

# 露水对植物的作用效应研究进展

叶有华<sup>1 2</sup> 彭少麟<sup>2,\*</sup>

(1. 深圳市环境科学研究院, 深圳 518001; 2. 中山大学有害生物控制及资源利用国家重点实验室, 广州 510275)

**摘要:**概述了国内外露水对植物作用效应争议的两个方面,一是露水有利于促进植物生长,二是露水对植物生长具有负效应。前者主要包括干旱胁迫下植物生长重要的水资源、调节植物体内水分、改善土壤水分平衡、调节森林植物生长环境、有利于农作物管理及其病虫害防治等生态效益;后者包括导致植物发病、降低植物产量和质量等。指出了露水对植物作用效应研究存在的问题,并提出了今后研究的方向:(1)露水对植物作用效应的机理研究;(2)干扰条件下露水对植物作用效应研究包括酸露对植物作用效应研究和城市热岛条件下露水对植物作用效应研究;(3)露水对植物多样性的影响研究;(4)露水在生物防治中的应用研究。

**关键词:**露水;植物;作用效应

## Review of dew action effect on plants

YE Youhua<sup>1 2</sup>, PENG Shaolin<sup>2,\*</sup>

1 Shenzhen Academy of Environmental Science, Shenzhen 518001, China

2 State Key Laboratory of Biocontrol, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510275, China

**Abstract:** Dew is one of the important water resources on the earth and is beneficial to the survival, growth and development of the plants based on the arid and semiarid environment. The disputed effects of dew on plants, beneficial and harmful, were reviewed in this study. The beneficial effects mainly consist of five aspects: (1) Supplying important water resource. In the arid and semiarid regions or in the dry season, dew is the main or the only water resource because of its higher frequency and sustaining time comparing with the precipitation, which keeps the organic synthesis and metabolism, accelerates the increase of biomass in plants. (2) Regulating inner water of plants. The function of dew on regulating inner water of plants includes the following several aspects based on related studies: helping plant to rapidly activate photosynthetic activity during desiccation and rehydration; supplying a moisture environment in repairing embryo DNA of seeds, maintaining seed viability under harsh desert conditions; regulating the transpiration pressure and helping the wilting plant arrive a higher steady restoration state; etc. (3) Improving water balance of soil. There is an indirect effect of dew on plant through improving water balance of soil. On one hand, dew forms on the soil surface or drops into the soil from the nearby plants, becoming an importing water resource. On the other hand, the soil evaporation decreases along with dew event appears, leading a mitigation of soil water tension to some extent. (4) Regulating growing environment of forest plants. The regulation effect appears on canopy firstly, and then into the forest. Dew deposition increases the water resource of forest, improves its water cycle. Along with the dew deposition and evaporation, the forest micro-climate changes, especially the wind speed, moisture and heat. Dew, as a medium, is concerned with the water-heat exchange process of the forest. (5) Dew was used widely in the performing process of foliage dressing, defoliant and pesticide for its characteristics including small dew amount, long time sustaining on objects, leading an accreting of long time, extending the time of sterilization.

基金项目:国家自然科学基金长期项目(30670385);国家自然科学基金联合项目(U0633002);地表过程与资源生态国家重点实验室(北京师范大学)开放基金(2009-KF-09)

收稿日期:2010-04-18; 修订日期:2010-07-27

\* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: lsspsl@mail.sysu.edu.cn

The harmful effects mainly consist of two aspects: (1) Inducing plant disease. The pathogen of fungus and bacteria releases spores and infects the host plant under a moisture condition, and induces plant disease easily, thus dew supplies opportunities for pathogen. The infection intensity differs from the differences of dew quantity and sustaining time. (2) Reducing output and quality of crops. The influence on the output and quality of crops is related to the quantity, sustaining time, acidification level of dew. The plant stomata movement was inhibited and the route of pollen diffusing was discouraged when the quantity and sustaining time of dew arrive at a higher level. Acid dew could lead to a degradation of vegetation for the decreasing of  $\text{CO}_2$  assimilation efficiency. Furthermore, the black spot disease of fruit could be induced by dew.

The main problems in related researches were also pointed out in present paper. For example, the information of dew action effect on plants was absent; few documents referred to the changing environment, such as urban heat island and the polluted atmosphere etc; researches of dew on plant diversity and the use on biological control were lack.

Future studies were recommended to (1) researches of the action effect and mechanisms of dew on plants; (2) researches on the interactions of dew and plants based on the interferential factors including acid dew and the urban heat island effect; (3) researches of the influence of dew on the plant diversity; (4) applied researches on controlling harmful plants using dew.

**Key Words:** dew; plant; action effect

日益加剧的全球变化改变了区域水循环和能量平衡,使干旱半干旱区域干旱持续时间延长,湿润区局部干旱频繁发生,人类及生态系统中各组分对水资源的需求从来没有像现在这样表现得如此迫切。中国西南多省以及临近的东南亚国家大范围和时间干旱再次向人类警示水资源的危机感。水资源包括输入和输出两部分,其中输入包括大气降水和露水。目前,人类对作为主要输入水资源和湿度来源的大气降水给予了极大的关注,而露水作为两大重要输入水资源和湿度来源之一却未引起足够重视,露水对植物的作用效应研究也极其薄弱。

露水是在表面辐射冷却,温度降到露点以下,水汽在表面的凝结,是表面大气水汽凝结水、地面蒸发凝结水和植被蒸腾凝结水之和。与大气降水相比,其凝结量相对较小,但它仍然是一种重要的输入水资源和湿度来源,在干旱环境对植物生存、生长和发育具有重要的生态学意义<sup>[1-2]</sup>。

露水对植物作用效应的研究早在半个世纪前已有报道<sup>[3]</sup>,但由于露水研究主要集中在干旱半干旱地区,因此关于露水对植物作用效应的研究也主要集中在这些区域<sup>[4-5]</sup>。近年来相关研究日益引起关注,研究范围逐步向其它地区扩展<sup>[6]</sup>。然而,由于受露水凝结量较小等因素的影响,露水对植物的作用效应研究一直未引起学者的重视。露水对植物作用效应研究的区域性以及目前的不够重视状态导致大量相关信息缺失,这种局限性极大地限制了人类对两者作用关系规律的认识和应用。

本文拟将国内外露水对植物作用效应研究现状进行全面系统分析,指出相关研究的缺陷,并根据当前该领域和相关领域发展变化的状况,结合城市化、环境污染和全球变化等干扰因素,提出今后研究趋势,为相关研究提供依据,弥补露水研究在此方面的不足。

## 1 研究现状

一直以来,有关露水对植物的作用效应存在许多争议<sup>[7]</sup>。国内外有关文献可以看出,露水对植物的作用效应目前主要有两种不同的观点,有学者认为露水对植物生长有利,而相反的观点是露水对植物生长具有负效应。

### 1.1 露水对植物生长有利

许多学者认为露水对植物生长有利,甚至有学者称之为“神秘降水”<sup>[8]</sup>,具有多方面的生理生态效应<sup>[2,8-11]</sup>。

#### (1) 露水是植物生长的重要水资源

水是植物体的主要构成组分之一,对植物生长发育起着至关重要的作用。在湿润地区和雨季,大气降水和自然水源是植物生长的主要水源,露水在促进植物生长中的作用几乎可以忽略,而在干旱半干旱地区则完全相反。在干旱半干旱地区,自然水源短缺,大气降水量少且降水后蒸发快,露水则成为重要的水资源和湿度来源<sup>[12-14]</sup>。在植物生长、发育过程中扮演着极其重要的角色。由于露水其发生频率、持续时间均超过降水,不少学者认为露水是干旱区域植物生存的主要水资源<sup>[15]</sup>,或植物生长唯一的液态水资源<sup>[4,16-18]</sup>,以此维持植物生长、有机物合成与代谢和调节所需水分,促使植物生物量增加<sup>[19-20]</sup>。

#### (2) 露水是植物调节的重要水源和湿度来源

植物水分调节是植物生理调节的重要内容之一,水分调节过程包括植物对水的吸收、水在植物体内的运输和水分蒸发散过程,以及植物对水分胁迫的响应与适应。露水作为两大重要输入水资源之一对植物的调节作用也包括对这些过程的调节。目前关于露水对植物调节的研究极其有限,并未涉及露水调节的所有过程,只对部分现象进行了调查。胁迫下露水调节的过程及其机理研究尚未有报道,主要研究结果包括:在干旱和再水化过程,露水有利于促进植物快速激活光合活性<sup>[20]</sup>,促进光合作用;为种子胚芽 DNA 修复提供湿度,帮助种子维持生存能力<sup>[21]</sup>;通过增加附生植物微环境的湿度<sup>[22]</sup>,调节植物蒸腾压力而使它们达到一个较高的稳定恢复<sup>[22-23]</sup>,从而使变干的植物复活<sup>[5]</sup>;直接吸收露水资源,改善植物体内水分状态<sup>[24]</sup>,降低体内因蒸腾或其它因素引起的水分亏缺<sup>[4,8,24-25]</sup>;延迟植物叶片萎蔫时间,延长了幼苗的生存时间<sup>[1,26]</sup>。

#### (3) 露水能够改善土壤水分平衡

“土壤-植物-大气”循环是地球化学循环的重大分支,土壤是该分支中重要的组成部分,其水分平衡状况影响植物生长和发育。一般地,土壤水分通过两种途径向大气输送水汽和热量,一是通过植物蒸腾,二是通过土壤蒸发散。干旱条件下,土壤水分散失无法及时得到补充,土壤水分失去平衡。已有的研究结果表明,露水通过改善土壤水分平衡间接对植物生存或生长产生积极影响<sup>[27-28]</sup>,主要表现为土壤水分的直接输入和减少土壤水分的蒸发散。露水可直接凝结在土壤表面,或者当露水浓重时,露滴从枝叶表面滴落到地面而被土壤吸收成为一种额外水分输入<sup>[9,29]</sup>,补充了土壤失去的部分水分,一定程度上缓解了土壤水分紧张<sup>[15]</sup>。露水蒸发因热量散失降低了土壤表层温度,引起土壤蒸发量相应减少,因此露水对蒸发量的显著减少也起着一定的作用<sup>[30]</sup>。土壤水分平衡的维持与改善,促进了地被物的生长与发育,改善了局部微气候,又增加了露水沉降,推动着“土壤-植物-大气”连续系的循环<sup>[7,31-32]</sup>。

#### (4) 露水能调节森林植物生长环境

森林植物生长环境包括林外环境和林内环境,主要指温度、湿度、水、风速和热量等因子,露水对森林植物生长环境的调节作用主要表现为对这些因子的调节作用。与降水类似,森林冠层首先截留部分露水,另外一部分露水通过林窗直接沉降在林内地被物表面,通过冠层树叶直接滴漏的露水较少。由于露水首先在冠层沉降,因此露水对森林植物微环境的调节首先发生在冠层,然后调节林内微环境。

研究表明,森林露水沉降量明显高于其它景观斑块,城市森林每日最大露水量也超过 0.1mm<sup>[32]</sup>,大量露水凝结增加了森林水资源量,改善了森林水循环<sup>[9-11]</sup>。伴随露水形成、沉降和蒸发过程,森林微气候也发生变化,包括森林风速、热量和相对湿度的变化。在热带雨林地区,露水的形成不仅凝结了水汽进入森林,露水形成过程产生的潜热也对森林起到了一定的保温作用,这对热带雨林的生存和发展具有至关重要的作用<sup>[33]</sup>。也有研究认为,露水对一些森林喜光植物的生长和发育有促进作用<sup>[34]</sup>。露水作为一种中间介质参与森林植物与大气水热交换的全过程<sup>[2]</sup>,其对森林生态系统的作用不可忽视。

#### (5) 露水有利于农作物管理及其病虫害防治

露水沉降的一大特点是露水量小、在地被物表面持续时间长,农作物管理中正是充分利用了此特点。在我国长期以来形成的农耕文明中,积累了不少关于露水在农业管理应用上的案例,如傍晚时分喷洒农药、饿苗农作物夜间露天放置、寒露季节采摘油茶等。这些例子虽然仅仅记录了现象,没有从机理上进行剖析,但实质却是充分利用了露水的特点。由于露水具有这一典型特点,并可引起肥料、脱落剂长时间附着,也可延长杀菌

剂杀菌时间等,因此在农作物叶面施肥、脱叶剂使用和农药喷洒上广为应用<sup>[15,35-36]</sup>。

## 1.2 露水对植物生长具有负效应

### (1) 露水导致植物发病

露水持续时间长这一特点在干旱环境为植物提供了持续的水源,也在农业管理上广泛被应用,然而该特点也增加了植物发病的概率。由于许多真菌和细菌病原体在潮湿时释放孢子感染寄主植物,使植物容易发病<sup>[13-14,37]</sup>,因此露水是某些真菌、细菌或植物害虫的水源,如莴苣(*Lactuca sativa*)上的莴苣霜霉病菌(*Cercospora kikuchii*)和松科类植物上的松疱锈菌(*Cronartium Ribicola*)在有露水条件下释放大量的孢子感染各自的寄主,引起寄主发病严重<sup>[18,37-40]</sup>;露水是大豆冠层湿度的主要形式,被铁锈病(*Phakopsora pachyrhizi*)感染的大豆孢子通过露水从中部向冠层扩散极其容易<sup>[41]</sup>。露水的数量和持续时间不同会导致不同的栽培植物上真菌感染增加程度不一致<sup>[16,42]</sup>,当叶片表面长时间被露水水膜包围时,植物组织也极易遭到某些病菌的感染<sup>[16,29,43]</sup>,随着露水维持时间延长,植物发病加剧。

### (2) 露水降低植物产量和质量

露水对植物产量和质量的影响,主要与露水量大小、露水持续时间长短以及露水是否受到污染等特征有关。露水多、持续时间长影响了植物气孔打开,干扰了光合过程,导致CO<sub>2</sub>同化率和生物合成下降;露水多、持续时间长也可能阻断植物花粉传播的路径,降低传粉受精的机率,对植物繁殖产生极不利的影响。若遇到持续时间较长的平流降温寒害天气,露水则会因白天蒸发耗热而延长近地表低温持续时间,从而加重部分热带作物的寒害程度<sup>[15]</sup>。Briscoe和Galvin<sup>[44]</sup>认为凝结在温室外壳的露水使50%左右的光传导受阻,影响了作物光合作用,从而降低了温室内农作物产量<sup>[40]</sup>。露水因持续时间长而被应用于杀菌剂使用,但露水浓重时,露水对杀菌剂进行了稀释,降低了杀菌剂浓度,直接影响了其杀菌效果<sup>[45-46]</sup>,导致作物减产。已有研究表明,污染露水导致植物CO<sub>2</sub>同化率下降,进而引起生物量相应减少,最终导致植被衰退<sup>[47]</sup>。此外,露水因吸收太阳辐射还可能引起果实黑斑<sup>[14]</sup>。

## 2 存在问题

露水的形成受到各种环境因子的影响,而目前关于露水对植物作用效应的研究忽视了环境因子的影响,主要存在如下缺陷:

(1) 全球气候变化愈演愈烈,大气扰动极其频繁,新的间歇性干旱区域不断出现。在干旱环境,露水对植物的生长极其重要,但除了国内外部分地区在干旱区域开展了有限的研究外,露水对植物作用效应研究的信息缺乏。与干旱地区相比,降水丰沛地区露水对植物作用效应的信息几乎缺乏,尤其是露水浓重时更应引起重视。

(2) 随着工业化进程不断加快,大气环境污染日益严重,城市热岛不断加强,城市环境急剧恶化,改变了露水形成的环境。有研究表明,城市露水水中的金属离子、氯离子和亚硝酸含量很高<sup>[48-49]</sup>,这可能与城市大气污染有关<sup>[50-51]</sup>。露水中高含量的金属离子和酸根离子势必对植物生长产生极大的影响,但相关研究极少报道。城市热岛效应对植物生长也产生极大的影响,露水与热岛效应叠加后对植物产生怎样的影响还未可知。因此,在研究露水对植物生理生态效应时充分考虑环境因子的影响极其必要。

(3) 露水为许多真菌和细菌病原体释放孢子感染寄主植物提供便利,导致植物发病,这已是学者们的共识。然而,关于如何充分利用这一特点对病虫害进行防治的研究较为缺乏。当前生物入侵较为严重,如我国华南地区存在薇甘菊 *Mikania micrantha*、五爪金龙 *Ipomoea cairica* 等外来入侵植物和鸡屎藤 *Paederia scandens* 等本地入侵植物大面积危害,在寻找入侵植物控制过程中,充分利用露水导致植物发病这一特点对其进行防治也值得尝试。

## 3 展望

根据国内外有关露水对植物作用效应的研究现状,结合全球变化、城市化和环境污染等环境因子的影响,未来露水对植物作用效应研究重点开展如下几个方面的工作:

(1) 加强露水对植物作用效应及其机理研究 目前,水与植物的关系以及水对植物的重要性已有较为广泛的认识,但露水对植物的重要性以及露水与植物的相互作用机制尚不清楚。众所周知,露水与降水在发生时间、发生频率、产生量、在叶片和土壤上的持续时间上均有较大的差异,这种差异将导致两者在作用效应及其产生机制上的不同。露水这一特殊的生态因子对植物产生怎样的作用效应,干旱胁迫下露水对植物的作用效应与湿润条件下的作用效应是否一致,导致其不同的机制是什么,目前的研究无法回答这些问题,今后需做进一步研究。

不同类型的植物对水分的需求规律以及耐性不同,如旱生和湿生植物,苔藓地衣类植物和高等植物等,这些不同类型的植物对露水存在怎样的响应途径,由于目前相关信息缺乏,这些问题依然不清晰。因此,加大露水对植物作用机理研究对了解露水、植物生长以及两者的相互作用关系均具有重要意义。

(2) 干扰条件下露水对植物作用效应研究 当前对露水直接干扰较为明显的因子有两个,一是露水酸化即酸露包括由于大气粉尘增加引起的酸化和其它因素引起的酸化,另一个为城市热岛效应。

酸沉降一直是学术界的研究热点,酸露是酸沉降的一种类型,它对植物的作用效应也应得到应有的重视。酸雨产生、迁移、扩散等生态学过程及其时空分布格局均引起全球广泛关注,与酸雨相比,对酸露的关注程度极其低,正如多数人不了解露水一样,对酸露信息的获取更加少,酸露对植物作用效应的信息极少报道。国内外的研究结果<sup>[50,52-55]</sup>表明,城市露水均有不同程度的酸化,而酸露对植物的作用效应研究极少,酸露与未酸化露水对植物的作用效应差异及其机理尚需更多研究进行验证。

未来关于酸露的研究中,应模拟不同离子类型和 pH 浓度梯度。虽然我国曾有学者利用模拟酸露对蚕豆 (*Vicia faba*) 进行研究<sup>[56]</sup>,然而,该研究过程未按露水发生规律进行,忽视了露水沉降的特点,显然研究结果不能真实反映酸露对植物的作用效应。因此,应在酸露对植物作用效应研究中充分考虑露水发生规律,重视露水水中的离子成分和酸度梯度。

热岛效应、露水与植物三者共同作用关系研究。随着城市规模不断扩大,人口不断增加,城市建筑密度不断提高,大量废弃能量滞留在城市,城市热岛效应不断增强,大气污染物不断增加,露水酸化不断加强。露水与热岛效应间存在明显的负相关关系<sup>[14,57]</sup>,说明两者在城市中存在相互作用。在露水与热岛效应双重作用下,再与植物发生作用,三者的耦合会产生怎样的生态效应也是未来必须解决的科学问题。全球气候变暖和城市热岛效应都将对生态系统的自然水循环产生一定的影响,因此温度梯度是露水研究中不可忽略的一部分。

(3) 露水对植物多样性的影响 露水因其特殊的形成特征,对植物生存、生长和发育均产生重要的影响,同时也对植物分布格局产生影响,从而影响植物多样性。苔藓地衣类植物对水分极其敏感,露水对这类低等植物的多样性影响较大。干旱地区植物的生长发育对露水有一定的依赖性,因此露水对其多样性影响也较大。由于相关研究未见报道,露水如何影响植物多样性的信息缺乏,未来应给予一定的关注。

(4) 露水在生物防治中的应用研究 充分利用露水数量和持续时间使细菌和真菌等病原体繁殖导致植物发病的特性,筛选可操作的微生物试剂进行农林病害和杂草防治。国外在这方面已有一定尝试<sup>[32,41,58]</sup>,国内尚待深入研究。

致谢:感谢中国科学院华南植物园倪广艳博士对写作的帮助。

#### References:

- [1] Lhomme J P, Jimenez O F. Estimating dew duration on banana and plantain leaves from standard meteorological observations. *Agricultural and Forest Meteorology*, 1992, 62(3/4): 263-274.
- [2] Malek E, McCurdy G, Giles B. Dew contribution to the annual water balances in semi-arid desert valleys. *Journal of Arid Environments*, 1999, 42(2): 71-80.
- [3] Stone E C. Dew as an ecological factor: II. The effects of artificial dew on the survival of *Pinus ponderosa* and associated species. *Ecology*, 1957, 38(3): 414-422.
- [4] Kidron G J. Dew moisture regime of endolithic and epilithic lichens inhabiting limestone cobbles and rock outcrops, Negev Highlands, Israel.

- Flora ,2000 ,195: 146-153.
- [ 5 ] Del Prado R , Sancho L G. Dew as a key factor for the distribution pattern of the lichen species *Teloschistes lacunosus* in the Tabernas Desert ( Spain ) . Flora ,2007 ,202( 5 ) : 417-428.
- [ 6 ] Xiao H , Meissner R , Seeger J , Rupp H , Borg H. Effect of vegetation type and growth stage on dewfall , determined with high precision weighing lysimeters at a site in northern Germany. Journal of Hydrology ,2009 ,377( 1/2 ) : 43-49.
- [ 7 ] Jackson I J. Climate , Water and Agriculture in the Tropics. New York: Longman Inc ,1977: 131-133.
- [ 8 ] William R. Sources of water//Kozlowski T T , ed. Water Dificits and Plant Growth. New York: Academic Press ,1984: 1-20.
- [ 9 ] Asbury C E , McDowell W H , Trinidad-Pizarro R , Berrios S. Solute deposition from cloud water to the canopy of a Puerto Rican montane forest. Atmospheric Environment ,1994 ,28( 10 ) : 1773-1780.
- [10] Bruijnzeel L A , Proctor J. Hydrology and biogeochemistry of tropical montane cloud forest: what do we really know//Hamilton L S , Juvik J D , Scatena F N , eds. Troical Montane Cloud Forests. Honolulu: Proceedings of an International Symposium , East-West Center ,1995: 25-46.
- [11] Ishibashi M , Terashima I. Effects of continuous leaf wetness on photosynthesis: adverse aspects of rainfall. Plant Cell and Environment ,1995 ,18( 4 ) : 431-438.
- [12] Huber L , Gillespie T J. Modelling leaf wetness in relation to plant disease epidemiology. Annual Review of Phytopathology ,1992 ,30: 553-577.
- [13] Richards K. Observation and simulation of dew in rural and urban environments. Progress in Physical Geography ,2004 ,28( 1 ) : 76-94.
- [14] Liu W J , Li H M , Duan W P. An analysis of the dew resource in the Xishuangbanna Area. Journal of Natural Resources ,1998 ,13( 1 ) : 40-45.
- [15] Wallin J R. Agrometeorological aspects of dew. Agricultural Meteorology ,1967 ,4( 2 ) : 85-102.
- [16] Tuller S E , Chilton R. The role of dew in the seasonal moisture balance of a summer-dry climate. Agricultural Meteorology ,1973 ,11: 135-142.
- [17] Chowdhury A , Idas H P , Mukhopadhyay R K. Distribution of dew and its importance in moisture balance for rabicrops in India. Mausam ,1990 ,41: 547-554.
- [18] Schun W. Influence of interrupted dew periods , relative humidity , and light on disease severity and latent infections caused by *Cercospora kikuchii* on soybean. Phytopathology ,1993 ,83( 1 ) : 109-113.
- [19] Duvdevani S. Dew in Israel and Its Effect on Plants. Soil Science ,1964 ,2: 14-21.
- [20] Rao B Q , Liu Y D , Wang W B , Hu C X , Hai L D , Lan S B. Influence of dew on biomass and photosystem II activity of cyanobacterial crusts in the Hopq Desert , northwest China. Soil Biology & Biochemistry ,2009 ,41( 12 ) : 2387-2393.
- [21] Huang Z Y , Boubriak I , Osborne D J , Dong M , Gutterman Y. Possible role of pectin-containing mucilage and dew in repairing embryo DNA of seeds adapted to desert conditions. Annals of Botany ,2008 ,101( 2 ) : 277-83.
- [22] Stone E C. Dew as an ecological factor: I. a review of the literature. Ecology ,1957 ,38( 3 ) : 407-413.
- [23] Duvdevani S. Dew gradients in relation to climate , soil and topography//Proceedings of International Symposium of Desert Research. Research Council of Israel: Jerusalem Special Publication ,1953 ,( 2 ) : 1-17.
- [24] Munne-Bosch S , Alegre L. Role of dew on the recovery of water-stressed *Melissa officinalis* L. plants. Journal of Plant Physiology ,1999 ,154( 5/6 ) : 759-766.
- [25] Stewart J B. Evaporation from the wet canopy of a pine forest. Water Resources Research ,1977 ,13( 6 ) : 915-921.
- [26] Fritschen L J , Doraiswamy P. Dew: an addition to the hydrologic balance of Douglas fir. Water Resources Research ,1973 ,9( 4 ) : 891-894.
- [27] Yan B X , Wang Y Y , Xu Z G , Dong S B. Study on the dew condensation in the marsh ecosystem in Sanjiang Plain. Wetland Science ,2004 ,2( 2 ) : 94-99.
- [28] Monteith J L , Unsworth M H. Principles of Environmental Physics. London: Edward Arnold ,1990.
- [29] Liu W J , Zeng J M , Wang C M , Li H M , Duan W P. On the relationship between forests and occult precipitation ( dew and fog precipitation ) . Journal of Natural Resources ,2001 ,16( 6 ) : 571-575.
- [30] Monteith J L. Dew. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society ,1956 ,42: 572-580.
- [31] Zhang J , Zhang Y M , Downing A , Cheng J H , Zhou X B , Zhang B C. The influence of biological soil crusts on dew deposition in Gurbantunggut Desert , Northwestern China. Journal of Hydrology ,2009 ,379( 3/4 ) : 220-228
- [32] Ye Y H , Zhou K , Song L Y , Jin J H , Peng S L. Dew amounts and its correlations with meteorological factors in urban landscapes of Guangzhou , China. Atmospheric Research ,2007 ,86( 1 ) : 21-29.
- [33] Liu W J , Zhang K Y , Li H M , Duan W P , Wang C M. The microclimate of dew and fog formation on canopy layer in the dry season in Xishuangbanna tropical rain forest. Acta Ecologica Sinica ,2001 ,21( 3 ) : 486-491.
- [34] Víctor L , Barradas M , Glez-Medellín G. Dew and its effect on two heliophile understorey species of a tropical dry deciduous forest in Mexico. International Journal of Biometeorology ,1999 ,43( 1 ) : 1-7.
- [35] Newton O H , Riley J A. Dew in the Mississippi Delta in the fall. Monthly Weather Review ,1964 ,92( 8 ) : 369-373.
- [36] Marcos-martin M , Beysens D , Bouchaud J P , Godrèche C , Yekutieli I , Beysens D. Self-diffusion and 'visited' surface in the droplet condensation problem ( breath figures ) . Physica A ,1995 ,214( 3 ) : 396-412.
- [37] Schein R D. Planning in Plant Disease Programs. UNESCO: Resources Research ,1968: 141-151.
- [38] Lloyd M G. The contribution of dew to the summer water budget of Northern Idaho. Bulletin of the American Meteorological Society ,1961 ,42: 572-580.

- [39] Jones A L. Role of wet periods in predicting foliar diseases // Leonard K J, Fry W E, eds. *Plant Disease Epidemiology*. New York: Collier MacMillan, 1986: 87-100.
- [40] Scherm H, Koike S T, Laemmle F F, Van Bruggen A H C. Field evaluation of fungicide spray advisories against lettuce downy mildew (*Bremia lactucae*) based on measured or forecast morning leaf wetness. *Plant Disease*, 1995, 79: 511-516.
- [41] Schmitz H F, Grant R H. Precipitation and dew in a soybean canopy: spatial variations in leaf wetness and implications for *Phakopsora pachyrhizi* infection. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2009, 149(10): 1621-1627.
- [42] Buttlar D R. Dew and thermal lag: measurements and estimate of wetness duration on cocoa pods. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 1980, 106(449): 539-550.
- [43] Beysens D. The formation of dew. *Atmospheric Research*, 1995, 39(1/3): 215-237.
- [44] Rosenberg K J. *Microclimate, The Biological Environment*. New York: John Wiley and Sons, Inc, 1973: 136-144.
- [45] Briscoe B J, Galvin K P. The effect of surface fog on the transmittance of light. *Solar Energy*, 1991, 46(4): 191-197.
- [46] McCowan R L, Wall B H. The influence of weather on the quality of tropical legume pasture during the dry season in Northern Australia. II. Moulding of standing hay in relation to rain and dew. *Australian Journal of Agricultural Research*, 1981, 32(4): 589-598.
- [47] Nakatani N, Akane S, Chiwa M, Kobayashi T, Sakugawa H. Roles of hydroxyl radical generating/scavenging mechanisms in pseudo polluted dew in reducing the foliar CO<sub>2</sub> assimilation rate and biomass production of Japanese red pine (*Pinus densiflora* Sieb. et Zucc.) seedlings. *Environmental and Experimental Botany*, 2007, 60(2): 159-169.
- [48] Barr A G, Brown D M. Estimating forage yield and quality changes during field drying for hay. 2. Model of forage drying. *Agricultural and Forest Meteorology*, 1995, 76(2): 107-127.
- [49] Mulawa P A, Cadle S H, Lipari F, Ang C C, Vandervennet R T. Urban dew: its competition and influence on dry deposition rates. *Atmospheric Environment*, 1986, 20(7): 1389-1396.
- [50] Crutzen P J P J. New directions: the growing urban heat and pollution "island" effect-impact on chemistry and climate. *Atmospheric Environment*, 2004, 38(21): 3539-3540.
- [51] Takeuchi M, Okochi H, Igawa M. Dominant factors of major and minor components and formation of hydroxyalkanesulfonate in urban dew-water. *Water, Air, and Soil Pollution*, 2001, 130(1/4): 613-618.
- [52] Takeuchi M, Okochi H, Igawa M. Controlling factors of weak acid and base concentrations in urban dew-water-comparison of dew chemistry with rain and fog chemistry. *Bulletin of the Chemical Society of Japan*, 2002, 75(4): 757-764.
- [53] Chiwa M, Oshiro N, Miyake T, Nakatani N, Kimura N, Yuhara T, Hashimoto N, Sakugawa H. Dry deposition washoff and dew on the surfaces of pine foliage on the urban-and mountain-facing sides of Mt. Gokurakuji, western Japan. *Atmospheric Environment*, 2003, 37(3): 327-337.
- [54] Ortiz V, Rubio M A, Lissi E A. Hydrogen peroxide deposition and decomposition in rain and dew waters. *Atmospheric Environment*, 2000, 34(7): 1139-1146.
- [55] Rubio M A, Lissi E, Villena G. Nitrite in rain and dew in Santiago city, Chile. Its possible impact on the early morning start of the photochemical smog. *Atmospheric Environment*, 2002, 36(2): 293-297.
- [56] Ye Y H. *Urban Dew and Its Ecological Effect*. Guangzhou: Sun Yat-Sen University, 2008: 40-48.
- [57] Le Y Q, Dai X Z, Zhou B B. Experiment on the effect of simulated dew on plant. *Shanghai Environmental Sciences*, 1998, 17(2): 33-34.
- [58] Walker H L, Riley J A. Evaluation of *alternaria cassiae* for the biocontrol of sicklepod (*Cassia obtusifolia*). *Weed Science*, 1982, 30(6): 651-654.

#### 参考文献:

- [14] 刘文杰, 李红梅, 段文平. 西双版纳地区露水资源分析. *自然资源学报*, 1998, 13(1): 40-45.
- [27] 阎百兴, 王毅勇, 徐治国, 董树斌. 三江平原沼泽生态系统中露水凝结研究. *湿地科学*, 2004, 2(2): 94-99.
- [29] 刘文杰, 曾觉民, 王昌命, 李红梅, 段文平. 森林与雾露水关系研究进展. *自然资源学报*, 2001, 16(6): 571-575.
- [33] 刘文杰, 张克映, 李红梅, 段文平, 王昌命. 西双版纳热带雨林干季林冠层雾露形成的小气候特征研究. *生态学报*, 2001, 21(3): 486-491.
- [56] 叶有华. 城市露水及其生态效应研究. 广州: 中山大学, 2008: 40-48.
- [57] 乐毅全, 戴学真, 周斌斌. 模拟酸露对植物影响的实验. *上海环境科学*, 1998, 17(2): 33-34.