

蒋伊蓉,黄少妮,郭云云,等. 榆林市雾的变化特征及地面气象条件分析[J]. 陕西气象,2024(2):16-22.

文章编号:1006-4354(2024)02-0016-07

榆林市雾的变化特征及地面气象条件分析

蒋伊蓉^{1,2},黄少妮^{2,3},郭云云⁴,康磊¹,许晓艳¹

(1. 榆林市气象局,陕西榆林 719000;

2. 陕西省气象局秦岭和黄土高原生态环境气象重点实验室,西安 710016;

3. 陕西省气象台,西安 710014;4. 四川省气象台,成都 610072)

摘要:利用榆林市12个国家气象观测站2016—2020年逐小时地面观测资料,统计分析了榆林地区雾的变化特征及地面气象条件。结果表明:(1)榆林地区各等级雾中强浓雾出现时数最多,特强浓雾鲜少出现;各等级雾都呈现显著的季节变化和日变化特征,多出现于秋季,10月最多,日变化呈单峰型,07:00前后达到峰值。(2)雾整体呈现“东多西少”的空间分布,大雾和浓雾主要出现在东南部的吴堡、绥德、清涧等地,西部的定边、靖边出现最少,强浓雾和特强浓雾主要出现在东南部的绥德、米脂等地,北部的府谷次之。(3)大雾和浓雾天气过程持续时间短,大多为1h,强浓雾一旦生成,很难在短时间内消散;雾主要在夜间到凌晨生成,在日出后消散,强浓雾的生成和消散时段均比大雾和浓雾偏早且集中。(4)雾强度越强,对应地面相对湿度越高,温度露点差越低,气温和露点温度的降幅越大,风速越小;雾在地面各风向均可出现,但较盛行东南风和西北风。(5)强浓雾由于发生时数多、持续时间长,是榆林市影响最严重的大雾天气,95%强浓雾出现条件为相对湿度大于95%和温度露点差小于1℃,风速基本小于2m/s,这对强浓雾的预报具有很好的指示意义。

关键词:雾;强浓雾;时空变化;气象条件;露点温度;榆林市

中图分类号:P426.43

文献标识码:A

雾是指空气中的水汽在一定条件下凝结成细微的水滴或冰晶悬浮于空中,使得近地面水平能见度小于1000m的天气现象^[1]。随着近几年社会经济的快速发展,雾对公众出行、生产生活乃至身体健康,特别是对交通安全带来的不利影响越来越突出。榆林市地处陕北黄土高原最北端,雾基本以辐射雾为主,由夜间近地面辐射冷却气温降到露点温度,使空气中大量水汽凝结而形成。在日常预报业务中,由于辐射冷却、湿度、风力、地形等因子的复杂性,雾的发生时间及等级预报一直是难点,往往造成漏报,而在雾已经出现后再发布预警信号,就使得预警效果大幅下降。

近年来专家学者对我国各地雾的气候特征^[2-5]、环流形势^[6-7]、生消机制^[8-10]以及微物理结

构^[11]等进行了大量研究,指出静稳天气、逆温层、边界层较大的相对湿度和较小的风速等是雾形成和维持的关键因素,又因各地地理环境不同,上述因子在各地雾天气中扮演的角色也不尽相同,因此许多专家学者针对不同地区雾的时空变化^[12-14]和边界层特征^[15-18]进行了细致分析,目的都是在认清大雾天气机理和规律的基础上开展雾的预报。对陕西雾天气的研究目前也有许多成果,如贺皓等^[19]、潘留杰等^[20]和王雯燕等^[21]统计分析了陕西省大雾的气候特征,并对雾形成的因子进行了探讨。林杨等^[22]、段桂兰等^[23]通过数值模拟、天气学分析等方法分别分析研究了陕西境内一次大雾天气过程的环流形势和生消机制。这些研究主要是在2016年以前基于人工观测的能见

收稿日期:2023-02-13

作者简介:蒋伊蓉(1989—),女,汉族,陕西定边人,硕士,工程师,从事天气预报及研究。

基金项目:陕西省气象局秦岭和黄土高原生态环境气象重点实验室开放基金课题(2022G-15;2020Y-6)

度数据进行统计分析,且侧重于全省或是关中、陕南地区,榆林地处陕西省最北边,地形独特,大雾多不与其他地区同时出现,其时空变化特征和地面气象条件应与其他地区也有所不同。近几年榆林市12个国家气象站均实现了能见度自动观测,时间精度提高到小时甚至是分钟级,因此利用高时间分辨率的能见度观测资料开展雾的研究,对提高榆林市雾的预报预警能力有十分重要的科学意义。

1 资料与方法

所用资料为榆林市12个国家级地面气象观测站2016—2020年逐小时能见度、温度、露点温度、降水量和风速风向等观测资料。根据国家标准《雾的预报等级》(GB/T 27964—2011),按能见度(v)将雾分为5个等级,即轻雾($1\ 000\text{ m} \leq v < 10\ 000\text{ m}$)、大雾($500\text{ m} \leq v < 1\ 000\text{ m}$)、浓雾($200\text{ m} \leq v < 500\text{ m}$)、强浓雾($50\text{ m} \leq v < 200\text{ m}$)和特强浓雾($v < 50\text{ m}$)^[8,12,14]。本文主要研究能见度小于1 000 m的雾,定义雾时数为小时最小能见度达到对应等级标准的累计小时数(单位为h),将连续数小时出现达到相应等级标准的低能见度现象作为一次雾天气过程。需要指出榆林市12个观测站目前未曾观测到能见度低于1 000 m的霾,因此无需考虑霾造成的低能见度,但强降水也可造成低能见度现象,根据文献^[15,24]和实际气象工作经验,本文剔除了小时降水量大于5 mm同时能见度小于1 000 m的数据。季节划分采用3—5月为春季,6—8月为夏季,9—11月为秋季,12月—次年2月为冬季。

基于以上方法,统计出2016—2020年榆林市12站累计有大雾2 225 h,浓雾2 159 h,强浓雾2 860 h,特强浓雾38 h。可以明显看出,榆林市大雾、浓雾和强浓雾出现时数的数量级一致,其中以强浓雾出现最多,而特强浓雾鲜少出现,比前三者少2个数量级。

2 雾的时空变化特征

2.1 时间变化

统计2016—2020年榆林市大雾、浓雾、强浓雾的际年变化特征(图略),发现大雾呈“V”型变化,2018年最少(328 h),2016年最多(596 h);浓雾和强浓雾均呈倒“W”型变化,同样是2018年最少(352 h和319 h),2017年最多(527 h和886 h),强浓雾际年变化幅度较浓雾偏大。

图1为2016—2020年榆林市雾时数的月分布。由图1a可以看出,2016—2020年,雾在12个月中均有出现,但多在秋季(3 812 h),占全年雾时数(7 282 h)的52%,冬季(1 582 h)略多于夏季(1 349 h),分别占22%和19%,春季(539 h)最少,仅占7%。从8月开始雾时数显著增多,10月达最多(1 682 h),随后又逐月减少,5月最少(105 h),8—11月(4 624 h)占全年的63%。从不同等级雾时数月分布(图1b)来看,大雾、浓雾和强浓雾各月均有发生,特强浓雾出现在2月和8—12月,除大雾在1月略偏多外,其他等级雾10月均明显多于其他月份。综上所述,榆林市雾天气具有显著的季节特征,主要集中在秋季,其原因可能是夏季风撤退,黄土高原受变性大陆高压控制,冷空气活动频繁,夜间晴空辐射降温有利于形成雾。

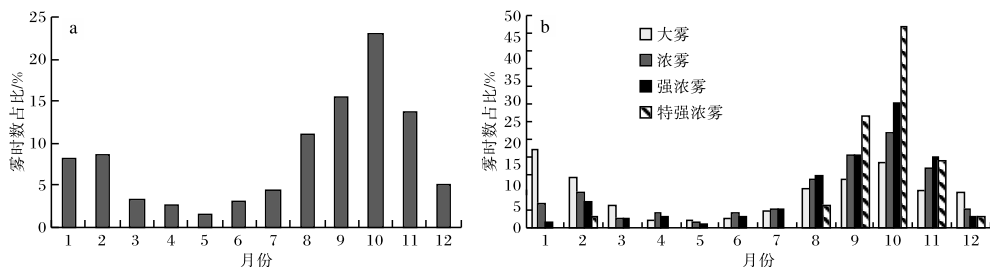


图1 2016—2020年榆林市雾时数占总雾时数比例(a)及各等级雾时数占相应等级总雾时数比例(b)的月分布

从榆林不同等级雾时数日变化图(图2)可以看出,除特强浓雾外,各等级雾均呈显著单峰型日

变化特征,下午出现最少,随着进入夜间辐射降温,逐渐增加,07时前后达到峰值,此后随着日出

地面升温和湍流运动增强导致逆温层被破坏,又逐渐减少。04—09时是雾集中出现的时段。特强浓雾由于仅有38h,日变化特征不具有代表性,但也可以看出,下午未出现过特强浓雾。强浓雾、浓雾和大雾在下午仍会出现,且占比依次增加,这是由于一方面雾越浓消散耗时越长,另一方面高等级雾在消散过程中逐渐向低等级雾转化。

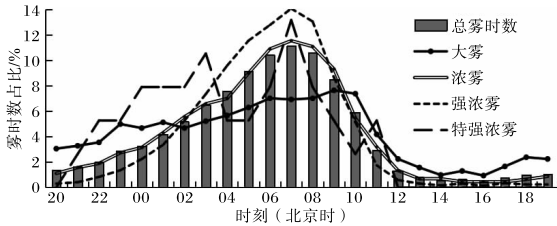


图2 2016—2020年榆林市各等级雾时数占相应等级总雾时数比例的日变化特征

2.2 空间变化

由2016—2020年榆林市不同等级雾时数空间分布(图3)来看,各等级雾的空间分布特征基本相似,均呈现明显“东多西少”极不均匀的分布格局,但其大值中心却各不相同。大雾自西向东逐渐增多,吴堡最多,雾时数达460h;浓雾的大值中心位于绥德和清涧,达300h以上;强浓雾大值中心位于绥德,共656h,次中心位于府谷,共491h;特强浓雾集中出现在米脂、绥德和子洲,其次是府谷,其余站基本未出现特强浓雾。雾的空间分布受特殊地形的影响较大,榆林市位于黄土高原北部,地形复杂。西部为梁状低山丘陵区,北部为风沙草滩区,地势都较为平坦,不利于近地层水汽堆积形成雾;而东南部为黄土高原腹地,沟壑纵横,丘陵崩梁交错,地形辐合不利于近地层水汽扩散,更容易形成雾。

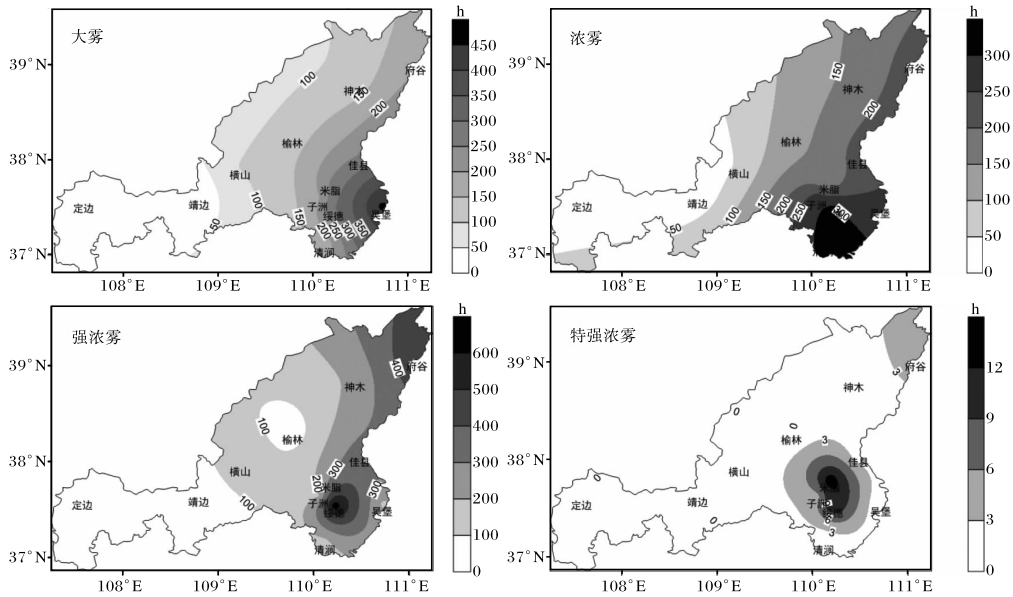


图3 2016—2020年榆林市各等级雾时数空间分布(审图号为陕S(2021)023号)

3 雾持续时间与生消时间分析

3.1 持续时间

雾持续时间越长,对交通越不利。统计发现2016—2020年榆林市12站出现大雾、浓雾、强浓雾和特强浓雾的天气过程分别为1238次、1029次、710次和13次,结合第1节不同等级雾累计时数可知,虽然强浓雾累计时数最多,但是强浓雾天气过程却出现最少(由于特强浓雾过程只有13

次,不参与比较),这说明了强浓雾比其他等级雾持续时间长,天气过程次数少。统计2016—2020年榆林市不同等级雾过程的持续时间(图4)也发现,大雾和浓雾分别有52%和60%(742次和533次)的过程仅持续1h,有91%和87%(1132次和900次)的过程在3h内消散,仅有2%和4%(23次和40次)的过程持续6h以上。米脂在2020年1月26—27日出现了一次持续时间长达18h

的大雾天气过程,吴堡在2020年1月5—6日出现了一次持续时间长达20 h的浓雾天气过程。特强浓雾过程中持续1 h的7次,2 h 2次,3、4、6 h和14 h均为1次(米脂2016年10月4—5日出现了长达14 h的特强浓雾天气过程)。强浓雾持续时间明显与其他等级雾不同,仅19%(137次)的过程1 h可消散,持续2~7 h的过程占总次数的69%(492次),有2次强浓雾过程持续时间长达15 h,说明强浓雾一旦生成,很难在短时间内消散。强浓雾能见度低、持续时间长是对榆林市影响最严重的雾天气。

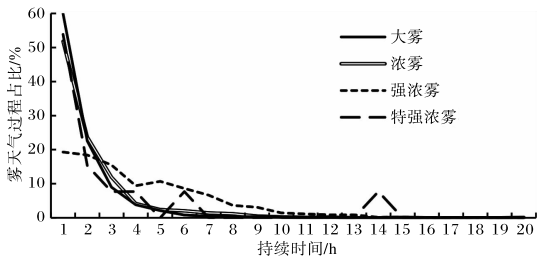


图4 2016—2020年榆林市不同持续时间的各等级雾天气过程次数占相应等级雾天气过程总次数的比例

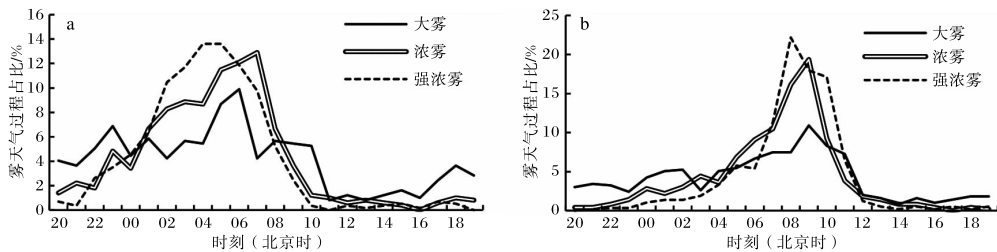


图5 2016—2020年榆林市各时刻各等级雾天气过程生成(a)和消散(b)次数占相应等级雾天气过程总次数的比例

近地层充沛的水汽是形成雾的必要条件,而适宜的降温和风速是大雾形成的触发条件^[25],因此分析不同等级雾发生时的水汽、温度和风等地面气象条件。

4.1 水汽

相对湿度和温度露点差都表征了近地层大气的饱和程度。由图6a可以看出,大雾、浓雾、强浓雾和特强浓雾出现时的相对湿度的分布特征基本一致,均为相对湿度在97%以上出现最多,尤其是浓雾和强浓雾,雾时数占比分别为41%、71%、77%和63%(906 h,1 542 h,2 214 h和24 h);相

3.2 生消时间

分析不同等级雾天气过程的生消时间(图5,由于特强浓雾过程只有13次,生消时间的统计意义不大,因此这里不予分析)可知,榆林地区各等级雾一般在夜间到凌晨生成,在日出后由于气温升高,大气湍流加强,使得近地面空气变得不饱和,雾滴受热蒸发而很快消散。不同等级雾的生消时间略有差异,强浓雾比大雾和浓雾的成雾时间和消散时间都偏早且集中。强浓雾04—05时是成雾最多时段,大雾和浓雾分别在06时和07时最多;强浓雾08时是消雾的高峰期,大雾和浓雾则晚1 h。77%(444次)的强浓雾生成于01—07时,75%(430次)的强浓雾消散于07—11时,10—20时几乎没有强浓雾生成,相应12—23时也不存在强浓雾消散;大雾在20时一次日10时成雾最多,在00—11时消雾最多,峰值均不明显;浓雾在01—08时成雾最多,05—10时消雾最多,极少在12—20时生成或消散。

4 大雾地面气象条件分析

大雾天气的形成与地面气象条件密不可分,

对湿度在95%以上的占比分别达到了57%、82%、95%和82%(1 269 h,1 774 h,2 725 h和31 h);而相对湿度在90%以下的占比,大雾和样本较少的特强浓雾分别为27%和11%(603 h和4 h),浓雾和强浓雾的占比均很小,仅有8%和3%(170 h和100 h)。

由不同等级雾发生时的温度露点差分布来看(图6b),其分布特征与相对湿度分布相似,大雾、浓雾、强浓雾和特强浓雾均表现为0.5℃以下占比最大,雾时数占比分别为42%、73%、78%和63%(945 h,1 571 h,2 244 h和24 h);其次是

0.5~1℃,占比分别为23%、15%、17%和24% (501 h,314 h,482 h和9 h);而温度露点差小于1℃的总占比分别达到65%、88%、95%和87% (1 446 h,1 885 h,2 726 h和33 h)。

由此可见,除了特强浓雾由于出现次数较少

不具有统计学意义外,其他等级雾随着强度增强,相对湿度加大,温度露点差减小。榆林地区强浓雾出现时次最多,危害也最大,95%以上的强浓雾发生在相对湿度大于95%、温度露点差小于1℃时,对强浓雾的预报有重要的指示意义。

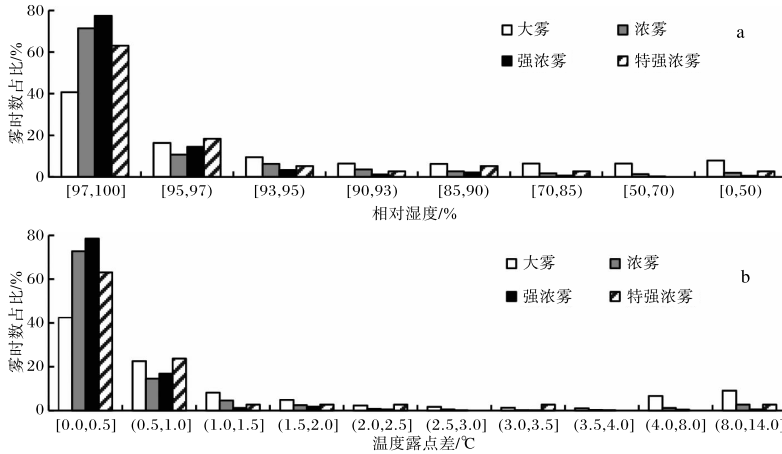


图6 2016—2020年榆林市不同相对湿度(a)和温度露点差(b)范围各等级雾时数占相应等级总雾时数的比例

4.2 温度

近地层充沛的水汽需要在足够的降温条件下才能冷却凝结形成雾。为了定量表示出现雾时夜间降温幅度,计算20时气温与次日最低气温的温差(图7a)发现,温差在2~8℃最有利于雾的生成,大雾、浓雾、强浓雾和特强浓雾时数占比分别为64%、73%、76%和95% (1 427 h,1 583 h,2 173 h和36 h);温差在10℃以上占比最小,仅5%左右。最有利于雾出现的降温幅度略有差异,

分析雾时数占比排前三位的温差,大雾在2~5℃之间,浓雾和强浓雾在3~6℃之间,特强浓雾在5~8℃之间,表明雾强度越强所需的夜间降温幅度越大。

雾的形成受露点温度变化的影响也较大,日常预报业务中,有经验的预报员常常将午后14时露点温度作为判断夜间出现雾的重要参考指标^[15,26]。统计14时的露点温度与出现雾时的露点温度的温差(图7b)发现,露点温度的温差在

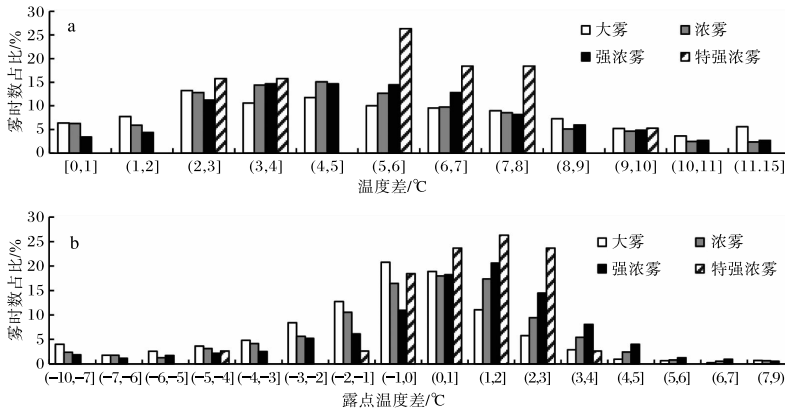


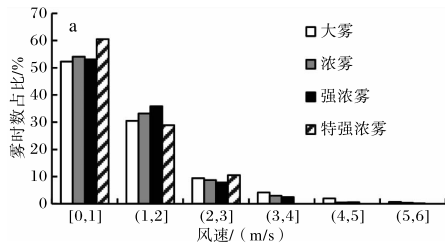
图7 2016—2020年榆林市不同20时气温与次日最低气温的温差(a)和14时地面露点温度与出现雾时的露点温度的温差(b)范围各等级雾时数占相应等级总雾时数的比例

±2℃的范围内非常有利于大雾和浓雾的生成,雾时数占比分别为63%和62%(1412h和1346h)。露点温差为-1~3℃的范围内最有利于强浓雾和特强浓雾的生成,占比分别为64%和92%(1840h和35h),同样说明雾的强度越强,露点温度降幅越大。

综合以上分析,出现雾时气温会降低,露点温度不一定降低,但雾强度越强二者的降温幅度越大。20时气温与次日最低气温差在2~8℃时、14时露点温度与出现雾时的露点温度差在-1~3℃时最有利于雾的出现。

4.3 风

4.3.1 风速 较小的风速使近地层的水汽得以



不断累积,有利于雾的形成与维持,相反较大的风速可使大雾快速消散。由风速统计结果(图8a)可知,各等级雾出现时的风速分布特征基本一致。50%以上的雾出现在0~1m/s的风速范围内,雾强度越强,雾时数占比越高;30%以上的雾出现在风速1~2m/s之间。风速小于2m/s时,出现大雾、浓雾、强浓雾和特强浓雾时数占比分别为83%、87%、89%和89%(1840h,1884h,2542h和34h),风速大于3m/s未出现过特强浓雾,大于5m/s后几乎不会出现雾。雾的强度越强,风速越小。

4.3.2 风向 由出现雾时的风向频率玫瑰图(图8b)可以看出,大雾、浓雾和强浓雾的最大风向频

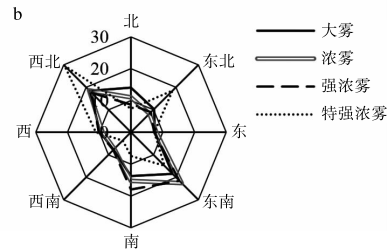


图8 2016—2020年榆林市不同风速范围各等级雾时数占相应等级总雾时数的比例(a)及各等级雾相应的风向频率玫瑰图(b;单位为%)

率为东南风(19%~23%),其次为西北风(18%~19%),第三为南风,3个风向共占51%~57%,出现最少的是东风和西南风,均未超过8%。特强浓雾与其他等级雾略有差异,频率最大的前3个风向依次为西北风、东北风和东南风,共占63%。总体来看,各等级雾在各风向均有可能出现,但较盛行东南风和西北风,东风和西南风时出现最少。雾出现时的风向分布特征与天气尺度背景场有关,榆林地区出现雾时多为静稳天气,地面为均压场或弱气压场,地面风速为静风或弱风,再加上地形影响,造成风向分布特征不显著。

5 结论

利用榆林市2016—2020年逐小时地面观测资料统计分析了雾的时空变化特征及雾发生时地面气象条件,得到以下结论。

(1)榆林地区各等级雾时数中强浓雾最多,特强浓雾鲜少出现;各等级雾都具有显著的季节变化和日变化特征,多出现于秋季,10月最多;日变

化呈显著单峰型,04—09时是雾出现最多的时段,07时前后达到峰值,午后较少。

(2)各等级雾整体呈现“东多西少”的空间分布。大雾和浓雾主要出现在东南部的吴堡、绥德、清涧等地,西部的定边、靖边较少出现;强浓雾和特强浓雾主要出现在东南部的绥德、米脂等地,北部的府谷次之。

(3)大雾和浓雾天气过程持续时间短,大多仅持续1h,分别有91%和87%的过程在3h内消散;强浓雾一旦生成,很难在短时间内消散,69%的过程在2~7h内消散。雾主要在夜间到凌晨生成,在日出后消散,强浓雾的成雾和消雾时段都比大雾和浓雾偏早且集中。大雾、浓雾、强浓雾成雾最多时段为20时—次日10时、01—08时、02—07时,消雾最多时段为00—11时、05—10时和07—11时。

(4)雾出现时地面气象条件为:雾强度越强,地面相对湿度越高,温度露点差越低;出现雾时气

温是降低的,露点温度不一定降低,但雾强度越强二者的降温幅度越大;20时气温与次日最低气温差在 $2\sim 8\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时、14时露点温度与出现雾时露点温度差在 $-1\sim 3\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时最有利于雾的出现;雾在地面各个风向均可出现,但较盛行东南风和西北风,风速基本在 2 m/s 以下,雾强度越强,风速越小。

(5)强浓雾由于发生时数多、持续时间长是榆林市影响最严重的雾天气,95%强浓雾出现在相对湿度大于95%和温度露点差小于 $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时,89%强浓雾出现时风速小于 2 m/s ,这对强浓雾的预报具有很好的指示意义。

参考文献:

- [1] 刘红年,徐玉貌,张宁,等. 大气科学概论[M]. 3版. 南京:南京大学出版社,2019:153-155.
- [2] 邓学良,石春娥,吴必文,等. 1970~2009年安徽省大雾气候特征分析[J]. 长江流域资源与环境[J], 2015,24(12):2125-2134.
- [3] 严殊祺. 中国东部地区雾的长期变化特征及其影响因子[D]. 南京:南京信息工程大学,2021.
- [4] 李文才,程航,程相坤,等. 大连地区大雾天气气候特征及成因[J]. 兰州大学学报(自然科学版), 2015, 51(4):531-538.
- [5] 黄芸,唐明松,黄桂珍,等. 近60年百色市大雾天气变化特征分析[J]. 气象研究与应用, 2020, 41(2): 35-38.
- [6] 梁希豪,赵晔辉,杜星,等. 银川河东机场近20年大雾环流特征分析[J]. 民航学报, 2021, 5(5):55-59.
- [7] 郑凤琴,罗小莉,钟丽华,等. 北部湾地区海雾特点的初步分析[J]. 应用海洋学学报, 2021, 40(2):324-331.
- [8] 李永果,马丽,李芳,等. 2001—2012年鲁南雾气候特征及形成机制[J]. 气象科技, 2015, 43(4):709-714.
- [9] 袁艺,赵瑞达,邹永成. 双流机场辐射雾背景场特征及其典型个例分析[J]. 科技与创新, 2021(7):21-26.
- [10] YAN S, ZHU B, KANG H. Long-term fog variation and its impact factors over polluted regions of East China[J]. Journal of Geophysical Research: Atmospheres, 2019, 124(3):1741-1754.
- [11] 祖繁,袁成松,吴泓,等. 江苏北部不同等级雾的微物理结构及个例分析[J]. 气象学报, 2020, 78(4):691-704.
- [12] 谢清霞,唐延婧,庞庆兵,等. 贵州辐射雾的时空变化特征及其气象要素分析[J]. 气象与环境科学, 2016, 39(2):119-125.
- [13] 李慧晶,余芳,李洪梅,等. 四川不同等级雾的时空分布及其生消时间[J]. 高原山地气象研究, 2021, 41(2):88-93.
- [14] 俞燎霓,胡波,黄新晴,等. 浙江沿海大雾的时空分布特征及影响因子分析[J]. 气象科技, 2017, 45(2):324-330.
- [15] 郭俊建,韩永清,赵勇. 山东区域性辐射雾时空分布及地面气象要素特征分析[J]. 海洋气象学报, 2020, 40(2):96-102.
- [16] 石春娥,李耀孙,张浩,等. 安徽省不同等级雾和重度霾时空分布特征及地面气象条件比较[J]. 气象学报, 2021, 79(5):828-840.
- [17] 郑泽华,张伟,陈德花. 闽南沿海大雾天气地面气象要素统计分析[J]. 海峡科学, 2021(2):3-10.
- [18] 胡跃文,秦杰,苏静文,等. 2016—2017年贵州大雾时空分布及气象要素演变分析[J]. 气象, 2019, 45(5):659-666.
- [19] 贺皓,吕红,徐虹. 陕西省大雾的气候特征[J]. 高原气象, 2004, 23(3):407-411.
- [20] 潘留杰,张科翔,张宏芳. 近51年陕西大雾的时空变化特征及可能的成因分析[C]//第29届中国气象学会年会:S2短期气候预测. 北京:中国气象学会, 2012.
- [21] 王雯燕,张颖梅,曹红丽,等. 西安城区大雾气候特征分析[J]. 陕西气象, 2014(3):20-22.
- [22] 林杨,沈桐立,邓小丽,等. 陕西冬季一次大雾天气生消机制的数值模拟研究[J]. 高原气象, 2010, 29(2):437-446.
- [23] 段桂兰,王秀成,陶建玲. 2004年冬季一次大雾天气过程分析[J]. 陕西气象, 2005(4):16-18.
- [24] 王博妮,张雪蓉,孙明,等. 江苏地区雨雾天气特征及成因研究[J]. 气象与环境学报, 2020, 36(1): 58-66.
- [25] 蒋伊蓉. 榆林市辐射型浓雾天气成因及维持机制个例分析[J]. 陕西气象, 2021(3):15-20.
- [26] 杜继稳,侯明全,梁生俊,等. 陕西省短期天气预报技术手册[M]. 北京:气象出版社, 2007:297-300.