

华南热带南亚热带森林生态系统 物质循环与能量流动研究

STUDIES ON MATTER CYCLING AND ENERGY FLOW OF TROPIC
AND SUBTROPIC FOREST ECOSYSTEMS IN SOUTHERN CHINA

中国科学院华南植物研究所
中国林科院热带林业研究所

华南热带南亚热带森林生态系统 物质循环与能量流动研究

(1990—2000)

项目主持人

周国逸 任 海

主要完成人

周国逸	任 海	李志安	李意德	彭少麟
闫俊华	申卫军	余作岳	蔡锡安	吴仲民
林永标	蚁伟民	刘菊秀	李跃林	侯爱敏

目 录

前言.....	1
代表性论文.....	3

第一部分 森林生态系统水分过程

1 周国逸, 热带北缘裸地与桉树林地降水—地表侵蚀特性的对比研究. 地理学报, 1997, 52 (6): 491—499.....	3
2 周国逸, 几种常用造林树种冠层对降水动能分配及其生态效应分析. 植物生态学报, 1997, 21 (3): 250—259.....	12
3 周国逸、潘维铸, 林地土壤的降雨入渗规律. 水土保持学报, 1990, 4 (2): 79—84.....	22
4 Zhou Guoyi, Comparative Study on Characteristics of Precipitation Soil Erosion between Bare and Eucalyptus (<i>Eucalyptus exserta</i>) Forest Lands. Second Circular Gcte/Pages/Igac/Bahc Workshop, "Spatial-temporal dimensions of High-Latitude Ecosystem Change (Siberian IGBP Transect)". 1997.....	28
5 申卫军、彭少麟、周国逸等, 鹤山丘陵草坡水文特征及水量平衡研究. 植物生态学报, 2000, 24 (2): 162—168.....	30
6 周国逸、彭少麟、余作岳, 马占相思人工林某些水文过程的基本规律初探. 生态学报(增刊), 1995, 15[Supp(A)]: 211—216.....	37
7 余作岳、周国逸、彭少麟, 小良试验站三种地表径流效应的对比研究. 植物生态学报, 1996, 20 (4): 355—362.....	43
8 周国逸, 不同年龄的马占相思人工林林内外降水动能比值的变化. 植物生态学报, 1999, 23 (增刊): 113—122.....	51
9 周国逸、余作岳、彭少麟, 广东小良试验站降雨径流关系的一个黑箱模型. 生态学杂志, 1995, 14 (4): 67—72.....	61
10 周国逸、余作岳、彭少麟, 小良试验站3种生态系统水量平衡的研究. 生态学报(增刊), 1995, 15[Supp(A)]: 223—229.....	67
11 周国逸、余作岳、彭少麟, 小良试验站3种植被类型地表径流效应的对比研究. 热带地理, 1995, 15 (4): 306—312.....	74
12 闫俊华、周国逸、申卫军, 用灰色关联法分析森林生态系统植被状况对地表径流系数的影响. 应用与环境生物学报, 2000, 6 (3): 197—200.....	81
13 周国逸、余作岳、彭少麟, 广东小良水保站三种生态系统地表侵蚀的研究. 热带亚热带植物学报, 1995, 3 (2): 70—76.....	85
14 Guoyi Zhou, Hydrological Impacts of Reafforestation with Eucalyptus and Indigenous Species in Southern China. International Conference on Forest	

Ecosystems-Ecology, Conservation and Sustainable Management, 2000.....	91
15 周国逸、余作岳、彭少麟, 小良试验站3种生态系统中土壤及地下水动态的对比研究。生态学报(增刊), 1995, 15[Supp(A)], 217-222.....	95
16 刘菊秀、温达志、周国逸, 广东鹤山酸雨地区针叶林与阔叶林降水化学特征。中国环境科学, 2000, 20(3) 198-202.....	101
17 申卫军、周国逸、彭少麟等, 南亚热带鹤山5种生态系统的地表径流。热带亚热带植物学报, 1999, 7(4): 273-281.....	106
18 闫俊华, 森林水文学研究进展(综述)。热带亚热带植物学报, 1999, 7(4): 347-356.....	115
19 周国逸、余作岳、彭少麟, 小良试验站3种生态系统中蒸发散的对比研究。生态学报(增刊), 1995, 15[Supp(A)]: 230-236.....	125

第二部分 森林生态系统物质元素循环过程

20 周国逸, 小仓纪雄, 酸雨对重庆几种土壤中元素释放的影响。生态学报, 1996, 16(3): 251-257.....	132
21 李志安、林永标、沈承德、孙彦敏, 马占相思与大叶相思人工林氮素营养特征研究。植物生态学报, 1999, 23(增刊): 77-83.....	139
22 李意德、吴仲民、曾庆波等, 尖峰岭热带山地雨林生态系统碳平衡的初步研究。生态学报, 1998, 18(4): 371-378.....	146
23 李志安、林永标、彭少麟, 华南五种人工林凋落物养分及其转移。应用生态学报, 2000, 11(3): 321-326.....	154
24 李意德、吴仲民、曾庆波等, 尖峰岭热带山地雨林群落生产和二氧化碳同化净增量的初步研究。植物生态学报, 1998, 22(2): 127-134.....	160
25 Guoyi Zhou, ACID PRECIPITATION IN MIDDLE AND UPPER XIANG JIANG RIVER BASIN AND ITS DAMAGES ON BEAUTIFUL SWEETGUM ECOSYSTEM OF YUELU MOUNT. In "PROCEEDINGS OF CHINA-JAPAN JOINT SYMPOSIUM ON THE IMPACTS AND CONTROL STRATEGIES OF ACID DEPOSITION ON TERRESTRIAL ECOSYSTEMS", China Sciences & Technology Press, 1992, 115-122.....	169
26 李志安、丁明懋、方炜、翁轰、蔡锡安, 马占相思人工森林生态系统养分物质的储存与分布。生态学报, 1995, 15(supp.A): 103-114.....	177
27 Guoyi Zhou, CHANGES OF WATER AND HEAT ENVIRONMENT IN THE PROCESS OF REHABILITATION OF THREE TROPICAL ECOSYSTEMS. Natural and Anthropogenic Changes Impacts on Global Biogeochemical Cycles, 1995, 77.....	190
28 李志安、王伯荪、翁轰等, 鼎湖山南亚热带季风常绿阔叶林凋落物养分动态研究。热带亚热带植物学报, 1998, 6(3): 209-215.....	191

- 29 李意德、曾庆波、吴仲民等, 我国热带天然林植被C贮存量的估算。林业科学研究, 1998, 11 (2): 156—162.....199
- 30 李志安、王伯荪、孔国辉等, 鼎湖山黄果厚壳桂群落植物元素含量特征分析。植物生态学报, 1999, 23 (5): 411—417.....206
- 31 任海、彭少麟、刘鸿先、余作岳, 小良热带人工混交林的凋落物及其生态效益。应用生态学报, 1998, 9 (5): 458—462.....213
- 32 李志安、方炜、吕冬梅, 鹤山丘陵4种土地利用类型土壤之理化性状。生态学报, 1995, 15(suppl.A): 93—102.....217
- 33 李志安、翁轰、余作岳, 人工林对土壤氮矿化的影响。植物学通报, 1995, 12 (生态学专辑): 142—148.....227

第三部分 森林生态系统能量环境

- 34 任海、彭少麟、张祝平、张文其, 鼎湖山季风常绿阔叶林林冠结构和冠层辐射研究。生态学报, 1996, 16 (2): 174—179.....234
- 35 周国逸、余作岳、彭少麟, 小良试验站三种生态系统能量平衡的研究。热带亚热带植物学报, 1999, 7 (2): 93—101.....240
- 36 任海、彭少麟、余作岳、蔡锡安, 马占相思群落发育过程中冠层结构和冠层辐射研究。生态学报, 1995, 15(suppl A): 58—64.....249
- 37 任海、彭少麟, 鼎湖山森林生态系统演替过程中的能量生态特征。生态学报, 1999, 19 (6): 817—822.....255
- 38 蔡锡安、任海、彭少麟、余作岳, 鹤山南亚热带草坡生态系统的太阳辐射能环境。热带亚热带植物学报, 1996, 5 (2): 40—46.....261
- 39 周国逸、康文星, 杉木人工林能量平衡的研究。东北林业大学学报。1990, 18 (1): 14—22.....268
- 40 蔡锡安、任海、彭少麟、余作岳, 鹤山草坡的能量平衡。热带亚热带植物学报, 1996, 4 (4): 210—214.....277

第四部分 森林生态系统能量流动

- 41 任海、彭少麟、刘鸿先, 鼎湖山森林群落主要植物器官热值研究。植物生态学报, 1999, 23 (2): 148—154.....283
- 42 Ren Hai & Peng Shaolin, Solar energy utilization efficiency of the manmade forests in Heshan, China. QFRI-IUFRO Conference Abstract, (Australia), 1996.....290
- 43 任海、彭少麟、余作岳、蔡锡安, 鹤山豆科植物混交林的能量特征和光能利用效率。生态学报, 1995, 15(suppl A): 49—57.....292
- 44 李意德、吴仲民、曾庆波等, 尖峰岭热带山地雨林群落呼吸量初步测定。林业科学研究, 1997, 10 (4): 348—355.....303

- 45 任海、彭少麟, 鹤山人工林的光能利用效率。植物生态学报, 1999, 23 (增刊): 104—112.....311
- 46 任海、彭少麟、向言词, 鹤山马占相思人工林的生物量和净级生产力。植物生态学报, 2000, 24 (1): 18—21.....320

第五部分 综合

- 47 周国逸, 关于恢复生态学。世界科技研究与发展, 1998, 20 (1): 52—54.....324
- 48 Hai Ren, Jianguo Wu & Shaolin Peng. A Hierarchical approach to the study and monitoring of ecosystem health. Managing for ecosystem health. International Congress on Ecosystem Health. 1999. Report No 24 of University of California. Davis CA USA, 93-94.....327
- 49 周国逸、彭少麟、余作岳, 退化生态系统恢复中水热限制因子作用—广东沿海台地水热条件的生态后果。中国科协第二届青年学术会议论文集, 北京: 中国科学技术出版社, 1995, 596—601.....330
- 50 任海、邬建国、彭少麟、赵利忠, 生态系统管理的概念及其要素。应用生态学报, 2000, 11 (3): 1—5.....336
- 51 任海、彭少麟, 南亚热带森林群落的叶面积指数测度。生态学报, 1996, 16 (6): 220—223.....340
- 52 李志安、翁轰、余作岳、Uwe Kehlenbeck, Horst Wiechmann, 人工植被对广东热带沿海侵蚀地土壤之影响。热带地理, 1996, 4: 310—318.....344
- 53 任海、彭少麟、孙谷畴, 广东中部两种常见灌木的生态学比较。植物生态学报, 1997, 21 (4): 386—392.....353
- 54 周国逸、黄忠良, 广州近35年来的气候变化。热带地理, 1999, 19 (3): 198—203.....360
- 55 周国逸, 生态系统水热原理。北京: 气象出版社, 1997.....366
- 56 彭少麟、任海, 南亚热带森林生态系统的能量生态研究。北京: 气象出版社, 1998.....372

发表的论著目录.....377

前 言

华南热带南亚热带森林生态系统类型极其丰富, 原生地带性植被类型主要为热带季雨林和南亚热带常绿阔叶林, 演替类型则更加多样, 按演替的方向则有进展演替类型(恢复过程的生态系统类型)和逆行演替类型(退化生态系统类型)。在全球范围内, 这个地区持续地受到关注, 是因为这里的森林生态系统有着与其它地区相比较高的生产力潜力, 生态系统的功能过程复杂多样并有着非常高的运转效率, 从而对全球大气圈、生物圈和水圈起着巨大作用。遗憾的是本区大范围的、区域性的森林生态系统功能过程的研究还是一个空白, 这对于全球陆地生态系统功能研究来说无疑是一个缺陷。因此, 对这一区域复杂的森林生态系统的物质循环与能量流动过程进行研究具有重要的意义。在理论上, 可以填补全球关于本区域生态系统功能过程研究的空白; 在实践上, 可以为改善生态环境、提高森林生产力和林业管理提供参考, 以实现生态、经济和社会的可持续发展。

本项目以鹤山、鼎湖山、尖峰岭、小良等野外定位研究站为基地, 并在面上广泛选点。研究对象涉及热带季雨林及其过渡类型、南亚热带常绿阔叶林及其过渡类型、极度退化的裸地生态系统、各种类型的南亚热带丘陵退化生态系统、各种类型的人工恢复生态系统等, 基本上对热带、南亚热带主要森林生态系统类型的功能过程都进行了深入的研究工作。

本项研究发现如下重要的研究成果: 1、提出了热带南亚热带退化生态系统恢复过程中的限制因子理论, 水热环境在季节上的不配合性导致了退化生态系统在雨季潜在的水土流失和干季高温少雨条件下形成的严酷生境, 限制了退化生态系统的恢复, 这就从功能上部分地阐明了为什么这个地区的顶极生态系统破坏后难以恢复—这个长期困扰学术界的问题; 2、在国内外首次提出了计算林内外雨滴动能的理论方法, 应用此方法探讨了大气降水在不同林冠下的冲蚀力问题, 填补了同类研究的空白; 3、从功能的角度探讨了鼎湖山南亚热带地带性森林形成的机制问题; 4、通过对马占相思林的研究表明, 整个人工林生态系统的营养主要储存于土壤中, 而非生物部分, 这与通常认为的热带成熟森林植物体内保持了系统绝大多数养分的观点不同; 5、首次提出南亚热带森林生态系统演替过程中

能量结构与能量流动评估体系, 热带亚热带森林能量趋向于平衡态时, 土壤能量会出现有透支的波动; 6、华南森林生态系统恢复过程中, 结构与功能恢复速率不同步, 模拟表明植物群落物种多样性恢复约需 40 年, 生物量恢复约需 100 年, 而土壤肥力恢复约需 140 年。

华南热带南亚热带森林生态系统物质循环与能量流动研究是在长期开展森林结构研究的基础上, 从 1990 年起, 经过 2 个单位 15 名科技人员的协力攻关完成。在此期间, 我们在广东省科委、中国科学院、国家林业部、国家自然科学基金委员会的多方资助下以及与多个国家(德国、美国、澳大利亚、日本)的合作研究, 投入了包括国家基金重大、重点、面上; 省基金重大、面上; 中科院重中之重、重大、重点等各级各类项目, 进行了为期 10 多年的森林生态系统结构与功能研究工作, 主要项目有: 中科院重大项目“热带亚热带退化生态系统的恢复与重建”, 中日美国国际合作项目“鼎湖山自然生态系统的保护研究”, 杰出青年基金(B)“热带亚热带几类主要生态系统功能过程受人为活动及全球变化影响的模拟及不同生态尺度的模型研究”, 中国科学院生物技术特别支持项目“热带亚热带退化生态系统恢复的过程, 机理及其时空耦合研究”, 省科委知识创新百项工程 1 项, 中科院院长基金 1 项和留学归国人员基金 2 项, 国家基金面上项目 1 项, 广东省基金面上项目 2 项, 所长基金 6 项。

本项目在完成过程中, 发表专著 2 本, 论文 100 余篇。这些论著受国内外同行的关注, 被国内外同行、国际和国内有关文摘引用和参考 600 多篇次。在成果完成过程中还培养博士 2 名, 硕士 3 名。为便于交流, 现将有关论著编辑成册, 敬请同行专家指正。

周国逸

2000 年 6 月 16 日

热带北缘裸地与桉树林地降水-地表侵蚀特性的对比研究*

周国逸

(中国科学院华南植物研究所, 广州 510650)

提 要 本文研究了水滴动能与地表侵蚀的相互关系问题, 通过对相邻的两个地类: 没有任何植被的光裸地和地表同样光裸但有人工桉树林的 2 个试验小集水区的对比研究, 说明了单位雨量下的侵蚀强度与水滴动能存在最为紧密的关系。裸地地表的侵蚀强度决定于大气降水动能, 而桉树林地的侵蚀强度却主要与林冠的穿透水水滴动能成正相关。总的说来, 桉树林林冠的存在加大了林地所接受的降水动能, 特别是在中小降雨强度的情况下更是如此, 这就说明了营造人工林时, 必须考虑到林冠结构与林地地表冲蚀的问题。

关键词 裸地 林冠 降水动能 穿透水动能 地表侵蚀

相近地点的有林地与无林地在降水-地表侵蚀特性上存在很大的差别, 引起这种差别的原因: 第一, 林冠的存在与否; 第二, 林下植被的有无; 第三, 土壤理化结构的差异; 第四, 人为的干扰与破坏^[1,2]。

本文试图阐述的是林冠的存在与否对降水-地表侵蚀的影响问题, 所选择的试验地特征是: 桉树林, 其林地光裸, 没有任何林下植被, 并且林冠结构简单, 只有一个林冠层。裸地, 其地表寸草不生, 因此不存在第二个方面的影响因子; 所选择的是永久性的试验小集水区, 人为干扰与破坏降低到了最低程度, 或者是具有同等的强度, 因此, 第四个方面的影响因子也可以忽略。

我们对观测结果进行一些数学处理, 使得讨论的现象不受两个试验地土壤理化结构差异的影响, 以期达到研究林冠对降水-地表侵蚀影响的研究目的。

1 试验地概况

试验地位于广东电白县小良水保站的沿海台地上, 地理位置为东经 $110^{\circ}54'18''$, 北纬 $21^{\circ}27'49''$, 属热带北缘地区, 受人为活动的影响, 原生植被已被破坏殆尽, 水土流失有上百年历史, 年平均气温 23°C , 最高气温 36.5°C , 最低为 4.7°C , 月平均气温在 18°C 以上者达 9 个月, 1981 年~1990 年 10 年间平均年雨量 $1\,454.5\text{ mm}$, 最大年雨量 1985 年 $2\,209.8\text{ mm}$, 最小年雨量 1984 年 $1\,128.7\text{ mm}$, 干湿季节分明, 干季(10 月~4 月)雨量只有 28.7%,

* 中国科学院生物科学与技术特别支持项目, 国家自然科学基金、广东省自然科学基金和中科院院长基金资助。余作岳研究员提供部分资料, 曾友特同志辅助少量计算, 致谢。

来稿日期: 1996-06; 收到修改稿日期: 1997-02。

湿季(5月~9月)占71.3%,降雨成因方式多为对流雨及台风雨。地带性土壤为砖红壤,由于水土流失严重,绝大部分表土已被蚀去,有些地方的表土光裸成板状,故称为光板地,这种类型的土壤不仅在裸地大量存在,桉树林下也非常普遍,土壤孔隙度小,结构致密,几乎没有非毛管孔隙,本研究的桉树林和裸地2个试验小集水区地形地貌基本一致,在造林前整个土壤剖面的土壤理化性质完全一样,剖面的平均厚度200 cm左右,面积分别为3.78 hm²和3.73 hm²。

桉树林林相简单,只有一个层次,林冠郁闭度为0.75,林冠平均枝下高为6.0 m,林下土壤绝大部分裸露,有关这2种试验地的详细资料请参看相应报道^[3]。

2 研究方法

2.1 观测方法

在裸地和桉树林林冠上分别设置降雨观测站以测定每一次降水过程;并测定了桉树林穿透水变化规律;同时,测定了每一次发生于地表径流中的土壤侵蚀量,并将侵蚀量分为悬浮质和推移质两种分别测定。

如上所有观测的时段为1983年1月~1989年12月,连续观测,没有间断。

在此基础上,笔者又于1994年和1995两年,分别测定了本地区大气降水雨滴直径随降雨强度变化的规律,和与观测期间桉树林林冠结构相似的桉树林下冠滴穿透水(从枝叶上滴落下来的穿透水)的水滴直径分布规律,它们可以简述如下:

大气降水雨滴直径随降雨强度服从如下的正态分布: $N(1.33+0.32\ln P, 0.76+0.0022P)$ (P 为降雨强度 mm/h);冠滴穿透水的水滴直径服从如下正态分布: $N(3.90, 1.09)$,即冠滴穿透水的水滴直径大小不受大气降水强度的影响。

同时测得林冠截留量服从如下规律: $I=0.647 0R^{0.548 1}$ (I 为林冠截留量 mm, R 为大气降水量 mm);树干茎流量的大小服从 $P_i=0.083 1R-0.046 4$ (P_i 为树干茎流量 mm; R 为大气降水量 mm)。

2.2 资料分析与整理

按2 mm/h的降雨强度间隔(即:0 mm~2 mm, 2 mm~4 mm等,上限排外)分别统计1983年1月~1989年12月期间内所有的降雨强度、降雨量、侵蚀物中的悬浮质量和推移质量。位于同一降雨强度区间内的所有降雨取平均强度;位于同一强度区间内的所有降雨量、悬浮质量和推移质量取总和。

2.3 大气降雨动能和林冠冠滴水动能计算方法

2.3.1 大气降雨雨滴稳定速度的计算

雨滴在下落过程中,受到的力主要有重力和各种阻力,重力可以表示为:

$$F_g = mg = \frac{1}{6}\pi D^3 \rho_w g$$

而各种阻力的和可以表示为:

$$F = K\pi D V_i^3$$

当两种力相等时,得到直径为 D_i 的雨滴的稳定速度为:

$$V_i = \sqrt[3]{\frac{D_i^2 \rho_w g}{6K}}$$

(除 D_i 以外, 均为常数, $K = 3.3075 \times 10^{-5} \text{ kg} \cdot \text{s/m}^3$)。

2.3.2 穿透水达到林地的终速度计算方法

穿透水分为两部分, 即没有受到枝叶阻挡的直接穿透水和从枝叶上滴落的间接穿透水, 直接穿透水的终速度计算方法与林外大气降水完全一样; 间接穿透水的初速度一般都可以认为是 0, 但到达林地的终速度大多没有达到平衡速度, 因此只能根据如上的雨滴受力状况, 求出雨滴的下落曲线, 然后, 根据林冠高度 (本文用林冠枝下高来代替) 算出到达林地的速度来, 本文推导的方程如下:

$$-\frac{A_i}{3} \ln(A_i - V_i) - 0.3023A_i + \frac{A_i}{6} \ln(V_i^2 + A_i V_i + A_i^2) + \frac{A_i}{\sqrt{3}} \arctan \frac{2V_i + A_i}{\sqrt{3}A} = gt$$

式中的 A_i 是直径为 D_i 的雨滴的平衡速度:

$$A_i = \sqrt[3]{\frac{D_i^2 \rho_w g}{6K}}$$

因此 $A_i > V_i$, 由此即可得到间接穿透水接触林地的速度。

这个方法中所要注意的问题是, 需要客观地反映林冠高度, 因为林冠是有一定范围的。考虑到研究中的桉树林林冠枝叶密度在枝下高处最大, 因而绝大多数雨滴最后都是从此处滴落的, 于是以此处的高度参加计算。这样处理实际上弱化了本文结果中所显示的规律, 但对结论没有影响, 并且根据计算, 误差也将小于 2%。

2.3.3 雨滴到达地表时的动能计算

将各雨滴的直径分成 n 个小区间 $[D_{i-1}, D_i]$ ($i=1, 2, \dots, n$), 使每个区间的大小为 δ (δ 的选取依所需的精度而定), 按正态分布规律, 分别计算某一降水强度为 P 的降雨中, 雨滴直径落在 $[D_{i-1}, D_i]$ 区间的雨滴频率。并令 $m_1, m_2, \dots, m_i, \dots, m_n$ 分别为每个区间的雨滴质量 (kg), $f(D_i)$ ($i=1, 2, \dots, n$) 为某雨滴其直径落于第 i 个区间 $[D_{i-1}, D_i]$ 的概率, N 为某一降水强度为 P 的大气降雨的雨滴总数, M 为本次降水的总质量 (kg), 它可以作为一个已知数, ρ_w 为雨水的密度, 则:

$$m_1 = \frac{N}{6} \pi D_1^3 \rho_w \int_{D_0}^{D_1} f(D) dD$$

$$m_2 = \frac{N}{6} \pi D_2^3 \rho_w \int_{D_1}^{D_2} f(D) dD$$

$$\dots\dots\dots$$

$$m_n = \frac{N}{6} \pi D_n^3 \rho_w \int_{D_{n-1}}^{D_n} f(D) dD$$

$D_1, D_2, \dots, D_n$ 是各个区间的中值, 与 $f(D_i)$ 中的 D_i 意义一样, 将上式两边同时求总和:

$$M = \frac{N}{6} \pi \rho_w \left\{ D_1^3 \int_{D_0}^{D_1} f(D) dD + \dots + D_n^3 \int_{D_{n-1}}^{D_n} f(D) dD \right\}$$

这样对于降雨量为 M 的降水, 其雨滴总数可求, $m_1, m_2, \dots, m_i, \dots, m_n$ 也可得到, 从而由相应的 $V_1, V_2, \dots, V_i, \dots, V_n$ 即可算出到达空旷地地表和林地的雨滴动能值。

到达林地的降水动能来自两个方面:

第一个方面是林冠冠滴穿透水(即从枝叶上滴落下来的水)所给予的, 冠滴穿透水的量可按如下公式计算, 其量再参与如上的动能计算。

$$M = \alpha R - I - P, \quad (2-1)$$

式中 M 为冠滴穿透水量 mm; α 为林冠的郁闭度, 无单位; 其它符号意义和单位同前。

第二个方面是通过林冠空隙的大气降水所给予的, 如果假定空旷地的大气降水动能为 K_0 (J/cm²), 冠滴穿透水的动能为 K_c (J/cm²), 则林地所接受的水滴动能 K_l (J/cm²) 可以写成:

$$K_l = K_c + (1 - \alpha)K_0.$$

如果用 λ 来表示林地所接受的水滴动能与空旷地所接受的降水动能的比值, 则有:

$$\lambda = \frac{K_c + (1 - \alpha)K_0}{K_0} \quad (2-2)$$

3 结果与分析

3.1 影响单位降雨量下地表侵蚀的因子分析

从图 1 中可以看到, 裸地单位雨量的悬浮质侵蚀量和推移质侵蚀量与大气降水强度都有明显的相关性, 其相关系数分别为 $r=0.833$ 和 $r=0.779$, 说明雨滴的溅击, 确实加大了侵蚀量, 广东省科学院丘陵山区综合科学考察队 (1991) 对这个问题曾有过类似的定性结论^[4]。在这个过程中, 受影响最深的是侵蚀物中的悬浮质。

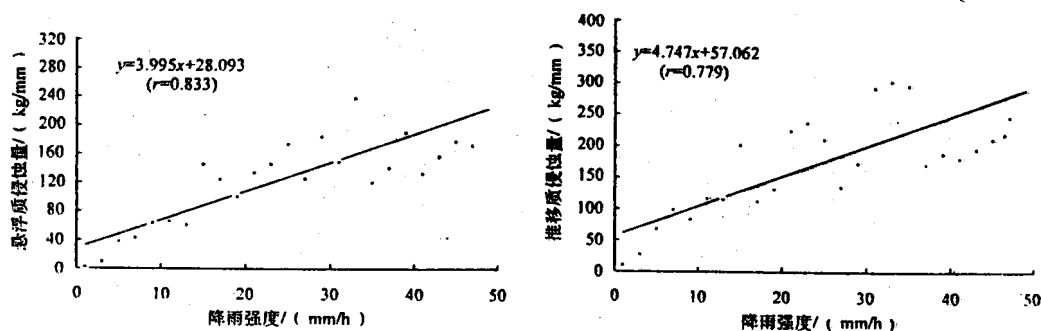


图 1 裸地单位雨量的侵蚀量 (kg/mm) 随大气降雨强度 (mm/h) 的变化

Fig. 1 Changes of soil erosion in unit rainfall (kg/mm) with atmospheric precipitation intensity

图 2 是将降水动能代替图 1 中的降水强度所算得的结果, 说明侵蚀量与降水动能的相关性更高, 降雨对下垫面溅击的直接影响因子是降雨动能。

对于桉树林地, 无论是悬浮质侵蚀量或者是推移质侵蚀量, 其与大气降雨强度的关系都是很小的。

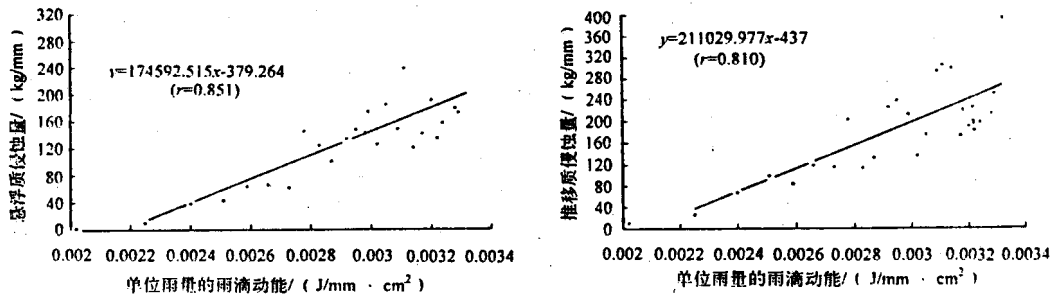


图2 裸地单位雨量的侵蚀量 (kg/mm) 随单位雨量的雨滴动能 ($\text{J}/\text{mm} \cdot \text{cm}^2$) 的变化

Fig. 2 Changes of soil erosion in unit rainfall (kg/mm) with the kinetic energy of unit rainfall ($\text{J}/\text{mm} \cdot \text{cm}^2$)

从图3中可以看到桉树林地单位雨量中的推移质量随大气降水强度在 $0 \text{ mm/h} \sim 23 \text{ mm/h}$ 的范围内主要表现为增加的趋势, 这以后的趋势是减小, 大体上呈单峰曲线。但相关性并不很大, 这两段的直线相关系数分别为: 前面部分 ($0 \text{ mm/h} \sim 23 \text{ mm/h}$) $r_1 = 0.678$, 后面部分 ($23 \text{ mm/h} \sim 49 \text{ mm/h}$) $r_2 = -0.652$ 。由于大气降水强度与单位雨量下的大气降水动能 ($\text{J}/\text{mm} \cdot \text{cm}^2$) 之间存在对应关系, 可以预见林地推移质侵蚀量与林外大气降水动能间的关系也是非常小的。但与林地所接受到的雨滴动能 (用 $\text{J}/\text{mm} \cdot \text{cm}^2$) 却有非常明显的关系, 图3表明林地上雨滴动能随空旷地大气降水强度的变化趋势基本上与悬浮质量、推移质量的变化趋势相一致。林地上的雨滴动能与外部大气降水强度的关系不大, 但强烈影响侵蚀量。

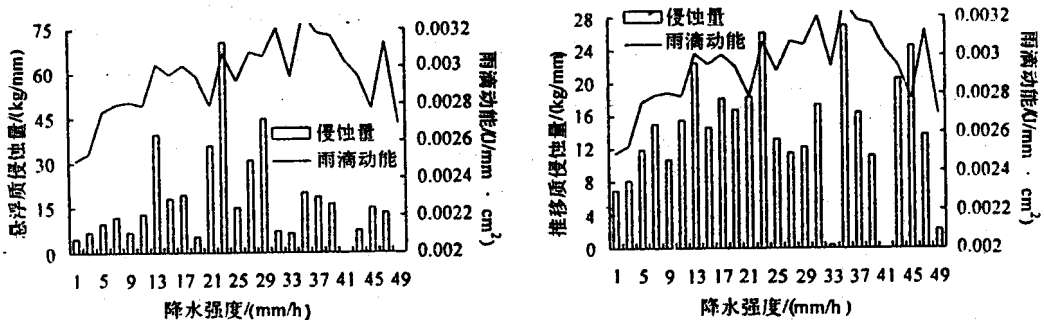


图3 桉树林地单位雨量的悬浮质侵蚀量 (kg/mm) 与单位雨量的雨滴动能 ($\text{J}/\text{mm} \cdot \text{cm}^2$) 和大气降雨强度 (mm/h) 之间的相互关系

Fig. 3 Changes of suspended solid in unit rainfall (kg/mm) with the kinetic energy of unit rainfall ($\text{J}/\text{mm} \cdot \text{cm}^2$) and rainfall intensity (mm/h)

这就反映出了林冠对大气降水动能的调节作用。因为从上面的讨论可知, 空旷地的降雨侵蚀强度 (单位雨量下的侵蚀量) 受降雨强度的影响, 更受大气降水动能的影响。这个规律在森林内变为林地降雨侵蚀强度主要受穿透水动能的影响, 而与外界大气降水强度关系不大, 这之中的原因当然是由于林冠的调节作用所致。

3.2 影响桉树林下渗透水动能的因子分析

前面说明了水滴动能在地表侵蚀中的主导作用,所用的是 1983 年~1989 年的全部资料,没有对任何一场降水进行剔除等处理,因此是完全可信的。这里接着讨论影响桉树林下渗透水动能的各个因子。

3.2.1 本区降水强度的频率分布状况

降水强度不同,在通过林冠的调节后,到达林地的降水动能与空旷地的大气降水动能之比是完全不同的。10 年的测定表明试验区各个降水强度下的降水量占总降水量的百分比,雨强 <2.5 mm/h 的小雨占总雨量的 5.53%, 2.5 mm/h $\leq$ 雨强 <8.0 mm/h 的中雨占总雨量的 31.57%, 8.0 mm/h $\leq$ 雨强 <16.0 mm/h 的大雨占总雨量的 28.9%,雨强 ≥ 16.0 mm/h 的暴雨占 34.0%;从降水次数的百分比来看,以降水强度为中雨的降水次数最多。

3.2.2 λ 随大气降水量的变化

针对林冠枝下高为 6 m、郁闭度为 0.75 的桉树林,图 4 给出了 λ 随降水量的变化情况,对于各种降水强度,都为单调增加函数。但在降水量较小时(降水量 <4 mm),其增加的速度很快,这反映出林下渗透水从无到有的变化过程,而随着降水量的增加,增加的速度急剧减小。在图中可以划出使得 $\lambda < 100\%$ 的范围,在这个范围内,林冠的存在对减少林地的土壤侵蚀有利。

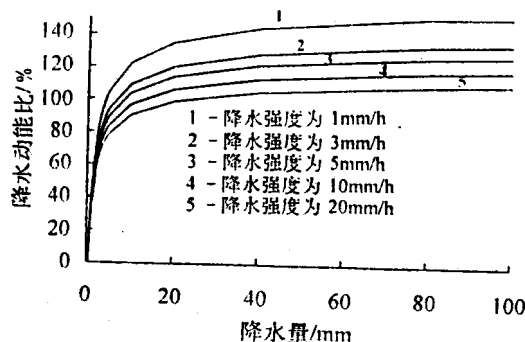


图 4 林地所接受的降水动能与林外空旷地降水动能比 λ (%) 随降水量的变化

Fig. 4 Changes of ratio λ (ratio of kinetic energy of forest land to that of open place) with rainfall (mm)

3.2.3 λ 随大气降水强度的变化

针对林冠枝下高为 6 m、郁闭度为 0.75 的桉树林,图 5 所示 λ 随大气降水强度的增加而单调地减小,降水强度在 5 mm/h 以下时,减小的速度是非常快的,这个规律在降水量较大时更加明显。

3.2.4 λ 随林冠高度的变化

本文对降水强度为 5 mm/h、降水量为 24 mm 等一系列(它们分别是降水强度为 5 mm/h, 降水量为 24 mm; 5 mm/h, 35 mm; 5 mm/h, 50 mm; 5 mm/h, 10 mm; 2 mm/h, 24 mm; 10 mm/h, 24

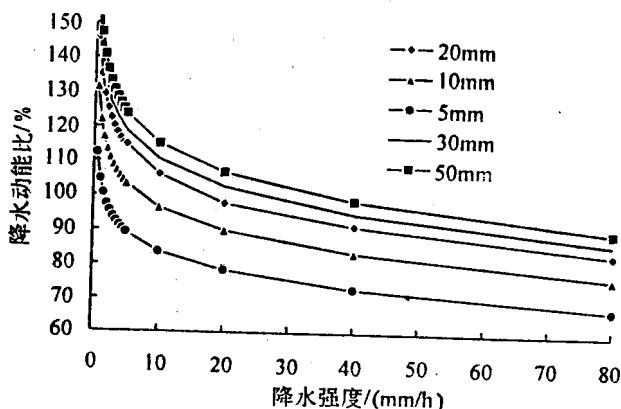


图 5 λ 随大气降水强度的变化

Fig. 5 Changes of λ with rainfall intensity (mm/h)

mm; 30 mm/h, 24 mm 等 7 组) 本区最为经常性的降水进行了林冠高度对 λ 的模拟, 结果如图 6 所示, 它表明 λ 随林冠高度的增加而增加, 其增幅最快的区域大都处于 $2\text{ m} < H < 6\text{ m}$ 的区间里。

3.2.5 λ 随林冠郁闭度的变化

林冠郁闭度 (介于 0~1 的范围) 从两个方面影响 λ 值: 其一是通过式 (2-2) 进行的; 其二是林冠郁闭度的大小将直接影响冠滴穿透水的量, 影响方式以式 (2-1) 来描述。这两个方面对 λ 值的影响一般情况是一正一负的, 即林冠郁闭度的增加由式 (2-1) 将带来冠滴穿透水的增加从而加大 λ 值, 但林冠郁闭度增加后, 由式 (2-2) 也将减少 λ 值。本文用降水强度为 5 mm/h, 降水量为 24 mm 的降水算得的情况说明随郁闭度 (α) 呈一直线形式增加 [$\lambda(\%) = 77.31\alpha + 58.33$]。

3.3 考虑到本区降水特性时, 林冠结构对地表侵蚀影响的讨论

3.3.1 两类地表的总降水动能与总侵蚀量

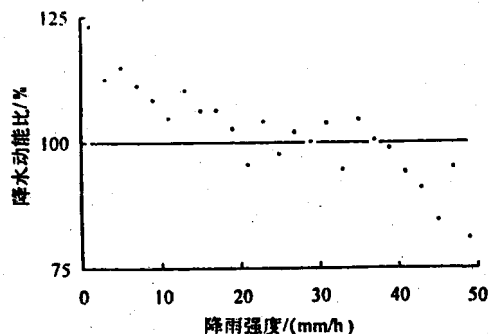


图 7 桉树林地的水滴动能与裸地的降水动能比随降雨强度的变化

Fig. 7 The changes of the ratio (%) of water-droplet kinetic energy of forest land to that of bare land with rainfall intensity (mm/h)

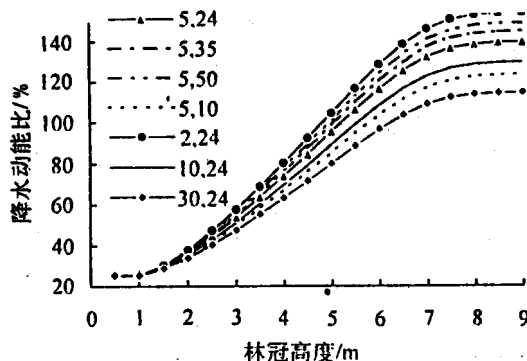


图 6 λ 随林冠高度 (m) 的变化

Fig. 6 Changes of λ with the height of canopy (m)

研究期间内, 裸地的总降水动能为 247 811 J/m², 桉树林地的总降水动能为 265 554 J/m², 说明林冠的存在确实加大了林地的降水溅击作用。平均 λ 值为 107.2%, 这个并不很大的 λ 值归功于本区的降水特性, 因为在这里雨强 $\geq 16.0\text{ mm/h}$ 的暴雨占 34.0%, 但从图 7 可以看到, 并不是降雨强度大于某一临界值后, 林地降水动能与空旷地降水动能相比就都减少了, 因为这之中还受到降水量的影响, 而降水量将影响林冠截留量, 进而影响冠滴穿透水的多少。

在表 1 中, 虽然桉树林的各种侵蚀量都比裸地小, 但这并不是雨滴动能的贡献, 主要是由于土壤理化性质的差异所引起, 桉树林土壤表层板结坚硬^[5-7], 土壤中还有大量的树木根系, 这些因素抵销了林冠的负作用。

表 1 每平方米面积上, 桉树林地与裸地的侵蚀量一览表

Tab. 1 The soil erosion of eucalyptus forest land and bare land in each square meter

地 类	悬浮质 (kg/m ²)	推移质 (kg/m ²)	总侵蚀 (kg/m ²)	雨滴动能 (J/m ²)
裸 地	18.658 8	28.517 9	47.176 7	247 811
桉树林	4.377 4	8.039 1	12.416 5	265 554

3.3.2 侵蚀特性的对比

表 2 清楚地说明,与裸地相比,桉树林地总的说来中小强度的降雨侵蚀占的比重较大,但对于不同的侵蚀物,其侵蚀特性有些不同,推移质侵蚀的这个规律更加明显。

如果将这个规律与图 5、图 6 结合起来,我们可以认为对于大多数降水,桉树林冠的存在都加大了降水对地表的冲蚀作用。

表 2 不同雨强下侵蚀量占总侵蚀量的百分比

Tab. 2 The percentage of soil erosion in various rainfall intensity to the total one

雨强 (mm/h)	地类	悬浮质 (%)	推移质 (%)	总侵蚀 (%)
0<雨强<2.5	裸 地	0.397	0.862	0.678
	桉树林	1.75	1.26	1.43
2.5≤雨强<8	裸 地	14.2	19.3	17.3
	桉树林	17.5	68.1	50.3
8≤雨强<16	裸 地	32.8	43.8	39.5
	桉树林	32.1	14.0	20.4
雨强≥16	裸 地	52.6	36.0	42.5
	桉树林	48.7	16.6	27.9

4 结论

(1) 降水动能是影响地表侵蚀强度的直接因子,无论是桉树林地还是裸地,其侵蚀强度都与雨滴动能密切相关。

(2) 桉树林林冠加大了到达林地的水滴动能, λ 值随降水强度、降水量、冠层高度以及林冠郁闭度而发生变化。

(3) 两种地类的降水-地表侵蚀的类型有所不同,桉树林主要以中小雨侵蚀为主,而裸地主要以暴雨侵蚀的形式为主。

参 考 文 献

- 1 Ferreira A G, Rutter A J. Energy dissipation for water drop impact into shallow pools. *Soil Sic. Soc. Am. J.*, 1985, 49 (6) : 1537~1542.
- 2 Andrews J. Forestry and Conservation; a reply. *Ecos*, 1984, 5 (1) : 14~18.
- 3 余作岳, 皮水丰. 广东热带沿海侵蚀地的植被恢复途径及其效应. 热带亚热带森林生态系统研究, 1985 (3) : 97~108.
- 4 广东省科学院丘陵山区综合科学考察队. 广东山区水土流失及其治理. 广州: 广东科技出版社, 1991. 67~70.
- 5 周国逸, 彭少麟, 余作岳. 退化生态系统恢复过程中的水热限制因子作用——广东沿海台地水热作用的生态后果. 中国科学技术协会第二届青年学术会议论文集 (生命科学分册). 北京: 中国科学技术出版社, 1995. 596~601.
- 6 周国逸, 余作岳, 彭少麟. 广东小良水保站三种生态系统地表侵蚀的研究. 热带亚热带植物学报, 1995, 3 (2) : 70~76.
- 7 周国逸, 余作岳, 彭少麟. 小良试验站三种植被类型地表径流效应的对比研究. 热带地理, 1995, 15 (4) : 306~312.

A COMPARATIVE STUDY ON THE CHARACTERISTICS OF PRECIPITATION-SURFACE SOIL EROSION IN BARE LAND AND EUCALYPTUS FOREST LAND OF NORTH TROPIC REGION

Zhou Guoyi

(South China Institute of Botany, Academia Sinica, Guangzhou 510650)

Key words bare land, forest canopy, rainfall kinetic energy, throughfall kinetic energy, surface soil erosion

Abstract

The relation between water drop kinetic energy and surface soil erosion has been studied here. Two types of land surface have been taken into consideration, they are bare land without any vegetation on it and eucalyptus forest land without any undercover. The results showed that there was a close relation between water drop kinetic energy and soil erosion intensity of unit rainfall, and the water drop kinetic energy was the direct factor which caused the soil erosion of land surface. For bare land, its erosion intensity was determined by atmospheric raindrop kinetic energy. However, for eucalyptus forest land, it was relative to throughfall water drop kinetic energy and had no relation with that of atmospheric rainfall.

Throughfall kinetic energy can not be affected by atmospheric precipitation intensity, but it is determined by the structure of forest canopy (including tree species, canopy density, leaf-area index, height of canopy etc). And thus, when atmospheric precipitation intensity in open place is smaller, the parameter λ (in %) will be larger, which means that the forest canopy will enlarge the soil erosion of forest land. Correspondingly, when atmospheric precipitation intensity in open place is larger, the parameter λ (in %) will be smaller, which means that the forest canopy will reduce the lashing of waterdrops to forest land, and thus, have the positive effects on soil conservation.

The value of λ changes with atmospheric precipitation intensity, rainfall, height of canopy and canopy density. The characteristics of soil erosion for these two studied areas were different. Soil erosion from the eucalyptus forest land was mainly caused by the rainfall with middle and small precipitation intensity, but that from bare land was mainly caused by the rainfall with heavy precipitation intensity.

As a whole, the canopy of eucalyptus forest increased the impact of water drop to land surface, especially in the situation of middle and small intensity of atmospheric precipitation. This study explained that we should consider the influence of forest canopy structure on forest land erosion when making plantation.