew seeds in soil was consistent. Seed density declined with increasing depth of soil ($p < 0.05$). Most seeds were in the litter layer and in the top 5 cm of soil (84%). There were almost no seeds at soil depths greater than 15cm. Viable seeds accounted for less than 1 percent of total seeds. The most important factors affecting Japanese yew soil seed bank were predation by insects and animals, accounting for 52% of total seeds, and decay, accounting for 29%. The seeds fall around the female tree when they are mature. Seed density declined with increasing distance from mother tree. Seed distribution varied with orientation ($p < 0.01$), with most seeds to the north of the female tree, followed by northeast, north and southeast. Fewest seeds were recovered to the west of female trees. Over 3 percent of the total seeds on the ground were intact and recruited to the soil seed bank. The soil seed bank is important for reproduction of Japanese yew in nature. This research provides theoretical guidance for protection and restoration of the natural population of Japanese yew.

Key Words: Japanese yew; soil seed bank; seed distribution

种子是植物生活史中特殊的和重要的阶段,是植物群落在时间和空间变迁上的关键,也是许多植物自然更新和植被恢复的重要基础^[1-3]。种子成熟下落到地面后,便进入了土壤种子库。土壤种子库(soil seed

基金项目:国家科技支撑计划重点资助项目(2008BADB0B04);国家自然科学基金资助项目(30870464);黑龙江省博士后资助项目

收稿日期:2008-04-17; 修订日期:2009-02-12

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: zhiqiangzhou@hotmail.com

bank)是指存在于土壤上层凋落物和土壤中全部存活的种子,它通常表征的是土壤中的种子种群,有人称之为潜种群阶段^[4-6]。由于种子的输入、萌发、衰老和被捕食等生物因素以及温、光、火等非生物因素的影响,土壤种子库具有动态的特征,直接影响到植物群落的组成、结构及动态,也影响着植物种群的世代延续和发展。东北红豆杉(*Taxus cuspidata*)是以种子繁殖方式进行自然更新。成熟种子的种皮坚硬,表面角质化,通气和透水性差,在天然条件下需经历两冬一夏才能萌发^[7],根据 Thompson 和 Grime 在 1979 年提出的把土壤种子库分为短暂土壤种子库(transient soil seed bank)和持久土壤种子库(persistent seed bank)的二元分类系统^[8,9],东北红豆杉土壤种子库属持久土壤种子库类型,许多种子在漫长的休眠期间会被取食或丧失生命力。因此,研究东北红豆杉土壤种子库的数量、质量及分布规律,对于揭示东北红豆杉的濒危机制,保护及恢复东北红豆杉资源具有重要的理论价值和实践意义。

东北红豆杉又称紫杉、赤柏松,是红豆杉科(Taxaceae)红豆杉属(*Taxus*)植物,是我国东北分布的珍贵第三纪孑遗树种、国家 I 级重点保护的野生濒危植物种类。因红豆杉属植物体内普遍含有具高效抗癌作用并有“植物黄金”之称的代谢产物紫杉醇(taxol),而成为近年来世界范围内研究与开发的热点之一。以往对东北红豆杉的研究主要集中在微观方面,如紫杉醇的医药学研究^[10-12]、次生代谢产物的分离与提取^[13-15]和细胞培养^[16-18]等,在宏观方面的研究有地理分布^[19,20]、生长及繁育^[7, 21-23]、种群特征^[24,25]等,但更多地集中在人工繁育技术方面。东北红豆杉作为地带性植被—温带阔叶红松林的亚乔木树种和伴生种类,具有散生、喜庇荫和冷湿的生境、生长缓慢等特点^[20, 26],天然资源十分有限,加之适合生境的丧失及经济利益驱使下的人为破坏等多方面因素的影响,东北红豆杉天然种群处于濒危状态。如何有效地恢复其天然种群,是目前亟待解决的问题。本文的研究将为此提供科学的理论依据。

1 研究地概况

研究地点设在黑龙江省穆稜东北红豆杉自然保护区(省级),该保护区位于 43°04'~44°06'N,130°00'~130°28'E,是东北红豆杉分布相对集中、天然种群保存较为完好的地区。保护区海拔在 500~900 m 之间,相对高度 150~450 m。属温带大陆性季风气候,无霜期 110d 左右,年降雨量 440~510 mm,年平均温度在 -2℃左右,≥10℃年积温为 1 736.7℃。土壤为暗棕色森林土。地带性植被是以红松(*Pinus koraiensis*)为主的温带针阔混交林,主要组成树种有红松、红皮云杉(*Picea koraiensis*)、冷杉(*Abies nephrolepis*)、紫椴(*Tilia amurensis*)、水曲柳(*Fraxinus mandshurica*)、山杨(*Populus davidiana*)、色木槭(*Acer mono*)、青楷槭(*A. tegmentosum*)、花楷槭(*A. ukurunduense*)、花楸(*Sorbus pohuashanensis*)、枫桦(*Betula costata*)、白桦(*B. platyphylla*)和蒙古栎(*Quercus mongolica*)等。

2 研究方法

2.1 东北红豆杉土壤种子库野外调查

随机选取 10 株东北红豆杉结实母树,记录胸径、树高、冠幅和海拔、坡向、坡位等生态因子。土壤种子库取样地点设在东北红豆杉结实母树林冠下种子数量相对集中的范围内,以母树为中心,分别沿东、南、西、北 4 个方向取样,每一方向上设 3 个点,间隔为 1m,取样面积为 20cm×20cm。每个取样点分 4 层取样:枯落叶层、0~5cm、5~10cm 及 10~15cm 土层,土壤种子库样本量共计 480 份。为了更清楚地了解东北红豆杉种子成熟下落后的自然扩散情况及种子质量状况,于 10 月下旬东北红豆杉种子成熟下落结束后,对当年下落的地表种子进行了再次取样调查。以东北红豆杉结实母树为中心,分别沿东、南、西、北、东北、东南、西北、西南 8 个方向取样,每一方向上设 8 个取样点,取样间隔为 1m,取样面积为 20cm×20cm,样本量共计 640 份。

2.2 室内处理及数据分析

在野外初步筛选后,将每份样品装入编号的塑料袋中带回实验室,筛分法对样品内种子进行挑选。根据东北红豆杉种子的外表情况进行初步区分并记录其质量情况:啃食、腐烂、败育、外表完好。由于东北红豆杉种子的种皮坚硬,种子内有抑制萌发物质,自然条件下所需的萌发时间长等原因,本文没有对外表完好的种子进行萌发试验来确定其是否有活力及能否发芽,而是将外表完好的种子解剖,观测种胚的完整性来确定种子

的活力状况。因此,将土壤种子库中的种子划分为 5 种情况:啃食、腐烂、败育、外表完好无活力、外表完好有活力,并分别进行数量统计。当年下落的东北红豆杉种子,种皮呈暗红色且具有光泽,肉眼容易辨认,而且落地不久的种子基本没有腐烂现象,因此,将当年下落的种子质量划分为啃食、败育和完好 3 种情况。

用 Micro-Excel 和 SPSS 软件 ANOVA 过程,对东北红豆杉土壤种子库的数量、质量及分布特征进行数量统计和相应的方差分析。

3 结果与分析

3.1 东北红豆杉土壤种子库

天然东北红豆杉属雌雄异株,数量又非常稀少,且散生的特性,使得野外寻找东北红豆杉结实母树的工作难度很大,针对东北红豆杉土壤种子库的研究共调查了结实母树 10 株,胸径在 25 ~ 60cm 之间,树高为 9 ~ 17m 之间,冠幅在 5 ~ 8m 之间,主要分布在海拔 700 ~ 800m 之间,样株详细情况见表 1。

表 1 10 株天然东北红豆杉雌株的基本情况
Table 1 Status of 10 female trees of natural Japanese yew

树号 No.	胸径 DBH (cm)	树高 Height (m)	冠幅 Crown width (m)		海拔 Elevation (m)	坡度 Slope gradient (°)	坡向 Aspect
			东西向 Crown of east-west	南北向 Crown of north-south			
1	25.5	9	5.0	5.0	770	7	阴 Shade
2	26.5	9	7.0	6.5	710	19	阴
3	29.5	10	6.0	6.0	765	7	阴
4	33.2	10	5.0	5.0	780	29	阴
5	38.6	12	7.0	7.0	800	24	阴
6	41.0	13	5.0	5.5	765	20	阴
7	41.5	12	6.0	6.0	780	25	阳 Shine
8	43.2	15	8.0	8.0	716	12	阴
9	43.5	15	7.5	7.5	771	25	阴
10	59.4	17	8.0	7.5	810	24	阳

3.1.1 东北红豆杉土壤种子库中种子的水平分布

对 10 株东北红豆杉母树周围不同深度土层中种子的取样调查发现(表 2),东、南、西、北 4 个方向上,土壤种子库中的种子数量在东向和北向上数量稍多,南向和西向偏少。经双因素方差分析,种子数量在方向上差异不显著($p=0.830$)。在距母树最近的 1m 范围内,种子数量最多,随着距母树距离的增加,种子数量有减少的趋势,但差异也不显著($p=0.154$)。

表 2 土壤中东北红豆杉种子的水平分布
Table 2 Horizontal distribution of Japanese yew seeds in soil seed bank

距离 Distance (m)	种子数量(粒) Number of seeds (grain)				总平均值 Total average values
	东 East	南 South	西 West	北 North	
1	258.8 ± 52.3	279.4 ± 69.8	226.3 ± 49.6	227.5 ± 56.5	248.0 ± 28.6
2	210.0 ± 54.2	126.9 ± 33.5	183.8 ± 47.5	246.3 ± 61.9	191.7 ± 25.2
3	166.3 ± 38.7	166.9 ± 38.6	185.0 ± 42.9	211.3 ± 43.9	182.3 ± 20.4
总平均值 Total average values	211.7 ± 28.2	191.0 ± 29.2	198.3 ± 26.8	228.3 ± 31.3	-

3.1.2 东北红豆杉土壤种子库中种子的垂直分布

研究东北红豆杉土壤中种子在垂直方向上的分布发现(表 3),东北红豆杉种子主要分布在凋落物层,占总量的 54.53%;分布在 0 ~ 5cm 土层中的种子数占总量的 29.44%,二者之和占总量的 83.97%。5 ~ 10cm 土层中的种子数占总量的 11.58%,10 ~ 15cm 种子分布很少,只占 4.45%。野外调查中发现,15cm 以下土层中

少有种子出现。东北红豆杉土壤中种子的分布,从凋落物层向土壤深层逐步减少,这种趋势十分明显,且差异显著($p < 0.05$)。

表 3 土壤中东北红豆杉种子的垂直分布情况

Table 3 Vertical distribution of Japanese yew seeds in soil

土层深度 Depth of soil (cm)	种子数量(粒) Number of seeds (grain)										合计 Sum	占种子总数 的百分比(%) Percentage
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
凋落物层 Litter layer	145	94	368	381	124	164	171	263	209	252	2171	54.53
0 ~ 5	55	90	73	263	75	172	226	92	71	55	1172	29.44
5 ~ 10	40	52	66	73	35	32	87	24	37	15	461	11.58
10 ~ 15	36	11	24	24	7	16	37	13	2	7	177	4.45
合计 Sum	276	247	531	741	241	384	521	392	319	329	3981	100.00

3.1.3 东北红豆杉土壤种子库中种子的质量

种子库中种子的数量是影响种群更新潜力的因素之一,但种子库中种子的质量是影响种群更新更为重要的因素。通过对不同深度(凋落物层,0 ~ 5cm,5 ~ 10cm,10 ~ 15cm)土壤中种子的质量分析发现(表 4),土壤中具有潜在更新能力的活力种子数量极少,仅占土壤中种子总量的 0.95%,不足 1%。这部分种子的半数(53.30%)存在于凋落物层中,近 1/4 存在于 0 ~ 5cm 的土层中,随土层深度的增加数量进一步减少。

被虫蛀或动物啃食的种子数量最多,占土壤中种子总量的 51.72%,其中,凋落物层中被虫蛀或动物啃食的种子占该类种子总量的 56.97%,并随土层深度增加数量逐步减少。腐烂的种子数量居第 2 位,占土壤中种子总量的 28.74%,其中,凋落物层中腐烂的种子占该类种子总量的 50.09%,并随土层深度增加数量逐步减少。以上两项损失的种子数量占 80.46%。外表完好,但种胚已失活的种子数量居第 3 位,占土壤中种子总量的 17.06%,其中,凋落物层中失活的种子占该类种子总量的 51.94%,同样随土层深度增加数量逐步减少。败育的种子数量最少,仅占土壤中种子总量的 1.53%,同样是凋落物层中所占比例最多,其他土层中数量微小。

由上可见,凋落物层和 0 ~ 5cm 土层中集中了最大量的种子(83.97%),有活力种子中的 78.95% 也分布在这部分土层中,因此,凋落物层及 5cm 以上土层对东北红豆杉天然更新起着至关重要的作用。

表 4 土壤中东北红豆杉种子的质量情况

Table 4 Quality of Japanese yew seeds in soil

土层深度 Depth of soil (cm)	虫蛀/动物 啃食种子 Damaged seeds by insects or animals		腐烂种子 Decayed seeds		败育种子 Aborted seeds		完好无活力种子 Intact unviable seeds		有活力种子 Viable seeds		合计 Sum	
	数量 No.	占总数的 百分数 (%)	数量 No.	占总数的 百分数 (%)	数量 No.	占总数的 百分数 (%)	数量 No.	占总数的 百分数 (%)	数量 No.	占总数的 百分数 (%)	数量 No.	占总数的 百分数 (%)
凋落物层 Litter layer	1173	29.46	573	14.39	43	1.08	362	9.10	20	0.50	2171	54.53
0 ~ 5	525	13.19	361	9.07	7	0.18	269	6.76	10	0.25	1172	29.44
5 ~ 10	260	6.53	150	3.77	9	0.23	36	0.90	6	0.15	461	11.58
10 ~ 15	101	2.54	60	1.51	2	0.05	12	0.30	2	0.05	177	4.45
合计 Sum	2059	51.72	1144	28.74	61	1.53	679	17.06	38	0.95	3981	100.00

3.2 东北红豆杉土壤种子库中当年下落种子的情况

3.2.1 东北红豆杉当年下落种子的水平分布

对东北红豆杉母树当年下落种子的散布情况分析表明(表5),在以母树为中心的8个方向上,东北红豆杉种子数量差异较大,在母树的东向散布最多,其次是东北、北和东南方向,西面的种子数量最少。方差分析表明,在不同方向上种子数量差异极显著($p < 0.01$)。但显示差异不显著的原因可能在于前者是种子库多年动态下的种子数量,而此处是当年下落的种子数量,这部分落于地表的种子更易于被动物取食,随着时间的进程,其数量存在较大变动性。

从下落种子散布的距离来看,在距母树8m范围内,在8个方向上,按照远离母树的顺序,种子数量逐渐减少,但差异不显著。距母树3m范围内集中了最大量的种子,占总量的66.99%,距母树5m范围内的种子数量占总量的88.63%。可见,东北红豆杉种子自然下落后多集中在母树周围。

表5 东北红豆杉土壤种子库中当年下落种子的水平分布
Table 5 Horizontal distribution of current Japanese yew seeds in soil seed bank

距离 Distance (m)	种子数量(粒) Number of seeds(grain)								总平均值 Total average values
	东 East	南 South	西 West	北 North	东北 Northeast	东南 Southeast	西北 Northwest	西南 Southwest	
1	9.5±3.3	6.0±2.1	3.7±1.1	7.1±2.9	11.0±3.7	6.3±1.8	6.8±2.2	6.3±2.0	7.1±0.9
2	11.5±4.0	7.1±2.1	4.4±2.9	10.0±3.4	7.1±2.9	12.0±4.9	4.6±1.4	5.5±1.6	7.8±1.1
3	10.2±4.9	3.3±1.2	5.1±2.3	8.1±2.0	12.0±3.6	9.3±4.1	4.5±2.5	3.1±1.1	6.9±1.1
4	4.1±1.7	3.7±1.0	1.3±0.7	7.1±2.1	2.9±0.9	3.8±1.6	4.5±1.9	1.9±0.6	3.7±0.5
5	7.3±4.0	2.2±0.6	1.7±0.5	4.5±2.9	3.9±1.8	2.7±1.0	2.9±1.2	1.6±0.4	3.4±0.7
6	2.3±1.0	1.9±0.5	0.9±0.3	1.3±0.5	2.1±0.5	2.4±0.7	1.9±0.7	2.7±1.1	1.9±0.2
7	2.7±0.9	0.9±0.4	1.5±0.7	1.4±0.6	5.1±1.9	2.8±0.9	2.1±1.0	2.7±1.1	1.9±0.3
8	0.7±0.2	0.3±0.1	0.0±0.0	0.3±0.2	0.7±0.2	0.3±0.1	0.1±0.1	0.0±0.0	0.3±0.5
总平均值 Total average values	6.0±1.1	3.3±0.5	2.2±0.5	5.0±0.8	5.2±0.9	4.8±0.9	3.3±0.6	2.9±0.4	-

3.2.2 东北红豆杉当年下落种子的质量

将东北红豆杉母树当年下落种子的质量分为啃食、败育和完好3类,分别占54.85%、41.81%和3.34%。所调查的10株母树中,动物啃食率变动于21.91%~81.09%之间,败育率变动于17.54%~75.93%之间,完好率变动于0.49%~10.39%之间,可见啃食、败育和完好3类种子数量在不同植株间的差异较大,但未发现其与母树的胸径、冠幅及立地条件等有明显规律性。分析其主要原因可能是由于动物取食种子数量的无规律性,因为种子成熟下落前就已经遭到鸟类的取食,以及种子落地后的继续被啃食。总之,下落到地面的种子中,绝大部分已经没有活力,只有3.34%的种子是外表完好的颗粒饱满的成熟种子,具有潜在更新能力,补充到土壤种子库中。

4 结论与讨论

东北红豆杉是以种子繁殖方式进行自然更新,其土壤种子库是其种群恢复的重要基础。本文对10株天然东北红豆杉结实母树冠下的土壤种子库研究表明,东北红豆杉土壤种子库中的种子数量在垂直方向和水平方向上都表现出明显的规律性。

在不同深度土层中,种子数量随土层深度的增加逐渐减少,且差异显著($p < 0.05$)。凋落物层和0~5cm土层是东北红豆杉土壤种子库的关键区域,这里分布了最大量的种子,占总量的83.97%,其中,凋落物层占54.53%,15cm以下极少有种子出现。土壤种子库中具有活力的种子数量极少,仅占总量的0.95%,主要分布在5cm以上土层中。种子丧失活力的首要原因是被昆虫和啮齿类动物啃食(51.72%),其次是腐烂(28.74%)。东北红豆杉当年下落的种子仅有3.34%补充到土壤种子库中,也主要存在于凋落物层。凋落物

层在种子的传播与散布过程中拦截了大量种子,成为种子进入土壤中进而萌发的一大障碍,而且凋落物层中的种子又容易受到动物及病虫害的危害,造成种子的大量损失^[27, 28]。因此,在东北红豆杉种子成熟下落后,在其母树周围,及时而适当地扰动枯枝落叶层,增加种子与土壤的接触机会,是减少种子损失,促进自然更新的有效方式。

在水平方向上,东北红豆杉种子具有近母株分布的特点,且在不同方向上差异极显著($p < 0.01$)。当年下落到地面的东北红豆杉种子,在围绕母株的八个方向上,东向的种子数量最多,其次是东北、北和东南方向,西面的种子数量最少。分析产生这种现象的原因可能与风向及坡向有关。调查植株多处在东、东北及北坡上,种子在重力作用下更多的落到下坡位,加之季节风向的作用,使得落地种子的数量在方向上出现较大的差异。

按远离母株的顺序,种子数量逐渐减少。在距母树 8m 的周围,当年成熟下落种子的 66.99% 集中在距母树 3m 范围内,88.63% 的种子分布在距母树 5m 范围内。东北红豆杉属于阴性树种,多处于亚林层,上层乔木和周围树种对其形成庇荫,林内并没有形成强风或是流水对种子传播影响的外部条件,另外,东北红豆杉种子成熟时外被红色肉质假种皮,种子不能单独脱落,在重力作用下,自然下落时的散布距离较近,多集中在母树周围。这与许多相关研究的结果一致。如 Brudvig 和 Asbjornsen^[29] 对美国中西部的栎属植物 *Quercus alba* 更新格局的研究发现,*Quercus alba* 的更新苗更多地出现在其树冠下,其原因归于种子的散布特点所致。张健等^[30] 对长白山阔叶红松林种子雨的研究表明,主要靠重量传播的紫椴、蒙古栎等植物的种实大多散布在母树的周围,即便是主要靠风力传播的春榆、水曲柳、色木槭种实也没有远离母树。这种种实近母株散布的传播方式可能会导致同胞种子间的竞争加剧,从而影响到种群的更新。

东北红豆杉兼具性繁殖和无性繁殖的特点,在自然条件下主要是以种子繁殖。野外踏查时发现,自种子进入成熟期,一些鸟类(主要是山雀和普通鵪鹐)便开始在树上取食,在母树周围地面、低矮灌丛上随处可见被鸟类取食后剩余的东北红豆杉红色假种皮,致使种子未进入土壤种子库便大量流失。张健等^[30] 对长白山阔叶红松林种子雨组成及其季节动态的研究中也发现了类似的情况,在样地内红松的结实量并不少,而收集到的红松种实非常少,原因是红松种实在母树上就被一些鸟类和啮齿类动物大量取食。有研究表明,有些动物在取食植物种实的同时,也帮助了种子传播,因而有助于植物种群的扩散。在野外调查时发现,东北红豆杉幼苗大多分布在母树附近,在林内远离母树的地方也偶见东北红豆杉幼苗,这是否是动物传播的作用有待于进一步研究证实。

东北红豆杉种子具有深休眠特征,国内外很多学者对休眠种子做了大量的研究工作,Alemayehu Wassie 和 Demel Teketay^[2] 认为,导致种子休眠的原因是种胚休眠或者是种皮透性差,亦或二者兼而有之。程广有等^[7] 研究发现,东北红豆杉种皮的结构严重地阻止了水分吸收和气体交换,同时,在种子内积累大量 ABA 等抑制物质,导致幼小种胚进入深度休眠状态。东北红豆杉种子成熟下落进入土壤种子库后,需要经过两冬一夏,在冷暖交替,雨水冲洗,以及土壤微生物的作用下,才能够萌发。在这样漫长的休眠期,进入土壤种子库中有活力的种子也会被取食或因腐烂而丧失生命力,并随着时间的进程数量不断减少,在适宜条件下能够顺利萌发成幼苗的种子数量会更少。虽然目前还不清楚东北红豆杉土壤种子库中种子的寿命,这一点也正是今后努力探索的方向。

References:

- [1] Luzuriaga A L, Escudero A, Olano J M, Olano J M, Loidi J. Regenerative role of seed banks following an intense soil disturbance. *Acta Oecologica*, 2005, 27: 57–66.
- [2] Wassie A, Teketay D. Soil seed banks in church forests of northern Ethiopia: Implications for the conservation of woody plants. *Flora*, 2006, 201: 32–43.
- [3] Hulme P E. Natural regeneration of yew (*Taxus baccata* L.). *Journal of Ecology*, 1996, 84(6): 853–861.
- [4] Harper J L. *Population Biology of Plant*. London: Academic Press, 1977. 256–263.

- [5] Garwood N C. Tropical soil Seed banks : a review. In: Leck M A, Parker V T, Simpson R L eds. Ecology of soil seed bank. San Diego: Academic Press, 1989. 149—209.
- [6] Yu S L, Jiang G M. The research development of soil seed bank and several hot topics. Acta Phytoecologica Sinica, 2003, 27(4): 552—560.
- [7] Cheng G Y, Tang X J, Gao H B, Shen X H. Dormancy mechanism and relieving techniques of seeds of *Taxus cuspidata* Sieb. et Zucc. Journal of Beijing Forestry University, 2004, 26(1): 5—10.
- [8] Thompson K, Grime J P. Seasonal variation in the seed banks of herbaceous species in ten contrasting habitats. Journal of Ecology, 1979, 67: 893—921.
- [9] Yu S L, Chen H W, Lang N J. The classification systems of soil seed banks and seed persistence in soil. Acta Ecologica Sinica, 2007, 27(5): 2099—2108.
- [10] Sako M, Suzuki H, Yamamoto N, Hirota K. Highly increased cellular accumulation of vincristine, a useful hydrophobic antitumor-drug, in multidrug-resistant solid cancer cells induced by a simply reduced taxinine. Bioorganic & Medicinal Chemistry Letters, 1999, 9(24): 3403—3406.
- [11] Gustafson D L. Analysis of docetaxel pharmacokinetics in humans with the inclusion of later sampling time-points afforded by the use of a sensitive tandem LCMS assay. Cancer Chemotherapy & Pharmacology, 2003, 52(2): 159—166.
- [12] Cao C M, Li Z P, Shi Q W. Chemical constituents in *Taxus cuspidata* and their bioactivities. Natural Product Research and Development, 2006, 18(02): 330—342, 259.
- [13] Wang X X, Shigemori H, Kobayashi J. Taxezopidine A. a novel Taxoid from seeds of Japanese Yew *Taxus cuspidata*. Tetrahedron Letters, 1997, 38(43): 7587—7588.
- [14] Murakami R, Shi Q W, Oritani T. A taxoid from the needles of the Japanese yew, *Taxus cuspidata*. Phytochemistry, 1999, 52(8): 1577—1580.
- [15] Shi Q W, Oritani T, Kiyota H, Zhao D. Taxane diterpenoids from *Taxus yunnanensis* and *Taxus cuspidata*. Phytochemistry, 2000, 54(8): 829—834.
- [16] Furmanowa M, Oledzka H, Sykłowska-Baranek K, J'ozefowicz J, Gieracka S. Increased taxane accumulation in callus cultures of *Taxus cuspidata* and *taxus media* by some elicitors and precursors. Biotechnology Letters, 2000, 22: 1449—1452.
- [17] Wu Z L, Yuan Y Z, Ma Z H, Hu Z D. Kinetics of two-liquid-phase *Taxus cuspidata* cell culture for production of Taxol. Biochemical Engineering Journal, 2000, 5(2): 137—142.
- [18] Xu Q M, Cheng J S, Ge Z Q. Effects of organic solvents on membrane of *Taxus cuspidata* cells in two-liquid-phase cultures tissue and organ culture. Tissue and Organ culture, 2004, 79: 63—69.
- [19] Wu B H, Qi J Z. Study on phytogeography of *Taxus cuspidata*. Chinese Journal of Applied and Environmental Biology, 1995, 1(3): 219—225.
- [20] Bai G X, W B H. Research in China's *Taxus cuspidata*. Beijing: China Forestry Publishing House, 2002. 1—9.
- [21] Wu B H, Zhang Q C, Li D Z. Study on growth and management of *Taxus cuspidata*. Journal of Jilin Forestry University, 1996, 12(3): 125—129.
- [22] Cheng G Y, Shen X H. The setting law of *Taxus cuspidata*. Journal of Northeast Forestry University, 2001, 29(3): 44—46.
- [23] Ma X J, Ding W L, Chen Z. Temperature influence on seed sprouting of *Taxus cuspidata*. China Journal of Chinese Materia Medica, 1996, 21(1): 20—22.
- [24] Zhou Z Q, Liu T, Yuan J L. Population characteristics of Yew (*Taxus cuspidata*) in Muling Yew Nature Reserve, Heilongjiang Province. Acta Phytoecologica Sinica, 2004, 28(4): 476—482.
- [25] Liu T, Li Y L, Zhou Z Q, Hu H Q. Intraspecific and interspecific competition of Japanese yew (*Taxus cuspidata*). Acta Ecologica Sinica, 2007, 27(3): 924—929.
- [26] Zhou Y L. Ligneous flora of Heilongjing Province. Harbin: Heilongjiang Science&Technology Press, 1986. 76—78.
- [27] Shang K X, He X K, Huang G Q, Li J W. Study on characteristics dynamics of seed bank of the intensive disturbed korean pine and broad-leaf mixed Forest. Science Technology and Engineering, 2006, 6(3): 256—260.
- [28] Ellsworth J W, Harrington R A, Fownes J H. Seedling emergence, growth, and allocation of oriental bittersweet: effects of seed input, seed bank, and forest floor litter. Forest Ecology and Management, 2004, 190: 255—264.
- [29] Brudvig L A, Asbjornsen H. Patterns of oak regeneration in a midwestern savanna restoration experiment. Forest Ecology and Management, 2008, 255(7): 3019—3025.
- [30] Zhang J, Hao Z Q, Li B H, Ye J, Wang X G, Yao X L. Composition and seasonal dynamics of seed rain in broad-leaved korean pine (*Pinus koraiensis*) mixed forest, Changbai Mountain. Acta Ecologica Sinica, 2008, 28(6): 2445—2454.

参考文献:

- [6] 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.

- [7] 程广有,唐晓杰,高红兵,沈熙环. 东北红豆杉种子休眠机理与解除技术探讨. 北京林业大学学报, 2004, 26(1): 5~10.
- [9] 于顺利,陈宏伟,郎南军. 土壤种子库的分类系统和种子在土壤中的持久性. 生态学报, 2007, 27(5): 2099~2108.
- [12] 曹聪梅,李作平,史清文. 东北红豆杉的化学成分和药理作用研究进展. 天然产物研究与开发, 2006, 18(02): 330~342, 259.
- [19] 吴榜华,戚继忠. 东北红豆杉植物地理学研究. 应用与环境生物学报, 1995, 1(3): 219~225.
- [20] 柏广新,吴榜华. 中国东北红豆杉研究. 北京: 中国林业出版社, 2002. 1~9.
- [21] 吴榜华,张启昌,李德志. 东北红豆杉生长及营林技术的研究. 吉林林学院学报, 1996, 12(3): 125~129.
- [22] 程广有,沈熙环. 东北红豆杉开花结实的规律. 东北林业大学学报, 2001, 29(3): 44~46.
- [23] 马小军,丁万隆,陈震. 温度对东北红豆杉种子萌发的影响. 中国中药杂志, 1996, 21(1): 20~22.
- [24] 周志强,刘彤,袁继连. 黑龙江穆稜天然东北红豆杉种群资源特征研究. 植物生态学报, 2004, 28(4): 476~482.
- [25] 刘彤,李云灵,周志强,胡海清. 天然东北红豆杉(*Taxus cuspidata*)种内和种间竞争. 生态学报, 2007, 27(3): 924~929.
- [26] 周以良,董世林,聂绍荃. 黑龙江树木志. 哈尔滨: 黑龙江省科技出版社, 1986. 76~78.
- [27] 尚可喜,何学凯,黄光强,李景文. 强度干扰红松阔叶林种子库特性及其动态初步研究. 科学技术与工程, 2006, 6(3): 256~260.
- [30] 张健,郝占庆,李步杭,叶吉,王绪高,姚晓琳. 长白山阔叶红松(*Pinus koraiensis*)林种子雨组成及其季节动态. 生态学报, 2008, 28(6): 2445~2454.