

环渤海区域大气水份平衡特征的研究*

李爱贞 张富强 张桂芹 刘厚凤

(山东师范大学人口·资源与环境学院 济南 250014)

摘要 利用 1981~1990 年环渤海地区的地面气象资料、探空资料和土地利用资料,计算了该地区大气水份平衡方程中各分量,分析了其变化特征,并对它们之间的相互关系进行了研究。

关键词 环渤海区域,大气水份,平衡特征,水汽净输出量,地气水汽净变换量

环渤海地区包括北京、天津、辽宁、河北和山东省的近海部分。该地区位处温带季风气候区,降水变率大。20 世纪 80 年代以来,降水明显偏少,使该地区水资源匮乏问题更为突出。本文利用环渤海及其邻近区域 1981~1990 年的有关资料,研究该地区大气水份平衡特征。

1 大气水份平衡方程中各量的计算原理和方法

1.1 大气的水份平衡方程

大气的水份平衡是指在给定时间(段)内整个大气柱收入的总水份量与支出的水汽量之差,等于该地区大气柱水汽含量的变化量:

$$\sum w_i - \sum w_g = \Delta q \quad (1)$$

式中, Δq 为 t_0 到 t_1 时段大气柱水汽含量的变化,即: $\Delta q = q_{t1} - q_{t0}$; $\sum w_i$ 为大气柱收入的水汽总量,主要包括:(1)由外界平流输入该地区的水汽量 Q_1 ;(2)下垫面蒸发的水汽量 E 。

$\sum w_g$ 是大气柱支出的水汽总量,主要包括:(1)平流输出的水汽量 Q_2 ;(2)由于大气水份凝结降落到地面的水汽量 P 。 $\Delta Q = Q_2 - Q_1$ 为输入、输出该地区的水汽量差,称为水汽净输出量。 $\Delta N = P - E$ 为大气凝结降落的水量与蒸发量之差,称为地气间水汽净交换量。得 $\Delta N + \Delta Q + \Delta q = 0$ 或 $P - E + \Delta Q + \Delta q = 0$ 。对于长期平均情况, $\Delta q \approx 0$,得:

$$P - E + \Delta Q = 0 \quad (2)$$

1.2 大气水汽平衡方程中各分量的计算

1.2.1 降水量 P

区域平均降水量为:

* 八五国家重点攻关课题,课题号:85-806-03。

收稿日期:1995 年 11 月 10 日

$$P = \frac{1}{S} \sum_i S_i P_i \quad (3)$$

式中, P 为区域平均降水量; P_i 为区域内各站的降水量; S_i 为各站代表的面积; S 为区域总面积。

1.2.2 水汽通量及水汽通量散度的计算

单位时间内通过单位截面积大气柱的水汽通量矢量 $\vec{Q}$ 为:

$$\vec{Q} = \frac{1}{g} \int_{p_s}^p \int_1^2 q \vec{V} dt dP = \frac{\Delta t}{g} \int_{p_s}^p \overline{q \vec{V}} dP \quad (4)$$

$$Q_n = \frac{\Delta t}{g} \int_{p_s}^p \overline{q V_n} dP \quad (5)$$

对于一个闭合区域, 水汽的总辐散量可为:

$$Q_r = - \oint_{\Omega} \vec{V} \cdot \vec{Q} d\Omega \quad (6)$$

将面积分转换为环路积分, 并用差分代替积分, 对区域取平均, 可得单位面积、单位时间的水汽净输出量 ΔQ :

$$\Delta Q = \frac{1}{\Omega g} \sum_{i=s}^T \sum_{j=1}^n q V_{nj} L_j \Delta P_i \quad (7)$$

式(4)~(7)中, $\vec{Q}$ 为水汽通量矢量; Q_n 为垂直于区域边界的水汽通量, 以向外为正; Q_r 为区域水汽总辐散量; $\vec{V}$ 为全风速; V_n 为法向风速; q 为比湿; g 为重力加速度; Ω 为区域面积; L_j 为区域第 j 边边界长度, P 为气压。

1.2.3 地面蒸发量的计算

(1) 蒸发力

修正后的彭曼公式^[1]为:

$$E_0 = \frac{\Delta R + r E_a}{\Delta + r} \quad (8)$$

$$R = R_a(1 - \alpha)(0.18 + 0.55n/N) - \sigma T^4(0.56 - 0.09\sqrt{e_a})(0.1 + 0.9n/N) \quad (9)$$

$$E_a = (a + b\bar{u})(e_a - e_d) \quad (10)$$

式(8)~(10)中, E_0 为蒸发力; R 为净辐射量; E_a 为空气动力学项; Δ 为饱和水汽压随温度变化的斜率; α 为反射系数; n/N 为日照百分率; e_a, e_d 分别为饱和水汽压和实际水汽压; $\bar{u}$ 为平均风速; a, b 为经验系数, 取值为: 夏半年 $a=0.284, b=0.25$; 冬半年 $a=0.205, b=0.40$ 。

(2) 各种下垫面实际蒸发量

根据研究区域的土地利用状况^[4]将该区域陆面下垫面分成 6 类 8 种, 即: 农田(分为旱地、水浇地、水田)、村地、草地、裸地、水面、城市下垫面, 分别计算其实际蒸发量。其水面的实际蒸发量等于蒸发力, 农田、村地、草地的蒸发量用桑斯威特气候学水份收支法^[3]计算, 城市下垫面按植被覆盖率为 25% 计算。

(3) 区域平均蒸发量(AET_0)

$$AET_0 = \frac{\sum_{i=1}^m AE_j S_j}{S} \quad (11)$$

式中, AE_j 为第 j 种下垫面的蒸发量; S_j 为第 j 种下垫面面积; S 为区域总面积。

2 研究区域的界定和资料的选取

2.1 研究区域的界定

研究区域是由北京、大连、成山头、青岛、济南围成的五边形(如图所示)。区域总面积 158 000 km²,各种下垫面面积百分数列于表 1。

表 1 研究区域下垫面面积百分数(%)

下垫面	旱地	水浇地	水田	村地	草地	裸地	城市	内陆水面	海面
面积百分数(%)	16.12	15.31	0.09	4.94	0.95	7.69	6.39	6.74	41.47
占陆面面积的百分数(%)	27.5	26.2	0.7	8.4	1.6	13.1	10.9	11.5	/

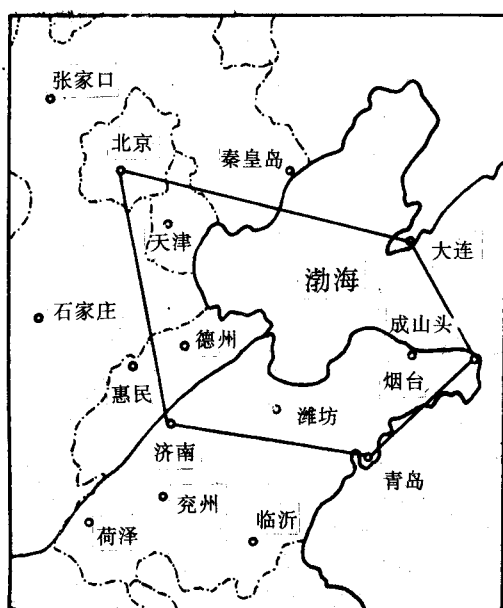


图 1 研究区域示意

Fig. 1 Sketch map of researched region

2.2 资料来源及选取

地面气象资料取自研究区域内分布较均匀的 18 个气象站 1981~1990 年常规地面观测资料。探空资料取自该区域及其邻近地区共 11 个探空站 1981~1990 年每日两个时次(北京时间 08:00 和 20:00)的探空资料,选取的垂直层地依次为:地面,850,700,500,400,300,250hPa。农作物种植类型取自《中国农作物种植图》。

3 10a 平均逐月大气水份平衡特征

3.1 平流净输出量

表 2 为 10a 平均逐月通过平流由区域各边输入、输出的水汽量,其中正值为向外输出水汽,负值为向区域内输入水汽。为研究方便,已将输入、输出的水汽量折算为毫米水深。

由表 2 可以看出:(1)多年平均,环渤海地区通过平流净输出的水汽为负值,每年通过平流净输入水汽平均为 26.8mm。(2)5~8 月,该地区有水汽净输入,输入量以 7 月份最大,达 247.6mm。9 月至次年 4 月,水汽为净输出,输出量以 10 月份最大,为 87.1mm。(3)3~10 月,水汽主要由西南气流输送,特别是 6~8 月,水汽输送量大。冬季,主要靠西北气流输送水汽,输送量小。(4)即使在干旱严重的 80 年代,每年由平流输入该地区的水汽也达 6 334mm,约为该地区平均降水量的 11 倍,但这些水汽大部分都通过平流流出而未形成降水。

3.2 地气间的水汽净交换量

表 3 为 10a 平均的逐月地面蒸发量、降水量及地气间的水汽净交换量。为比较方便起见,

将平流净输出量 ΔQ 和水份变化量 Δq 也列入表。

由表 3 可知, (1) 该研究区域年平均降水量大于实际蒸发量。1981~1990 年该区域年平均降水量为 587.1mm, 低于其累年平均降水量, 是总体偏旱的 10a。此间, 其陆面年平均实际蒸发量为 556.2mm, 地气间水汽净交换量为 25.5mm。(2) 地气间水汽净交换量的年变化。6~9 月, 降水量大于蒸发量; 其他月份则小于蒸发量。春季(3~5 月), 蒸发量比降水量多 87.2mm, 春旱频发而严重, 常致地面水断流、地下水超采。(3) 4~7 月, 大气中水汽含量逐月增加, 以 7 月增加最多; 8 月至次年 3 月, 水汽含量减少。

表 2 研究区域 10a 逐月平均输入和输出的水汽量(mm)

Tab. 2 Averaged output & input/month of vapour within 10 a of researched region (mm)

月份	区域各边界					输入合计	输出合计	净输出量
1	-53.1	103.1	179.8	4.2	-204.9	-258.0	287.1	29.1
2	-34.3	98.8	167.8	-7.6	-203.1	-245.0	266.6	21.6
3	0.8	146.7	182.8	-41.7	-270.5	-312.2	330.3	18.7
4	86.6	208.0	152.0	-86.9	-350.6	-437.5	446.6	9.1
5	69.7	276.1	194.8	-108.8	-461.6	-570.4	540.6	-29.8
6	224.6	313.0	156.6	-138.0	-563.4	-701.4	694.2	-7.2
7	541.9	595.4	72.5	-601.6	-855.8	-1 457.4	1 209.8	-247.6
8	404.0	402.8	54.5	-265.7	-600.9	-866.6	861.3	-5.3
9	34.9	219.2	310.6	-20.0	-518.7	-538.7	564.7	26.0
10	15.8	210.9	319.3	-28.5	-430.4	-458.9	546.0	87.1
11	-25.3	174.8	237.5	-28.1	-319.7	-373.1	412.3	39.2
12	-59.4	124.1	200.0	-2.6	-229.2	-291.2	324.1	32.9
合计	1 206.2	2 872.9	2 228.2	-1 325.3	-5 008.8	-6 334.1	6 307.3	-26.8

表 3 10a 平均逐月水份平衡各分量(mm)

Tab. 3 All averaged fractions/month of water balance within 10 a (mm)

月份	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	合计
P	8.7	7.2	16.8	22.6	48.0	65.7	162.1	138.7	58.9	26.1	16.5	9.5	581.7
E	9.5	12.8	32.7	59.0	82.9	63.7	97.1	89.5	51.7	33.2	14.2	9.9	556.2
ΔN	-0.8	-5.6	-15.9	-36.4	-34.9	2.0	65.0	49.2	7.1	-7.1	2.3	-0.4	25.5
ΔQ	29.1	21.6	18.1	9.1	-29.8	-7.2	-247.6	-5.3	26.0	87.1	39.2	32.9	-26.8
Δq	-28.3	-16.0	-2.2	27.3	64.7	5.2	222.6	-43.9	-33.1	-80.0	-41.5	-30.5	/

3.3 地表蒸发量与水汽平流输入量的比较

10a 平均, 水汽平流输入量 $Q_1=6\ 334.1\text{mm/a}$, 地表蒸发量 $E=556.2\text{mm/a}$, $Q_1+E=6\ 890.9\text{mm/a}$, $\frac{Q_1}{Q_1+E}=91.9\%$ 。亦即大气中约 92% 的水汽由境外平流输入, 因此主要是从境外得到水汽而降水的。

3.4 水汽净输出量与降水量的比较

将表 2 的逐月水汽净输出量与表 3 的逐月降水量进行相关检验, 其相关系数 $r=-0.762\ 5$, 通过可信限 0.01 的显著性检验, 即二者呈显著负相关。在水汽净辐合的月份, 降水量大, 即在水汽净辐散的月份降水量小。

3.5 大气水份平衡

由上述各分量可知, 10a 平均水汽平流净输出量 $\Delta Q=-26.8\text{mm/a}$, 地气间水汽净交换量 $\Delta N=25.5\text{mm/a}$, 基本满足大气水份平衡方程。其误差 $\Delta=\Delta N+\Delta Q=-1.3\text{mm/a}$, 在允许范

围内,各分量值可信。

4 旱、涝年大气水份平衡各分量的比较

研究区域 1981,1986,1989 年的降水量远低于 10a 平均降水量,属典型干旱年份;1990,1985 年的降水量大于 10a 平均降水量,为涝年。以上述年份为旱、涝年代表,将旱、涝年大气水汽平衡各分量列入表 4。

表 4 旱、涝年大气水份平衡各分量比较(mm)

Tab. 4 All fractions of atmosphere water balance of drought year Vs. flood year (mm)

类别	水汽通量					Q_1	Q_2	ΔQ	P	E
	N	NE	SE	S	W					
早年	412.6	2 718.5	2 630.4	-848.9	-4 775.5	-5 624.45	761.4	137.0	438.8	546.8
涝年	1 995.1	3 325.0	1 775.0	-1 915.9	-5 400.7	-7 316.67	095.1	-221.5	831.0	583.2
10a 平均	1 206.2	2 873.9	2 328.2	-1 325.3	-5 008.8	-6 334.16	307.3	-26.8	581.7	556.2

由表 4 的比较可看出,(1) 早年,水汽净输出量为正值,即为水汽净辐散区,因西南气流弱,输送的水汽量小;涝年,水汽净输出量为负值,即为水汽净辐合区,因由西南气流输送的水汽量大。(2) 早年,降水量小于蒸发量,因而导致地表水面缩小、地下水超采。特别是连年干旱,使土壤含水量减少、地表水断流、地下水位下降,引起海咸水内侵。相反,涝年时降水量大于蒸发量,使地面水和地下水得到补充,但降水量往往是由几场暴雨组成,有相当部分径流入海,且往往形成洪涝灾害。

5 小结

通过上述分析讨论,可得出如下结论:

5.1 多年平均看,环渤海系汽汇,每年通过平流净输入的水汽量为 26.8mm,其年变化 5~8 月为净输入,9 月至次年 4 月为净输出。水汽主要由西南气流输送。

5.2 每年由平流输入该地区的水汽量约为平均降水量的 11 倍,但大部分通过平流输出而未能形成降水。区内主要从境外得到水汽而形成降水,降水量大小与水汽净输出呈显著负相关。早年为水汽净辐散区,涝年为净辐合区;在水汽净辐合的月份,降水量大,反之则否。

5.3 该区地气间水汽净交换量多年平均值为 25.5mm。其季节变化特点:6~9 月降水量大于蒸发量,其他月份则相反。不同年份地气间水汽净交换量不同,早年,蒸发大于降水;涝年,相反。

参考文献

- [1] 李克煌,1990。气候资源学。河南大学出版社,238~252。
- [2] 谢贤群、左大康。1991。农田蒸发-测定与计算。气象出版社,154~160。
- [3] 郑剑非,1982。气象科技 2:28~43。

[4] 中国土地利用图编委会,1990。中国土地利用图。中国地图出版社,65~68。

RESEARCH ON ATMOSPHERIC WATER BALANCE CHARACTERISTICS OF THE REGION AROUND BOHAI SEA

Li Aizhen, Zhang Fuqiang, Zhang Guiqin and Liu Houfeng

(*Population, Resource and Environment College, Shandong Normal University, Jinan 250014*)

Received: Nov. 10, 1995

Key Words: Atmosphere vapour; Balance; Net vapour output; Net exchange of ground vapour, Atmosphere vapour

Abstract

Using the data of surface meteorology, aerological observation, and land utilization for region around Bohai Sea, authors calculated the region's all magnitudes of balance equation on atmospheric vapour, analysed the variance characteristics, and investigated their relationships.