

# 我国华北地区蒸发能力及其变化趋势分析

谢新民 郭洪宇 尹明万 王浩

(中国水利水电科学研究院水资源研究所 北京 100044)

张海亮 贾守喜 张汝信 张海庆

(河南省安阳市水利局 安阳 455000)

**【摘要】** 根据典型观测站实测资料系列,分析了华北地区近四十年来降水量和蒸发能力(水面蒸发量)的变化趋势;并利用相关分析技术,分析了蒸发能力(水面蒸发量)与风速、温度、湿度、日照等之间的相关关系。分析结果表明,华北地区近四十年来蒸发能力呈现持续下降的态势,影响山丘区蒸发能力的主要因素为日照、降水量和湿度、风速,而影响平原区蒸发能力的主要因素为风速、湿度和日照、温度。这一重要的科学发现,不仅澄清了以前的一些模糊认识,而且对于重新核定更科学的灌溉定额和制定更合理的灌溉制度具有重要的参考价值。

**【关键词】** 降水量 蒸发能力 水面蒸发量 相关系数 灌溉定额 灌溉制度

近二十年来随着我国社会经济的蓬勃、快速发展,耗用水量急剧增加,水资源供需矛盾日趋严峻。尤其是华北地区,随着水资源的极度紧缺,传统的粗放型灌溉农业的发展面临着越来越大的压力,以前制定的基于充分灌溉的丰产灌溉定额与灌溉制度越来越难以实现;同时,农业灌溉用水量被工业和生活用水大量“挤占”的局面也很难短时间内得到根本性的改观。总之,严峻的水资源短缺,已经迫使传统的粗放型灌溉农业朝着节水型高效农业方向发展。目前,迫切需要重新核实和制定更为合理的灌溉定额及节水高效灌溉制度,以确保节水高效农业的健康发展。

由于世界性的温室效应等原因,目前全球的气温普遍抬升,尤其是我国华北地区近二十年来伴随着降水量总体上偏枯,蒸发能力(水面蒸发量)是增大还是减少,以及变化趋势如何,越来越引起人们的关注。众所周知,一个地区或流域蒸发能力的大小,直接影响到当地农作物耗需水量的多寡,对

于重新核定更合理的灌溉定额和制定更科学的灌溉制度具有重要的参考价值。

基于上述考虑,我们在河南省豫北地区选择若干个具有一定代表性的观测站,分别作为华北地区山丘区和平原区的代表站,分析和研究气象因素风速、温度、湿度、日照、降水量与水面蒸发量及其多年变化趋势,并通过相关分析法计算和确定水面蒸发量与风速、温度、湿度、日照等之间的相关系数,分析影响山丘区和平原区蒸发能力(水面蒸发量)的主要因素。

## 1 降水量与水面蒸发量变化趋势

### 1.1 降水量

选择林州站与安阳站、道口站分别作为山丘区和平原区的代表站,分析不同系列的平均年降水量及其变化趋势。具体分析结果,见表1-1和图1-1~图1-3。

表1-1 不同系列的平均年降水量及其对比分析结果

分区名称	1956~98 年平均年 降水量 (mm)	1956~79 年平均年 降水量 (mm)	1980~98 年平均年 降水量 (mm)	1989~98 年平均年 降水量 (mm)	$\frac{P_{24} - P_{43}}{P_{43}}$ (%)	$\frac{P_{19} - \bar{P}_{43}}{P_{43}}$ (%)	$\frac{\bar{P}_{10} - P_{43}}{P_{43}}$ (%)	$\frac{\bar{P}_{19} - P_{24}}{P_{24}}$ (%)	代表 站名
山丘区	666.6	712.7	608.5	604.1	6.9%	-8.7%	-9.4%	-14.6%	林州
平原区	564.8	596.9	524.3	550.1	5.7%	-7.2%	-2.6%	-12.2%	安阳
	581.5	641.4	515.4	522.9	10.3%	-11.4%	-10.1%	-19.6%	道口

注:  $P_{43}$  为 1956~1998 年平均降水量;  $\bar{P}_{24}$  为 1956~1979 年平均降水量;  $\bar{P}_{19}$  为 1980~1998 年平均降水量;  $\bar{P}_{10}$  为 1989~1998 年平均降水量; 负号“-”表示偏小; “ ”表示偏大。

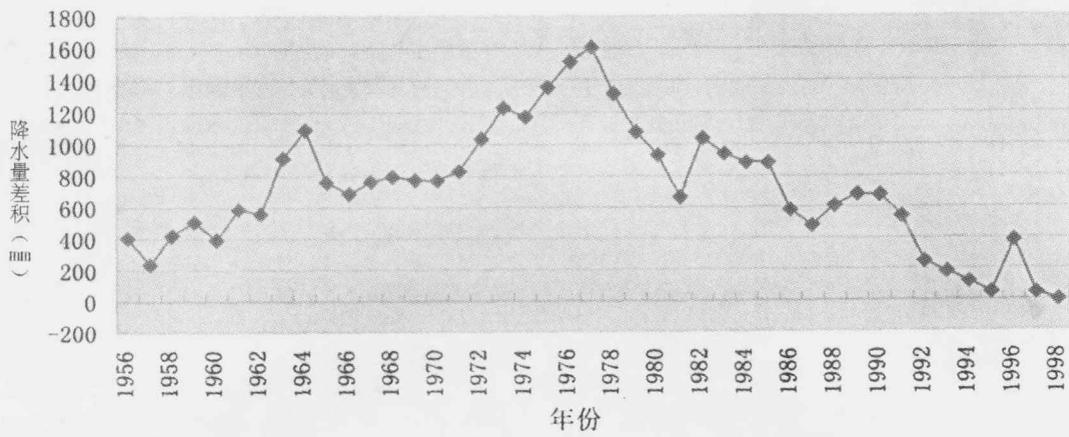


图 1-1 林州站年降水量差积曲线图

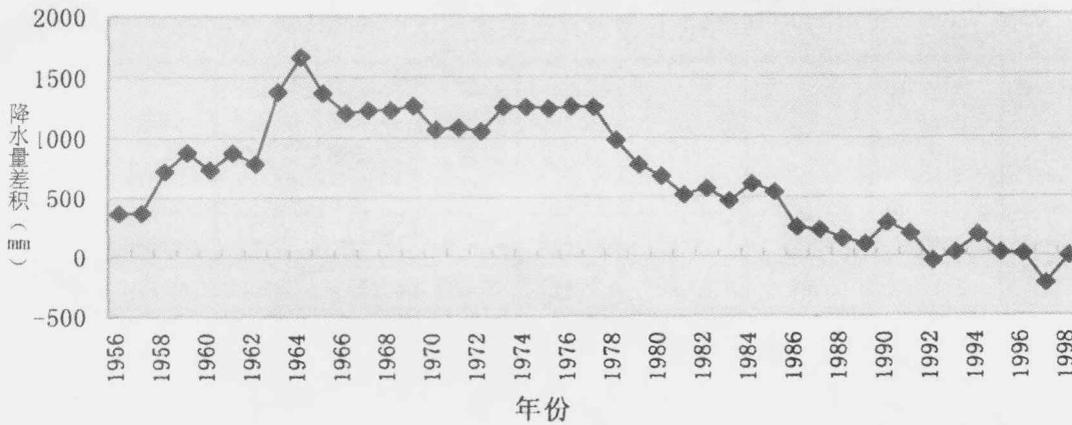


图 1-2 安阳站年降水量差积曲线图

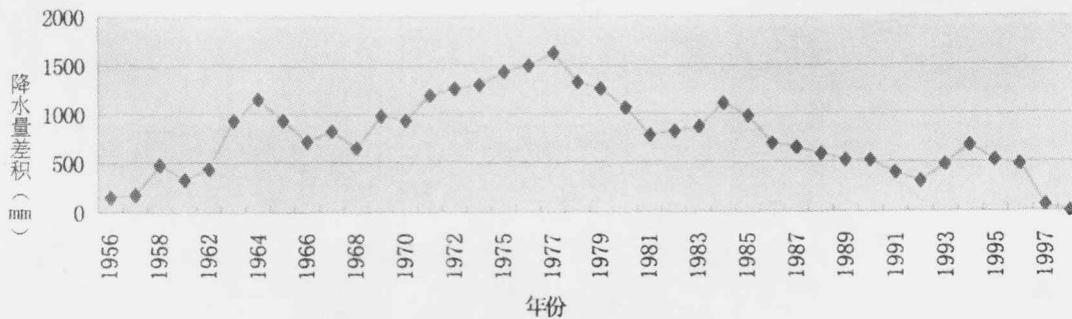


图 1-3 道口站年降水量差积曲线图

从表 1-1 中可以看出, 华北地区 1956 ~ 1979 年的平均年降水量比 1956 ~ 1998 年的偏大, 一般偏大 5% ~ 11%; 近 20 年 (1980 ~ 1998 年) 与 1956 ~ 1998 年、1956 ~ 1979 年相比, 平均年降水量分别偏小 7% ~ 12% 和 12% ~ 20%; 而近 10 年 (1989 ~ 1998) 与 1956 ~ 1998 年相比, 平均年降水量偏小 3% ~ 10%。

从图 1-1 ~ 图 1-3 中可以看出, 华北地区降水量的丰枯变化规律可大致归纳为两种类型: 第一

种类型以山丘区林州站和平原区道口站为代表, 表现为从五十年代中后期到七十年代中后期年降水量总体上比较偏丰, 属于大的丰水期, 而七十年代中后期至九十年代后期年降水量总体上表现为偏枯, 属于大的枯水期; 第二种类型以平原区安阳站为代表, 表现为从五十年代中后期到六十年代初期年降水量总体上表现为偏丰, 属于比较大的丰水期, 而从六十年代初至九十年代后期年降水量总体上表现为偏枯, 属于大的枯水期。

1.2 水面蒸发量

水面蒸发量是反映当地蒸发能力的指标，主要受气压、气温、湿度、风力、辐射等气象因素的综合影响。选择四个代表性测站的水面蒸发量长系列

资料，分成 1956~1998 年、1956~1979 年、1978~1998 年、1980~1998 年实测资料系列进行对比和分析。其分析结果，见表 1-2 和图 1-4。

表 1-2 不同系列的平均年水面蒸发量及其对比分析结果

分区名称	测站名称	1956~98 年平均 蒸发量 (mm)	1956~79 年平均 蒸发量 (mm)	1978~98 年平均 蒸发量 (mm)	1989~98 年平均 蒸发量 (mm)	$\frac{\bar{E}_{24} - \bar{E}_{43}}{\bar{E}_{43}}$ (%)	$\frac{\bar{E}_{21} - \bar{P}_{43}}{\bar{E}_{43}}$ (%)	$\frac{\bar{E}_{10} - \bar{P}_{43}}{\bar{E}_{43}}$ (%)	$\frac{\bar{E}_{10} - \bar{P}_{21}}{\bar{E}_{21}}$ (%)
山丘区	天桥断	—	—	1007.5	954.8	—	—	—	-5.2
	南乐	1206	1434.3	933.8	854.7	18.9	-22.6	-29.1	-8.5
平原区	新村	1353	1539.5	1148.3	1035.6	13.8	-15.1	-23.5	-9.8
	淇门	1069	1231.3	899.8	793.2	15.2	-15.8	-25.8	-11.8

注： $\bar{E}_{43}$  为 1956~1998 年平均年水面蒸发量； $\bar{E}_{24}$  为 1956~1979 年平均年水面蒸发量； $\bar{E}_{21}$  为 1978~1998 年平均年水面蒸发量； $\bar{E}_{10}$  为 1989~1998 年平均年水面蒸发量；负号“-”表示偏小；“ ”表示偏大。

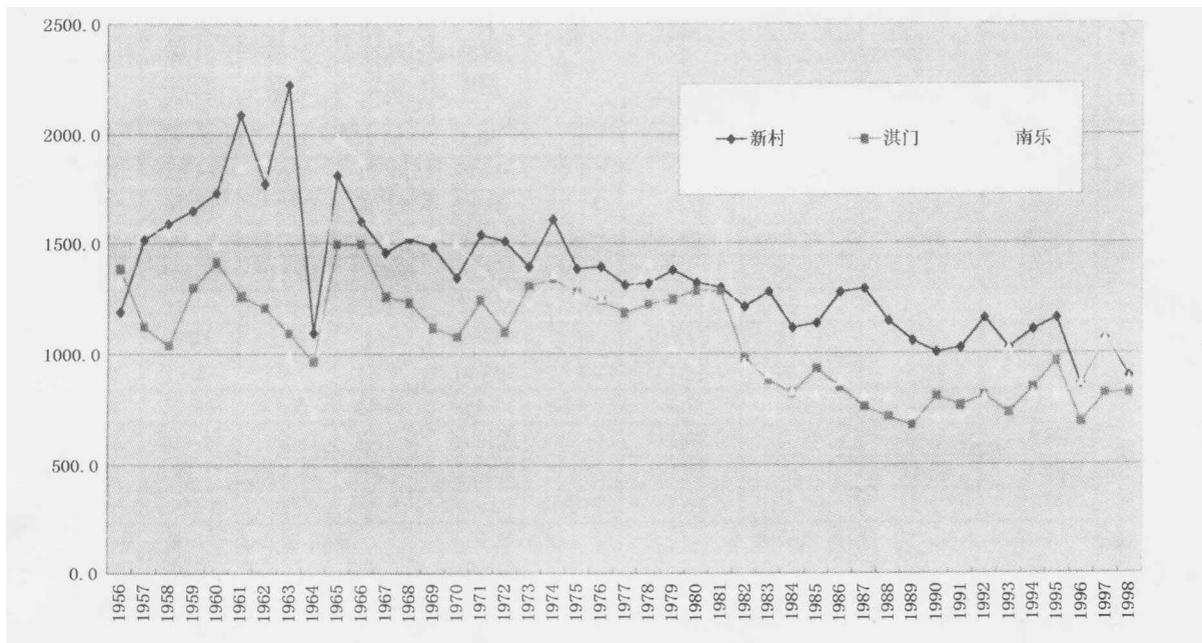


图 1-4 代表性测站水面蒸发量过程线图

从表 1-2 中可以看出，实测资料系列的长短对所求得的平均年水面蒸发量影响比较大。前 24 年（1956~1979 年）系列的平均年水面蒸发量比长（1956~1998 年）系列均值偏大 14%~19%；而近 21 年（1978~1998 年）系列的平均年水面蒸发量比长系列均值偏小 15%~23%；近 10 年（1989~1998 年）系列的平均年水面蒸发量与长系列相比则偏小更多，为 24%~29%。

另外，从图 1-4 中可以看出，自五、六十年代以来水面蒸发量总体上表现为持续下降的趋势，尤其是近 20 年来其变化趋势与降水量基本上保持一致。

2 影响水面蒸发量的主要因素

由于豫北地区的气象资料大多数是从 1961 年开始有比较完整的实测记录的，为此选择资料完备的林州站（山丘区代表站）和滑县（道口）站（平原区代表站）1961~1998 年的实测资料系列，分析各气象因素的多年变化趋势和影响水面蒸发量的主要因素。

2.1 各气象因素的变化趋势

利用各代表站实测资料系列，对山丘区和平原区各气象因素的变化趋势进行分析和对比。具体分析结果，列于表 2-1 中。

表 2-1 不同年代六项气象指标分析结果对比表

单位: m/s、℃、%、h、mm、mm

指标	六十年代均值	七十年代均值	八十年代均值	九十年代均值	长系列均值	$\frac{Y_{60}-Y}{Y}$ (%)	$\frac{\bar{Y}_{70}-\bar{Y}}{\bar{Y}}$ (%)	$\frac{\bar{Y}_{80}-\bar{Y}}{\bar{Y}}$ (%)	$\frac{\bar{Y}_{90}-\bar{Y}}{\bar{Y}}$ (%)	代表站名
风速	1.66	1.63	1.31	1.03	1.42	19.72	14.79	-7.75	-27.46	林州站
温度	12.86	12.96	12.44	13.06	12.82	0.31	1.09	-2.96	1.87	
湿度	63.87	67.09	66.23	67.24	66.14	-3.43	1.44	0.14	1.66	
日照	208.4	201.48	183.62	179.49	193.21	7.86	4.28	-4.96	-7.10	
降雨	616.27	575.01	518.43	578.72	570.77	7.97	0.74	-9.17	1.39	
蒸发*	—	—	999.52	951.32	976.69	—	—	2.34	-2.60	
风速	3.74	3.23	2.66	1.92	2.89	29.41	11.76	-7.96	-33.56	滑县站
温度	13.57	13.63	13.57	14.22	13.74	-1.24	-0.80	-1.24	3.49	
湿度	67.01	67.72	67.69	69.3	67.92	-1.34	-0.29	-0.34	2.03	
日照	204.45	192.27	172.24	161.67	181.43	12.69	5.97	-5.07	-10.89	
降雨	658.21	619.48	508.74	522.76	577.65	13.95	7.24	-11.93	-9.50	
蒸发*	1233.6	1220.9	917.54	806.36	1045.9	17.95	16.73	-12.27	-22.90	

注:  $\bar{Y}_{60}$ 为六十年代平均值;  $\bar{Y}_{70}$ 为七十年代平均值;  $\bar{Y}_{80}$ 为八十年代平均值;  $\bar{Y}_{90}$ 为九十年代平均值;  $Y$ 为六十年代到九十年代整个系列的平均值; 负号“-”表示偏小; “ ”表示偏大; 林州站水面蒸发量引用的是天桥断站的资料; 滑县站水面蒸发量引用的是淇门站的资料。

从表 2-1 中可以看出, 华北地区无论是山丘区还是平原区各气象因素近四十年来的变化趋势为: (1) 风速总体上呈现递减趋势变化, 如六七十年代的平均风速比长系列均值偏高 11% ~ 30%, 八九十年代的平均风速比长系列均值偏低 7% ~ 34%; (2) 温度除八十年代偏低外总体上呈递增趋势变化, 其中九十年代的平均温度最高, 比长系列均值偏高 1.9% ~ 3.5%; (3) 湿度总体上是呈递增趋势变化的, 九十年代的平均湿度最高, 比长系列均值偏高 1.7% ~ 2.1%; (4) 日照时间总体上是呈递减趋势变化的, 九十年代的平均日照时间最短, 比长系列均值偏低 7% ~ 11%; (5) 水面蒸发量总体上呈现递减趋势变化, 九十年代的平均水面蒸发量最小, 比长系列均值偏低 3% ~ 23%; (6) 降水量总体上呈递减趋势变化, 八十年代的平均降水量最小, 比长系列均值偏低 9% ~ 12%。

2.2 水面蒸发量的主要影响因素

从代表站的气象因素分析结果可看出, 近四十年来华北地区六七十年代的风速最大, 温度最低, 湿度最小, 日照时间最长, 而降水量和水面蒸发量均最大; 八十年代的风速减小、温度升高、湿度增大, 日照时间变短, 降水量和水面蒸发量均变小;

而九十年代的风速、日照时间均继续减小, 湿度和温度都继续增大, 水面蒸发量继续变小, 但平均降水量却略有增大。这说明, 水面蒸发量受风速、温度、湿度、日照的影响比较大, 而受降水量的影响比较小。

为了进一步分析水面蒸发量与风速、温度、湿度、日照和降水量之间的相关程度, 利用山丘区和平原区的代表站(林州站、滑县站)长系列资料, 分别计算年水面蒸发量与其它气象指标之间的相关系数(见表 2-2)。其计算公式为:

$$r = \frac{\sum(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum(x_i - \bar{x})^2 \sum(y_i - \bar{y})^2}} \quad (2-1)$$

式中:  $r$ 为两个变量的相关系数;  $x_i$ 与  $y_i$ 为两个变量不同年代系列的平均值;  $\bar{x}$ 与  $\bar{y}$ 为两个变量整个系列长度的平均值。

表 2-2 水面蒸发量与其它气象指标的相关系数(r)计算结果

代表站	系列长度	风速	温度	湿度	日照	降水量
林州站	1980~1998	0.37	0.02	-0.56	0.63	-0.59
滑县站	1961~1998	0.78	-0.23	-0.47	0.35	-0.00

注: 负号“-”代表负相关, “ ”代表正相关

(下转 33 页)

状情况确定的。这一指标所对应的塔河生态状况是：塔河来水 46.5 亿  $m^3$ ，大西海子以下多年平均输水 0.45 亿  $m^3$ ，在丰水年，大西海子水库可向下游放水 1~1.5 亿  $m^3$  水量，台特马湖消失，但水还可以流到英苏（距大西海子水库下游 50km）以下。

现在再看这一数值，也很难定出比它更好、更科学的指标。塔河的来水一直是一个下降的趋势，如果我们现在再以九十年代的平均值为标准，就会发现这个指标还要下降。问题在于我们已经不能再让这个趋势发展下去了，所以把流域规划中确定的三源流向塔里木河干流输水 46.5 亿  $m^3$  这个值作为

塔河干流的总耗水量，减去相应的农业用水量，就可得出我们应（更确切地说是我们可能）供给塔河干流的生态供水量。

从这个角度看塔河的治理目标，有些地方尚需商榷。如正在实施的世界银行塔里木二期项目，要求在项目结束后从大西海子向下游多年平均输水 3 亿  $m^3$ ；最近的塔河治理一期工程要求在工程结束后向下游输水 1.5 亿  $m^3$ ，这些目标的实现都还需有一定的保障措施。

（作者：唐教红 副总工程师 高级工程师）

（上接 27 页）

从表 2-2 中可以看出，对于山丘区水面蒸发量与风速、温度和日照之间为正相关，而与湿度和降水量之间为负相关，也就是说水面蒸发量与风速、温度和日照的变化趋势一致，与湿度和降水量的变化趋势正好相反。其中山丘区水面蒸发量与日照的相关性最密切，相关系数为 0.63，表现为正相关关系；其次是与降水量，其相关系数为 -0.59，表现为负相关关系；再其次是与风速，其相关系数为 0.37，表现为正相关关系；而最差的是与温度，其相关系数为 0.02，表现为正相关关系。平原区水面蒸发量与风速、日照之间表现为正相关关系，其相关系数分别为 0.78 和 0.35，而与湿度、温度和降水量之间呈负相关关系，相关系数分别为 -0.47、-0.23 和 -0.00。

### 3 结论与建议

#### 3.1 结论

华北地区蒸发能力（水面蒸发量）近四十年来总体上呈现递减趋势变化，而影响山丘区和平原区蒸发能力的因素不同，山丘区的主要影响因素为日照、降水量和湿度、风速，平原区的主要影响因素为风速、湿度和日照、温度。这一重要的科学发现，不仅澄清了以前的一些模糊认识，而且对于重新核定更为科学的灌溉定额和制定更为合理的灌溉制度具有重要的参考价值；同时也说明，我国积极倡导的植树造林活动是很有意义的，大量的植树造林不但可以美化环境，而更重要的是可以减小风

速，降低蒸发能力，减少农作物耗水量，从而有效地降低灌溉定额，减少农业灌溉需水量，在一定程度上缓解日益尖锐的供需水矛盾。

#### 3.2 建议

自二十世纪七十年代以来，世界性的水资源短缺日趋严重，占世界总人口四分之一的人受到不同程度的缺水威胁。由于水资源的严重短缺，我国华北地区传统的灌溉定额和灌溉制度已经很难正确地指导灌溉农业的健康发展，受到越来越多质疑。因此，目前迫切需要根据华北地区蒸发能力持续下降的态势，尤其是平原区九十年代的蒸发能力比 1961~1998 年多年平均值下降 23% 的实际情况，在深入研究和探讨农作物耗水机理及水分亏缺条件下抗逆反应机制的基础上，重新核定更为科学的农业节水高效灌溉定额和相应的灌溉制度，为保障国家粮食安全和节水高效农业的健康、持续发展提供科学的依据。

值得说明的一点是，由于受到各方面条件的限制，本次研究只在河南省豫北地区选择了一些资料比较完备的代表站进行了尝试性分析，而没有在更大的范围内选择更多的代表站进行更全面的分析。因此，该项成果可能存在一定的片面性，有待于将来进一步验证和充实完善。

（作者：谢新民 教授级高级工程师 硕士生导师；郭洪宇 博士；尹明万 高级工程师；王浩 教授级高级工程师；张海亮 主任 工程师；贾守喜 科长 工程师；张汝信 教授级高级工程师；张海庆 局长 高级工程师）