

文章编号：1000-3037(2001)06-0571-05

森林与雾露水关系研究进展

刘文杰¹, 曾觉民², 王昌命², 李红梅¹, 段文平¹

(1. 中国科学院 西双版纳热带植物园热带雨林生态站, 云南 勐腊 666303;
2. 西南林学院, 云南 昆明 650224)

摘要：论文从雾露水的形成机制、森林对雾露水的截留量、雾露水对森林分布的影响及雾露水的生态效应方面，阐述了国外在该领域的研究动态和取得的成果，以期推动我国在该领域的研究工作。国外的大量研究表明，雾露水对于植物的生长、分布具有重要的生态意义，是森林生态系统水分平衡、养分循环不可忽视的输入项，其生态效应是多方面的。因而，进一步深入研究雾露水与森林的关系是必要的。

关 键 词：森林；雾露水；生态效应
中图分类号：S715.2 (Q4) **文献标识码：**A

1 前 言

在世界一些多雾的地区，当可记录的降水量成为植被生存的限制因子时，植物却能正常生长，其中雾露水（“神秘降水”，即“Occult precipitation”）扮演着极其重要的角色^[1]。与地面相接的雾层（饱含大量水微滴）在水平表面虽然没有沉降或被截留，但当风吹动雾到植物体表面时，较小的雾滴就会被枝叶截获并逐渐合并成大水滴而滴落地面，这种现象被称为“水平降水”（“Horizontal precipitation”，“Fog drip”或“Cloud drip”）^[2]。露水（Dew water）的形成则是水汽在植物体表面或地面凝结所致，当露水浓重时，雾滴也可由枝叶表面滴落到地面而成为一种水分输入。

研究表明，雾露水作为森林生态系统的额外水分输入，其生态效应是多方面的（如：对森林生态系统水分平衡、养分循环、环境因子调节等的影响）^[3-5]。因此，深入研究雾露水与森林的关系，对进一步揭示森林维持物种多样性的机理及其可持续发展、森林生态系统水量平衡和养分循环规律等，具有重要意义。虽然国外已对森林与雾露水的关系作了大量研究，但国内的相应研究尚处于起步阶段，其中仅有极少数人对热带雨林作了初步研究^[6-8]。本文根据有关资料，对森林与雾露水关系研究、存在的问题作一简述，以期推动我国在这方面的研究工作。

2 森林与雾关系研究

2.1 森林分布与雾

早期研究植物与雾水关系（植物分布等）的大量文献主要是针对加利福尼亚北部海岸的红杉林（*Sequoia sempervirens*）L. Cannon^[9]发现并认为，因受雾水的影响，红杉林被严格限制在雾带内。Cooper^[10]则采取折衷态度，认为尽管频繁的夏季雾对红杉林的生长、分布是重要的，但它只是一个附加因素。Byers^[11]发现，在海岸谷地及河滩上生长着最好的红杉林，而红杉矮灌丛只分布在雾层很少到达的海湾坡地上。因此，Byers 认为雾带对红杉林的影响不仅是形成雾滴增加水分，还在于雾层通过减少日照而削弱蒸发散及降低日间温度。

收稿日期：2001-02-13；修订日期：2001-05-21。
基金项目：云南省应用基础研究基金资助项目（98C029Q）。
第一作者简介：刘文杰（1969-），男，河南省封丘县人，助理研究员，主要从事热带森林气象、水文方面的研究工作。

Went^[12]发现 ,加利福尼亚 Torrey 松树 (*Pinus torreyana*)被严格限制在 Santa Rosa 雾岛的迎海面上部山坡上 ,因为这里频繁出现地面雾 ,而在山坡下部及更高处则没有这种松树分布 ;在地中海海岸 ,沿着边缘海岸仅有 10m 宽的地带分布有橡树 (*Quercus ilex*) ,而此地带内则是海岸雾的多发带。其它有关雾与森林分布关系的文献也很多 ,如生长稠密的美国四川云杉和红杉 (*Picea rubens, sarg.*)分布区与沿岸重雾带差不多相重合^[13] ,在墨西哥东部 Sierra Madre 山的东坡 1 300~2 400m 处多雾地带 ,生长着浓密茂盛的以橡树为优势种的森林^[14] ;在非洲西南沿岸的边缘沙漠带分布有浓密的灌丛 ,而在其它无雾的低地或高地则很少有植物生长^[15]。热带森林也常常是与频繁的雾相联系 ,尽管还没有人解释这是为什么 ,正如 Grubb 认为的那样 :低地山地雨林 (*Lower Montane Rain Forest, LMRF*) 与多雾相关 ,高地山地雨林 (*Upper Montane Rain Forest, UMRF*) 则与更为频繁、持久的雾相联系 ,而这两种森林类型均被称为热带山地多雾林 (*Tropical Montane Cloud Forest, TM-CF*)^[16]。因此 ,Brown 和 Stadtmuller^[16]认为 ,多雾是决定山地森林特征的最重要的因子。

2.2 森林截留露水

最早发表林冠截留露水现象的文献出自 Glas 的《History of the Canary Islands》一书^[17] ,书中描述到 :每天早上 ,来自海面的雾被盛行风吹到岛上 ,大量雾滴被一种称为“神树”的植物截留下来 ,沿树干滴落的露水不仅为此植物的生长提供了足够的水分、弥补了干旱季降水的不足 ,而且也为牲畜提供了饮水。但 Glas 并没有对截留的露水给予量的估计。随后 ,White^[17]也注意到 ,在大雾的夜间 ,从橡树叶滴落的露水量达到了惊人的地步 ,尽管其它地面仍满是灰尘 ,橡树下辙迹洼沟仍注有大量水。并且 White 认为 ,某些形态的树叶可截留更多的露水 ,愈趋近山顶其量愈多^[18]。

毫无疑问 ,森林林冠将露水截留以后 ,会滴落到地面。当空旷处的雨量计无雨水收集时 ,森林里这部分滴落水是十分可观的^[19]。如 Oberlander^[20]在旧金山半岛 40 天无雨期间 ,林下收集到 175~425mm 的露水。Parsons^[21]整个夏季在 Monterey 松树 (*P. radiata*)下用雨量计收集到 150mm 露水 ,而林冠旁无降水 ,而且估计年露水量可达 254mm (几乎占年雨量的 50%)。Nicholson^[22]在非洲东部山地森林内测得至少多出年雨量 25% 以上的露水 ,Ekern^[23]在夏威夷的南美松树下全年收集到的额外降水有 750mm ,Vogelmann^[24]在佛蒙特森林林冠下收集到的年降水比空旷地多 86% ,Arvidsson^[25]在扎伊尔的基桑图森林下收集到的年降水比空旷地多 20%。

采用不同方法测定露水量的研究已进行了上百年 ,其中有的用雨量计或其它容器悬挂在林冠以上 ,有的用金属杆或细铁丝网 ,甚至用树枝进行截留水实验^[1]。用这些方法测得的数据被认为是过高估计了实际并不多的露水 ,因而引起较多争论^[17]。如 :Marloth^[26]在非洲南部的森林林冠上 ,用许多芦苇杆竖立在雨量计的上部收集露水 ,其结果是 :所收集的露水比没有放芦苇杆的雨量计多得多 ;Dieckmann^[27]用一种典型的露水收集器 (将一个直径为雨量计口径 2/3 的纱网圆筒竖立在距雨量计筒口 35cm 高处) 进行露水收集 ,其结果进一步证实了 Marloth 的结论。Grunow^[28]也采用了此种纱网筒型收集方法进行了对比实验 ,发现一年内林下比林外多收集到 10%~20% 的降水 ,而在林缘则达到 50% ;后来他又用大的收集槽在林下实验 ,发现林下露水为年降水的 13% ,林缘相应为 52%。进一步的研究^[29]也证实了最大露水出现在森林边缘。用纱网筒型收集器的方法被许多研究者采用或改进^[30] ,这些研究表明 ,由林冠滴落的露水可占年降水的 3.5%~60.6%。Merriam^[31]通过用人造树叶在风洞实验中测得了雾截留量的动态变化 ,并用经验公式很好地模拟了雾截留量。Went^[12]和 Merriam^[31]的研究表明 ,针叶树截留露水比阔叶树更为有效。

无论是实际观测还是理论计算都说明了植物冠层可截留一定的露水 ,影响截留量多少的因子有 :林冠高度和结构、风速和雾中水分含量、总叶面积、叶形态大小、叶分布状况及叶表面特征等^[1,3,12,17,30-31]。

最近 ,Dawson^[32]采用同位素 ²H 和 ¹⁸O 示踪技术 ,对加利福尼亚北部海岸红杉林吸收露水效应进行了 3 年的观测研究 ,定量区分了植物从地下和雾中获取的水分 ,其结果表明 :森林平均每年有 34% 的水分输入得自露水 ,而空旷地仅为 17% ;整个夏季 ,上层树种 19% 的水分输入来自露水 ,下层树种则高达 66% ,且对上层树种而言 ,其 13%~45% 的年蒸发散来自露水。

2.3 雾的生态效应

有关雾与森林的关系 ,曾有过不少设想。雾也许对某些森林的生长和分布起着决定性的作用 ,但是要用精确的试验来演示这种作用的大小与这种作用的产生机制 ,却是非常困难的^[13]。除了雾可减少蒸腾作用的水分散失及降低日间温度外 ,森林无疑会从雾中截留相当多的水分并滴落到地面以增加土壤湿度^[3,11]。雾不仅增强了 CO₂ 的供应量 ,同时也增加了土壤有机质及养分含量 ,具有较高酸度的雾^[9]还可影响到叶片的光合特性及其与氮的关系^[33] ,而持久的叶片水层本身就是一种降低某些植物光合作用的因素^[5]。由于

雾的出现,又可导致光照强度降低 10%~50%,进而影响光合作用^[4]。Waisel^[34]通过对许多地中海树木和灌木测定植物对雾水的吸收状况,结果表明,不同种类植物从夜间雾中得到的水分,可从很微小的量变化到叶子鲜重的 12%。Stone^[35]指出,在土壤湿度为永久萎蔫百分点时,若夜间有雾使叶丛湿润,则若干针叶树的苗木可延长存活几个星期,在新西兰岛一些受雾影响的矮灌木树种对光的利用比高地树种更加有效。Went^[12]甚至认为,干旱地带一些植物具有适应性的小叶,并不是为了通常意义的减少蒸腾,而是为了从雾中吸收更多水分,因为小的叶片有利于截留雾水。Gindell^[36]的研究表明,在一些沙漠和亚热带地区,雾水对森林植物的生存和发展具有非常重要的作用,植物可从雾水中吸收到一种对其养分循环起重要作用的铁离子。

显然,雾对一些地方植物的生长很重要,而它们之间的关系也很复杂。但是有两点是明确的,即:雾增加了植物和土壤水分供应量;雾降低了白昼温度及减少了蒸腾作用的水分散失。

3 森林与露的关系研究

3.1 露水的测定

从空气中凝结到植物体表面的露水往往与雾水相联系,因为在雾形成之前,植物表面或地表通过辐射降温,其温度首先降低到露点温度之下并形成露水^[1,37]。因此露水往往与雾相伴而生,有关其生态效应也大多与雾水相似,但也有区别^[11,12]。虽然有关露水对植物生存影响的研究已进行了二百多年,但与雾水相比,有关露水对植物的作用仍存在很多争议^[38]。尽管如此,仍有大量研究结果表明,露水在一些地区可改善水分平衡或对植物的生存具有至关重要的作用^[37]。争论最多的是:露水对植物是不是一种水分净输入以及露水的收集方法和技术^[38]。

一般认为露水有两种形式,一是植物或地表从空气中获得水汽形成露水;二是植物或地表从其本身的蒸腾或蒸发中获得水汽形成露水,即蒸馏(Distillation)或植物吐水^[37]。前者对于植物来说是一种水分纯输入,而蒸馏仅是土壤—植物—大气系统水分的再分配。大部分关于植物表面凝结露水的研究均没有将露水与蒸馏分别开来,因为这是很困难的^[37]。

一般测量露水的露量计多是将一定尺寸的特制金属板、玻璃板或木板水平放置在距地面不同高度处收集露水^[1]。Duvdevan^[39]采用油漆的特制光滑木板(5×32cm)在以色列的测量结果表明,干燥的夏季夜间露水比冬季多得多,每夜可达 0.45mm。Arvidsson^[25]在埃及和瑞典测得的每夜最大露水量为 0.1mm,而这些露水仅是日间蒸发量的 2%~5%。Harrold^[40]采用蒸散仪(Lysimeter)在俄亥俄州测得每夜最大露水量达 2mm,全年可达 250mm。Monteith^[37]认为 Harrold 的结果在理论上是不可能的,并认为他可能是将雾水也计算在内了。Wallin^[41]研究认为,每夜露水量为 0.01~5mm,而 Monteith^[37]认为 Willin 的结果很有疑问,可能是观测方法及仪器不标准所致,并通过理论计算得出,每夜的露水量不应超过 0.5mm。即使是实际测量由植物表面滴落的水滴来观测露水也是不可信的,因为滴落水滴中可能有雾水和植物吐水。而且,由于露水的形成部分决定于其形成表面的物理特性,因此用模拟的方法测定的露水量不可能完全代表实际植物体表面所形成的露水^[1]。

称重蒸散仪(Weighing lysimeters)被认为是测定露水的最好方法,因为它能排除植物吐水对露水测量的影响^[42]。Rosenberg^[42]通过在内蒙古布拉斯加夏、秋季的测定表明,露水量每夜为 0~0.52mm,最大值出现在空气最湿的 8 月。Monteith^[37]的研究表明,露的形成并不需要空气湿度达到 100%,只需 91%~99%就可以了,并且要求风速小于 0.5m/s 及天空晴朗;稀疏的林冠及灌木丛能形成更多的露水。Deacon^[43]也证实了这一结果。

3.2 露水的生态效应

凝结在植物体表面的露水至少有 3 种作用:滴落地表被土壤吸收^[1];被植物叶片直接吸收而降低内部水分亏缺^[35];降低叶片蒸腾的水分损失^[38]。Wallin^[41]认为,露水对干旱地区的植物生长具有更加重要的意义,因为这里露水是地方植物生存的主要水源。由于植物体表面的露水和雾水均是从空气而来,因此露水的其它生态效应与雾水相似。但露水的一个不利方面是:因露水持续时间较长,当叶片表面长时间被水膜包围时,极易遭到某些病菌的感染^[41-42]。

4 讨论

的影响。对某些森林类型的地理分布来说,雾露可能是最重要的环境因子之一,尤其是热带山地森林和沙漠植被。因此,在多雾区研究集水区水量平衡、养分循环时,雾露水是不可忽视的输入项。显然,今后的研究方向应是定量分析雾露水对植物光合、蒸腾、养分循环等功能的影响,进而揭示雾露水在森林维持物种多样性及其可持续发展方面所起的作用。而研究方法的不统一似乎是研究结果不可比的最大障碍,因为许多研究结果相差甚远^[17]。但 Dawson^[32]将同位素示踪技术开创性地应用到雾露水生态意义研究方面,无疑对进一步深入研究植物利用雾露水的机制等起到很大的推动作用,对今后相应研究提供了借鉴。

虽然森林截留雾露水的实际数量仍然是粗略的估计或模拟计算,但随着大量试验的进行,其精确值是可计算和测量到的,而森林获取雾露水水分和养分的机制也会得到揭示。不论这种研究的目的是为了改善气候,还是增强地区水源的合理利用,或是揭示雾露水对植物分布、动态的影响,进一步深入研究雾露水的生态意义是绝对必要的。

参考文献:

- [1] William R. Sources of water[A]. T T Kozłowski. Water Dificits and plant growth[C]. New York:Academic Press,1984. 1~20.
- [2] Ingraham N L, Matthews R A. Fog drip as a source of groundwater recharge in Northern Kenya[J]. *Water Resour. Res.*, 1988,24:1406~1410.
- [3] Bruijnzeel L A, J Proctor. Hydrology and biogeochemistry of tropical montane cloud forest: What do we really Know?[A] L S Hamilton, J D Juvik, F N Scatena. Tropical Montane Cloud Forests[C]. Honolulu, Hawaii, USA:Proceedings of an international symposium, East-west Center, 1995. 25~46.
- [4] Asbury C E, W H McDowell, R Trinidad-Pizarro, et al. Solute deposition from cloud water to the canopy of a Puerto Rican montane forest[J]. *Atmospheric Environment*, 1994,28:1773~1780.
- [5] Ishibashi M, I Terashima. Effects of continuous leas wetness on photosynthesis: adverse aspects of rainfall[J]. *Plant Cell and Environment*, 1995, 18:431~438.
- [6] 张克映,张一平. 西双版纳森林砍伐对地方气候的影响[A].中国农学会农业气象委员会,中国林学会. 林业气象文集[C]. 北京:气象出版社,1984.14~23.
- [7] 刘文杰,张克映,李红梅,等. 西双版纳热带雨林干季林冠截留雾露水效应研究[J]. 资源科学, 2001,22(2):75~80.
- [8] 刘文杰,张克映,王昌命,等. 西双版纳热带雨林林冠层雾露形成的小气候特征研究[J]. 生态学报,2001,21(1):486~491.
- [9] Cannon W A. Relation of redwoods and fog[J]. *Torreya*, 1901,1:137~139.
- [10] Cooper W C. Redwoods, rainfall and fog[J]. *Plant world*, 1917,20:179~189.
- [11] Byers H R. Coast redwoods and fog drip[J]. *Ecology*, 1953, 34:192~193.
- [12] Went F W. Fog, mist, dew and other sources of water[J].*U.S.,Dep.Agric.m Yearb.Agric.*, 1955: 103~109.
- [13] S H 斯波尔, B V 巴恩斯(赵克绳等译).森林生态学[M]. 北京:中国林业出版社,1982.108~111.
- [14] Vogelmann H W. Fog precipitation in the cloud forests of eastern Mexico[J]. *Bioscience*, 1973, 23:96~100.
- [15] Billings W D. Plant, Man and the Ecosystem [M]. 2nd ed. Wadsworth, Belmont, California, 1970.
- [16] Stadtmuller T.Cloud forests in the humid tropics[M].Abibliographic review.The United Nations University,Tokyo, Japan, 1987.
- [17] Kerfoot O. Mist precipitation on vegetation[J]. *Forestry Abstract*, 1968, 29:8~20.
- [18] McIntosh R P. Fog drip: An anticipation of ecology[J]. *Ecology*, 1958,39:159.
- [19] Chaney W R.Sources of water[A].T T Kosłowski. Water deficits and plant growth[C].New York:Academic Press,1981.1~47.
- [20] Obelander G. Summer fog precipitation on the San Francisco peinsula[J]. *Ecology*, 1956,37:851~852.
- [21] Parsons J J. Fog drip from coastal stratus, with special reference to California[J]. *University of California Publications in Geography*, 1960, 10:113~200.
- [22] Nicholson J W. The influence of forests on climate and water supply in Kenya[J].*E. Afr. Agric. J. Belg.*, 1936,66:433~439.
- [23] Ekern P C. Direct interception of cloud water on Lanaihale, Hawaii[J]. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 1964,28:419~421.
- [24] Vogelmann H W. Precipitation from fog moisture in the Green Mountains of Vermaunt[J]. *Ecology*, 1968,49:1205~1207.
- [25] Arvidsson I. Plants as dew collectors[R]. International Union of Geodesy and Geophisics, 1958,2:481~484.
- [26] Marloff R. The amounts of water collected by shrubs and trees from drifting fog and clouds[J]. *Meteorologische Zeitschrift, Braunschweig*, 1906,23:547~553.

- [27] Dieckmann A. An attempt to measure precipitation from drifting fog[J]. *Meteorologische Zeitschrift, Braunschweig*, 1931,48: 400~402.
- [28] Grunow J. Interception in a Spruce stand on the Hohenpeissenberg and methods of measuring it[J]. *Fortwiss. Cbl.*, 1965, 84:212~229.
- [29] Nagel J F. Fog precipitation at swakopmund[J]. *Notos, Pretoria*, 1959,8:125.
- [30] Cavellier J et al. Fog interception in montane forest across the Central Cordillera of Panama[J]. *J. of Tropical Ecology* 1996, 12: 357~369.
- [31] Merriam R A. Fog drip From artificial leaves in a fog wind tunnel[J]. *Water Resour. Res.*, 1973,9: 1591~1598.
- [32] Dawson T.E. Fog in the California redwood forest: ecosystem inputs and use by plants[J]. *Oecologia*,1998,117:476~485.
- [33] Schier G A. Atmospheric deposition effects on foliar injury and foliar leaching in red spruce[R]. C Eagar. Ecology and decline of red spruce in the eastern united states. Berlin, Germany, 1992. 271~294.
- [34] Waisel Y. Ecological studies on Tamarix aphylla Karst[R]. The water economy, *Phyton*, 1960,15:19~28.
- [35] Stone E C. Dew as an Ecological factor. I. A. review of the literature[J]. *Ecology*, 1957,38: 407~413.
- [36] Gindel I. Irrigation of plants with atmospheric water within the desert[J]. *Nature*, 1965, 207:1173~1175.
- [37] Monteith J L,M H Unsworth. Principles of environmental physics[M]. Second edition, Edward Arnold, London, UK,1990.
- [38] Jackson I J. Climate, water and agriculture in the tropics[M]. New York: Longman Inc., 1977.131~133.
- [39] Duvdevan S. An optical method of dew estimation[J]. *Q. J. R. Meteorol. Soc.*, 1947,73:282~296.
- [40] Horrold L L. Agricultural hydrology as evaluated by monolith lysimeters[J]. *US. Dept. Agric. Tech. Bull.*, 1951:1050.
- [41] Wallin J R. Agrometeorological aspects of dew[J]. *Agri. Meteorol.*, 1967,4:85~102.
- [42] Rosenberg K J. Microclimate, The Biological Environment[M]. John Wiley & Sons, Inc., U.S., 1973. 136~144.
- [43] Deacon E L. Evaporation and the water balance[J]. *Arid Zone Res.*, 1958, 10:9~32.

On the relationship between forests and occult precipitation (dew and fog precipitation)

LIU Wen-jie¹, ZENG Jue-min², WANG Chang-ming², LI Hong-mei¹, DUAN Wen-ping¹

(1. Xishuangbanna Tropical Botanical Garden, CAS, Menglun, Yunnan 66303, China ;

2. Southwest Forestry College, Kunming 650224, China)

Abstract: Researches on the relationships between forests and "occult precipitation"(dew and fog precipitation) in foreign countries, focused on the formation mechanisms of dew and fog, forest canopy interception from dew and fog, influence of dew and fog on the distribution of species and the dynamics of vegetation, and its ecological effects were briefly introduced with the aim of promoting the studies in this field in China. According to the reports, the dew and fog water is one of the most important environmental factors determining the plants growth and distribution, and an important input for water balance and nutrients cycling of the forest in cloud or fog-dominated montane regions, and its ecological effects take on many aspects. So it is essential to make further research in this field and the future of ecological requires regarding occult precipitation should be directed towards quantifying its hydrologic as well as its chemical significance to fog and cloud dominated ecosystems. Among the study methods, the Dawson's work that applied stable tools, using hydrogen and oxygen isotopic 'signatures' and an isotopic mixing model that made it possible to distinguish the plants' proportional use of deep-ground versus above-ground (i.e. precipitation and fog) water, is the best way and can be used in further research.

Key words: forests; dew and fog precipitation, ecological effects