

谢付莹, 王喜全, 王自发. 2014. 海河流域平原地区绝对湿度变化趋势和跃升现象 [J]. 气候与环境研究, 19 (1): 23–30, doi:10.3878/j.issn.1006-9585.2012.12112. Xie Fuying, Wang Xiquan, Wang Zifa. 2014. Variation trend and zooming increase of absolute humidity in the flatland of the Haihe River basin [J]. Climatic and Environmental Research (in Chinese), 19 (1): 23–30.

海河流域平原地区绝对湿度变化趋势和跃升现象

谢付莹 王喜全 王自发

中国科学院大气物理研究所大气边界层物理和大气化学国家重点实验室, 北京 100029

摘 要 20 世纪 80 年代以来, 海河流域经受了严重的气象性和水源性干旱; 与此同时, 其自然气候蒸发能力却呈现出显著的下降趋势。利用标准气象台站的历史资料, 研究了该流域大气绝对湿度的演变趋势, 初步的研究结果表明: 海河流域大气绝对湿度呈现年代增加的趋势, 尤其是每年 5、6 月份的农田灌溉季节, 这种增加的趋势更加显著; 值得指出的是, 自 20 世纪 80 年代中期以来, 该流域的大气绝对湿度出现一个显著跃升的现象, 跃升幅度达 10% 左右。鉴于水汽在天气气候和水份循环中的重要作用, 该流域大气绝对湿度增加原因及其气候环境效应, 值得进一步关注和研究。

关键词 绝对湿度 变化趋势 跃升 农田灌溉 土壤蒸发 海河流域

文章编号 1006-9585 (2014) 01-0023-08

中图分类号 P426.1

文献标识码 A

doi:10.3878/j.issn.1006-9585.2012.12112

Variation Trend and Zooming Increase of Absolute Humidity in the Flatland of the Haihe River Basin

XIE Fuying, WANG Xiquan, and WANG Zifa

State Key Laboratory of Atmospheric Boundary Layer Physics and Atmospheric Chemistry, Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Science, Beijing 100029

Abstract The Haihe River basin experienced severe drought and water shortage since the 1980s; furthermore, the evaporative capacity of the natural climate cycle shows a significant downtrend. The long-term change in absolute humidity was studied using historical data from reference stations. The preliminary results indicated that absolute humidity was on the rise in the interdecadal timescale, especially during the field irrigation season in May or June, where the uptrend was more prominent. There was an obvious zooming in atmospheric absolute humidity since the middle of the 1980s and the zooming extended up to about 10%. The reasons for this and the consequences for the climate and environment warrant further study of the important role of water vapor in the weather, climate, and hydrological cycle.

Keywords Absolute humidity, Variation trend, Zooming, Field irrigation, Soil evaporation, Haihe River basin

1 引言

20 世纪 80 年代以来, 我国华北地区出现了大

范围的干旱化趋势 (张庆云等, 2003; 李伟光等, 2012); 既出现了气象性干旱, 表现为降水减少 (任国玉等, 2005; 周连童和黄荣辉, 2006); 也出现了水源性干旱, 表现为河流断流、地下水位下降 (陈

收稿日期 2012-06-25 收到, 2012-12-03 收到修定稿

资助项目 国家自然科学基金青年基金项目 40905068

作者简介 谢付莹, 女, 1977 年出生, 助理研究员, 主要从事城市空气污染预报研究。E-mail: xiefuying@mail.iap.ac.cn

通讯作者 王喜全, E-mail: wxq@mail.iap.ac.cn

志恺, 2002; 金光振和金光明, 2003)。与此同时, 与全球一样, 华北地区也出现了气候变暖的趋势 (马京津等, 2011)。从常识来讲, 以上现象势必增加该地区的自然气候蒸发能力; 但是研究结果却并非如此。邱新法等 (2003) 研究发现黄河流域下游蒸发皿蒸发量呈下降趋势, 其下降主要表现在夏季和春季。Chen et al. (2005) 对比分析了 3 种计算蒸散量的方法在我国的适用性, 发现彭曼法和蒸发皿测量法在我国均适用, 基于这两种方法的结果, 发现我国海河流域的蒸散量呈显著下降的趋势。任国玉和郭军 (2006) 研究了 1956~2000 年, 我国主要河流流域的年平均水面蒸发量的变化情况, 发现海河流域年平均水面蒸发量呈现显著减少的趋势, 且春季减少最为显著, 并指出气温、风速、日较差和相对湿度是影响海河流域水面蒸发量的主要气候因子。谢贤群和王菱 (2007) 利用彭曼公式计算了中国北方潜在蒸发的变化, 发现黄淮海地区潜在蒸发和蒸发皿蒸发均呈波动下降趋势, 并指出大气湿度增加和人类能源消耗增加而导致的太阳总辐射下降是其减小的主要原因。申双和和盛琼 (2008) 研究发现我国东部地区蒸发皿蒸发量显著下降, 通过对彭曼公式的分析, 发现东部地区蒸发皿蒸发量的下降主要是由于供蒸发的能量显著减少引起的。刘敏和沈彦俊 (2010) 发现海河流域平原地区蒸发皿蒸发量存在显著的下降趋势, 指出这一现象可能与太阳辐射减少以及平均风速的减小有关, 而太阳辐射的减少则主要与海河流域近几十年来气溶胶的增多有关。几乎所有的研究都表明, 华北地区干旱、变暖时期, 蒸发皿蒸发量表现出了下降的趋势 (谢新民等, 2001; 郭军和任国玉, 2005; 刘波等, 2006; 刘敏等, 2009; 徐兴奎, 2010), 至于下降的原因, 最流行的观点是, 大气中气溶胶的增加使地面的太阳直接辐射减少 (刘波等, 2006; 谢贤群和王菱, 2007; 曾燕等, 2007; 刘敏等, 2009; 刘敏和沈彦俊, 2010; Cohen and Stanhill, 2002; Wild, 2009; Palmroth et al., 2010), 从而减弱了自然气候的蒸发能力。以上所说的矛盾现象就是所谓的“蒸发悖论”。蒸发是大气中水汽的重要来源, 而绝对湿度则是表征大气中水汽含量的物理量, 研究绝对湿度的变化可以从侧面反映蒸发能力的变化。传统的土壤蒸发理论表明, 在地表没有发生大规模变化的情况下, 地表的蒸发能力与蒸发皿的蒸发能力成正比, 即在蒸发皿蒸发量下降的趋势下, 地表

的蒸发量也应同时呈现减小的趋势, 而地表蒸发是大气水汽的重要来源 (徐彦伟等, 2011), 进而造成大气绝对水汽含量的下降趋势。

海河流域位于华北平原的北部, 20 世纪 80 年代以来经受了严重的气象性干旱, 水源性干旱也日趋严重 (陈志恺, 2002)。本文利用海河流域有限的标准气象台站的长期历史资料, 初步研究了这一地区大气绝对湿度的长期演变趋势, 并对其演变的原因给出了推测性的说明和解释。

2 数据及方法

由于未能获得海河流域各站点的比湿和露点温度资料, 本文利用温度和相对湿度反算了绝对湿度。本文所用的资料为 1951~2002 年中国气象局标准地面气象站的温度和相对湿度的日均值资料, 对其中的错误数据进行了筛选和剔除。在海河流域包括石家庄、邢台、密云、遵化、北京、廊坊、天津、唐山、乐亭、保定、饶阳、沧州、泊头、塘沽、黄骅、南宫、德州、陵县、惠民县和莘县共 20 个站点; 但由于密云、泊头和陵县 3 站的建站时间较晚, 观测时间较短, 因此未进行分析; 另外其他 17 个站点的起始观测时间也有些差异, 但足以进行趋势研究; 图 1 给出这些代表站的地理分布情况。

根据王名才等 (1994) 编著的《大气科学常用公式》, 可由温度和相对湿度反算绝对湿度, 其具体步骤如下:

(1) 利用马格纳斯经验公式计算饱和水汽压, 其公式为:

$$E_s = E_0 \cdot 10^{\frac{a_1 t}{b_1 + t}}, \quad (1)$$

其中, E_s 为温度 t 时的饱和水汽压 (单位: hPa); E_0 为温度 0°C 时的饱和水汽压, 通常取为 6.11 hPa; a_1 、 b_1 为常数, 对水面取 $a_1=7.63$, $b_1=241.9$ 。

(2) 利用相对湿度, 反算水汽压,

$$f \approx \frac{e}{E} \times 100\%, \quad (2)$$

其中, f 为相对湿度, e 、 E 为湿空气块实有水汽压和饱和水汽压。根据相对湿度和公式 (1) 中计算的饱和水汽压, 可以求得水汽压 e 。

(3) 计算绝对湿度, 其公式为:

$$a = A \frac{e}{T}, \quad (3)$$

其中, a 为绝对湿度, 即湿空气块的水汽密度; A

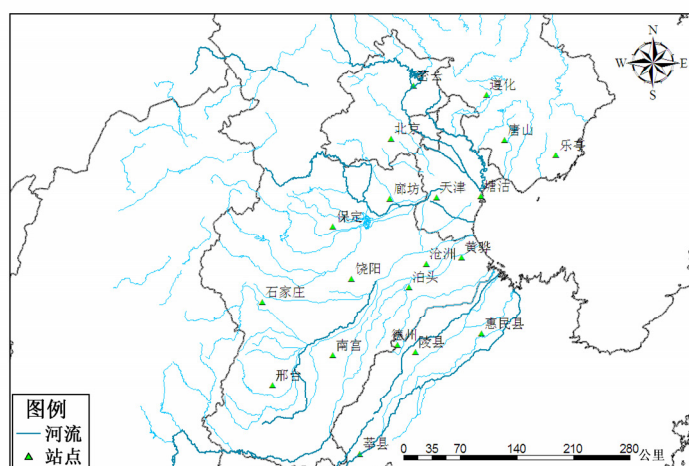


图1 研究用海河流域标准气象台站地理分布（由绿色三角标识）

Fig. 1 Locations of normal meteorological stations in Haihe River basin (represented by green triangle)

为常数，取为 217； T 为温度。

根据以上方法计算了每个台站的日均绝对湿度，并进一步计算了各台站绝对湿度的年均值、季均值和月均值，获得了年、各季节和各月份的多年时间序列。其中，季节划分是以 3~5 月为春季、6~8 月为夏季、9~11 月为秋季、12 月至翌年 2 月为冬季。

对各站点绝对湿度的年均值、季均值和月均值时间序列分别进行线性拟合，将线性趋势相关系数平方值定义为线性趋势系数，趋势系数越大，表明线性变化趋势越显著。

3 结果及讨论

利用第 2 节的资料和方法，反算了海河流域代表性标准气象站点的绝对湿度。利用 2000 年北京的水汽压资料对计算所得的绝对湿度资料进行了验证，发现两者的相关系数高达 0.99，表明计算所得的绝对湿度真实合理（图略）。对绝对湿度进行了线性趋势、相关性及方差分析。

3.1 年平均绝对湿度年际变化及其趋势

海河流域各站点绝对湿度年均值，虽然不同年份之间有一定的变化，但大多数站点的多年线性变化趋势并不明显，仅有石家庄、遵化、塘沽、惠民和莘县 5 个站点有显著的线性变化趋势（图 2）。这 5 个站点中石家庄、遵化、惠民和莘县均有显著的线性上升的趋势，遵化和惠民通过了 $\alpha=0.05$ 的显著性检验，石家庄和莘县则更是通过了 $\alpha=0.01$ 的显著性检验；而塘沽站则呈现出显著

的线性下降的趋势，也通过了 $\alpha=0.05$ 的显著性检验。

从常识和直觉判断，地面绝对湿度应与降雨量关系密切，为此计算了二者的相关性，表 1 给出了海河流域各站点年均绝对湿度与年降水量之间的相关系数。从表中不难看出，大多数站点的绝对湿度与降水量之间存在着很显著的正相关关系，其中有 11 个站点通过了 $\alpha=0.01$ 的显著性检验，2 个站点通过了 $\alpha=0.05$ 的显著性检验。

表 1 代表性台站年均绝对湿度与年降雨量之间的相关系数
Table 1 Coefficients of correlation between annual mean absolute humidity and annual precipitation

站点名	样本数	相关系数
石家庄	48	0.24
遵化	47	0.33*
廊坊	46	0.52**
唐山	46	0.49**
保定	48	0.47**
沧州	42	0.60**
黄骅	43	0.55**
德州	44	0.58**
莘县	46	0.29
邢台	49	0.29*
北京	52	0.26
天津	49	0.27
乐亭	46	0.38**
饶阳	45	0.48**
塘沽	49	0.40**
南宫	45	0.56**
惠民	52	0.50**

*, ** 分别表示通过 $\alpha=0.05$ 、 $\alpha=0.01$ 显著性检验。

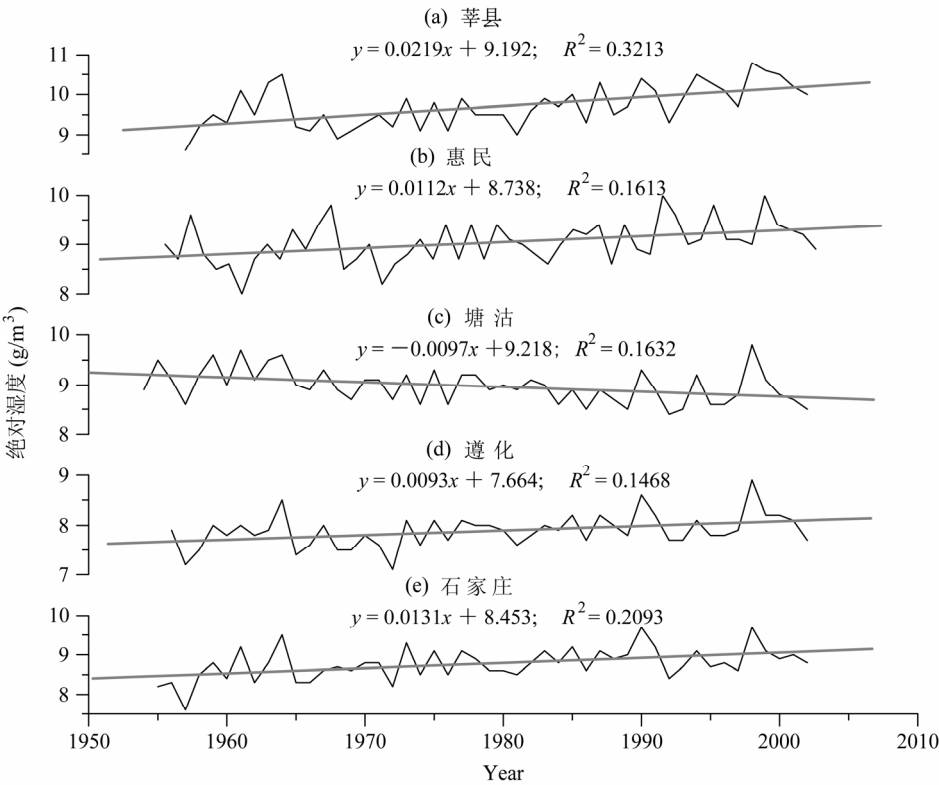


图2 代表性台站年平均绝对湿度变化及其线性趋势: (a) 莘县; (b) 惠民; (c) 塘沽; (d) 遵化; (e) 石家庄
Fig. 2 Interannual variations and linear trends of annual mean absolute humidity: (a) Shenxian; (b) Huimin; (c) Tanggu; (d) Zunhua; (e) Shijiazhuang

以上分析有两点值得注意: (1) 石家庄和莘县两个站点的年均绝对湿度增加的趋势最为显著的, 但其与年降水量之间的相关性却并不显著。这意味着这两个站点绝对湿度的增加除了降水因素之外, 还与其他因素有着紧密的联系。(2) 塘沽站位于渤海湾附近, 具有海洋性气候特征。其绝对湿度的下降, 可能与华北的降水减少有关, 也可能与渤海水质污染影响海表蒸发有关 (Монин et al., 1995)。与此同时, 塘沽站的气温日较差呈现增加趋势 (郭军等, 2009), 这与其他城市显著不同, 气温日较差对蒸发过程有显著的影响, 进而会影响大气水汽含量。此外, 塘沽作为重要的港口, 城市化进程显著, 同时受海陆风影响, 而这两者均对大气绝对湿度有一定的影响 (张志新, 2003; 王玉国等, 2004)。但是由于缺乏实测资料, 还无法分析其具体原因。

3.2 季平均绝对湿度的年际变化及其趋势

对海河流域各站点绝对湿度的季节均值 (自然季节), 也做了与 3.1 节相同的分析计算。表 2 给出了这些站点绝对湿度季节均值变化的线性趋势系数 (见第 2 节中定义)。

表 2 海河流域各站点四季绝对湿度均值线性趋势系数
Table 2 Coefficients of linear trends of mean absolute humidity for all seasons at stations in Haihe River basin

站点	绝对湿度均值线性趋势系数			
	春季	夏季	秋季	冬季
石家庄	0.2402**	0.0503	0.0286	0.1495**
遵化	0.1601**	0.0073	0.0303	0.211**
廊坊	0.0439	0.0001	0.0001	0.049
唐山	0.0982*	0.0079	0.0017	0.1086*
保定	0.0725	0.0111	0.0013	0.0345
沧州	0.0574	0.005	0.0185	0.0057
黄骅	0.0739	0.0003	0.0253	0.072
德州	0.1796**	0.04	0.0014	0.0002
莘县	0.4136**	0.1866**	0.038	0.0404
邢台	0.0715	0.0012	0.0002	0.0385
北京	0.0145	0.0123	0.0039	0.0207
天津	0.0818*	0.0052	0.0025	0.1139*
乐亭	0.0484	0.0243	0.0007	0.1212*
饶阳	0.0866*	0.0023	0.0034	0.0068
塘沽	0.0598	0.1034*	0.1543**	0.017
南宫	0.1476**	0.0019	0.0064	0.0396
惠民	0.3197**	0.0354	0.008	0.0365

*, **分别表示通过 $\alpha=0.05$ 、 $\alpha=0.01$ 显著性检验。

由表 2 可以发现: (1) 春季海河流域共有 9 个站点呈现明显的上升趋势, 其中 3 个站点通过了

表 3 海河流域各站点各月绝对湿度均值线性趋势系数

Table 3 Coefficients of linear trends of mean absolute humidity in every month at stations in Haihe River basin

站点	绝对湿度均值线性趋势系数											
	1 月	2 月	3 月	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月
石家庄	0.143**	0.049	0.004	0.142**	0.246**	0.222**	0.003	0.012	0.024	0.007	0.016	0.074
邢台	0.027	0.005	0.000	0.028	0.105*	0.050	0.008	0.054	0.004	0.001	0.010	0.024
遵化	0.161**	0.077	0.004	0.054	0.207**	0.132*	0.010	0.008	0.039	0.006	0.002	0.115*
北京	0.020	0.002	0.032	0.025	0.027	0.030	0.056	0.031	0.006	0.014	0.015	0.008
廊坊	0.104*	0.009	0.028	0.02	0.105*	0.144**	0.034	0.022	0.009	0.001	0.008	0.017
天津	0.093*	0.028	0.006	0.025	0.107*	0.082*	0.001	0.002	0.000	0.001	0.013	0.046
唐山	0.062	0.074	0.000	0.034	0.141*	0.167**	0.020	0.000	0.020	0.001	0.009	0.025
乐亭	0.055	0.065	0.003	0.011	0.070	0.122*	0.003	0.000	0.007	0.002	0.023	0.036
保定	0.069	0.006	0.033	0.049	0.141**	0.164**	0.002	0.012	0.004	0.000	0.001	0.014
饶阳	0.024	0.000	0.046	0.054	0.171**	0.107*	0.018	0.003	0.029	0.001	0.025	0.000
沧州	0.035	0.005	0.05	0.015	0.160**	0.070	0.001	0.011	0.008	0.000	0.041	0.003
塘沽	0.008	0.015	0.077	0.032	0.017	0.061	0.058	0.060	0.045	0.061	0.093*	0.009
黄骅	0.054	0.017	0.001	0.026	0.117*	0.104*	0.024	0.030	0.003	0.016	0.04	0.039
南宫	0.097*	0.045	0.002	0.104*	0.171**	0.078	0.014	0.001	0.008	0.010	0.045	0.003
德州	0.024	0.005	0.005	0.118*	0.202**	0.141*	0.008	0.000	0.005	0.001	0.029	0.001
惠民	0.059	0.010	0.033	0.172**	0.334**	0.176**	0.000	0.000	0.024	0.011	0.014	0.006
莘县	0.057	0.038	0.025	0.208**	0.471**	0.332**	0.019	0.071	0.127*	0.02	0.047	0.002

*, **分别表示通过 $\alpha=0.05$ 、 $\alpha=0.01$ 显著性检验。

$\alpha=0.05$ 的显著性检验, 6 个站点通过了 $\alpha=0.01$ 的显著性检验; 这说明海河流域春季绝对湿度总体呈现上升的趋势。(2) 夏季仅塘沽和莘县两站相关系数通过了显著性检验; 莘县站的绝对湿度均值有显著的上升趋势, 而塘沽站则表现为显著的下降趋势。(3) 秋季只有塘沽站通过了 $\alpha=0.01$ 的显著性检验, 呈明显的下降趋势。(4) 冬季共有 5 个站点通过了显著性检验, 其中石家庄和遵化通过了 $\alpha=0.01$ 的显著性检验, 天津、唐山和乐亭则是通过了 $\alpha=0.05$ 的显著性检验, 这些站点绝对湿度均有显著的线性上升的趋势。

值得注意的是, 在 20 世纪 80 年代以来连年春旱的情况下 (周磊等, 2012), 多数台站的绝对湿度呈现上升的趋势。

3.3 月平均绝对湿度的年际变化及其趋势

3.2 节的分析表明, 海河流域绝对湿度季均值的变化以春季最为明显, 表现出显著的线性上升的趋势, 其次是冬季, 而夏季和秋季则变化趋势不甚显著。为了更准确掌握春节绝对湿度的变化情况, 计算了海河流域各站点绝对湿度各月的均值, 并分析其年际变化及线性变化趋势, 其线性趋势系数列于表 3 中。

由表 3 可以发现, 各站月均绝对湿度的年际

变化以 1 月、4 月、5 月和 6 月的年际变化最为显著, 尤以 5 月为最。在分析的 17 个站点中, 5 月共有 14 个站点通过了线性变化趋势的显著性检验, 其中 9 个站点通过了 $\alpha=0.01$ 的显著性检验, 5 个站点通过了 $\alpha=0.05$ 的显著性检验, 仅北京、乐亭和塘沽 3 个站点没有通过显著性检验。6 月的 17 个站中, 共有 6 个站点通过了 $\alpha=0.05$ 的显著性检验, 亦有 6 个站点通过了 $\alpha=0.01$ 的显著性检验, 其余站点未通过显著性检验。1 月和 4 月各有 5 个站点通过了显著性检验, 9 月、11 月和 12 月则各有 1 个站点通过检验, 其余月份均没有站点通过显著性检验。由此可见, 海河流域 5 月和 6 月绝对湿度存在着明显的上升趋势。图 3 给出了海河流域 9 个站点的 5 月绝对湿度月均值的年际变化和线性趋势, 它们均通过了 $\alpha=0.01$ 的显著性检验。至于北京、乐亭和塘沽 3 个站点没有通过显著性检验, 可能与北京的城市化有关, 研究表明北京 54511 站更代表城市化特征 (王佳丽等, 2012), 而乐亭和塘沽站位于渤海海岸, 更具海洋性气候的特征。

图 3 有一个显著特点, 即在 1984 年以后这些站点的绝对湿度月均值有明显的跃升现象。为进一步了解这一显著现象, 以 1984 年为界, 计算 1984

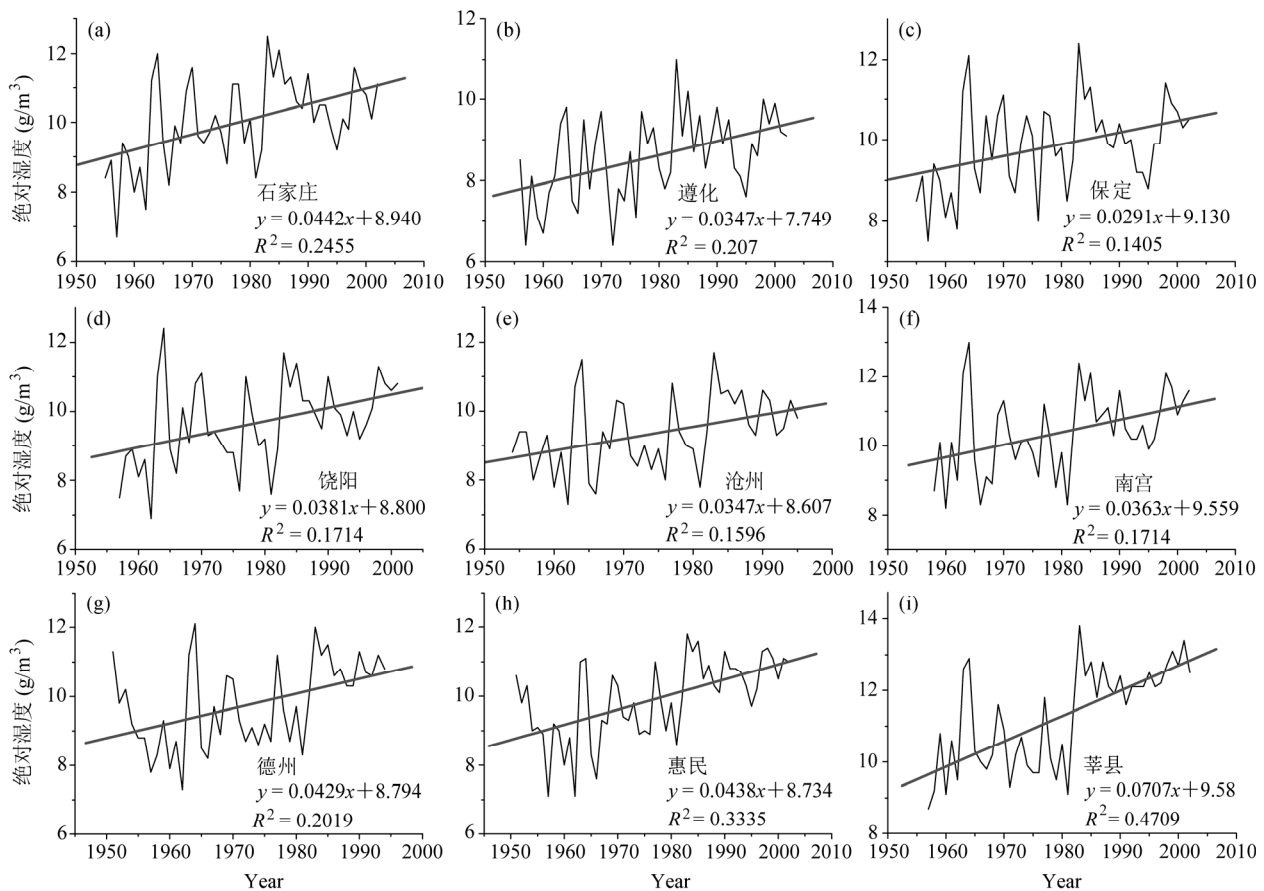


图3 海河流域9站点5月绝对湿度月均值年际变化及其趋势(均通过 $\alpha=0.01$ 的显著性检验): (a) 石家庄; (b) 遵化; (c) 保定; (d) 饶阳; (e) 沧州; (f) 南宫; (g) 德州; (h) 惠民; (i) 莘县

Fig. 3 Interannual variations and linear trends of mean absolute humidity in May at nine stations in Haihe River basin (passing $\alpha=0.01$ significance test): (a) Shijiazhuang; (b) Zunhua; (c) Baoding; (d) Raoyang; (e) Cangzhou; (f) Nangong; (g) Dezhou; (h) Huimin; (i) Shenxian

年前、后两个时段5月份绝对湿度的均值及其标准差,并对两组平均值进行了差异显著性检验,结果列于表4。

从表4可以看出:(1)除北京两个时段的绝对湿度平均值差异不明显外,塘沽表现为明显降低以外,其他站点的两个时段平均值的差异均通过显著性检验,这说明绝对湿度均值在1984年前后发生了明显的变化,绝对湿度均呈现明显的跃升迹象和趋势。(2)从绝对湿度的标准差来看,1984年之前标准差数值较大,1984年之后标准差数值较小,这说明1984年之前绝对湿度的年际变化较大,而1984年之后绝对湿度的年际变化则明显减弱。为了确定这种变化可能与降水量的关系,计算了1984年前后5月份绝对湿度均值与降水量之间的相关,结果列于表5中。

从表5中可以发现,在1984年之前,海河流域大多数站点的绝对湿度和降水量之间都有着非

常显著的正相关关系,11个站点的正相关系数通过了 $\alpha=0.01$ 的显著性检验,这说明在1984年之前,降水量对绝对湿度的大小有显著的影响;而1984年之后,却仅有3个站点通过了相关检验,这说明降水量对绝对湿度的影响已经不再明显,这似乎意味着这一时期绝对湿度的上升是受其他因素的影响。我们知道,春季5月为海河流域作物的播种和生长季节(特别是冬小麦),而华北地区春季通常干旱少雨,素有“春雨贵如油”之说。为了改善作物的生长环境,建国以后在海河地区进行了大规模的农业灌溉工程建设,使不靠天吃饭成为可能。特别是20世纪80年代中期以后,有条件的地区基本实现了农业水利灌溉,使得该地区的地表湿润状况发生了变化,从而影响农田的水份蒸发,进而引起大气绝对湿度的变化。这似乎说明大规模的农田灌溉,已经对区域的气候要素产生了影响。

表 4 海河流域代表站 5 月绝对湿度 1984 年前、后的月均值及标准差

Table 4 Comparisons of mean values and standard deviation of absolute humidity in May between the period before 1984 and the periods after 1984

站点	绝对湿度均值/ g m^{-3}		绝对湿度标准差/ g m^{-3}	
	1984 年前	1984 年后	1984 年前	1984 年后
石家庄	9.7	11	1.33	0.80
邢台	9.9	11	1.19	0.78
遵化	8.3	9.1	1.10	0.69
北京	9.0	9.1	1.14	0.77
廊坊	9.1	9.6	1.20	0.59
天津	9.4	10.0	1.12	0.6
唐山	8.8	9.3	1.07	0.59
乐亭	9.2	9.5	0.9	0.56
保定	9.7	10	1.22	0.67
饶阳	9.3	10	1.32	0.64
沧州	9.1	10	1.1	0.5
塘沽	10	9.8	0.82	0.53
黄骅	9.2	9.8	1.14	0.51
南宫	10	11	1.24	0.66
德州	9.5	11	1.2	0.39
惠民	9.4	11	1.12	0.50
莘县	10.5	12.4	1.26	0.46

表 5 1984 年前后海河流域各站点 5 月份绝对湿度与降水量之间的相关分析

Table 5 Comparisons of correlation coefficients between absolute humidity and precipitation in May between the period before 1984 and the period after 1984

站点	相关系数		样本数	
	1984 年前	1984 年后	1984 年前	1984 年后
石家庄	0.59**	0.34	30	18
邢台	0.64**	0.62**	31	18
遵化	0.37	0.41	29	18
北京	0.47**	0.14	34	18
廊坊	0.51**	0.26	28	18
天津	0.40	0.35	31	18
唐山	0.35	0.55	28	18
乐亭	0.59**	0.54	28	18
保定	0.40	0.44	30	18
饶阳	0.56**	0.18	28	17
沧州	0.60**	0.62	31	11
塘沽	0.22	0.50	31	18
黄骅	0.48	0.64**	25	18
南宫	0.72**	0.63**	27	18
德州	0.53**	0.37	34	10
惠民	0.50**	0.32	34	18
莘县	0.71**	-0.12	28	18

**表示通过 $\alpha=0.01$ 显著性检验。

4 总结

利用海河流域标准气象站常规资料及其反算的绝对湿度资料,研究了该区域的绝对湿度的年代变化,初步的分析结果如下:

(1) 虽然 20 世纪 80 年代以来,海河流域发生了严重的气象性干旱和水源性干旱,同时气候蒸发率也出现了下降的趋势,但大气的绝对湿度却出现了增加的趋势,特别是该地区大规模的农田灌溉月份(5、6 月),绝对湿度的增加趋势更加显著。

(2) 特别值得指出的是,在 1984 年前后,大气的绝对湿度出现了一个明显的跃升现象;就 5 月来说,1984 年前月均绝对湿度为 9.4 g/m^3 ,1984 年后月均绝对湿度为 10.2 g/m^3 ,增加了近 10%。从 5 月份月降水量来看,1984 年前后并未发生系统性的变化,这种绝对湿度的跃升现象就特别值得注意。是气候自然变化的原因,还是人为(大规模农田灌溉)过程的原因,值得进行深入研究。

总而言之,在整个海河流域同时出现气象性干旱和水源性干旱及气温升高的背景下,大气中的水汽并没有减少反而呈现出增加的趋势,并进而维持大气相对湿度的稳定。

参考文献 (References)

- Chen D L, Gao G, Xu C Y, et al. 2005. Comparison of the Thornthwaite method and pan data with the standard Penman-Monteith estimates of reference evapotranspiration in China [J]. Climate Research, 28 (2): 123-132.
- 陈志恺. 2002. 持续干旱与华北水危机 [J]. 中国水利, 4 (特刊): 8-11.
- Chen Zhikai. 2002. The persistent drought and water crisis in North China [J]. China Water Resources (in Chinese), 4 (special issue): 8-11.
- Cohen S, Stanhill G. 2002. Evaporative climate changes at Bet Dagan, Israel, 1964-1998 [J]. Agricultural and Forest Meteorology, 111 (2): 83-91.
- 郭军, 任国玉. 2005. 黄淮海流域蒸发量的变化及其原因分析 [J]. 水科学进展, 16 (5): 666-672. Guo Jun, Ren Guoyu. 2005. Recent change of pan evaporation and possible climate factors over the Huang-Huai-Hai watershed, China [J]. Advances in Water Science (in Chinese), 16 (5): 666-672.
- 郭军, 李明财, 刘德义. 2009. 近 40 年来城市化对天津地区气温的影响 [J]. 生态环境学报, 18 (1): 29-34. Guo Jun, Li Mingcai, Liu Deyi. 2009. Effects of urbanization on air temperature of Tianjin in recent 40 years [J]. Ecology and Environmental Sciences (in Chinese), 18 (1): 29-34.
- 金光振, 金光明. 2003. 华北干旱缺水的现状与成因探索[J]. 安全与环境工程, 10 (2): 20-23. Jin Guangzhen, Jin Guangming. 2003. The present situation of aridness and lack of water resources in North China and the probe into its causes [J]. Safety and Environmental Engineering

- (in Chinese), 10 (2): 20–23.
- 李伟光, 易雪, 侯美亭, 等. 2012. 基于标准化降水蒸散指数的中国干旱趋势研究 [J]. 中国生态农业学报, 20 (5): 643–649. Li Weiguang, Yi Xue, Hou Meiting, et al. 2012. Standardized precipitation evapotranspiration index shows drought trends in China [J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture (in Chinese), 20 (5): 643–649.
- 刘波, 马柱国, 丁裕国. 2006. 中国北方近 45 年蒸发变化的特征及与环境的关系 [J]. 高原气象, 25 (5): 840–848. Liu Bo, Ma Zhuguo, Ding Yugu. 2006. Characteristics of the changes in pan evaporation over northern China during the past 45 years and the relations to environment factors [J]. Plateau Meteorology (in Chinese) 25 (5): 840–848.
- 刘敏, 沈彦俊. 2010. 海河流域近 50 年水文要素变化分析 [J]. 水文, 30 (6): 74–77. Liu Min, Shen Yanjun. 2010. Change trend of hydrological elements in Haihe River basin over the last 50 years [J]. Journal of China Hydrology (in Chinese), 30 (6): 74–77.
- 刘敏, 沈彦俊, 曾燕, 等. 2009. 近 50 年中国蒸发皿蒸发量变化趋势及原因 [J]. 地理学报, 64 (3): 259–269. Liu Min, Shen Yanjun, Zeng Yan, et al. 2009. Changing trend of pan evaporation and its cause over the past 50 years in China [J]. Acta Geographica Sinica (in Chinese), 64 (3): 259–269.
- 马京津, 张自银, 刘洪. 2011. 华北区域近 50 年气候类型变化分析 [J]. 中国农业气象, 32 (增 1): 9–14. Ma Jingjin, Zhang Ziyin, Liu Hong. 2011. Study of climatic type change for recent 50 years in North China [J]. Chinese Journal of Agrometeorology (in Chinese), 32 (Supplement 1): 9–14.
- Монин А, Войтов В, 李若钝. 1995. 石油污染对海—气相互作用的影响 [J]. 海岸工程, 14 (1): 23–26. Монин А, Войтов В, Li Ruodun. 1995. Influence of oil pollution on air–sea interaction [J]. Coastal Engineering (in Chinese), 14 (1): 23–26.
- Palmroth S, Katul G, Hui D F, et al. 2010. Estimation of long-term basin scale evapotranspiration from streamflow time series [J]. Water Resour. Res., 46 (10): W10512, doi: 10.1029/2009wr008838.
- 邱新法, 刘昌明, 曾燕. 2003. 黄河流域近 40 年蒸发皿蒸发量的气候变化特征 [J]. 自然资源学报, 18 (4): 437–442. Qiu Xinfa, Liu Changming, Zeng Yan. 2003. Changes of pan evaporation in the recent 40 years over the Yellow River basin [J]. Journal of Natural Resources (in Chinese), 18 (4): 437–442.
- 任国玉, 郭军. 2006. 中国水面蒸发量的变化 [J]. 自然资源学报, 21 (1): 31–44. Ren Guoyu, Guo Jun. 2006. Change in pan evaporation and the influential factors over China: 1956–2000 [J]. Journal of Natural Resource (in Chinese), 21 (1): 31–44.
- 任国玉, 郭军, 徐铭志, 等. 2005. 近 50 年中国地面气候变化基本特征 [J]. 气象学报, 63 (6): 942–956. Ren Guoyu, Guo Jun, Xu Mingzhi, et al. 2005. Climate changes of China's mainland over the past half century [J]. Acta Meteorologica Sinica (in Chinese), 63 (6): 942–956.
- 申双和, 盛琼. 2008. 45 年来中国蒸发皿蒸发量的变化特征及其成因 [J]. 气象学报, 66 (3): 452–460. Shen Shuanghe, Sheng Qiong. 2008. Changes in pan evaporation and its cause in China in the last 45 years [J]. Acta Meteorologica Sinica (in Chinese), 66 (3): 452–460.
- 王佳丽, 张人禾, 王迎春. 2012. 北京不同区域表面气温的变化特征以及北京市观象台气温的代表性 [J]. 气候与环境研究, 17 (5): 563–573. Wang Jiali, Zhang Renhe, Wang Yingchun. 2012. Features of the surface air temperature in different areas of Beijing and the representativeness of Beijing observatory [J]. Climatic and Environmental Research (in Chinese), 563–573.
- 王名才. 1994. 大气科学常用公式 [M]. 北京: 气象出版社, 2–382. Wang Mingcai. 1994. The Conventional Formulas for Atmospheric Science (in Chinese) [M]. Beijing: China Meteorological Press, 2–382.
- 王玉国, 吴增茂, 常志清. 2004. 辽东湾西岸海陆风特征分析 [J]. 海洋预报, 21 (3): 57–63. Wang Yugu, Wu Zengmao, Chang Zhiqing. 2004. Statistic characteristics of sea–land breeze in west coast of Liao Dong Bay [J]. Marine Forecasts (in Chinese), 21 (3): 57–63.
- Wild M. 2009. Global dimming and brightening: A review [J]. J. Geophys. Res., 114 (21): D00D16.
- 谢贤群, 王菱. 2007. 中国北方近 50 年潜在蒸发的变化 [J]. 自然资源学报, 22 (5): 683–691. Xie Xianqun, Wang Ling. 2007. Changes of potential evaporation in northern China over the past 50 years [J]. Journal of Natural Resources (in Chinese), 22 (5): 683–691.
- 谢新民, 郭洪宇, 尹明万, 等. 2001. 我国华北地区蒸发能力及其变化趋势分析 [J]. 水利规划设计, 2001, (4): 24–33. Xie Xinmin, Guo Hongyu, Yin Mingwan, et al. 2001. An analysis of variation trends of evaporation capacity in North China [J]. Water Resources Planning and Design (in Chinese), 2001, (4): 24–33.
- 徐兴奎. 2010. 1970~2000 年中国近地层大气热力增强的气候效应 [J]. 地球科学进展, 26 (1): 48–56. Xu Xingku. 2010. Climatic effect of atmospheric thermodynamics over land surface from 1970 to 2000 [J]. Advances in Earth Science (in Chinese), 26 (1): 48–56.
- 徐彦伟, 康世昌, 张玉兰, 等. 2011. 夏季纳木错湖水蒸发对当地大气水汽贡献的方法探讨: 基于水体稳定同位素的估算 [J]. 科学通报, 56 (13): 1042–1049. Xu Yanwei, Kang Shichang, Zhang Yulan, et al. A method for estimating the contribution of evaporative vapor from the Lake Nam Co to local atmospheric vapor based on stable isotopes of water bodies [J]. Chinese Science Bulletin (in Chinese), 2011, 56 (14): 1511–1517, doi: 10.1007/s11434-011-4467-2.
- 曾燕, 邱新法, 刘昌铭, 等. 2007. 1960~2000 年中国蒸发皿蒸发量的气候变化特征 [J]. 水科学进展, 18 (3): 311–318. Zeng Yan, Qiu Xinfa, Liu Changming, et al. 2007. Changes of pan evaporation in China in 1960–2000 [J]. Advances in Water Science (in Chinese), 18 (3): 311–318.
- 张庆云, 卫捷, 陶诗言. 2003. 近 50 年华北干旱的年代际和年际变化及大气环流特征 [J]. 气候与环境研究, 8 (3): 307–318. Zhang Qingyun, Wei Jie, Tao Shiyan. 2003. The decadal and interannual variations of drought in northern China and association with the circulations [J]. Climatic and Environmental Research (in Chinese), 8 (3): 307–318.
- 张志新. 2003. 城市气候的特征及危害 [J]. 农业与技术, 23 (3): 136–137. Zhang Zhixin. 2003. Characteristics and harm of climate in urban area [J]. Agriculture and Technology (in Chinese), 23 (3): 136–137.
- 周磊, 武建军, 吕爱峰, 等. 2012. 华北不同地表覆盖类型区干旱演变特征 [J]. 地理研究, 31 (4): 597–607. Zhou Lei, Wu Jianjun, Lü Aifeng, et al. 2012. Drought evolution of different land cover regions in North China [J]. Geographical Research (in Chinese), 31 (4): 597–607.
- 周连童, 黄荣辉. 2006. 华北地区降水、蒸发和降水蒸发差的时空变化特征 [J]. 气候与环境研究, 11 (3): 280–295. Zhou Liantong, Huang Ronghui. 2006. Characteristics of temporal and spatial variation of precipitation, evaporation and difference between precipitation and evaporation in North China [J]. Climatic and Environmental Research (in Chinese), 11 (3): 280–295.