

# 密云山区油松人工林内外降雨特性初步研究

罗德, 余新晓, 董磊

(北京林业大学 水土保持与荒漠化教育部重点实验室, 北京 100083)

**摘要:** 采用先进的 LNM 激光雨滴谱探测仪, 连续不间断观测北京密云水库周边山区 2006 年 8 月—2007 年 1 月的降水过程; 结合以往研究雨滴所采用的方法和成果, 从降雨产生能量的机理入手, 观测分析了北京密云水库周边人工林林内外降雨雨滴特性和降雨动能的变化。林外天然雨滴平均直径和雨滴中数直径都有随降雨强度的增加而增加的趋势; 林外的雨滴直径较林内分布范围小, 林外雨滴直径与累积雨量之间的关系曲线较林内平滑; 小雨强 ( $\leq 0.35$  mm/h) 气象条件下, 林内降雨动能显著高于林外降雨动能, 可初步认为在小雨强时林冠层对降雨能量有增大作用。

**关键词:** 雨滴谱; 降雨动能; 降雨强度; 林冠

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2008)02-0067-04

中图分类号: S152.72

## Changes of Natural Rainfall Characteristics Through Pine Forest Canopy in Miyun Mountain Region

LUO De, YU Xin xiao, DONG Lei

(Key Laboratory of Soil and Water Conservation and Desertification

Combating of the Ministry of Education, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China)

**Abstract:** By using advanced laser LNM raindrop spectrum detector, precipitation in the mountain area around Miyun Reservoir of Beijing City, was continuously detected from August 2006 to January 2007. Combined with previous methods and research results on raindrop and started from the mechanism that rainfall generates energy, the changes of raindrop characteristics and rainfall energy outside and inside forest canopy in the area were analyzed. The result indicates that average diameter and the median diameter of natural raindrops outside forest canopy decrease with increased rainfall intensity. Raindrop size distribution outside forest canopy is commonly lower than that inside forest canopy. Curve for the relationship between raindrop diameter and cumulative precipitation outside forest canopy is smoother than that inside forest. At low rainfall intensity ( $\leq 0.35$  mm/h), rainfall energy inside forest canopy is significantly greater than that outside forest canopy. So, it may be agreed that forest canopy can increase the effect of rainfall energy at low rainfall intensity.

**Keywords:** raindrop size distribution; rainfall energy; rainfall intensity; forest canopy

降雨能量直接关系到侵蚀力, 是水土保持研究中的重点问题和热点问题之一, 而关于降雨特征的研究又是其中的基础研究。目前多数研究采用人工模拟降雨方法研究雨滴分布和动能, 但对天然降雨研究较少。水力侵蚀发生的主要动力为降雨和径流, 从能量的观点出发, 两者的和称为侵蚀能量。只有削弱降水能量, 才能从根本上阻止和减缓土壤侵蚀<sup>[1]</sup>。目前已形成多种能量计算公式, 这些公式在解决实际问题的

时候, 遇到了地域差异性和无法测定因素的干扰而形成诸多棘手的问题。为了研究防护林林冠层对降雨雨滴及其动能的影响, 深入地理解植被保持水土的作用机制, 本实验在密云水库周边山区对防护林林下雨滴谱及降雨动能进行了初步研究。

天然降水通过林冠层时, 要经过冠层枝叶的阻挡、分割、滞留和削能, 以穿透降水、二次降水和干流的形式到达地表。林冠层对天然降水的空间位移作

收稿日期: 2007-09-28

修回日期: 2007-12-31

资助项目: 国家“十一五”科技支撑计划项目(2006BAD03A0201)

作者简介: 罗德(1980—), 男(汉族), 青海省西宁市人, 硕士, 主要研究方向为水土保持和水文水资源。E-mail: luononame@163.com。

通讯作者: 余新晓(1961—), 男(汉族), 甘肃省平凉市人, 教授, 博士生导师。主要研究方向为水土保持和森林植被生态。E-mail: yuxinxiao111@126.com。

用和机械作用的结果使得林冠层穿透降水的能量特征显著不同于天然降水<sup>[1]</sup>。正确的认识冠层的削能特征,对于确切评价森林水土保持作用具有重要意义。为此我们采用 LNM 激光雨滴谱探测仪,对森林冠层的削能作用进行了野外实测,得到了精确的实验数据。

本研究在降雨观测上摆脱了以往采用的传统方法,而是由先进的 LNM 激光雨滴谱仪,分析测试雨滴特性以及各项特性指标之间的相互影响关系,大大减少了由于忽略或无法探测天然降雨特性而引起的误差,在不同降雨量、降雨历时、雨型、雨强条件下,精确探测了雨滴的径级分布和能量,明确了雨滴能量与降雨强度之间的关系。

试验地位于密云水库流域翁溪庄北京市水源保护林试验工作站周边坡面的人工油松林地内。气候类型属于暖温带半湿润季风型大陆性气候,年均降雨量为 660 mm,年际和年内变幅大,全年降雨量的 80%~85%集中在 6—9 月份。该林地西南坡向,海拔约 210 m,坡度 32°。由于人为干扰小,林下枯枝落叶层保存较好,平均厚度为 5~7 cm。土壤为棕壤,土层厚度 80 cm 左右。

## 1 研究方法

### 1.1 雨滴大小分布

降雨雨滴特征的观测,是研究天然降雨雨滴动能中不可缺少的一个组成部分。雨滴的大小和分布是降雨的基本特征,也是计算一些降雨参数的依据。目前研究多采用方格薄板法、滤纸法、面粉球法、色斑法、高速摄影法和雷达法间接测定雨滴大小<sup>[2,6-7,11]</sup>。本次研究采用激光雨滴谱仪,精确探测了各种气候环境下林内外降雨雨滴的特性。

LNM 激光雨谱仪器利用激光对雨滴谱进行全谱观测,可观测小雨、大雨、冰雹、雪、混合型降水。激光源(半导体激光)能放射出一对平行的光束(红外线,780 nm),位于二极管摄影镜头一边的接受器,用于探测光强并把它转化成电子信号。当粒子通过探测器观测区域时(探测面积 45.6 cm<sup>2</sup>)接收的激光信号就会减少,而后通过光学二极管感应探测出来。粒子的直径的大小是通过信号减少幅度而感应出来,雨滴速度的大小决定于信号减少的持续时间。

所能探测的数据包括雨型、雨强和雨滴谱。用户可以通过 RS485/422 界面来获取所有探测的数值。另外,该仪器还装配了两套数字输出(光耦),它能测量和显示出降水量和降水状态。仪器通过自身附带

的“频道选择”能够测量传输温度、相对湿度、风速和季风方向。

要计算雨滴动能除了研究雨滴的大小外,还必须研究其分布,即雨滴组成,以及这种分布在不同雨型中的变化<sup>[1]</sup>。单位面积雨滴的碰撞力取决于雨滴的大小、数目以及由风的驱动力所引起的雨速的增加。由于对于一定雨型,雨滴大小组成分布随雨强而变化<sup>[3]</sup>,我们根据激光雨滴谱仪雨强变化记录和雨滴大小组成的实测资料,可以归纳雨滴大小随雨强变化的规律。次降雨的雨滴分布用该次降雨雨滴累积体积百分曲线表示,其中累积体积为 50% 所对应的雨滴直径称为中数直径,用  $D_{50}$  表示。将雨滴大小分布与降雨强度联系起来,发现可用下列方程表示二者之间的关系

$$D_{50} = 2.23I^{0.182/4}$$

式中:  $D_{50}$ ——次降雨雨滴的中数直径(mm);  $I$ ——降雨强度(mm/h)。

许多研究结果均表明,对于一定地区的雨滴中数直径与雨强的关系随雨型的不同而有差异,当天然降雨雨滴增大到某一粒径后,在降落过程中,尤其在有风作用下很不稳定<sup>[5]</sup>。在研究期间其降雨基本都是降雨强度较小的锋面雨或地形雨,因此研究得出天然雨滴大小分布与雨强的关系仅限北京山区应用。

### 1.2 雨滴降落速度

天然降雨雨滴速度是指雨滴在降落过程中本身的重力与空气阻力平衡时所达到的匀速运动的速度,常称为终点速度。不过风力影响下的雨滴速度要比停滞大气中的终点速度为大。江忠善<sup>[6]</sup>运用物体在静止流体中的沉降速度规律探讨了雨滴速度的计算公式。

当  $d < 1.9$  mm 时,采用修正的沙玉清公式

$$v = 0.496 \text{anti lg} \sqrt{28.362 + 6.524 \lg 0.1 d - (\lg 0.1 d)^2} - 3.665$$

当  $d > 1.9$  mm 时,用修正的牛顿公式

$$v = (17.20 - 0.844 d) \sqrt{1.1 d}$$

式中:  $v$ ——雨滴终速;  $d$ ——雨滴直径。

但实际应用中,雨滴的终点速度受到大气湿度,风力等各种干扰误差的影响,导致不同实验结果差异性很大。本次实验通过 LNM 激光探测,数据精确直观,观测方法原理见上文。

### 1.3 降雨动能的计算

Wiesner<sup>[7]</sup>考虑到雨滴的变形,提出单个雨滴能量的计算公式:  $E = (mV^2)/A$ ,则一次降雨对土壤的总冲击能量为

$$E_{总} = f [IT (mV^2 / (A - C))]$$

式中:  $A$  ——雨滴水平断面面积;  $I$  ——降雨强度;  $T$  ——该强度降雨历时;  $C$  ——土粒起动所需的最小起动能量;  $f$  ——冲击系数。

基于经验公式的计算, 在 van Dijk<sup>[8]</sup> 等的研究综述里还介绍了一种经验公式的计算方法, 本研究中也引用了此种方法。在接近理想条件下, 通过对雨滴分布和雨滴终速的计算, 建立了降雨强度  $R$  和降雨动能  $E_k$  之间对数方程的经验关系式:  $E_k = 11.9 + 8.73 \lg R$ , 几十年来这个公式在全球被广泛用于通用土壤流失方程 (USLE 或 RUSLE) 来预测水土流失。

## 2 结果与分析

### 2.1 雨滴大小与降雨强度之间的关系

主要选取 2006 年 7 月 25 日和 8 月 10 日两次典型的降雨资料。由表 1 可看出, 雨滴直径与降雨强度之间有一定关系, 无论是雨滴平均直径还是雨滴中数直径都有随降雨强度的增加而增加的趋势, 但这种趋势并不显著。7 月 25 日与 8 月 10 日的降雨雨强相比差距较大, 但二者的雨滴分布很类似 (图 1), 而且其中数直径也一样, 但雨滴的平均直径后者稍高。

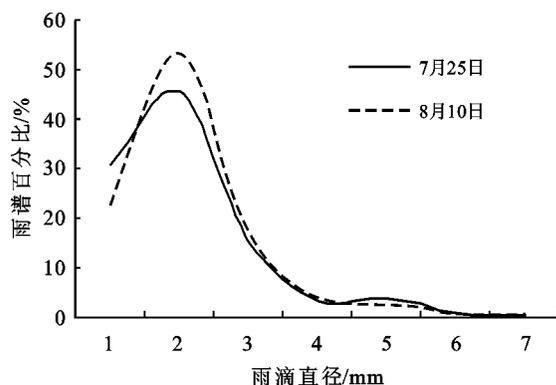


图 1 林外降雨的雨滴分布

### 2.2 油松刺槐林下的雨滴特征比较

比较林外及油松和刺槐林下的雨滴特征 (表 1) 可以看出, 林外的雨滴直径分布范围较小, 其雨滴中数体积直径 ( $D_{50}$ ) 也较小; 而林下的雨滴范围较大, 雨滴中数体积直径 ( $D_{50}$ ) 也大; 油松林下雨滴中数体积直径小于刺槐的雨滴中数体积直径。研究比较了同一次降雨条件下 (8 月 10 日) 油松刺槐林下及林外雨滴直径与雨滴累积体积之间的关系, 发现林外雨滴直径与累积雨量之间的关系曲线较平滑。

表 1 油松和刺槐林内外雨滴测量统计

日期	树种	雨滴大小/ mm	直径范围/ mm	$D_{50}$ / mm	雨强/ ( $\text{mm} \cdot \text{h}^{-1}$ )	降雨量/ mm	雨滴数/ 个
-- 060725	林外	0.99	0.61~1.79	1.18	0.60	9.1	336
	油松	1.25	0.81~6.59	4.76	0.73	9.1	403
	刺槐	1.29	0.81~4.37	3.19	0.70	5.7	249
-- 060810	林外	1.12	0.81~2.59	1.34	2.60	5.7	465
	油松	1.67	0.81~5.52	5.05	2.60	5.7	200
	刺槐	1.55	0.81~6.59	3.95	2.60	5.7	741

### 2.3 雨滴动能及降雨动能

在计算林内雨滴动能时, 首先得到林内雨滴速度, 因为林冠层厚度变异较大, 所以根据北京山区人工林植被调查, 选取植被覆盖均匀, 代表性高的油松人工林作为林内降雨观测对象, 其冠层高度 7.5 m,

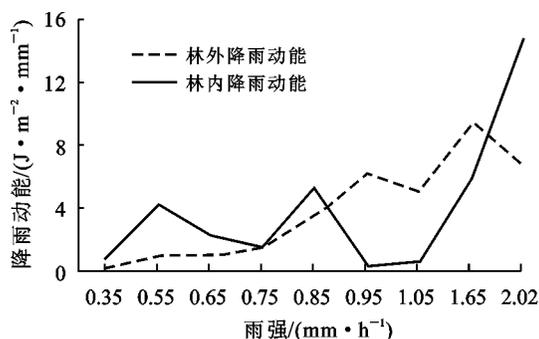


图 2 油松林内外降雨动能

覆盖度 75%。雨滴动能取决于雨滴质量和雨滴终端速度, 雨滴质量又取决于雨滴大小, 所以在林内雨滴直径发生变化, 出现大雨强时, 产生一定数量的大雨滴后, 其动能与林外雨滴相比也有了较大的差异 (图 2—3)。

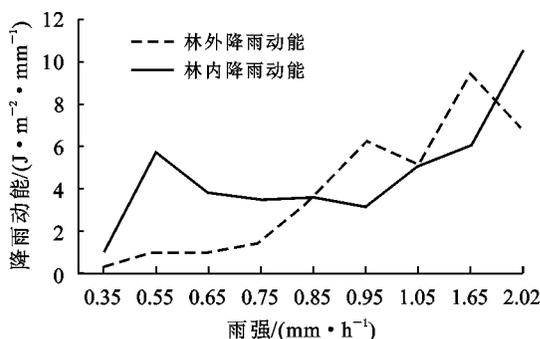


图 3 刺槐林内外降雨动能

从降雨动能计算的结果来看,北京山区的天然降雨动能较小,林下的降雨动能一般大于林外降雨动能,而且雨强增大时油松对动能的增加作用更加明显;尤其是在小雨强条件下( $\leq 0.35$  mm/h)油松和刺槐林内降雨动能显著高于林外降雨动能,而雨强大于 2.02 mm/h 时,林下的降雨动能也有增加的趋势,介于中间雨强的部分,动能变化趋势不明显(图 2—3)。

### 3 结果与讨论

林冠层对天然降水的空间位移作用和机械作用的结果使得林内降水的雨滴分布和能量特征显著的不同于天然降水。林内的雨滴直径分布范围较大,其雨滴中数体积直径也较大;林外雨滴直径与累积雨量之间的关系曲线较林内平滑。

本文应用降雨强度与降雨动能的对数经验关系方程建立了二者之间的曲线关系,发现在北京密云山区无论是油松还是刺槐林冠层在小雨强( $\leq 0.35$  mm/h)情况下,增大了林下降雨的动能,而在稍大雨强时,增大降雨动能的趋势不明显。

植被冠层对降雨能量的主要影响,一方面可以阻截部分降雨动能,使土壤表面免于雨滴的直接击溅;另一方面可以直接截留降雨量,从而改变了林内实际受雨量。植被阻截降雨动能是与覆盖度、植被类型等有关的。与天然降水相比,林冠层下的雨滴谱中数直径要大,这是因为冠层对天然降水进行再分配过程中聚集作用所致。

已有研究表明,在其它条件基本一致的情况下,植被覆盖度越大,对降雨能量的削弱作用越大,对径流能量的削减率越高,造成的土壤侵蚀量越小<sup>[9-10]</sup>。余新晓<sup>[1]</sup>用实测资料,分析了森林植被对降雨侵蚀能量的减弱作用,提出森林减弱降雨势能的作用明显。根据我们实地观测分析和有关文献资料,林冠层下的穿透降水能量也有小于林外天然降水的情况。这可能与以下因素有关:一是在小雨强情况下,由于林冠层下单位面积雨滴数远小于林外;二是库区森林林冠层一般较低,林内有灌草及枯落物覆盖地表,因此森林系统内部造成侵蚀的降雨动能会减小。

在两次降水中,林内雨滴质量和动能增加,主要是大雨强大雨滴(径级 $> 1.0$  mm)形成的结果,其质

量分别占总质量的 85.6% 和 83.4%,动能分别占总动能的 89% 和 86%。油松林冠使林内的降雨动能比林外增大 4.1~5.3 倍,从而显著地增加了对林地的击溅,对水土流失产生直接影响。赵鸿雁等<sup>[11]</sup>对树高 9 m 的山杨林进行测定结果表明,在林冠作用下,其林内降雨动能比林外大 3.7 倍。

本研究中只考虑了冠层对降雨动能的改变作用,但这并不能说明和体现森林生态系统改变动能的综合作用。因为林地还存在比较丰富的层次(灌木层和草本层),而且有较发达的苔藓层和枯枝落叶层,因此雨滴基本不可能直接冲击到土壤。灌丛下同样具有较发达的草本层和枯落物层。

#### [ 参 考 文 献 ]

- [ 1 ] 余新晓,张志强,陈丽华,等. 森林生态水文[M]. 中国林业出版社,2004: 24—39.
- [ 2 ] 柴康生,王万泰. 雨滴降落速度对径流和土壤冲刷值的影响[J]. 水土保持科技情报,1997(4): 31—33.
- [ 3 ] 张培昌,戴铁丕,杜秉玉,等. 雷达气象学[M]. 北京:气象出版社,1988: 156—158.
- [ 4 ] Gunn R, Kinzer G D. The terminal velocity of fall for water droplets in stagnant air [ J ]. J. Meteorology, 1949, 6: 243—248.
- [ 5 ] Law J O. Measurements of the fall velocity of water drops and raindrops [ J ]. Transactions, American Geophysical Union, 1941, 22: 709—721.
- [ 6 ] 江忠善,宋文经. 黄土地区天然降雨雨滴特性研究[J]. 中国水土保持,1983(3): 32—36.
- [ 7 ] Wiesner J. Beitrage zur kenntnis des tropischen Rrgens, Sitz Ber [ J ]. Math. Naturisms. Klasse Akad, Wiss. 1895, 104: 397—434.
- [ 8 ] van Dijk A I J M Bruijnzel LA. Rainfall intensity-kinetic energy relationships: A critical literature appraisal [ J ]. Journal of Hydrology, 2002, 261: 1—23.
- [ 9 ] Laws J O, Parsons D A. The relationship of raindrop size to intensity [ J ]. Transactions of the A. m. Geograpy Union. 1943: 22.
- [ 10 ] 窦葆璋,周佩华. 雨滴的观测和计算方法 [ J ]. 水土保持通报,1982, 2 ( 1 ): 44—47.
- [ 11 ] 赵鸿雁,刘向东,吴钦孝. 油松人工林和天然山杨林林内降雨动能的初步研究 [ J ]. 中国科学院水利部西北水土保持研究所集刊,1991(14): 44—50.