



# 森林残落物 生态学

汪思龙 陈楚莹 编著



科学出版社

[www.sciencep.com](http://www.sciencep.com)

# 森林残落物生态学

汪思龙 陈楚莹 编著

科 学 出 版 社

北 京

## 内 容 简 介

本书既是作者长期从事森林残落物生态学研究成果,特别是近 50 年来的定位研究成果的反映,同时也全面系统总结和分析了我国近 60 年来有关森林凋落物的研究进展,重点阐述内容包括人工林枯枝落叶产量动态变化,树种组成对凋落物组成和动态过程的影响,凋落物单独分解和混合分解,分解过程对土壤有机质组分含量的影响;特别论述了地下部分细根分解以及根桩分解过程,及其对土壤有机碳的影响,这些数据国内外很少报道,这也是本书的特色之一;揭示了不同自然地带森林凋落物的生产规律和人的经营活动对凋落物产量的影响;内容紧密结合当前生产和重大环境问题。

本书可供生态学、生物学、林学、环境科学等专业师生以及林业工作者参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

森林残落物生态学/汪思龙,陈楚莹编著. —北京:科学出版社,2010  
ISBN 978-7-03-027390-1

I. ①森… II. ①汪… ②陈… III. ①森林-凋萎-植物生态学  
IV. ①S718.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 077907 号

责任编辑:霍春雁/责任校对:李奕莹

责任印制:钱玉芬/封面设计:耕者设计工作室

科学出版社出版

北京东黄城根北街 16 号  
邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

源海印刷有限责任公司印刷

科学出版社编务公司排版制作

科学出版社发行 各地新华书店经销

2010 年 5 月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2010 年 5 月第一次印刷 印张:17 1/4

印数:1—1 500 字数:388 000

定价:68.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

# 《森林残落物生态学》编著人员

编    著    汪思龙    陈楚莹

参编作者 (按姓氏笔画排列)

王清奎    邓仕坚    关  欣

汪思龙    陈楚莹    陈龙池

范  冰    高  洪    颜绍堦

## 前 言

森林生态学对由枯死枝叶等组分组成的森林凋落物(forest litter)认识较早,从20世纪30年代以来,西方学者就开始研究凋落物分解过程,至50年代,E. Odum提出营养元素循环的6条途径,其中通过碎屑食物链,即由腐食动物和微生物等对有机腐屑的分解使营养物质再循环是最主要的途径。此后,有关凋落物分解过程的研究得到进一步发展,包括凋落物分解影响因素、分解过程模型等。一般认为从较大尺度上来说,凋落物分解主要受气候因素的影响,而在相同气候区,凋落物分解过程主要受基质质量的影响。对于分解过程的描述最为常见的是Olsen提出的凋落物分解过程(失重过程)的指数衰减模型,但营养元素的释放则复杂得多。长期以来,凋落物分解过程的研究主要沿用凋落物袋方法,这种方法在野外简便易行,对于认识和研究凋落物的早期分解过程起到了十分重要的作用,但也正由于这种方法的限制,对凋落物分解的后期过程认识较少,特别是对凋落物分解对土壤生物活性的影响以及土壤有机质贡献方面的认识还很缺乏。同时,经典概念中的凋落物(小型枯枝、落叶、花、果等)在整个生态系统“碎屑”中仅占一小部分,相应的地下部分周期性细根死亡、天然老林中的枯立木和倒木等粗木质残体、采伐更新(目前主要为人工用材林)过程中产生的采伐剩余物等,这些组分均不宜包含在凋落物范畴内。

经典的凋落物概念及其相关的研究对于人们认识和了解森林生态系统结构、功能及其复杂性方面起到了十分重要的作用,但随着研究工作的不断深入,单纯的枯枝落叶凋落物生态过程难以完整地描述森林生态系统的养分循环、能量流动以及其他方面的功能。因此,本书提出“森林残落物”这一概念:森林残落物是指森林在生长发育、抚育、采伐以及更新过程中,由正常新陈代谢过程、自然或人类干扰过程产生的有机残余物,这些残落物或者积累在土壤表面,或者残留在土壤剖面当中,构成森林生态系统关键结构组分。这些残落物组分在森林生态系统养分循环、能量流动、生物多样性以及生产力等功能方面具有十分重要的作用。

显然,森林残落物涵盖了地上部分枯枝落叶(经典凋落物)和地下部分死细根残体,这部分残落物是系统正常代谢过程产生的;残落物还包括天然林中的倒木和枯立木等粗木质残体、自然和人为干扰产生的植物残体、采伐更新过程中产生的剩余物(包括根桩),等等,这部分残落物来自自然或人为干扰过程。这两部分都是森林生态系统可持续经营管理的重要结构组分;这一概念的提出保留了经典的凋落物概念,它是森林在生长发育过程中由地上部分正常代谢产生的小枝、落叶、花、果、树皮等,这一点有别于自然和人为干扰产生的折枝断梢,也有别于天然林中的枯立木、倒木等粗木质残体;死细根残体虽然也是正常代谢产物,但没有凋落过程,也就没有归入凋落物,以免产生混淆;同时这一概念突出了森林采伐过程中产生的有机剩余物,包括枝叶和根桩等,这些残余物在林分发育过程中并不显现,但对更新代林地土壤的影响至关重要;这些残落物在森林

生态系统演替或管理的不同阶段扮演各自不同的重要角色, 发挥重要功能。

显然, 本书的森林残落物, 除了包含经典意义的凋落物之外, 还强调地下部分死亡根系残体、以及更新过程残留的采伐剩余物。近年来由于全球变暖、气候升温, 人们开始重新审视森林生态系统碳格局和碳循环过程。陆地生态系统最大的碳库是植物残余物和土壤有机质 (1200Tg C; Moore and Braswell, 1994)。据估计全球陆地异养呼吸每年排放 60Tg C, 相当于化石燃料每年排放量的 11 倍 (Schlesinger, 1991)。这个异养呼吸来源于地上、地下植物残余物的分解, 也包括一部分较陈旧土壤有机质的分解。可见, 将森林残落物作为一个完整的系统结构组分开展研究, 不仅有助于推动森林生态系统结构、功能的研究, 而且还将推动与全球气候变化有关的碳循环过程研究。

把残落物作为一个相对完整的生态系统结构组分进行讨论可以说这是本书的另一个鲜明特色。从残落物的产量及凋落过程, 环境因子、经营措施的影响, 到残落物的各种系统功能和生态服务功能等方面均作了全面的论述。此前, M. J. Swift 于 1979 年出版了《陆地生态系统的分解过程》一书, 其特点是将分解者、基质与环境作为一个系统, 分别对不同的子系统结构、功能进行了论述。2003 年, Springer 出版集团出版了由 Björn Berg 和 Charles McClaugherty 编撰的《植物凋落物——分解、腐殖质形成与碳固存》, 后来又于 2007 年出版了该书的第二版, 主要是论述北方森林的凋落物分解过程, 也涉及温带森林的内容, 但仍以凋落物分解过程为主线。其他生态学专著也都或多或少在养分循环相关的章节述及凋落物、粗木质残体等方面的内容, 但都比较零散。

本书以人工林为主论述了不同林分结构的枯枝落叶组成和凋落物动态, 混交林凋落物混合分解效应及其对土壤物理、化学以及生物学性状的影响等。这些因素和过程与生态系统管理密切相关, 特别是残落物积累/分解过程直接影响到土壤有机质的稳定性, 进而调控立地长期生产力。因此, 本书所展示的试验和观测以生态系统可持续管理为最终目标, 数据和成果有较强的实用性; 在对其他类型森林残落物数据的引用之前, 作者也采取了非常谨慎的态度, 除了强调类型的代表性之外, 更强调数据的可靠性, 因此, 书中的数据也具有较强的参考价值; 本书汇集了作者长期从事凋落物生态学的研究成果, 有的资料长达 34 年, 在国内实属少见。此外, 试验研究所采用的方法比较先进可靠, 如采用了  $^{15}\text{N}$  和  $^{13}\text{C}$  稳定同位素标记方法来研究凋落物养分和凋落物分解。

近年来国内外学者在森林残落物组成、分解动态以及生态功能方面已经开展了一些研究和探索, 如细根分解过程、粗木质残体对更新的影响, 等等。本书试图通过对这些研究加以评述以推动相关研究的深入。同时, 全面系统总结和分析了我国近 60 年来有关森林残落物的研究进展, 特别是作者近 50 年来的定位研究成果, 揭示了不同自然地带森林残落物的产生规律和人为经营活动对残落物产量的影响; 并以大量翔实的数据, 论证了残落物在养分循环、能量流动、生态水文(涵养水源、保持水土)、林分更新、酸化缓冲等方面的生态功能, 初步构筑了森林残落物生态学的基本理论框架。森林残落物生态学是研究残落物组成特征、积累/分解过程及其生态系统功能的森林生态学分支领域。这些领域的研究对把握森林生态系统结构、功能以及生态过程具有重要学术价值, 同时对森林资源管理和永续利用、人工林树种选择和相关的经营活动均有重要的实际指导意义。可以说, 本书从森林残落物的概念、各种类型森林残落物特征(包括自身生物特征、凋落

过程、养分特征、能量特征等)、生态功能等方面丰富发展了森林生态学。

本书是作者长期从事森林残落物研究的成果,其中的核心成果是依托中国科学院会同森林生态实验站长期定位试验完成的。包括杉木人工林 34 年凋落过程的长期观测、杉阔混交林 13 年的凋落过程、凋落物和细根的分解过程以及凋落物单独与混合分解对土壤质量的影响,等等。随着这些研究成果的产生,实验站同时也培养了一批又一批优秀的生态学人才,实验站本身也于 2005 年进入国家站,成为对外开放的森林生态学实验研究基地,培养优秀生态学人才的摇篮,2010 年会同森林生态实验站将迎来建站五十周年,谨以此书献给中国科学院会同森林生态实验站五十华诞。

汪思龙 陈楚莹

2009 年 6 月



# 目 录

## 前言

|                                         |     |
|-----------------------------------------|-----|
| <b>第一章 我国地带性森林类型凋落物产量及凋落过程</b> .....    | 1   |
| 第一节 热带季雨林、雨林生态系统凋落物产量及凋落过程.....         | 1   |
| 第二节 亚热带常绿阔叶林生态系统凋落物产量及凋落过程 .....        | 4   |
| 第三节 暖温带落叶阔叶林生态系统凋落物产量及凋落过程 .....        | 14  |
| 第四节 温带针阔混交林生态系统凋落物产量及凋落过程 .....         | 15  |
| 第五节 寒温带针叶林凋落物产量及凋落过程 .....              | 17  |
| 第六节 我国地带性森林生态系统凋落物的分布规律 .....           | 18  |
| 参考文献 .....                              | 20  |
| <b>第二章 主要人工林凋落物特征及经营活动对凋落物的影响</b> ..... | 22  |
| 第一节 我国主要人工林凋落物特征 .....                  | 22  |
| 第二节 杉木人工林凋落物特征及凋落过程 .....               | 30  |
| 第三节 经营活动对人工林凋落物的影响 .....                | 38  |
| 参考文献 .....                              | 44  |
| <b>第三章 我国地带性森林类型凋落物营养元素特征</b> .....     | 46  |
| 第一节 热带季雨林、雨林凋落物营养元素特征 .....             | 46  |
| 第二节 亚热带主要森林类型凋落物营养元素特征 .....            | 48  |
| 第三节 温带主要森林类型凋落物营养元素特征 .....             | 58  |
| 第四节 森林凋落物营养元素的区域特征 .....                | 62  |
| 参考文献 .....                              | 64  |
| <b>第四章 我国主要人工林凋落物营养元素特征</b> .....       | 66  |
| 第一节 我国主要人工林树种凋落物营养元素浓度 .....            | 66  |
| 第二节 主要人工林树种叶凋落物营养元素迁移 .....             | 72  |
| 第三节 人工林经营管理措施对凋落物营养元素特征的影响 .....        | 75  |
| 第四节 凋落物营养元素积累、分配与迁移过程长期研究 .....         | 80  |
| 参考文献 .....                              | 85  |
| <b>第五章 森林凋落物的分解与养分释放</b> .....          | 87  |
| 第一节 凋落物分解过程的影响因子 .....                  | 87  |
| 第二节 热带森林凋落物分解和养分释放 .....                | 89  |
| 第三节 亚热带森林凋落物分解和养分释放 .....               | 93  |
| 第四节 暖温带森林凋落物分解和养分释放 .....               | 104 |
| 第五节 温带森林凋落物分解和养分释放 .....                | 108 |
| 第六节 我国不同气候带森林凋落物的分解规律 .....             | 113 |
| 参考文献 .....                              | 114 |
| <b>第六章 森林细根和根桩的分解及养分归还</b> .....        | 116 |
| 第一节 我国主要地带性森林群落细根凋落、分解及养分归还 .....       | 116 |
| 第二节 经营措施对人工林细根凋落量及其分解的影响 .....          | 120 |
| 第三节 影响细根分解的主要因子 .....                   | 130 |



|                                  |     |
|----------------------------------|-----|
| 第四节 杉木根桩分解与化学组分的变化·····          | 132 |
| 参考文献·····                        | 136 |
| <b>第七章 我国主要森林类型粗木质残体特征</b> ····· | 138 |
| 第一节 我国主要森林类型粗木质残体存量·····         | 138 |
| 第二节 我国主要森林类型粗木质残体的分解·····        | 142 |
| 第三节 我国主要森林类型粗木质残体的养分储量·····      | 145 |
| 参考文献·····                        | 151 |
| <b>第八章 森林残落物的能量特征</b> ·····      | 152 |
| 第一节 不同森林类型的残落物能量·····            | 152 |
| 第二节 凋落物能量输入林地的过程·····            | 155 |
| 第三节 人工林主要树种——杉木凋落物的能量·····       | 156 |
| 参考文献·····                        | 159 |
| <b>第九章 凋落物对森林土壤理化性质的影响</b> ····· | 160 |
| 第一节 凋落物对土壤物理性质的影响·····           | 160 |
| 第二节 凋落物对土壤化学性质的影响·····           | 168 |
| 第三节 凋落物与土壤有机质·····               | 174 |
| 参考文献·····                        | 180 |
| <b>第十章 森林凋落物与土壤生物</b> ·····      | 182 |
| 第一节 凋落物对土壤微生物的影响·····            | 182 |
| 第二节 凋落物层土壤酶活性·····               | 188 |
| 第三节 凋落物与土壤动物·····                | 194 |
| 参考文献·····                        | 209 |
| <b>第十一章 森林残落物的持水保土功能</b> ·····   | 211 |
| 第一节 凋落物层的持水作用·····               | 211 |
| 第二节 凋落物阻滞径流作用·····               | 217 |
| 第三节 凋落物抑制林地土壤蒸发的作用·····          | 219 |
| 第四节 凋落物的抗侵蚀能力·····               | 222 |
| 第五节 凋落物层的水化学性质·····              | 224 |
| 第六节 粗木质残体的水文效应·····              | 226 |
| 参考文献·····                        | 228 |
| <b>第十二章 凋落物与全球环境变化</b> ·····     | 230 |
| 第一节 全球变暖与凋落物分解和养分释放的关系·····      | 230 |
| 第二节 酸沉降对凋落物的影响·····              | 233 |
| 第三节 氮沉降对森林凋落物分解的影响·····          | 241 |
| 参考文献·····                        | 245 |
| <b>第十三章 森林残落物与森林更新</b> ·····     | 246 |
| 第一节 凋落物对天然更新小生境的影响·····          | 246 |
| 第二节 凋落物与种子储藏和种子萌发·····           | 248 |
| 第三节 采伐后林地有机残余物对人工更新的影响·····      | 250 |
| 第四节 枯枝落叶的化感作用对更新的影响·····         | 254 |
| 第五节 凋落物对树木生长的影响·····             | 258 |
| 参考文献·····                        | 261 |
| <b>后记</b> ·····                  | 262 |

# Contents

|                                                                                                       |           |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>Chapter 1 Litter and its dynamics from major zonal forests in China .....</b>                      | <b>1</b>  |
| 1.1 Litterfall and its dynamics in tropical rainforest and seasonal rain forestecosystem .....        | 1         |
| 1.2 Litterfall and its dynamics in subtropical evergreen broad-leaf forest ecosystem .....            | 4         |
| 1.3 Litterfall and its dynamics in warm temperate deciduous broad-leaf forest ecosystem.....          | 14        |
| 1.4 Litterfall and its dynamics in temperate mixed forest forest ecosystem .....                      | 15        |
| 1.5 Litterfall and its dynamics in frigid-temperate zone coniferous forest ecosystem .....            | 17        |
| 1.6 Litter distribution of major natural forests in China.....                                        | 18        |
| References .....                                                                                      | 20        |
| <b>Chapter 2 Litter in major plantation forests and effects of management practices .....</b>         | <b>22</b> |
| 2.1 The characteristics of litterfall of major plantation forest in China .....                       | 22        |
| 2.2 The litterfall and its dynamics of Chinese fir plantation forest .....                            | 30        |
| 2.3 The effects of management practices on plantation forest litter .....                             | 38        |
| References .....                                                                                      | 44        |
| <b>Chapter 3 Characteristics of litter nutrients for major zonal forests in China .....</b>           | <b>46</b> |
| 3.1 Characteristics of litter nutrients in tropical seasonal forest and tropical rainforest .....     | 46        |
| 3.2 Characteristics of litter nutrients in subtropical forest.....                                    | 48        |
| 3.3 Characteristics of litter nutrients in temperate forest.....                                      | 58        |
| 3.4 Regional characteristics of nutrients of forest litter.....                                       | 62        |
| References .....                                                                                      | 64        |
| <b>Chapter 4 Characteristics of the litter nutrients in plantation forests of major species .....</b> | <b>66</b> |
| 4.1 Nutrient concentrations of litter in plantation forests of the major species .....                | 66        |
| 4.2 Nutrient retranslocation of litter of the major plantation tree species.....                      | 72        |
| 4.3 Effects of management practices on nutrients of plantation forest litter.....                     | 75        |
| 4.4 Long term study on accumulation, distribution and retranslocation of litter nutrients .....       | 80        |
| References .....                                                                                      | 85        |

|                                                                                             |            |
|---------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>Chapter 5 Forest litter decomposition and nutrient release.....</b>                      | <b>87</b>  |
| 5.1 Factors influencing litter decomposition.....                                           | 87         |
| 5.2 Litter decomposition and nutrient release in tropical rain forest.....                  | 89         |
| 5.3 Litter decomposition and nutrient release in subtropical forest.....                    | 93         |
| 5.4 Litter decomposition and nutrient release in warm-temperate forest.....                 | 104        |
| 5.5 Litter decomposition and nutrient release in temperate forest.....                      | 108        |
| 5.6 Litter decomposition in different climatic zones of China.....                          | 113        |
| References.....                                                                             | 114        |
| <b>Chapter 6 Decomposition of fine roots and root-stump and nutrient return .....</b>       | <b>116</b> |
| 6.1 Fine root litter, decomposition and nutrient return in major forest communities .....   | 116        |
| 6.2 Effects of plantation management practices on fine root and its decomposition .....     | 120        |
| 6.3 Factors that influence fine root decomposition .....                                    | 130        |
| 6.4 Chinese fir root-stump decomposition and changes in chemical composition.....           | 132        |
| References .....                                                                            | 136        |
| <b>Chapter 7 Characteristics of coarse woody debris of major forests in China .....</b>     | <b>138</b> |
| 7.1 Standing stock of coarse woody debris of major forests in China.....                    | 138        |
| 7.2 Decomposition of coarse woody debris of major forests in China.....                     | 142        |
| 7.3 Nutrient reserves in coarse woody debris of major forests in China .....                | 145        |
| References .....                                                                            | 151        |
| <b>Chapter 8 Energetic features of forest litter.....</b>                                   | <b>152</b> |
| 8.1 detritus energy of different forest types.....                                          | 152        |
| 8.2 Input of litter energy onto forest floor.....                                           | 155        |
| 8.3 Energetic features of litter in a major plantation forest—Chinese fir plantation .....  | 156        |
| References .....                                                                            | 159        |
| <b>Chapter 9 Effects of forest litter on physical and chemical properties of soil .....</b> | <b>160</b> |
| 9.1 Effects of forest litter on soil physical properties.....                               | 160        |
| 9.2 Effects of forest litter on soil chemical properties.....                               | 168        |
| 9.3 Forest litter and soil organic matter.....                                              | 174        |
| References .....                                                                            | 180        |
| <b>Chapter 10 Forest litter and soil biology .....</b>                                      | <b>182</b> |
| 10.1 Effect of forest litter on soil microbes.....                                          | 182        |
| 10.2 Soil enzyme activity of forest litter layer .....                                      | 188        |
| 10.3 Forest litter and soil fauna.....                                                      | 194        |
| References .....                                                                            | 209        |
| <b>Chapter 11 Water retention function of forest detritus .....</b>                         | <b>211</b> |
| 11.1 Water and soil retention by forest litter .....                                        | 211        |

---

|                   |                                                                          |            |
|-------------------|--------------------------------------------------------------------------|------------|
| 11.2              | Run-off interception by forest litter.....                               | 217        |
| 11.3              | Forest litter and soil evaporation.....                                  | 219        |
| 11.4              | Anti-erosion capacity of forest litter.....                              | 222        |
| 11.5              | Hydro-chemical properties of forest litter layer .....                   | 224        |
| 11.6              | Hydrological effect of coarse woody debris.....                          | 226        |
|                   | References .....                                                         | 228        |
| <b>Chapter 12</b> | <b>Litter and global environmental change.....</b>                       | <b>230</b> |
| 12.1              | Global warming effects on litter decomposition and nutrient release..... | 230        |
| 12.2              | Effect of acid rain on forest litter .....                               | 233        |
| 12.3              | Effect of N deposition on forest litter decomposition.....               | 241        |
|                   | References .....                                                         | 245        |
| <b>Chapter 13</b> | <b>Forest detritus and forest regeneration .....</b>                     | <b>246</b> |
| 13.1              | Effect of forest litter on natural regeneration microenvironments.....   | 246        |
| 13.2              | Forest litter, seed storage and seed germination .....                   | 248        |
| 13.3              | Effect of logging residuals on artificial regeneration .....             | 250        |
| 13.4              | Forest litter allelopathic effects on regeneration .....                 | 254        |
| 13.5              | Effect of forest litter on sapling growth .....                          | 258        |
|                   | References .....                                                         | 261        |
| <b>Postscript</b> | .....                                                                    | <b>262</b> |

# 第一章 我国地带性森林类型凋落物产量及凋落过程

我国幅员辽阔、地域跨度大、地带性森林类型复杂多变。东部地区从南到北分布着热带雨林、亚热带常绿阔叶林、暖温带落叶阔叶林、温带针阔混交林以及寒温带针叶林等。西部地区由于地形的抬升以及水分分配的变化，森林类型由南向北又有明显的差异。森林凋落物是森林生态系统的重要结构组成，凋落物量某种程度上反映了森林初级生产力，森林类型和组成结构的变化也必然导致森林凋落物数量和组成的变化。对地带性森林类型来说，由于系统受人类干扰的程度较低，森林凋落物的残落过程及其数量与组成的变化反映了森林生态系统这一重要组成成分自然的变化规律。因此，本章主要以我国东部地区主要森林类型变化为主线，阐述森林凋落物的数量、组成及其残落过程，且重点分析凋落物组成中凋落物数量、组成及其凋落动态。

## 第一节 热带季雨林、雨林生态系统凋落物产量及凋落过程

我国的热带雨林主要分布在台湾省南部、海南岛、云南南部河口瑶族自治县和西双版纳地区。此外，在西藏自治区墨脱县境内也有热带雨林的分布，这是世界热带雨林分布的最北边界，位于北纬 29°附近。但以云南省西双版纳和海南岛的热带雨林最为典型。由于我国雨林是世界雨林分布的最北边缘，因此，林中附生植物较少，龙脑香科的种类和个体数量不如东南亚典型雨林多，小型叶的比例较大，一年中有一个短暂而集中的换叶期，表现出一定程度的季节变化，凋落量季节动态也比较明显。

### 一、自然地理概况及主要森林生态系统类型

#### 1. 自然地理概况

我国热带雨林属东亚热带雨林北缘。位于我国最南端，北界在北回归线附近。包括台湾、广东、广西、云南和西藏南部以及海南岛和南海诸岛屿。

该地区属热带季风气候，高温多雨，年平均气温大都为 22~26℃，最冷月平均气温在 12~16℃以上，积温为 8000~9000℃，绝对最低气温在 5℃以上，北部偶有 0℃的低温和轻霜，年降雨量大都都在 1500mm 以上，局部地区可达 3000~5000mm，但有些地方仅为 900~1200mm，而在降雨的分配上一般冬季相对干旱，在降水季节分配差异大的地方，5~10 月的雨量可达全年雨量的 80%以上。

#### 2. 主要森林生态系统

我国热带天然森林类型主要包括季雨林、雨林。季雨林的外貌具有明显的季相变化，乔木层多数分为两层，少数有一层或三层，树高通常为 15m 左右，少数可达 20m，包括

3 个类型：落叶季雨林、半落叶季雨林和石灰岩半落叶季雨林。雨林组成和结构都十分复杂，乔木层可分三层，树高 30~40m，个别类型高可达 50~60m，寄生植物繁多，藤本植物发达，板根和茎花现象普遍，包括 3 个类型：雨林、季节雨林和山地雨林。

## 二、热带雨林凋落物产量

东部热带地区——海南岛尖峰岭(北纬 18°23'~18°52', 东经 104°46'~109°2'), 在海拔 200m 和 850m 处, 依次分布着原生的半落叶季雨林和山地雨林。其凋落量分别为  $9.75\text{Mg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$  和  $9.51\text{Mg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$  (曾庆波等, 1997; 卢俊培等, 1989; 吴仲民等, 1994), 两个类型的年凋落量十分相近(表 1-1)。

表 1-1 热带雨林、季雨林的凋落量 ( $\text{Mg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ )

| 地点             | 类型             | 观测年份      | 叶               | 枝               | 花、果            | 杂物              | 总量              | 备注             |
|----------------|----------------|-----------|-----------------|-----------------|----------------|-----------------|-----------------|----------------|
| 海南<br>岛尖<br>峰岭 | 原生<br>山地雨<br>林 | 1982~1984 | 5.451<br>(70.7) | 1.642<br>(21.3) |                | 0.617<br>(8.0)  | 7.710<br>(100)  |                |
|                |                | 1988~1991 | 4.556<br>(55.2) | 2.461<br>(29.9) |                | 1.227<br>(14.9) | 8.244<br>(100)  |                |
|                |                | 1992~1995 |                 |                 |                |                 | 12.580          | 曾庆波等<br>(1997) |
|                |                | 平均值       |                 |                 |                |                 | 9.511           | 卢俊培等<br>(1989) |
|                | 次生<br>山地<br>雨林 | 1988~1991 | 5.236<br>(61.5) | 2.265<br>(26.6) |                | 1.012<br>(11.9) | 8.513<br>(100)  | 吴仲民等<br>(1994) |
|                |                | 1982~1984 | 7.449<br>(76.4) | 1.706<br>(17.5) |                | 0.595<br>(6.1)  | 9.750<br>(100)  |                |
| 西双版纳<br>勐仑     | 原生季<br>节雨林     |           | 7.410<br>(65.6) | 2.160<br>(19.2) | 0.950<br>(8.4) | 0.770<br>(6.8)  | 11.290<br>(100) | 郑征等<br>(1990)  |

注：括号内为百分数。

西部热带地区——云南西双版纳勐仑地区(北纬 21°41', 东经 101°25'), 在海拔 650m 左右分布着季节雨林, 它的凋落量为  $11.29\text{Mg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$  (郑征等, 1990), 分别是海南岛尖峰岭半落叶季雨林和山地雨林的 1.16 倍和 1.18 倍(表 1-1)。即西部热带季雨林年凋落物高于东部半落叶季雨林和山地雨林。

凋落物的组成以叶凋落物占的比例最大, 山地雨林和季节雨林叶凋落物为 55%~76%, 枝凋落物为 19%~30%, 其他花、果及杂物为 6%~15%。而半落叶季雨林的叶凋落物比例则较季节雨林大, 枝凋落物则较少, 这可能与构建森林类型的树种组成及环境条件有关。

上述凋落量与国外有关热带雨林的凋落量相比(表 1-2), 接近巴布亚新几内亚、澳大利亚、牙买加、马来西亚, 而高于泰国、印度和委内瑞拉(曾庆波, 1997)。

同一环境条件下、同为山地雨林, 但分别为原生林和次生林(表 1-1), 演替阶段不同, 其凋落物组成比例有较大差异。在次生演替状态的山地雨林中, 叶凋落物的比例明显较高, 而在原生状态的山地雨林, 枝凋落物与杂物的比例则明显较高。这与次生林的

树种变化及原生林的树枝较粗，大型花、果和附生植物数量较多有关。

表 1-2 我国热带季雨林、雨林与国外一些国家凋落量( $\text{Mg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ ) 的比较

| 国家地点            | 凋落量        |
|-----------------|------------|
| 中国海南尖峰岭(山地雨林)   | 9.51       |
| 中国云南西双版纳(季节雨林)  | 11.29      |
| 巴布亚新几内亚 Bulolo  | 8.76       |
| 澳大利亚北昆士兰        | 10.60      |
| 牙买加             | 6.00~11.00 |
| 马来西亚巴索          | 7.60~10.20 |
| 泰国 Sakaera 试验站  | 7.70       |
| 印度 Meghmlaya    | 5.50       |
| 委内瑞拉 San Carlos | 5.87       |

三、热带雨林凋落物的凋落过程

森林植物叶、枝、花、果凋落的过程，不仅受树木生理过程的制约，而且还深受气候条件的影响。因此，凋落过程月和年际变化，呈现出很大差异。

海南尖峰岭原生山地雨林枯枝落叶凋落量 1 月较低，占年凋落量的 3.4%，2 月以后凋落量迅速增加，到 6 月凋落量达到全年第 1 个高峰，占年凋落量的 13.5%，7 月、8 月凋落量又大幅度减少，9 月又开始增加，到 10 月的凋落量达到全年第 2 个高峰，即最高峰值，占年凋落量的 20.5%，11~12 月的凋落量又快速降低，2 个月的凋落量仅为最高月份(10 月)凋落量的 34.8%(图 1-1)。

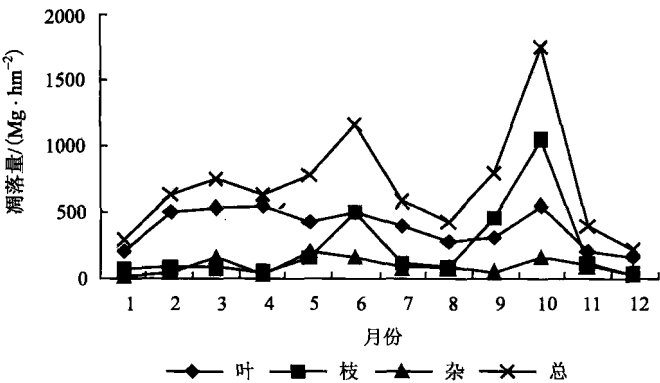


图 1-1 热带原生山地雨林凋落物的凋落过程

在凋落物各组分中，叶凋落量占总凋落量的绝大部分，故叶凋落量的变化与总凋落量基本一致；枝凋落物量的变化也大致相似，但 9 月、10 月的枝凋落量大于叶凋落量，



特别是 10 月的凋落量最大, 约占该月凋落量的 60% 左右。

热带次生山地雨林的枯枝落叶凋落量动态与原生山地雨林基本相似, 也是以 6 月和 10 月的凋落量最大, 不过与热带原生山地雨林不同之处在于, 热带次生山地雨林前一高峰(6 月)的凋落量大于后一高峰(10 月)。这种差异说明了两种森林类型在林龄和树种组成方面存在着差异。同时凋落过程与温度和降雨的关系也极为密切, 第 1 高峰期在干季末到湿季中期, 第 2 高峰在湿季末到干季初。

云南西双版纳季节雨林的枯枝落叶凋落量动态变化与海南尖峰岭的山地雨林有所区别, 季节雨林从 2 月开始落叶、落枝, 3~4 月(干季后期)达到高峰期, 花的凋落期发生在 4~6 月, 高峰期在 5 月, 果的凋落多发生在 8~9 月, 高峰期出现在 8 月。

## 第二节 亚热带常绿阔叶林生态系统凋落物 产量及凋落过程

由于海陆位置和大气环流影响, 以及青藏高原的存在, 我国亚热带温暖湿润气候区域广阔, 占全国总面积的 1/4 以上, 亚热带常绿阔叶林分布的地位非常显著, 从而成为世界上罕见的植被类型。

### 一、自然地理概况及主要森林生态系统类型

#### 1. 自然地理概况

我国常绿阔叶林分布的北界沿秦岭—淮河一线, 约北纬 34°; 南界在北回归线附近; 西界基本上是沿青藏高原东坡至云南的西藏国界线。包括浙江、福建、江西、湖南和贵州等省的全部, 江苏、安徽、湖北和四川等省的大部分地区, 河南、陕西、甘肃等省的南部和云南、广西、广东和台湾等省(自治区)的北部以及西藏的东部。亚热带属东亚季风气候, 东部夏季受太平洋暖湿气团影响, 冬季受来自西伯利亚冷气团的影响, 因而夏季气温高、降水多, 冬季寒冷、降水少; 西部夏季受印度洋西南季风影响, 冬季受西部热带大陆气团的影响, 所以气候温暖湿润、夏秋多雨、冬季干寒、干湿季比较明显。年平均气温 16℃ 左右, 一般不超过 22℃, 在东部地区 16~22℃, 西部 15~20℃, 大于 10℃ 的年积温 4500~7500℃ 或更高, 最冷月平均气温在 0℃ 以上, 最热月平均气温为 22~29℃, 无霜期 220~350 天, 年降雨量大于 1000mm, 最高可达 3000mm 以上, 且东部较西部高, 一般都分配在夏、秋两季内。

#### 2. 主要森林生态系统类型

由于亚热带地域广阔, 区域内自然地理状况差异较大, 常绿阔叶林结构和组成种类区域明显。常绿阔叶林组成以壳斗科、樟科、山茶科和木兰科等为主, 但根据常绿阔叶林结构和组成种类以及亚热带自然地理状况的差异, 且将常绿阔叶林分为三大主要类型: 南亚热带季风常绿阔叶林、中亚热带常绿阔叶林和北亚热带常绿落叶阔叶林。

二、南亚热带季风常绿阔叶林

南亚热带季风常绿阔叶林是地带性的森林植被类型，它是热带季雨林、雨林向亚热带常绿阔叶林的过渡类型，森林群落的主要组成种类是刺栲(*Castanopsis hystrix*)、华南栲(*C. concinna*)以及樟科的厚壳桂(*Cryptocarya chinensis*)、黄果厚壳桂(*Cr. Concinna*)等，除此之外还有桃金娘科、楝科、桑科、茜草科、紫金牛科、杜英科、豆科和棕榈科等树种。

1. 季风常绿阔叶林枯枝叶凋落量

由于南亚热带开垦较早，地带生的季风常绿阔叶林遭到了严重的破坏。目前仅在广东鼎湖山和黑石顶自然保护区有保存较好的季风常绿阔叶林。根据中国科学院华南植物研究所 19 年的观测，广东鼎湖山黄果厚壳桂 + 锥栗(*Castanopsis chinensis*) + 厚壳桂 + 木荷(*Schima superba*)群落凋落量的年际变化较大，为  $6.39\sim 11.04\text{Mg}\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ ，变异系数为 14%(官丽莉等，2004)。广东黑石顶自然保护区一百年生的季风常绿阔叶林平均凋落物量为  $5.31\text{Mg}\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ (陈章和等，1992)，仅是鼎湖山的 63.3%(表 1-3)。

表 1-3 季风常绿阔叶林凋落物组成和凋落量( $\text{Mg}\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ )

| 地点                                 | 林龄/年 | 叶              | 枝              | 花、果            | 其他            | 合计            |
|------------------------------------|------|----------------|----------------|----------------|---------------|---------------|
| 广东鼎湖山<br>23°09'~23°N, 112°30'~23°E | 400  | 4.26<br>(50.8) | 1.97<br>(23.5) | 2.16<br>(25.7) |               | 8.39<br>(100) |
| 广东黑石顶<br>23°31'N, 111.52°E         | 100  | 3.55<br>(66.9) | 1.18<br>(22.2) | 0.58<br>(10.9) |               | 5.31<br>(100) |
| 广东鼎湖山                              | 40   | 5.08<br>(77.2) | 1.18<br>(17.9) | 0.11<br>(1.7)  | 0.21<br>(3.2) | 6.58<br>(100) |
| 广西岑溪<br>23°07'N, 110°00'E          | 50   | 4.12<br>(51.1) | 2.18<br>(27.1) | 1.76<br>(21.8) |               | 8.06<br>(100) |
| 福建和溪<br>23°56'N, 117°14'E          | 50   | 5.42<br>(68.0) | 2.03<br>(25.5) | 0.52<br>(6.5)  |               | 7.97<br>(100) |

注：括号内为百分数。

据 2 年的观测结果，与上述原生季风常绿阔叶林相比，处于相似立地条件林龄 40 年的次生季风常绿阔叶林，平均凋落量为  $9.6\text{Mg}\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ ，约高于原生的季风常绿阔叶林 13.6%；若与林龄相似的广西岑溪和福建和溪的次生季风常绿阔叶林相比，也呈现出较高的趋势，分别高 11.1%和 20.5%(温远光等，1989；林鹏和邵成，1995)。

在凋落物的组成中，不论林龄大小，都以枯叶所占比例最大，占年凋落量的 51%~77%，其中中龄林的叶凋落量又大于老龄林；其次是枝的凋落量，占年凋落量的 18%~25%，但枯枝凋落物在老龄林和中龄林差异不大；花果凋落量却有很大的差异，以老龄林花、果凋落量大于中龄林。这种差异主要是由发育阶段所决定，中龄林光合器官生长大于老龄林，而老龄林则繁殖器官的生长大于中龄林。