

魏文秀. 河北省霾时空分布特征分析[J]. 气象, 2010, 36(3): 77-82.

河北省霾时空分布特征分析^{* 1}

魏文秀

河北省气象局, 石家庄 050021

提 要: 利用河北省 142 个气象站的霾资料, 对 1971—2007 年河北霾的时空分布特征进行了统计分析, 发现河北霾出现频数具有明显的地域性和月际分布特征。山麓地区霾平均出现频数最高, 明显高于其两侧的平原和山地, 山地霾频数最小。霾频数的月际分布特征是 12 月或 1 月最多, 8 月或 9 月最少。利用 2004—2007 年 500 hPa 高度和海平面气压实况资料, 通过分析对比, 统计归纳出河北地区霾日 500 hPa 的环流形势有纬向型、两槽一脊型、均值班型、一脊一槽型和两脊一槽型 5 种。分析结果表明, 霾的出现与天气形势有关, 霾频数大小与空气污染程度和地形联系密切。这些结果对于了解河北霾的生成机制和预报具有重要意义。

关键词: 霾, 时空分布, 环流形势

Spatial-Temporal Characteristics of Haze in Hebei Province

WEI Wenxiu

Hebei Meteorological Bureau, Shijiazhuang 050021

Abstract: The aim of this paper is to investigate spatial-temporal characteristics of the haze spanning 1971—2007 over Hebei Province of North China using the observations from 142 stations. Our study demonstrates that the haze frequency is changed with location and month, for example more haze appeared in piedmonts than in mountains or flat areas, while the haze was concentrated in winter (December and January) and least frequent in August and September. By using the observations about the 500 hPa height and the sea level pressure from 2004 to 2007, the conclusion can be drawn that the 500 hPa circulation patterns can be divided into 5 categories, including zonal circulation pattern, two troughs and one ridge pattern, mean height pattern, one trough and one ridge pattern and pattern of two ridges and one trough. A further analysis implies that the haze frequency also relies on local air pollution and regional circulation pattern dominant in addition to the terrain of surroundings. Above results are valuable to understand the forming mechanism and to establish a forecast system of haze over Hebei Province.

Key words: haze, spatial-temporal characteristics, circulation patterns

引 言

霾是悬浮在大气中的大量细微的尘粒、烟粒或盐粒使空气混浊, 水平能见度降低到 10 km 以下的一种天气现象^[1]。随着我国工业化和城市化进程的高速发展, 霾出现频率不断增加, 对大气环境的影响越来越

大。霾使能见度降低, 增加交通事故; 使空气质量下降, 危害人体健康。国外学者从 20 世纪 90 年代、国内学者从本世纪初开始重视对霾的研究。国外学者在区域霾的组成及气候特征^[2-3]、霾现象对气候的影响^[4-5]等方面作了较为系统深入的研究。国内学者对霾形成的物理化学条件及如何区分雾与霾等做过细致的分析研究^[6]。过去对霾的分析研究主要针对

* 国家自然科学基金项目 40875024、河北省自然科学基金项目 D2008001282、河北省科委重点项目 052435183D 共同资助
2008 年 10 月 7 日收稿; 2009 年 12 月 3 日收修定稿
第一作者: 魏文秀, 主要从事气象科技服务工作. Email: weiwenxiu222@sina.com

一些城市或局部区域,近年来开始对大范围 and 全国范围霾的时空分布及气候特征进行分析研究^[7-8]。河北地区是霾的多发地区^[9],过去对其研究很少。为掌握河北地区霾的时空分布特征以及霾出现时的环流形势,本文对河北地区的霾资料及高空、地面资料进行了统计分析、对比,得出了一些有意义的结果。这些结果对某些工厂企业的选址、政府部门的大气环境治理决策等具有参考价值,对于进一步研究霾生成的天气学条件及其预报提供一些科学依据。

1 河北霾空间分布特征

使用河北省 1971—2007 年 142 个气象台站的常规气象观测资料(资料来源于河北省气候中心,“地面气象观测记录表(气表-21)”),对各站霾的年平均出现日数进行统计,发现河北霾出现频数具有明显的地域特征。因此除对霾做单站统计分析外,还分区域进行了统计。把河北地区分为 3 个区域:山区,其包括冀北高原、燕山山地和太行山山地,共有 28 个测站;平原,指河北平原,共有 68 个测站;山麓:指山地和平原的过渡地带,包括太行山东麓和燕山南麓,共有 46 个测站(见图 1)。

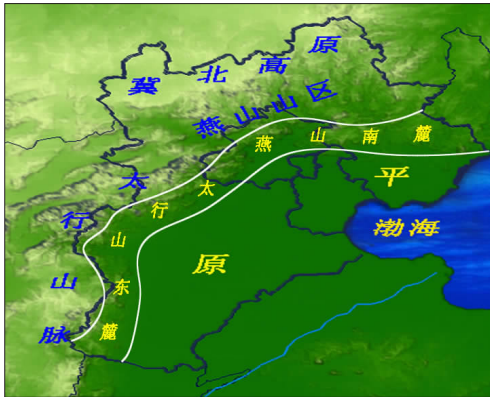


图 1 山区、平原和山麓区域划分

Fig. 1 Region division among the mountainous area, the plain and the piedmonts

1.1 霾的年平均日数分布

河北霾年平均日数分布很不均匀,有 7 个大于 30 天/年的大值中心,分别以 a1—a7 表示(见图 2),1 个(怀来县)位于燕山山区、两个位于燕山南麓、3 个位于太行山东麓,1 个位于平原(a7)。另外有 1 个大于 15 天/年的弱大值中心 b,位于燕山南麓(见图 2)。由此可见,山麓地区霾年平均日数明显高于

山区和平原。据统计,山麓地区霾平均频数为 23.9 天/年站;平原为 5.4 天/年站;山区为 3.3 天/年站。

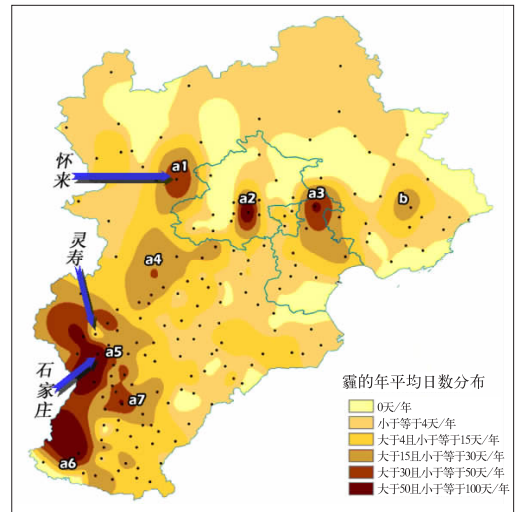


图 2 河北 1971—2007 年霾的年平均日数分布(天/年站)

· 为观测站点(注:图中包含京津两地资料)

Fig. 2 Annual mean haze days in Hebei for 1971—2007 (d/a per station)

1.2 霾频数值分段分布特征

单站霾频数最大值是 89.0 天/年,最小值不足 0.1 天/年。低于 0.1 天/年的测站有 7 个,均位于河北省的东北部地区。把霾的年平均日数值域分为 5 段,见表 1。其中霾出现频数 ≥ 15 天/年的测站有 39 个,其中 30 个处于山麓地区,在山区仅有 1 个。

表 1 各区域霾频数分段测站数(站)

Table 1 The number of the meteorological station with the haze frequency in various regions

霾频数	山区	平原	山麓
≥ 15 天/年	1(4%)	8(12%)	30(65%)
10~14.9 天/年	2(7%)	4(6%)	3(7%)
5~9.9 天/年	0(0%)	14(21%)	8(17%)
1~4.9 天/年	6(21%)	20(29%)	4(9%)
<1 天/年	19(68%)	22(32%)	1(2%)

括号内是分段站数与区域站数的百分比

研究表明,霾的形成与大气污染物浓度密切相关^[7]。山麓多霾的原因是由于影响河北的天气系统大多来自偏西或偏北方向。而燕山和太行山形成的“弧状山脉”对天气系统起到了阻挡和削弱的作用,使山麓地区形成了一个“避风港”,因而大气稳定程度高于山区和平原^[10-11],大气污染物质不易扩散,利于霾形成。

1.3 特殊站点分析

怀来县、灵寿县和石家庄市是3个特殊站点,下面根据百度百科^[16]和河北省县局综合气象服务手册资料,对其进行分析。

怀来县位于西北部山区,地理位置不利于霾形成,但它却是一个大值中心,其霾频数为47.8天/年,其周围除一个测站霾频数为12天/年外,其余均为1天/年左右。究其原因主要有两个。一是怀来的大气污染严重。怀来县的经济及道路发展状况远远高于周边县市。该县境内是4条铁路的枢纽,铁路长达150多千米,有20个火车停靠站,境内有1条高速及3条国道,公路通车里程650 km,仅110国道年均日交通量就达1.5万余辆;有全国最大的煤炭市场之一,年吞吐量 800×10^4 t,有多个水泥制造和钢铁企业,年水泥生产能力 50×10^4 t,年钢铁生产能力 220×10^4 t。所有这些都向空中输送大量的污染微粒。二是怀来县地处山间(延怀)盆地,地形不利于污染物扩散^[12]。

石家庄市是霾频数最大的大值中心,为89天/年,比次大值高9天。其原因与怀来相似,同样是污染源多和地形造成的。石家庄市的工业和道路发展居河北之首,空气污染严重,具体数据就不赘述了。石家庄市位于太行山东麓,东部为平原,而在它的西南方和西北方也有群山阻挡。三面环山的地形使得来自从西南方到西北方的所有气流都受到程度不同的阻挡,年平均风速仅为 $1.8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,空气流动小,在没有较强天气系统入侵时,空中污染物很难扩散。当低层吹偏东风时,地形有利于空气污染物的聚集。这与文献^[13]中的情况相似。近年来随着火车转为电动列车以及对钢铁、水泥等企业的关停、治理,石家庄市霾年频数明显下降。1991—2000年期间,石家庄霾年平均日数为143天/年,而2000—2008年期间,降为23.3天/年。同样原因,近年来怀来县的霾频数也有所下降。这就进一步证明,霾频数的大小与当地大气污染程度有关。

灵寿县位于河北西南部的山麓地区,处于霾频数大值区域中(见图2)。虽然灵寿县的地理位置有利于霾的形成,但其霾频数仅为0.9天/年,远远低于周边县市。其主要原因是,灵寿县以农业为主,尽管近年来发展了一些工矿企业,但规模都很小;县内无国道、无铁路。由于空气污染源少,空中很少能出现大量的悬浮微粒。

上述分析表明,霾多发地点有两个重要特征,一是当地空气污染源多,二是地理环境不易于污染物扩散。

2 霾的季节和年际变化

2.1 区域霾频数的月际和季节变化

分析表明,在河北省霾可出现在一年当中的各个月份。虽然不同区域霾出现频数差异很大,但是区域霾的平均月际分布特征基本相同(见图3)。平原和山区霾出现频数最大月份均是12月,山麓是1月,其频数分别为1.01天/月站、0.46天/月站和3.48天/月站。次大月份平原和山区均是1月,山麓为12月。最大和次大月份霾频数相差很小,两者的差值平原、山区和山麓分别是0.09、0.01和0.14;而其他月份霾频数明显偏低。据计算,河北省全年1/3左右的霾出现在12月到1月。霾频率最小月份平原和山麓均是8月,山区是9月。其频数分别为0.02天/月站、0.40天/月站和0.12天/月站,分别占各自区域全年霾日数的0.3%、1.7%和3.7%。山区次小月份是8月,仅比9月份多0.02。由此得出,各区域霾出现频数最大月份是12月或1月,然后递减,到8月或9月达到最小,之后递增。

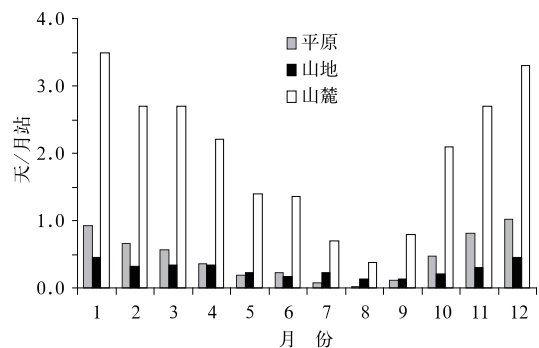


图3 各区域霾频数的月季变化(天/月站)
Fig. 3 Monthly variation of average haze days in various regions (d/mon per station)

由表2看出,各区域霾季节变化特征的共同点是,冬季(12月、1月和2月)霾频数最大,夏季(6—8月)霾频数最小。不同点是,山麓和山区霾频数是春季(3—5月)高于秋季(9—11月);而平原是秋季高于春季。

冬季霾多、夏季霾少,其原因主要是冬季河北大气状态相对稳定,容易形成逆温层^[10]。逆温层阻碍

表 2 各区域霾频数的季节分布(天/季站)

Table 2 The seasonal variation of average haze days in various regions (d/season per station)

	春	夏	秋	冬
平原	1.10(20.4%)	0.33(6.1%)	1.37(25.5%)	2.58(48.0%)
山区	0.90(27.2%)	0.53(16.0%)	0.64(19.3%)	1.24(37.5%)
山麓	6.19(26.0%)	2.58(10.8%)	5.58(23.4%)	9.50(39.8%)

* 括号内为占全年的百分比

了空气中尘埃、烟粒等干性物质及其他污染物扩散^[14];夏季大气层结经常处于不稳定状态,有利于污染物扩散。夏季降水多(河北夏季降水量占全年的71%),对空中污染物起到了冲刷作用。

2.2 单站霾频数最大月份的季节变化

由表 3 可知,在山麓、平原和山区,霾频数最大月份处于冬季的测站分别占各自区域站数的 85%、66%和 21%。山麓和平原的统计结果与区域霾的季节分布相一致,而山区两者不一致。山区霾频数最大月份处于春季的测站为 46%,明显高于冬季。其原因是山区测站霾频数差异很大(见表 1),最大频数为 47.8 天/年,而有 19 个测站霾频数小于 1 天/年。排在前 5 位的霾频数之和远远超过其他测站的总和,而这 5 个测站的霾频数最大月份均处于 12 月或 1 月,平均结果为山区霾频数在冬季最大,因而与单站的统计结果相异。

表 3 霾频数最大月份在各季节的测站数(站)

Table 3 The number of the meteorological stations with the highest frequency month in seasons

	山麓	平原	山区
春	4(9%)	5(8%)	13(46%)
夏	0(0%)	2(3%)	1(4%)
秋	2(4%)	7(10%)	0(0%)
冬	39(85%)	45(66%)	6(21%)
无	1(2%)	9(13%)	8(29%)

* 括号内是占各区域测站的百分比;表中“无”是指无最大月份

山区霾频数最大月份处于春季的测站有两个特点,一是霾频数都<4 天/年,二是测站位置都处于河北北部。河北北部经济发展总体来说,相对落后,空气污染程度较低,构成霾的大气微粒主要来源于地表的干性物质。冬季北部地区地面平均气温普遍低于-8℃,白天地面基本处于冻结状态,来自地面的干性物质极少,尽管此时的大气状态比较稳定,但也很难形成霾。春季土壤解冻疏松,植被稀少,地面向空中输送的干性物质增多,给霾的形成创造了条

件。而在平原和山麓地区,冬季的平均气温普遍为-2~-3℃,白天土壤基本处于解冻状态。而且这两个区域的空气污染程度相对较重,构成霾的物质一年四季都比较充足,只要天气形势有利,霾便可生成,所以在这两个区域,霾的生成主要取决于天气形势。

2.3 区域年际变化和长期趋势分析

由图 4 看出,山麓和平原霾的年际变化曲线比较相似,有明显的峰和谷。1971 年,霾频数处于低值,平原仅为 1.74 天/年站,山麓为 8.25 天/年站。而后总体上是一个上升的过程,到 1982 年达到一个峰值,平原霾频数上升到 11.80 天/年站,山麓霾频数达到 34.53 天/年站,分别是 1971 年的 6.78 倍和 4.19 倍。从 1982 年以后是一个下降的过程,到 1990 年达到一个谷值,而后又呈上升状态,到 1999 年又达到一个峰值。如果把 1971 年作为一个谷底的话,那么山麓和平原的后一个谷值都略高于前一个谷值。山麓的后一个峰值也高于前一个峰值,而平原的后一个峰值略低于前一个峰值。总体来说,山麓和平原的霾频数是呈波动式上升的。山麓和平原霾频数增多与这两个区域工矿企业和道路交通迅速发展有关,如果未来只顾发展经济,而忽视对大气环境的保护,霾频数仍有可能是上升趋势。而波谷的出现可能与该区间年份盛行的大气环流形势有关,如某些环流形势下,大气层结易不稳定或地面平均风速加大,都易于空气污染物扩散,从而使霾频数下降。山区的年际变化起伏很小,呈稳定型。但从 20 世纪 90 年代中期以后,霾的年频数总体呈缓慢上升的趋势。与山麓和平原相比山区的经济发展相对缓慢,空气污染轻微,所以天气形势的变化对山区霾频数的影响不明显。

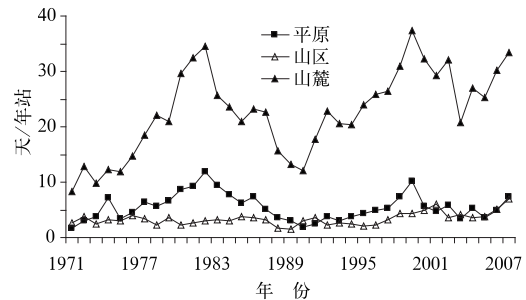


图 4 各区域霾频数的年际变化(天/年站)

Fig. 4 Inter-annual variation of average haze days in various regions(d/a per station)

3 河北霾日环流形势特征

把一天中有10个或以上台站观测到霾,叫做1个霾日。2004—2007年共258个霾日。使用该年限内 $10^{\circ}\sim 70^{\circ}\text{N}$ 、 $60^{\circ}\sim 140^{\circ}\text{E}$ 范围内500 hPa高度场和海平面气压场实况资料,对河北霾日的环流形势进行分析对比,归纳出河北霾日的环流形势有5种:纬向型、两槽一脊型、均值场型、一脊一槽型和两脊一槽型,8个霾日没入型。各型示意图分别以2007年2月17日08时、2005年1月13日08时、2007年6月13日20时、2005年12月19日08时和2004年10月10日20时500 hPa高度环流形势场为例(见图5)。图中极涡和槽脊位置可在5个经纬度范围内摆动,气压场图略。

在上述5型中,纬向型霾日数最多,为83个,两脊一槽型霾日数最少为24个。各型霾日数以及各季节分布情况见表4。

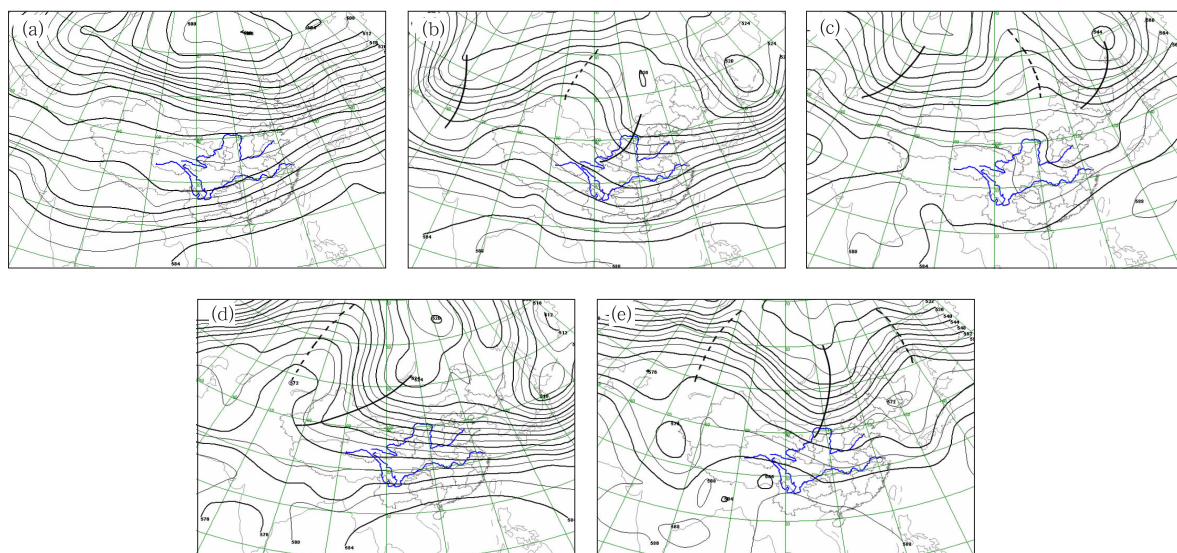


图5 河北霾日500hPa环流形势

(a) 纬向型; (b) 两槽一脊型; (c) 均值场型; (d) 一脊一槽型; (e) 两脊一槽型

Fig. 5 The 500 hPa circulation patterns when the haze happened in Hebei Province

(a) zonal circulation pattern; (b) two troughs and one ridge pattern; (c) mean height pattern;

(d) one trough and one ridge pattern; (e) two ridges and one trough pattern

霾易形成。华北地区没有冷空气入侵时,河北地区气压场更弱,几乎处于均压场中。该型多数情况下河北霾日持续3天左右。

3.2 两槽一脊型

两槽一脊型在冬季出现最多,夏季最少。该型

表4 各季节各型霾日数(天)

Table 4 The days corresponding to the patterns when the haze happened in the seasons(d)

	春	夏	秋	冬	合计
纬向型	24	0	26	33	83
两槽一脊型	13	2	15	44	74
均值场型	3	20	12	2	37
一脊一槽型	6	0	9	17	32
两脊一槽型	6	2	7	9	24
合计	52	24	69	105	250

3.1 纬向型

纬向型在夏季未出现过,在春、秋和冬季出现数量差别不大。该型特点(见图5a),河北高空处于偏西气流中,时有弱冷空气从极涡分裂出来沿偏西气流东移,其主体基本上在 40°N 以北,对河北影响很小,当冷空气位于河北北侧时,河北地面处于弱冷高压南侧的弱气压场中,大气状态稳定;地面风速小于 $4\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$,几乎没有上升运动,不利于污染物扩散,

特点(见图5b),有时脊前和东部槽前气流中有小槽脊波动。该型下,每隔3~5天有一股较弱冷空气入侵河北,冷空气过后,地面气压场很快减弱,大气变为稳定状态,有利于大气污染物聚集,一般在后一股冷空气到来之前污染物达到一定程度,霾形成。冷空气进入河北,霾随之消散。该型霾日持续时间较

短,一般为 1~2 天。

3.3 均值场型

均值场型霾日多出现在夏季,秋季次之。该型环流形势特点(如图 5c),有时纬向气流中有小槽脊波动。该型下河北位于南支槽北侧(或槽区)和北支脊前的高度等值场中。地面气压场上,我国东北地区为一冷高压主体,高压向南伸出一个弱的高压带(多数为一圈等高线),河套及以西地区为一个暖低压,高低压之间有一个近似于均压场的地方,河北处于该弱高压带中或均压场中,大气状态稳定。这种形势持续时间较长,多数情况下霾日可持续 4 天左右,最长持续 13 天,出现在 2007 年 6 月 6—18 日,其中 12 日出霾站数为 63 个,是 4 年中最多的一天。

3.4 一脊一槽型

一脊一槽型在冬季出现最多,在夏季没有。该型特点见图 5d。河北位于斜槽前部的偏西气流中。地面气压场上,冷空气主体位于新疆以北到贝加尔湖以西地区,时有小股冷空气分裂出沿西北气流东移,影响河北。与两槽一脊型相似,霾出现在两股冷空气间歇期的后段,大气状态稳定形成霾,新一股冷空气到来霾消散。该型冷空气间隔较长,多数情况下霾日持续 2~3 天。

3.5 两脊一槽型

两脊一槽型霾日夏季最少,其他 3 季差别不大。该型环流特点见图 5e。地面气压场多数情况下在河套及以西地区是一个范围较大但强度较弱的高压,河北处于高压东侧的弱气压场中,大气状态稳定。多数情况霾日持续 2 天左右。

上述 5 种环流形势的共同点是,没有强冷空气入侵河北,河北地区地面为弱气压场,大气状态稳定。这与文献[15]的分析结果基本一致。对于 5 种环流下霾的生成机理还有待于进一步研究。

4 结 语

(1) 山麓地区霾出现频数远远大于该山麓两侧的山地和平原。山脉对气流的阻挡作用,使山麓地区大气状态相对稳定,利于霾的形成。

(2) 河北霾出现最多月份是 12 月或 1 月,然后递减,到 8 月或 9 月达到最小,之后递增。全年 1/3 左右的霾出现 12 月到 1 月。霾在冬季出现最多,夏季最少。其原因是冬季大气状态相对稳定,污染物

不易扩散。而夏季大气状态活跃,污染物易于扩散,加之降水频繁,对污染物有冲刷作用。

(3) 在河北北部霾频数<4 天/年的地方,霾出现最多月份处于春季,这与春季土壤解冻疏松、植被稀少,来自于地表的尘埃等干性物质增多有关。

(4) 河北霾频数的年际变化总体呈波动上升状态。平原和山麓地区有明显的峰和谷,这可能与那里的大气污染程度变化和每年盛行的大气环流形势有关。山区的年际变化起伏很小,与空气污染程度小有关。

(5) 河北霾日的环流形势分为 5 种:纬向型、两槽一脊型、均值场型、一脊一槽型和两脊一槽型。其共同点是,没有强冷空气入侵河北,河北地区地面为弱气压场,大气状态稳定。

参考文献

- [1] 中央气象局. 地面气象观测规范[M]. 北京:气象出版社, 1979:22-27.
- [2] Hachfeld B, Jurgens N. Climate patterns and their impact on the vegetation in a fog driven desert: The Central Namib Desert in Namibia[J]. *Phytocoenologia*, 2000, 30(3-4): 567-589.
- [3] Malm W C. Characteristics and origins of haze in the continental united-states[J]. *Earth-Science Reviews*, 1992, 33(1): 1-36.
- [4] Kerr R A. Climate study unveils climate cooling caused by pollutant haze[J]. *Science*, 1995, 268(5212): 802-802.
- [5] Quinn P K, Bates T S. North American, Asian, and Indian haze similar regional impacts on climate[J]. *Geophysical Research Letters*, 2003, 30(11):1555-1559.
- [6] 吴兑. 再论都市霾与雾的区别[J]. *气象*, 2006, 32(4): 9-15.
- [7] 饶晓琴,李峰,周宁芳,等. 我国中东部一次大范围霾天气的分析[J]. *气象*, 2008, 34(6): 89-96.
- [8] 周宁芳,李峰,饶晓琴,等. 2006 年冬半年我国霾天气特征分析[J]. *气象*, 2008, 34(6): 81-88.
- [9] 胡亚旦,周自江. 中国霾天气的气候特征分析[J]. *气象*, 2009, 35(7): 73-78.
- [10] 河北省气象局. 河北省天气预报手册[M]. 北京:气象出版社, 1987:12-13, 7-10.
- [11] 苏剑勤,程树林,郭迎春. 河北气候[M]. 北京:气象出版社, 1996:22-23.
- [12] 陈业国,何冬燕,农孟松,等. 1970—2005 年广西霾的变化特征[J]. *生态环境*, 2008, 17(4): 1453-1457.
- [13] 张红,邱明燕,黄勇. 一次由秸秆焚烧引起的霾天气分析[J]. *气象*, 2008, 34(11): 96-100.
- [14] 王晓明,云天,张智勇,等. 吉林省冬季逆温天气特征分析[J]. *气象*, 2009, 35(9): 91-97.
- [15] 付桂琴,李运宗,尤凤春. 煤气中毒事件气象条件初步分析[J]. *气象*, 2008, 34(12): 103-109.
- [16] <http://baike.baidu.com/>