

福建闽清福建青冈天然林种子雨和种子库

黄雍容, 马祥庆*, 庄凯, 刘明新, 黄丹丹

(福建农林大学林学院, 福州 350002)

摘要: 对福建闽清黄楮林自然保护区的福建青冈(*Cyclobalanopsis chungii*)天然林的种子雨和土壤种子库进行了观测和分析。结果表明, 福建青冈种子雨持续2个月, 其高峰期在11月下旬~12月上旬, 总量为12.44个 m^2 , 在种子散布过程中完好种子、虫蛀种子、败育种子、霉烂种子和萌发种子的比例差异明显, 其中虫蛀种子是萌发种子的19.44倍。土壤种子库中虫蛀种子占53.79%, 与种子雨相比, 完好种子和萌发种子数量分别减少2.15个 m^2 和0.20个 m^2 。土壤种子库种子存活率仅13.51%, 动物捕食率达45.90%, 说明动物的捕食和搬运是福建青冈种子缺失的原因之一。福建青冈天然林土壤种子库有69种植物种子, 但种子数量较少, 且分布不均匀, 种子库中78.42%种子分布在2~5 cm土层中。福建青冈天然林中实生幼苗少与福建青冈种子本身特性及其生长环境密切相关, 福建青冈种子发育成熟后因动物侵扰、虫蛀、霉烂和败育等情况发生, 难以在土壤中长期保存, 以致福建青冈林分天然更新严重受阻。

关键词: 福建青冈; 天然林; 种子雨; 种子库; 天然更新

中图分类号: Q948.1

文献标识码: A

文章编号: 1005-3395(2010)01-0068-07

Seed Rain and Soil Seed Bank of *Cyclobalanopsis chungii* Forest in Minqing, Fujian Province

HUANG Yong-rong, MA Xiang-qing*, ZHUANG Kai, LIU Ming-xin, HUANG Dan-dan

(College of Forestry, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou 350002, China)

Abstract: To understand the natural regeneration of *Cyclobalanopsis chungii* nature forest, seed rain and soil seed bank of a *C. chungii* forest in Minqing *C. chungii* Forest Nature Reserve were investigated. The results showed that seed rain continued about two months with an average of 12.44 seeds m^2 and peaked at late November to early December. There's significant difference among the proportions of perfect, worm-eaten, abortive, decayed and germinated seeds in the process of seed rain, in which the proportion of the worm-eaten was 19.44 times as great as the germinated. In the soil seed bank, the proportion of the worm-eaten seed was 53.79%. Compared with the seed rain, the quantities of the perfect and germinated seed were less 2.15 seeds m^2 and 0.20 seeds m^2 respectively. Seed survival rate and the proportion of seed damaged by animals were 13.51% and 45.90%, respectively, which showed that animal damage was the main cause of seed loss. In total, 69 species of seeds were recorded in the soil seed bank, with a very low density of germinable seeds and most of them were buried in 2~5 cm in soil. Seedling density of *C. chungii* was very low in the nature forest, which was closely related to the seed characteristics and habitat. Due to the animal invasion, rotten, abortion, and so on, it's difficult for *C. chungii* mature seed to long-term preserve in the soil, and the natural regeneration of *C. chungii* forest was blocked seriously.

Key words: *Cyclobalanopsis chungii*; Natural forest; Seed rain; Seed bank; Natural regeneration

收稿日期: 2009-04-03 接受日期: 2009-11-02

基金项目: 国家自然科学基金项目(30671670); 福建省自然科学基金项目(08J0039)资助

* 通讯作者 Corresponding author, email: kymxq@126.com

种子雨是在特定时间和特定空间内从母株上散落的种子集合体,是植物生活史过程中不可缺少的一个环节,对种子雨的了解可预测土壤种子库的物种组成、大小及植被演替更新趋势^[1]。土壤种子库是埋藏于土壤中的种子所组成的储藏库^[2],或指存在于土壤上层凋落物和土壤中的全部存活种子的总和^[3]。在森林更新动态中种子雨的生产、扩散及土壤种子库中种子的动态等均可能成为植物更新的限制因素^[4-6]。种子雨散布的时间、强度及传播距离的远近不仅与树种及其种子特性有关,还受空气湿度、风等环境因子的影响^[7]。近年来国内外学者在各种研究背景下就珍贵树种的种子雨、种子生产、种子库动态、种子萌发及幼苗建成等方面进行了大量研究,以期解决不同植物种群在自然更新上存在的问题^[8-18]。

福建青冈(*Cyclobalanopsis chungii*)又称黄栌,是我国特有的壳斗科珍贵树种,其木材坚重、耐磨、耐腐、耐水湿,是重要的工业特用材和烧制上等出口白炭的原料。长期以来由于南方各地对福建青冈资源的不合理利用,导致了福建青冈天然林资源的严重破坏,目前其天然林资源日趋枯竭,已被列为福建省重点保护树种,仅在福建闽清黄栌林自然保护区内分布有大面积的福建青冈林,其它地区多为小面积零星分布。由于福建青冈种子发育规律的特殊性,种子无后熟休眠期,成熟种子会很快长出胚根,掉落地面后则大量发芽,即使在种子运输过程中也会发芽^[19],由此导致了福建青冈人工育苗成活率低,制约了福建青冈人工造林的发展,因此揭示福建青冈种子发芽的内在机制及其生态适应意义,解决其人工育苗技术瓶颈已成为当前林业生产中急需解决的重大课题^[20]。虽然近些年有关福建青冈的研究逐渐增多^[21-23],但目前有关福建青冈天然更新方面的研究还未见报道。有鉴于此,本文以福建闽清黄栌林自然保护区的福建青冈天然林为研究对象,通过对福建青冈种子雨、天然林土壤种子库和种子散布后动态等方面的研究,探讨福建青冈天然更新规律和影响因素,为揭示福建青冈种子特殊发芽特性与生境的关系提供科学依据。

1 样地概况

试验地位于福建省闽清县雄江镇境内的黄栌林自然保护区,地处北纬 26°18',东经 118°40'。属中亚热带气候,夏长冬短,温暖湿润,年平均气温

17.5℃,1 月均温 10.0℃,7 月均温 28.9℃,≥10℃年积温为 6 435℃,年降水量 1 570 mm,年均蒸发量为 1 500 mm,相对湿度 83%,无霜期 294 d。保护区以中低山和丘陵为主,海拔 130~1 136 m,坡度在 25~30°。林地土壤以红壤、山地红壤为主,夹杂半风化的花岗岩石块,土层较薄,一般在 30 cm 以下。

闽清黄栌林自然保护区是以保护福建青冈为主的省级自然保护区。目前保护区内的福建青冈天然林多为萌生次生林,林分结构较复杂,形成复层异龄林,乔木层主要以福建青冈为主,混生有甜栌(*Castanopsis eyrei*)、栲树(*Castanopsis fargesii*)、石栎(*Lithocarpus glabra*)、青冈栎(*Cyclobalanopsis glauca*)等。灌木层主要有黄瑞木(*Adinandra millettii*)、乌药(*Lindera aggregata*)、山矾(*Symplocos sumuntia*)等。草本层主要有玉叶金花(*Mussaenda pubescens*)、芒萁(*Dicranopteris dichotoma*)、黑莎草(*Gahnia tristis*)、乌毛蕨(*Blechnum orientale*)、五节芒(*Miscanthus floridulus*)等^[22-23]。

2 研究方法

2.1 种子雨调查方法

福建青冈果实 11~12 月份成熟,于 2007 年 10 月底在福建闽清黄栌林自然保护区内设置 20 m × 20 m 样地 3 个,每个样地内随机置放种子雨收集器 20 个,共 60 个。种子雨收集器用直径 5 mm 的铁丝作框架和网眼 2 mm × 2 mm 的尼龙网做框底,框口面积为 1 m²。为避免种子掉落后的反弹和鸟兽取食,收集器用木棍做支架,框底与地面的距离保持在 60 cm。种子雨收集器每周收获 1 次,并进行分类统计。

2.2 土壤种子库调查方法

2.2.1 土壤表面种子调查方法

对种子雨调查样地内土壤表面的福建青冈种子进行调查。在每个种子雨收集器附近选择较平坦的地面随机设 1 m × 1 m 样方 1 个,共 60 个。清理干净样方内枯枝落叶、残余的各类种子,并适当割除草本层植物。样方内种子每周收获 1 次,并进行分类统计。

2.2.2 土壤中种子调查方法

于 2007 年 12 月,福建青冈种子雨结束后在种子雨调查样地内随机设 1 m × 1 m 样方 5 个,共 15 个。分别取样方内枯枝落叶层、0~2 cm 土层和

2~5 cm土层的原状土样,用孔径 0.25 cm 土壤筛进行筛分,统计不同土层种子数^[24]。

土壤种子库的储量是用密度来表达的。这里的密度指厚度为 5 cm 的土壤中单位面积上所包含的有活力的种子数量^[25]。

2.3 种子的鉴定与分类

福建青冈种子按完好种子、虫蛀种子、败育种子、霉烂种子和萌发种子分别进行统计。完好种子:外表完好,无蛀孔及霉烂表象,具有萌发能力;虫蛀种子:在种皮上存在虫蛀孔;败育种子:种子明显小于或轻于完好种子;霉烂种子:种皮明显存在细菌感染;萌发种子:露白或已发芽。

土壤中种子种类鉴定的方法主要有漂浮浓缩法、网筛分选法和种子萌发法,其中种子萌发法最为常用^[26]。本研究综合网筛分选法和种子萌发法,即用大网孔筛筛去土样中杂物(如石块、枯枝落叶、种子残片等),再将过筛的土样平铺在花盆底部无菌的沙子上,置放在玻璃温室内,让其自然萌发,适时浇水保持盆内湿度,使存活种子尽可能萌发。每周对盆内的幼苗进行鉴定并记录,至盆中不再有幼苗长出,结束萌发实验,整个过程持续 10 个月。

2.4 数据分析

根据福建青冈种子的特性,参考肖治术等^[13]的方法进行统计分析,略做修改:

种子总量(个) = 收集框中完好种子 + 虫蛀种子 + 萌发种子 + 败育种子 + 霉烂种子;

种子存活率(%) = (地表完好种子 + 萌发种子)/

种子总量 × 100%;

种子虫蛀率(%) = 地表虫蛀种子量/种子总量 × 100%;

种子存留率(%) = (地表完好种子 + 虫蛀种子 + 败育种子 + 霉烂种子 + 萌发种子)/种子总量 × 100%;

种子发霉率(%) = 地表霉烂种子/种子总量 × 100%;

种子发芽率(%) = 地表萌发种子数/种子总量 × 100%;

动物捕食率(%) = 1 - 种子存留率(%);

动物捕食量 = 种子总量 - (地表完好种子 + 虫蛀种子 + 萌发种子 + 败育种子 + 霉烂种子)。

3 结果和分析

3.1 福建青冈天然林种子雨研究

从表 1 和图 1 看出,福建青冈天然林的种子和壳斗在 10 月中旬开始掉落,但初期掉落量较小,11 月中旬种子雨数量开始逐渐增加,11 月下旬至 12 月上旬为掉落高峰期,到 12 月下旬结束,历时 2 个月,总量为 12.44 个 m²。完好种子在 11 月下旬达到高峰,12 月份也有掉落,总量为 3.76 个 m²。虫蛀种子从种子雨初期就有零星掉落,伴随整个种子雨直到结束,总量达 5.25 个 m²,大于完好种子。在整个种子雨过程中,5 类种子的比例差异较大,以虫蛀种子最大,达到 42.20%,完好种子次之,为 30.23%,萌发种子最小,仅 2.17%。

表 1 福建青冈天然林种子雨组成及其所占比例

Table 1 The composition of seed rain and ground seed bank of *C. chungii* natural forest (seeds m²)

组成 Category	完好种子 Perfect seeds	虫蛀种子 Worm-eaten seeds	败育种子 Abortive seeds	霉烂种子 Decayed seeds	萌发种子 Germinated seeds	总量 Total
小计 Subtotal (seeds m ²)	3.76 ± 0.64	5.25 ± 0.73	2.57 ± 1.69	0.59 ± 0.58	0.27 ± 0.22	12.44 ± 2.17
比例 Proportion (%)	30.23	42.20	20.66	4.74	2.17	100

3.2 福建青冈天然林土壤种子库研究

3.2.1 福建青冈天然林土壤表面种子组成

福建青冈天然林土壤种子库的地表中,5 类福建青冈种子的变化趋势与种子雨中情况相一致,但掉落高峰期存在明显差异(表 2,图 2)。其中虫蛀种子、败育种子及霉烂种子的高峰期均在 11 月中旬,总量分别为 3.62 个 m²、1.13 个 m²、0.30 个 m²。

完好种子和萌发种子的高峰期表现跟种子雨中的表现一致,均在 11 月下旬和 12 月上旬达到高峰期,总量分别为 1.61 个 m²和 0.07 个 m²。在地表种子库中,虫蛀种子的比例最大,占 53.79%,完好种子和萌发种子分别为 23.92%和 1.04%。地表种子库中各类种子总量排序为:虫蛀种子 > 完好种子 > 败育种子 > 霉烂种子 > 萌发种子。

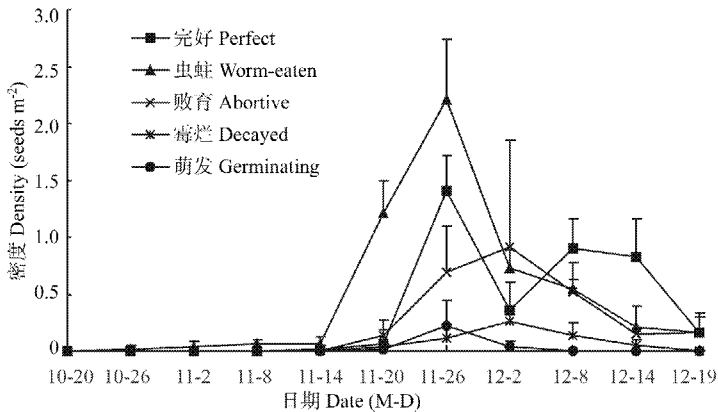


图 1 福建青冈天然林种子雨动态

Fig. 1 Seed rain quantity dynamic of *C. chungii* nature forest

表 2 福建青冈天然林土壤表面福建青冈种子的组成及其所占比例

Table 2 The composition of seed rain and ground seed bank of *C. chungii* natural forest (seeds m⁻²)

	完好种子 Perfect seeds	虫蛀种子 Worm-eaten seeds	败育种子 Abortive seeds	霉烂种子 Decayed seeds	萌发种子 Germinated seeds	总量 Total
小计 Subtotal (seeds m ⁻²)	1.61 ± 0.28	3.62 ± 0.21	1.13 ± 0.78	0.30 ± 0.09	0.07 ± 0.08	6.73 ± 0.86
比例 Proportion (%)	23.92	53.79	16.79	4.46	1.04	100

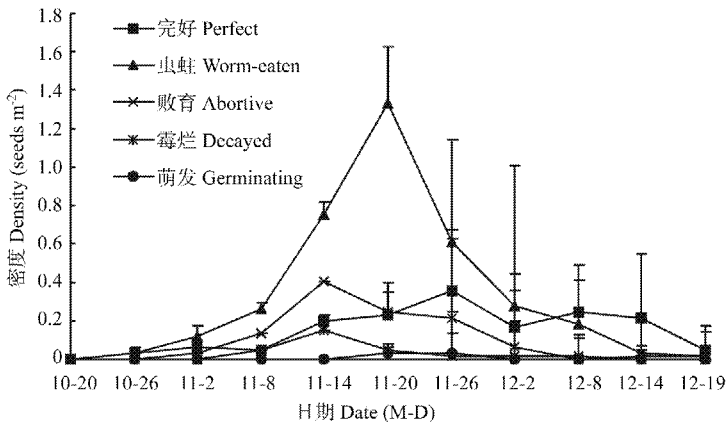


图 2 福建青冈天然林地表种子动态

Fig. 2 Seed quantity dynamic on the soil of *C. chungii* nature forest

3.2.2 福建青冈天然林土壤中种子组成

从表 3 可看出,福建青冈天然林土壤中植物种子种类丰富,达 69 种,其中乔木 7 种,灌木 25 种,草本 37 种。在 69 种植物中,现存群落中存在的植物仅有 18 种,其余 51 种在现存群落中没有出现,这主要与当前林分生态条件不适合这些植物萌发和定居有关。

土壤种子库不同土层种子数量存在明显差异(表 3)。土壤中活力种子的数量为 439 粒 m⁻³。枯枝落叶层仅存在一些种子碎屑、壳斗和败育种子,败育种子主要是壳斗科植物种子。0~2 cm 土壤层中有种子 33 种 95 粒 m⁻³,占种子库的 21.58%,其

中乔木植物种子 5 种。2~5 cm 土壤层中有 60 种 344 粒 m⁻³,占种子库的 78.42%,其中乔木植物种子 6 种,其余为灌木和草本植物。

3.3 福建青冈天然林种子散布后动态

从表 4 可看出,福建青冈天然林内福建青冈种子雨与土壤种子库的种子存活率差异明显,前者为 32.40%,是后者的 2.40 倍;两者的虫蛀率分别为 42.20%和 29.10%,由于部分虫蛀种子仍具萌发能力,故福建青冈种子实际的存活率可能比调查结果稍大。从福建青冈天然林土壤种子库种子分布情况分析,其种子存留率仅为 54.10%,可见 45.90%福建青冈种子因动物取食或搬运而流失;但其发霉

率与发芽率均较低,这一方面与气候和林分环境有关,另一方面萌发种子也是动物取食对象,因此调查中萌发种子的数量较少。在福建青冈天然林土壤中未发现福建青冈种子,这进一步表明福建青冈

种子发育成熟后因动物侵扰、虫蛀、霉烂和败育等情况发生,难以在土壤中长期保存,从而严重影响了福建青冈林分的天然更新。

表 3 福建青冈天然林土壤中种子的组成

Table 3 Seed category in the soil of *C. chungii* nature forest

	植物 Species	种子数量 Number of seeds	比例 Proportion (%)
乔木 Arbor	箬簕花椒 <i>Zanthoxylum avicennae</i>	26	53.06
	拟赤杨 <i>Alniphyllum fortunei</i>	14	28.57
	泡桐 <i>Paulownia fortunei</i>	3	6.12
	东南野桐 <i>Mallotus lianus</i>	3	6.12
	华杜英 <i>Elaeocarpus chinensis</i>	1	2.04
	笔罗子 <i>Meliosma rigida</i>	1	2.04
	兰考泡桐 <i>Paulownia elongata</i>	1	2.04
小计 Subtotal		49	100
灌木 Shrub	空心泡 <i>Rubus rosaeifolius</i>	30	18.52
	黄瑞木 <i>Adinandra millettii</i>	25	15.43
	玉叶金花 <i>Mussaenda elliptica</i>	17	10.49
	红腺悬钩子 <i>Rubus sumatranus</i>	17	10.49
	野牡丹 <i>Mekastoma candidum</i>	13	8.02
	细齿叶柃 <i>Eurya nitida</i>	9	5.56
	葡蟠 <i>Broussonetia kaempferi</i>	9	5.56
	山乌柏 <i>Sapium discolor</i>	7	4.32
	大叶紫珠 <i>Callicarpa macrophylla</i>	6	3.70
	紫珠 <i>Callicarpa bodinieri</i>	5	3.09
	杜茎山 <i>Maesa parvifolia</i>	3	1.85
	山莓 <i>Rubus corchorifolius</i>	3	1.85
	掌叶悬钩子 <i>Rubus pentagonus</i>	3	1.85
	其他灌木 12 种	15	9.26
小计 Subtotal		162	100
草本 Herb	升马唐 <i>Digitaria ciliaris</i>	8	7.41
	牛筋草 <i>Eleusine indica</i>	8	7.41
	香附子 <i>Cyperus rotundus</i>	6	5.56
	柔枝莠竹 <i>Microstegium vimineum</i>	5	4.63
	酢浆草 <i>Oxalis corniculata</i>	5	4.63
	白茅 <i>Imperata cylindrica</i>	4	3.70
	一年蓬 <i>Erigeron annuus</i>	4	3.70
	小叶猕猴桃 <i>Actinidia lanceolata</i>	4	3.70
	其他草本 29 种	64	59.26
	小计 Subtotal		108
合计 Total	69	319	-

表 4 福建青冈种子雨和土壤种子库的种子组成

Table 4 Composition of seeds in seed rain and soil seed bank of *C. chungii* nature forest

	存活率(%) Survival rate	虫蛀率(%) Damaged rate	败育率(%) Abortive rate	霉烂率(%) Decayed rate	动物捕食率(%) Animal feeds rate
种子雨 Seed rain	32.40	42.20	20.66	4.74	0
土壤表面 Soil surface	13.51	29.10	9.08	2.41	45.90
土壤中 Soil	0	0	0	0	0

4 讨论

4.1 种子雨

本研究表明,福建青冈天然林分内 10 月下旬~12 月下旬均有福建青冈种子或壳斗掉落,种子掉落高峰期在 11 月下旬~12 月上旬。已有研究发现,许多壳斗科植物种子产量在不同年间有很大变化,种子产量的丰年一般隔 2 a 至数年发生一次^[13,27]。因此福建闽清黄楮林自然保护区是否每次种子雨掉落高峰均在此时期还需进一步考证。

福建青冈天然林种子雨中完好种子率仅 30.23%。这与前人对壳斗科树种的研究结果略有不同。费世民等^[12]对川西南高山栲种群种子雨研究表明,高山栲完好种子率达 65.22%;刘彤等^[28]以蒙古栎种群种子雨为研究对象,发现其完好种子率为 73.90%。这可能与种子雨大小年、气候条件、树种生物学特性、林分郁闭度及立地条件等因素有关^[28]。

本研究调查还发现福建青冈种子受到病虫害的威胁比较大,虫蛀种子在种子雨总量占的比例达 42.20%。据观察,有可能是象鼻虫等虫类雌虫在开花时产卵于柱头内,从而造成福建青冈种子虫蛀、霉烂或败育。

4.2 土壤种子库

土壤种子库的种子直接来源于种子雨,土壤种子库中各类种子存在的时空格局可反映出种子掉落后动态变化,因此根据种子雨和土壤种子库的数量差异,可以揭示出种子掉落后种子的命运^[13,27]。本研究中土壤种子库的种子动物捕食率达 45.90%,且调查发现林中有野猪、山羊等的足迹和粪便,说明动物的捕食和搬运是影响福建青冈种群种子库的重要因素之一。调查林分内福建青冈萌发率仅 0.56%,这可能有以下两方面原因:一是福建青冈种子发芽后胚根较长,而且有很长一段生长停滞期,这段时间内易受到不利环境的影响,如动物对萌发种子的捕食和搬运、干旱和林内小气候变化等;另一方面是福建青冈多生长在土层较薄、石砾较多的林地上,快速萌发的种子有时很难接触到土壤层,阻断了胚根生长所需养分的来源,导致其天然更新受阻。

土壤种子库中还发现有一定数量的霉烂种子,其总量为 0.30 个 m^{-2} ,这与前人的研究结果基本一致,肖治术等^[13]和马万里等^[29]研究表明土壤中或多

或少存在一些霉烂种子,这可能与当地的气候条件及地形条件有关。闽清黄楮林自然保护区地处温暖湿润的亚热带气候,土壤湿度大,土壤微生物活动旺盛,容易造成种子缺氧霉烂。

福建青冈天然林土壤种子库中种子种类丰富,但有活力的种子的数量并不多。在 69 种植物中,草本和灌木植物种子数量远远大于乔木植物种子数量。且各类种子在种子库中的分布不一样。枯枝落叶层仅存在一些种子碎屑、壳斗和败育种子,败育种子主要是壳斗科植物种子,2~5 cm 土壤层的种子数量远大于 0~2 cm 土壤层种子数。黄忠良等^[30]对南亚热带森林不同演替阶段土壤种子库研究表明,各演替阶段土壤种子库的种类组成以草本植物为主,且 3~5 cm 土壤层的种子数目最多,本文的研究结果与其相一致。黄楮林自然保护区位于中亚热带气候带,福建青冈种子特殊的发芽模式可能是对其长期生存环境适应的结果。对福建青冈天然林进行的调查中发现:福建青冈群聚性强,多分布于石砾较多的林地上,侧根沿着岩石缝伸得很长,据此推测福建青冈这种特殊的种子发芽模式可能与其长期生长在石砾多的林地上有关。因为其种子比较重,发芽的种子掉落在石砾和岩石上后,其胚根先已伸出壳斗,有利于它在石砾多的环境中深入岩石缝生长,以增加在这种特殊石砾环境条件下完成其生命周期的机会,对其种群的生存、延续和进化有积极意义。

参考文献

- [1] Yu S L(于顺利), Lang N J(郎南军), Peng M J(彭明俊), et al. Research advances in seed rain [J]. Chin J Ecol(生态学杂志), 2007, 26(10): 1646-1652.(in Chinese)
- [2] Harper J L. The seed bank [M]// Population Biology of Plants. London: Academic Press, 1977: 11-35.
- [3] Simpson R L. Ecology of Soil Seed Bank [M]. San Diego: Academic Press, 1989: 23-28.
- [4] Dalling J W, Swaine M D, Garwood N C. Dispersal patterns and seed bank dynamics of pioneer trees in moist tropical forest [J]. Ecology, 1998, 79(2): 564-578.
- [5] Barnes M E. Seed predation, germination and seedling establishing of *Acacia erioloba* in northern Botswana [J]. J Arid Environ, 2001, 49 (3): 541-554.
- [6] Han Y Z(韩有志), Wang Z Q(王政权). Spatial heterogeneity and forest regeneration [J]. Chin J Appl Ecol(应用生态学报), 2002, 13 (5): 615-619.(in Chinese)
- [7] Zhang Y B(张玉波), Li J W(李景文), Zhang H(张昊), et al. Spatiotemporal patterns of seed dispersal in *Populus euphratica* [J].

- Acta Ecol Sin(生态学报), 2005, 25(8): 1994–2000.(in Chinese)
- [8] Nathan R. Long-distance dispersal of plants [J]. Science, 2006, 313(5788): 786–798.
- [9] Sun S C(孙书存), Chen L Z(陈灵芝). Seed demography of *Quercus liaotungensis* in Dongling Mountain Region [J]. Acta Phytoecol Sin(植物生态学报), 2000, 24(2): 215–221.(in Chinese)
- [10] Wang W Q(王文琦), Wang J J(王进军), Zhao Z M(赵志模). Seed population dynamics and germination characteristics of *Eupatorium adenophorum* [J]. Chin J Appl Ecol(应用生态学报), 2006, 17(6): 982–986.(in Chinese)
- [11] Wang W(王魏), Ma K P(马克平), Liu C R(刘灿然). Seed shadow of *Quercus liaotungensis* in a broad-leaved forest in Dongling Mountain [J]. Acta Bot Sin(植物学报), 2000, 42(2): 195–202.(in Chinese)
- [12] Fei S M(费世民), He Y P(何亚平), Yang G Y(杨灌英), et al. Seed rain and seed bank of *Castanopsis delavayi* populations in mountainous area of southwest Sichuan [J]. Sci Silv Sin(林业科学), 2006, 42(2): 50–55.(in Chinese)
- [13] Xiao Z S(肖治术), Wang Y S(王玉山), Zhang Z B(张知彬). Seed bank and the factors influencing it for three Fagaceae species in Dujiangyan Region, Sichuan [J]. Biodiv Sci(生物多样性), 2001, 9(4): 373–381.(in Chinese)
- [14] Zhang J(张健), Hao Z Q(郝占庆), Li B H(李步杭), et al. Composition and seasonal dynamics of seed rain in broad-leaved Korean pine (*Pinus koraiensis*) mixed forest, Changbai Mountain [J]. Acta Ecol Sin(生态学报), 2008, 28(6): 2445–2454.(in Chinese)
- [15] Fenner M. Seeds: the Ecology of Regeneration in Plant Communities [M]. 2nd ed. Wallingford: CABI Publishing, 2000: 9–30.
- [16] Wang W, Ma K P, Liu C R. Seed shadow of *Quercus liaotungensis* in a broad-leaved forest in Dongling Mountain [J]. Acta Bot Sin, 2000, 42(2): 195–202.
- [17] Dalling J W, Muller-Landau H C, Wright S J, et al. Role of dispersal in the recruitment limitation of neotropical pioneer species [J]. J Ecol, 2002, 90(4): 714–727.
- [18] Levine J M, Murrell D. Community-level consequences of seed dispersal patterns [J]. Ann Rev Ecol System, 2003, 34: 549–574.
- [19] Wang Y F(王友凤). The study on ecophysiology mechanism of seed of *Cyclobalanopsis chungü* [D]. Fuzhou: Fujian Agriculture and Forestry University, 2006: 38–47.(in Chinese)
- [20] Ma X Q(马祥庆), Gao J H(高建华), Huang Y L(黄勇来). A precious timber tree in subtropical area —— *Cyclobalanopsis chungü* [J]. For Sci-techn Devel(林业科技开发), 2004, 18(S): 74–76.(in Chinese)
- [21] Liu A Q(刘爱琴), Wu P F(吴鹏飞), Liu C H(刘春华). Study on soil fertility and water conserving capacity of *Cyclobalanopsis chungü* plantation [J]. J SW For Coll(西南林学院学报), 2006, 26(1): 14–17.(in Chinese)
- [22] Chen S P(陈世品). Changes in species diversity of plants in *Cyclobalanopsis chungü* forest during the course of restoration [J]. J Zhejiang For Coll(浙江林学院学报), 2004, 21(3): 258–262.(in Chinese)
- [23] Liu C H(刘春华). Community characteristics and growth of natural forest and plantation of *Cyclobalanopsis chungü* [J]. J Zhejiang For Coll(浙江林学院学报), 2005, 22(1): 56–60.(in Chinese)
- [24] Fan F R(范繁荣). Study on endangered mechanism and exsitu conservation of *Artocarpus hypargyreus* Hance [D]. Fuzhou: Fujian Agriculture and Forestry University, 2008: 23–35.(in Chinese)
- [25] Wei S G(魏识广), Li L(李林), Huang Z L(黄忠良), et al. Study on the dynamic of seed bank of Dinghushan forest soil [J]. Ecol Environ(生态环境), 2005, 14(6): 917–920.(in Chinese)
- [26] Zhang J E(章家恩). Conventional Methods for Ecology Experiments [M]. Beijing: Chemistry Industry Publishing House, 2007: 116–119.(in Chinese)
- [27] Liu Z G(刘足根), Zhu J J(朱教君), Yuan X L(袁小兰), et al. On seed rain and soil seed bank of *Larix olgensis* in Montana regions of eastern Liaoning Province, China [J]. Acta Ecol Sin(生态学报), 2007, 27(2): 579–587.(in Chinese)
- [28] Liu T(刘彤), Zhou Q(周强). Seed rain and soil seed bank of *Quercus mongolica* populations [J]. J NE For Univ(东北林业大学学报), 2007, 35(5): 22–23.(in Chinese)
- [29] Ma W L(马万里), Jing T(荆涛), Joni K, et al. The dynamics of seed rain and seed bank of *Juglans mandshurica* population in the Changbai Mountain [J]. J Beijing For Univ(北京林业大学学报), 2001, 23(3): 70–72.(in Chinese)
- [30] Huang Z L(黄忠良), Kong G H(孔国辉), Wei P(魏平), et al. A study on the soil seed banks at the different succession stages of south subtropical forests [J]. J Trop Subtrop Bot(热带亚热带植物学报), 1996, 4(4): 42–49.(in Chinese)