

陕北安塞县黄土丘陵区露水凝结时间与频率

王 浩^{1,2} 贾志峰^{1,2,3} 卢玉东^{1,2} 何自立⁴ 汪有科^{4,5} 陈云明⁵ 王 智^{1,2,3,4,6*}

(¹长安大学环境科学与工程学院, 西安 710054; ²旱区地下水文与生态效应教育部重点实验室, 西安 710054; ³长安大学水与发展研究院, 西安 710054; ⁴西北农林科技大学水利与建筑工程学院, 陕西杨凌 712100; ⁵中国科学院水利部水土保持研究所, 陕西杨凌 712100; ⁶美国加州州立大学弗雷斯诺分校地球与环境科学系, 美国加州 93740)

摘 要 露水凝结时间和频率是开发利用气态水资源的基本参数.根据 2015 和 2016 年黄土丘陵典型地区陕西安塞县的实地近地表露水监测数据,分析露水凝结时间和发生频率及其大气影响因子.结果表明:研究区露水凝结时间长且具有周期性.就日周期而言,露水呈现“昼伏夜出”的典型特点,主要凝结时段为 21:00 至次日 8:00,其中,4:00—6:00 是露水最易凝结时段;就季周期而言,夏秋季是露水的频发期,春冬季是露水低发期;就年周期而言,6—11 月是露水最易凝结时段.相比降雨,露水具有发生频率高、稳定性强的特点.露水的形成是下垫面和多种气象因素综合作用的结果,在相对湿度>80%、气温-露点差为 1~3℃及风速为 0~1 m·s⁻¹时露水发生频率更高.单就安塞地区而言,风向为 120°~150°和 240°~300°时更有利于露水凝结.

关键词 露水凝结时段;露水发生频率;黄土丘陵区;气象因素

Dew condensation time and frequency in the loess hilly region of Ansai County, northern Shaanxi Province, China. WANG Hao^{1,2}, JIA Zhi-feng^{1,2,3}, LU Yu-dong^{1,2}, HE Zi-li⁴, WANG You-ke^{4,5}, CHEN Yun-ming⁵, WANG Zhi^{1,2,3,4,6*} (¹College of Environmental Science and Engineering, Chang'an University, Xi'an 710054, China; ²Ministry of Education Key Laboratory of Subsurface Hydrology and Ecological Effects in Arid Region, Xi'an 710054, China; ³Research Institute of Water and Development, Chang'an University, Xi'an 710054, China; ⁴College of Water Resources and Architectural Engineering, Northwest A&F University, Yangling 712100, Shaanxi, China; ⁵Soil and Water Conservation and Ecological Environment Research Center, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources, Yangling 712100, Shaanxi, China; ⁶Department of Earth and Environmental Sciences, California State University, Fresno, California 93740, USA).

Abstract: Dew condensation time and frequency are basic parameters for exploring the vapor phase of water resources. According to an *in-situ* monitoring of near-surface dew occurrence between 2015 and 2016 in a typical loess hilly region of Ansai County, Shaanxi Province, the dew condensation time, frequency and their atmospheric influencing factors were analyzed. Results showed that the dew condensation time was long and occurred in cyclic patterns. Over the daily cycle, dew manifested a typical “night-time show and day-time no-show” pattern, and it mainly occurred between 21:00 and 8:00 while the most frequently condensed dew period was between 4:00 and 6:00. Over the seasonal cycle, summer and fall had the higher frequency, whereas spring and winter had the lower frequency. Over the annual cycle, the most frequent dew period was from June to November. Compared to rainfall, dewfall had characteristics of higher frequency and stronger stability. A variety of substrate and meteorological factors contributed to the formation of dew, *e.g.* dew occurred more frequently when the atmospheric relative humidity was greater than 80%, air temperature-dew point difference was between 1 and 3℃, and wind speed was between 0 and 1 m·s⁻¹. In Ansai, wind directions ranging among 120°–150° and 240°–300° were more favorable to dew condensation.

Key words: dew condensation time; dew occurrence frequency; loess hilly region; meteorological factors.

本文由“111”引智计划项目(B08039)、中央高校基本科研业务专项(310829161003)和西北农林科技大学后稷学者专项项目(Z111021003)资助 This work was supported by the “111” Intellectual Importation Project (B08039), the Fundamental Research Funds for the Central Universities (310829161003) and the Houji Scholar Special Funds from Northwest A&F University (Z111021003).

2016-12-26 Received, 2017-04-09 Accepted.

*通讯作者 Corresponding author. E-mail: zwang@csufresno.edu

露水是在地表辐射冷却、温度降到露点以下后水汽在物体表面的凝结物^[1-2]。露水不仅对植物生长起着至关重要的作用^[1,3-4],而且可以作为潜在水源进行收集处理供住户饮用^[5-6]。尤其在干旱半干旱地区,降雨时空分布不均,露水作为重要的非降水性陆面液态水源,不仅可以被植物直接吸收利用,而且具有极高的吸收利用效率,更重要的是可以在植物水分极端亏损后发挥关键恢复作用^[7-8]。早在1957年, Monteith^[9]就对露水开展了相关研究。到目前为止,露水的研究主要集中在测量方法、物理特性、露水量、露水时段、形成机制、影响因子以及生态效应和气候效应^[10-19],其中,关于露水时段的研究又大多集中在露水持续时段上^[11-12,14],关于露水凝结时间和频率的研究较少。露水量大小取决于下垫面物理、生物特性和天气条件^[5-6,20]。露水凝结时段和频率大小是开发利用气态水资源的基本参数。为此,本文在黄土丘陵区开展了露水凝结时间的监测试验,探讨了露水凝结时间和发生频率,以期为进一步探究露水形成机制提供依据,并为如何高效收集利用露水提供实测参考。

1 研究地区与研究方法

1.1 研究区概况

试验地点在中国科学院水利部水土保持研究所安塞试验站气象园(36°51'30" N, 109°19'23" E)。陕西安塞县地处黄土高原腹地,属典型黄土丘陵沟壑区,土壤类型属于黄绵土与沙黄土交错区;气候处于暖温带半湿润向半干旱过渡区;植被类型处于暖温带落叶阔叶林向干草原过渡的森林草原区,同时又是典型受人类活动影响的水土流失严重区。该地年平均降水量 500 mm,海拔 1068~1309 m,年均气温 8.8 °C,无霜期 157 d。

1.2 设备安装及指标测定

在试验站气象园选取边缘裸地,并在距离地面 10 cm 以上安装露水过程监测仪器。监测仪器均由美国 Decagon 公司生产,具体试验安装如下:

1) 地面以上 10 cm 处安装高分辨率且无需校准的电介质式叶片湿度传感器 (leaf wetness sensor, LWS),以监测叶片的湿度状况,传感器读数以电压信号输出,数据经过实测率定转换便可得到冠层叶片的累积露水量,该仪器精度为±0.02 mm 水深,最大承载量为 0.8 mm 水深。

2) 地面以上 10 cm 处安装大气湿度仪 (VP-3),可同时监测大气温度和湿度。仪器最小大气湿度测

量精度为±2%;温度精度为±0.1 °C。

3) 地面以上 200 cm 处架设风速仪 (Davis Cup),可同时监测风速、风向。风速仪风速精度为±0.45 m·s⁻¹;风向精度为±1°。

4) 地面以上 160 cm 处架设雨量计 (ECRN-100),进行降雨监测。雨量计精度为±0.2 mm。

5) 地面以上 100 cm 处安装 EM50 数据采集器。以上各传感器用耳机插口方式与 EM50 相连接,EM50 由 4 节五号干电池为电源,可持续运行 1 年以上,内存数据可随时通过耳机插口数据线直接下载至计算机,并自动转换为 Excel 数据格式。以上所有测量数据均由 EM50 自动采集记录,测定步长为 15 min。测量时间为 2015 年 7 月 15 日至 2016 年 7 月 10 日。

设备及田间安装如图 1 所示,其中,EM50 数据采集器置于防护箱内。

1.3 研究方法

露水凝结和降雨一般不同时发生,但露水检测器也自动记录降雨时段。为了排除降雨的干扰,分析中剔除了降雨过程中露水仪测量数据。受风速、温湿度突变等因素影响,露水也可能在任一时刻停止凝结或蒸发,造成非连续性上升和下降过程。本文仅选取典型露水凝结过程(图2):露水凝结时段为实测

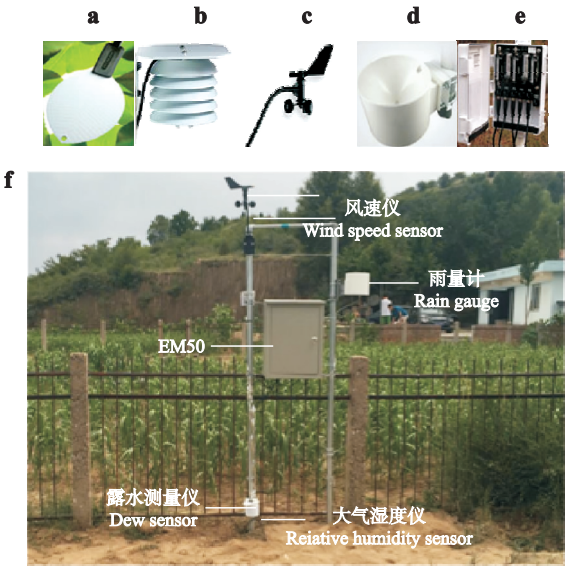


图 1 安塞试验站气象园露水监测设备及安装图
Fig.1 Sketch of dew monitoring system and installation in Ansai Meteorological Station.

a) 露水测量仪 Dew sensor (Leaf Wetness Sensor, Decagon Devices Inc., USA); b) 大气湿度仪 Relative humidity sensor (VP-3); c) 风速仪 Wind speed sensor (Davis Cup); d) 雨量计 Rain gauge (ECRN-100); e) EM50 数据采集器 EM50 data logger; f) 田间设备安装 Field equipment installation.

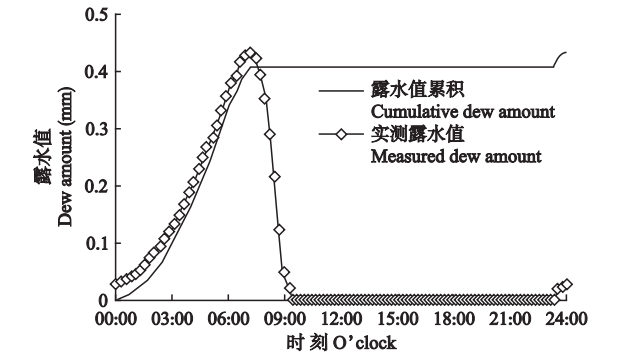


图2 典型日露水凝结过程线
Fig.2 Typical daily dew condensation process (2015-07-19).

露水值上升时段,其下降或水平段为露水蒸发阶段,视为无露水凝结时段。

露水发生频率为任一时段内露水凝结的次数与统计时段总记录次数的比值.例如,若以1 d(24 h)为统计时段,特定小时凝结的露水,其频率为该小时内每15 min时段露水量凝结次数与当日露水监测总次数(即 $24\times4=96$)的比值。

2 结果与分析

2.1 露水凝结时间

2.1.1 典型日动态 统计一天内每小时露水凝结的次数(图2)以及当日露水凝结的可能总次数(即总监测次数96次),得到露水凝结的日动态(图3)。可以看出,从22:00起,露水开始凝结,直到次日6:00结束,期间几乎没有露水间断.露水主要凝结时间为夜间和凌晨,白天露水凝结较少,呈现“昼伏夜出”的典型特点.其中,露水连续凝结时段占日长时数的33.3%(即三分之一),无露水时段占66.7%(三分之二)。

2.1.2 季节日动态 由图4可以看出,露水凝结时段的季节日变化具有周期性,且日变化特征明显.各个季节的日变化曲线总体趋势与典型日变化曲线

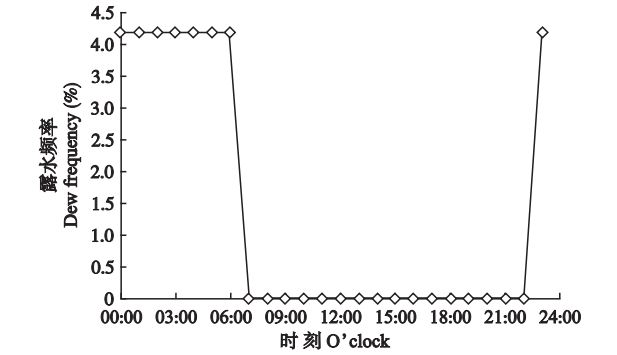


图3 典型日露水频率直方图
Fig.3 Histogram of typical daily dew frequency (2015-07-19).

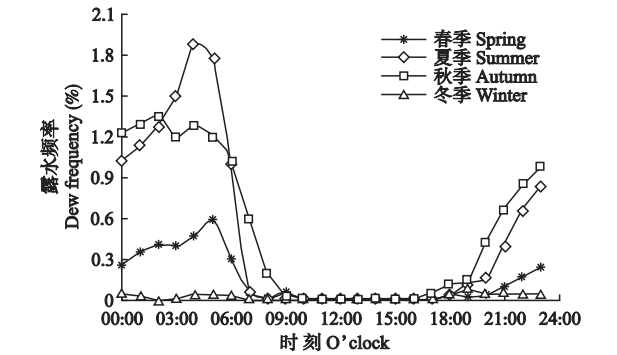


图4 露水频率的季节典型日动态
Fig.4 Typical daily dew frequency in different seasons.

(图3)相似.春季露水凝结的日变化幅度较小,露水频率在5:00达到最大值(0.6%);夏季露水凝结的日变化幅度明显大于其他季节,露水频率在4:00达到最大值(1.9%);秋季在四季中累积露水发生频率最大,除3:00—5:00外,其他时段的露水发生频率均大于其他季节;受低温影响,冬季日变化幅度最小,且各时段露水发生频率极低.总体来说,露水主要在21:00至次日8:00凝结,在4:00—6:00露水凝结的机会最大,7:00—17:00几乎没有露水凝结。

2.1.3 露水发生频率与重现期的季节分布 统计试验监测期内不同季节露水凝结的次数以及监测总次数,得到露水发生频率的季节分布.由图5可以看出,露水凝结随季节变化明显.秋季露水发生频率最高,为3.2%;夏季露水发生频率次之,为2.9%;春、冬季露水发生频率较低,分别为0.9%和0.1%.按15 min监测段长度计算,秋季露水的平均重现期为7.8 h,即平均每隔7.8 h会有露水再次发生;夏、春和冬季露水的平均重现期分别为8.6、27.7和250 h.各季节露水频率的大小依次为:秋季>夏季>春季>冬季.这与国内其他地方的研究结果基本一致^[14],都是夏秋季为露水高发期、春冬季为露水低发期。

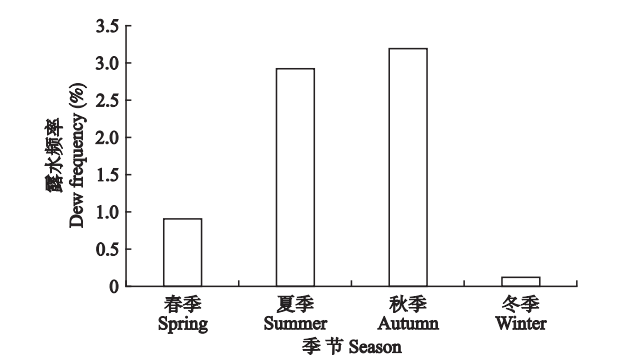


图5 露水凝结频率的季节分布
Fig.5 Seasonal distribution of dew frequency.

2.1.4 露水频率与重现期的月分布 统计试验监测期内不同月份露水凝结的次数以及年内监测总次数,得到露水凝结的月变化和重现期.由图 6 可以看出,6—11 月是全年露水发生频率最高的月份,发生频率约为 1.1%,相应的重现期也是全年最短,平均只有 25 h;露水发生频率较低月份主要集中在 12 月至次年 3 月,发生频率不到 0.2%,其中,1 月和 12 月的露水发生频率几乎为零,没有重现期;从 5 月开始,露水发生频率有明显增加趋势,6 月达到一个极高点,7 月略有下降,然后随月份呈递增和高涨状态,直至 10 月达到最大,11 月开始聚减.

2.2 露水年内发生频率

由图 7 可见,监测时段(363 d)内,有露水凝结的天数共 148 d,发生频率为 40.8%;降雨发生天数共 134 d,发生频率为 36.9%.与降雨比较,露水发生频率较高,尤其在 6—11 月,几乎每天都有露水凝结.露水和降雨异日异时发生,形成天然互补,使水气供应更为频繁.

2.3 露水发生频率的影响因素

2.3.1 相对湿度 由露水在不同相对湿度条件下发生的频率可以看出(图 8),露水发生频率随相对湿度的增大而增大.在相对湿度为 80.0%~100%时,露

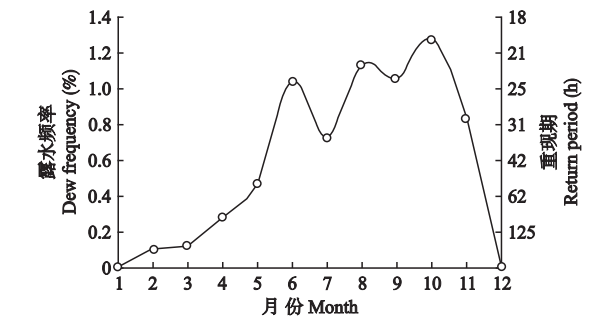


图 6 露水凝结的月频率变化及重现期
Fig.6 Monthly frequency variation and return period of dew condensation.

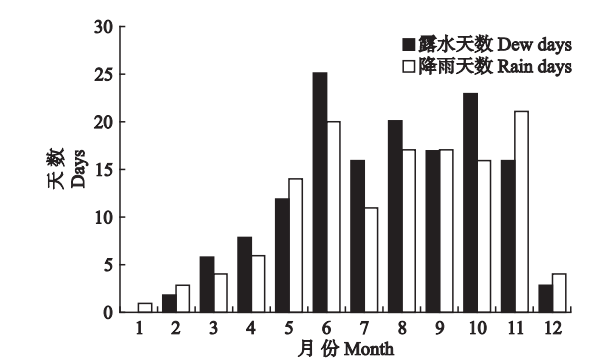


图 7 年内露水和降雨天数的对比
Fig.7 Comparison of dew and rainfall days during the year.

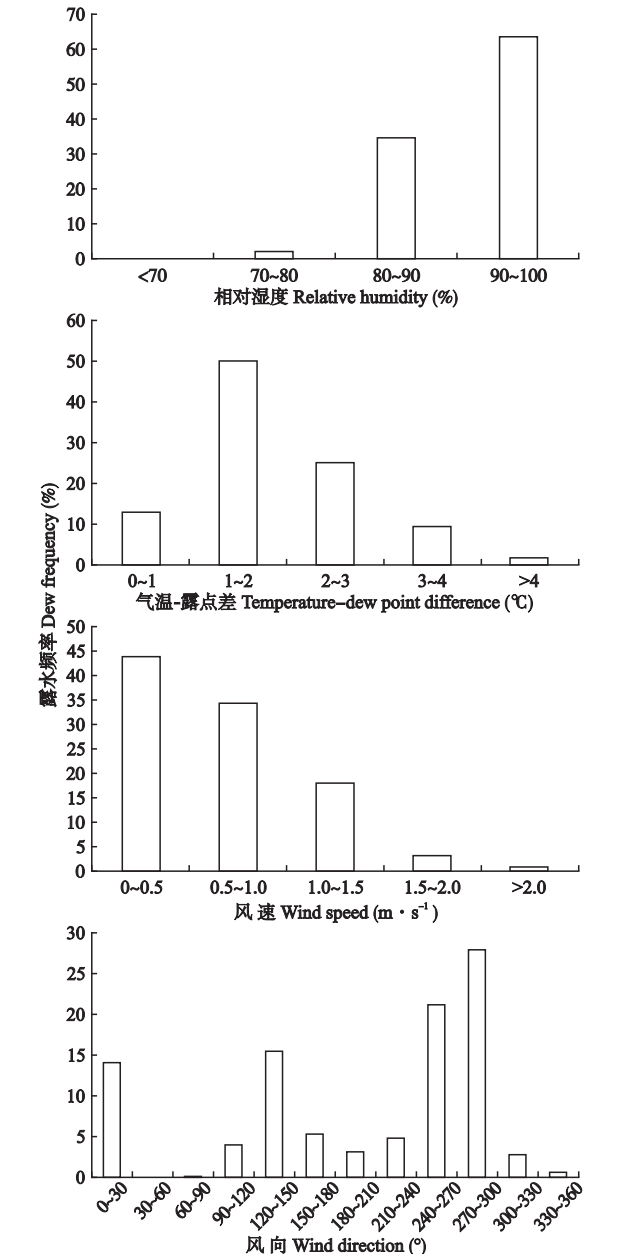


图 8 露水随相对湿度、气温-露点差、风速和风向的频率分布
Fig.8 Dew frequency versus relative humidity, air temperature-dew point difference, wind speed and wind direction.

水发生频率累计达 97.9%;相对湿度小于 80.0%时,露水发生频率骤减;相对湿度小于 70.0%时,露水发生频率仅为 0.2%.

2.3.2 气温-露点差 基于 Lawrence^[21] 公式计算得到露点值,然后分析不同气温-露点差条件下露水发生的频率.由图 8 可以看出,露水主要在气温-露点差较小时凝结.在气温-露点差大于 2 °C 时,露水发生频率随气温-露点差的增大有递减趋势.气温-露点差为 1~3 °C 是露水最易发生时段,露水发生频率高

达 74.9%,而在气温-露点差大于 4℃时,露水发生频率较低,仅为 2.1%。

2.3.3 风速 从图 8 可以看出,露水主要在风速为 0~1.5 m·s⁻¹的区间凝结,在风速为 0~1 m·s⁻¹时,发生频率达 78.3%。露水发生频率随风速增大呈梯度递减,在风速大于 2 m·s⁻¹时,鲜有露水凝结,发生频率不到 0.6%。

2.3.4 风向 由图 8 可以看出,露水主要在风向为 120°~150°和 240°~300°两个区间凝结,其他区间露水发生频率较低,只有 35.5%。在风向为 270°~300°时,露水发生频率最高,接近 30.0%。

3 讨 论

通过露水凝结的日动态可以看出,露水最易凝结的时段为 21:00 至次日 8:00,白天几乎不会有露水凝结,这与王胜等^[22]研究结果基本一致。王胜等^[22]研究发现,露水一般在 20:00 之后才会凝结,而本研究监测到在 17:00—19:00 仍有一定露水凝结,出现该差异的可能原因在于:1)露水采集器及其隔热性可能不同;2)数据采集密度不同对试验结果产生影响,由于存在晚间蒸发,有些时段露水凝结后可能还未测量就已蒸发,所以不同的数据采集密度会对试验结果产生一定影响;3)对白天产生露水的的数据进行分析,发现大部分露水在相对湿度>85.0%的时段凝结,由于露水的形成是多种因素综合作用的结果,所以在条件适宜的情况下也有一定几率使露水凝结。

研究区露水主要凝结时间为 6—11 月,该时段夜间长波辐射散热,地表降温,昼夜温差较大,以致地表冷空气活动频繁;此外,由于受季风影响,近地层拥有更好的水汽条件^[23],有利于露水的形成。

气温-露点差和相对湿度是控制露水形成的主要因素^[24]。大气温度为结露提供动力,是结露的关键因素,相对湿度则为结露提供必要的水汽来源^[22]。Monteith^[9]指出,露水的形成只需要凝结面温度低于环境露点温度,并不需要相对湿度达到 100%。本研究中露水主要在相对湿度大于 80.0%的区间内凝结,在相对湿度小于 70.0%时几乎没有露水凝结,这与王胜等^[22]研究结果基本一致。本文中气温-露点差为 1~3℃是露水最易凝结区间,在此范围内,露水发生频率高达 74.9%,这与该地区其他研究结果^[25]相一致。

风既能带来潮湿气流促进露水的形成,又能通过增大空气热交换阻碍露水的形成^[26]。对于露水来

说,适宜的风速显得尤为重要。本文中露水凝结的适宜风速区间为 0~1 m·s⁻¹,在风速大于 2 m·s⁻¹时几乎没有露水形成。但 Monteith^[9]研究认为,露水的形成需要风速小于 0.5 m·s⁻¹; Muselli 等^[27]则认为,风速小于 1 m·s⁻¹可以为露水形成提供更充足的水分来源;在我国黄土高原区的研究发现,露水凝结的适宜风速区间为 1~1.6 m·s⁻¹^[13]。由此可见,风速与露水的关系目前尚不确定,露水形成所需的风速区间受地域和气候条件影响^[28]。

本文中露水主要在风向为 90°~150°和 240°~300°两个区间内凝结,对该地区风向分析发现,该区主风向为西北东南风,尤以西北风向为主,而地区主风向势必会带来更多的水汽来源,促进露水凝结。Sharana 等^[24]在印度 Kothara 地区研究发现,在风向为 0°~100°和 240°~360°时露水更易形成。风向对露水的作用因区域地理位置、地区主风向和水汽来源不同而不同,所以该试验中露水随风向的频率分布特征仅适用于安塞地区,不能一概而论。

4 结 论

通过对安塞地区近 1 年的露水观测和分析,得到以下主要结论:1)露水凝结时间具有明显的周期性。日动态显示露水凝结时间主要发生在 21:00 至次日 8:00,白天露水凝结较少;各季节露水显现的频率顺序为:秋季>夏季>春季>冬季;年内动态表明,6—11 月是全年露水发生频率最高月份。2)露水形成是多种下垫面物理、生物特性和气象因素综合作用的结果。相对湿度和气温-露点差是露水形成的主要因素,风速和前期降雨等因素也对其产生重要影响。从露水发生频率的分布特征来看,在相对湿度>80.0%、气温-露点差为 1~3℃及风速为 0~1 m·s⁻¹时露水更易凝结。风向对露水频率的作用受区域地理位置等因素影响,在本试验区,风向 120°~150°和 240°~300°时更有利于露水形成。

致谢 感谢长安大学研究生院、长安大学水与发展研究院、西北农林科技大学、中国科学院水利部水土保持研究所和中国科学院安塞水土保持试验站对本试验项目的支持与帮助。

参考文献

- [1] Ye Y-H (叶有华), Peng S-L (彭少麟). Review of dew action effect on plants. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), 2011, **31**(11): 3190–3196 (in Chinese)
- [2] Agam N, Berliner P. Dew formation and water vapor adsorption in semi-arid environments: A review. *Journal of Arid Environments*, 2006, **65**: 572–590

- [3] Xu Y-Y (徐莹莹), Yan B-X (阎百兴), Tang J (汤洁), *et al.* Effect of paddy dew on rice growth. *Chinese Journal of Eco-Agriculture* (中国生态农业学报), 2014, **22**(12): 1433-1439 (in Chinese)
- [4] Yan B-X (阎百兴), Xu Y-Y (徐莹莹), Wang L-X (王莉霞). Dew condensation rules in farm land ecosystem in Sanjiang Plain. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), 2010, **30**(20): 5577-5584 (in Chinese)
- [5] Beysens D, Clusc O, Miletac M, *et al.* Collecting dew as a water source on small islands: The dew equipment for water project in Biševo (Croatia). *Energy*, 2007, **32**: 1032-1037
- [6] Sharan G, Clus O, Singh S, *et al.* A very large dew and rain ridge collector in the Kutch area (Gujarat, India). *Journal of Hydrology*, 2011, **405**: 171-181
- [7] Zhang Q (张强), Wang S (王胜), Zeng J (曾剑). On the non-rained land-surface water component and their relationship with soil moisture content in arid region. *Arid Zone Research* (干旱区研究), 2010, **27**(3): 392-400 (in Chinese)
- [8] Hao XM, Li C, Guo B, *et al.* Dew formation and its long-term trend in a desert riparian forest ecosystem on the eastern edge of the Taklimakan Desert in China. *Journal of Hydrology*, 2012, **472**: 90-98
- [9] Monteith JL. Dew. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 1957, **83**: 322-341
- [10] Wen X-M (问晓梅), Zhang Q (张强), Wang S (王胜), *et al.* Research advance about characteristic of dewfall on land surface and its ecological and climatic effects. *Journal of Arid Meteorology* (干旱气象), 2008, **26**(4): 5-11 (in Chinese)
- [11] Lhomme JP, Jimenez OF. Estimating dew duration on banana and plantain leaves from standard meteorological observations. *Agricultural and Forest Meteorology*, 1992, **62**: 263-274
- [12] Kabela ED, Hornbuckle BK, Cosh MH, *et al.* Dew frequency, duration, amount, and distribution in corn and soybean during SMEX05. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2009, **149**: 11-24
- [13] Kidron GJ. Analysis of dew precipitation in three habitats within a small arid drainage basin, Negev Highlands, Israel. *Atmospheric Research*, 2000, **55**: 257-270
- [14] Ye Y-H (叶有华), Zhou K (周凯), Peng S-L (彭少麟), *et al.* Dew condensation in clear night of Conghua City. *Tropical Geography* (热带地理), 2009, **29**(1): 26-30 (in Chinese)
- [15] Pan YX, Wang XP, Zhang YF. Dew formation characteristics in a revegetation-stabilized desert ecosystem in Shapotou area, Northern China. *Journal of Hydrology*, 2010, **387**: 265-272
- [16] Beysens D. The formation of dew. *Atmospheric Research*, 1995, **39**: 215-237
- [17] Liu W-J (刘文杰), Zhang K-Y (张克映), Zhang G-M (张光明), *et al.* Canopy interceptive effect of dew and fog resources from dry season tropical rainforest in Xishuangbanna. *Resources Science* (资源科学), 2001, **23**(2): 75-80 (in Chinese)
- [18] Lekouch I, Lekouch K, Muselli M, *et al.* Rooftop dew, fog and rain collection in southwest Morocco and predictive dew modeling using neural networks. *Journal of Hydrology*, 2012, **448-449**: 60-72
- [19] Gao Z-Y (高志永), Wang Y-K (汪有科), Wei X-G (魏新光), *et al.* Indoor simulation on dew formation on plant leaves. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 2014, **25**(3): 725-730 (in Chinese)
- [20] Yan B-X (阎百兴), Wang Y-Y (王毅勇), Xu Z-G (徐治国), *et al.* Study on the dew condensation in the marsh ecosystem in Sanjiang Plain. *Wetland Science* (湿地科学), 2004, **2**(2): 94-99 (in Chinese)
- [21] Lawrence MJ. The relationship between relative humidity and the dewpoint temperature in moist air. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 2005, **86**: 225-233
- [22] Wang S (王胜), Zhang Q (张强). Atmospheric physical characteristics of dew formation in semi-arid in loess plateau. *Acta Physica Sinica* (物理学报), 2011, **60**(5): 846-853 (in Chinese)
- [23] Zhang Q (张强), Wang S (王胜), Wen X-M (问晓梅), *et al.* An experimental study of land surface condense phenomenon and water budget characteristics over the Loess Plateau. *Acta Meteorologica Sinica* (气象学报), 2012, **70**: 128-135 (in Chinese)
- [24] Sharana G, Beysens D, Milimouk-Melnychouk I. A study of dew water yields on Galvanized iron roofs in Kothara (North-West India). *Journal of Arid Environments*, 2007, **69**: 259-269
- [25] Gao Z-Y (高志永). Formation Condition and Quantification of Dew in the Semi-arid Loess Hilly-gully Region. Master Thesis. Yangling: Northwest A&F University, 2014 (in Chinese)
- [26] Muselli M, Beysens D, Mileta M, *et al.* Dew and rain collection in the Dalmatian Coast, Croatia. *Atmospheric Research*, 2009, **92**: 455-463
- [27] Muselli M, Beysens D, Marcillat J, *et al.* Dew water collector for potable water in Ajaccio (Corsica Island, France). *Atmospheric Research*, 2002, **64**: 297-312
- [28] Wen X-M (问晓梅). Research of Dew and Evaporation Characteristics of Semi-arid Area. Master Thesis. Beijing: Chinese Academy of Meteorological Sciences, 2009 (in Chinese)

作者简介 王浩,男,1993年生,硕士研究生.主要从事近地面气态水研究. E-mail: wallhao3@163.com

责任编辑 杨弘