

文章编号:1004-8227(2010)08-0940-06

南水北调中线水源区与海河受水区旱涝遭遇研究

张利平^{1,2}, 秦琳琳¹, 张迪¹, 曾思栋¹

(1. 武汉大学水资源与水电工程科学国家重点实验室, 湖北 武汉 430072; 2. 中国气象局武汉暴雨研究所, 湖北 武汉 430074)

摘要: 南水北调中线工程水源区与受水区的旱涝遭遇性是跨流域水资源调配与管理运行的重要依据。利用我国近 500 a 旱涝等级历史资料和近几十年的实测雨量资料, 进行了南水北调工程水源区与海河受水区历史旱涝特征分析, 并采用集对分析法对水源区与海河受水区的旱涝遭遇进行了研究。结果表明: 南水北调中线水源区与海河受水区历史上旱涝灾害频发, 持续性旱涝灾害严重, 近 3 个世纪以来旱涝灾害发生次数和程度都呈现出增加的趋势。水源区与海河受水区旱涝的联系度很低, 两个区域的旱涝状态同步性比较差, 旱涝遭遇情况对工程调水有利的几率为 56.7%, 对工程调水不利的几率为 24.88%。因此, 要使南水北调工程发挥最大效益和价值, 还需要其他水利工程配合进行合理调控。

关键词: 南水北调; 中线工程; 旱涝遭遇; 集对分析
文献标识码: A

我国水资源的南北分布极不平衡, 旱涝出现频繁。近年来随着社会经济和工农业生产的发展, 华北地区水资源及供需形势十分紧张, 水资源危机也日益突出, 成为制约该地区可持续发展的严重问题^[1,2]。为缓解华北地区的水资源危机, 我国实施了从长江向华北引水的南水北调工程。南水北调中线工程从汉江丹江口水库引水(近期), 跨越长江、淮河、黄河、海河四大流域, 北上自流到北京、天津。水源区为汉江流域丹江口以上地区, 集水面积 $9.52 \times 10^4 \text{ km}^2$; 受水区范围约 $15 \times 10^4 \text{ km}^2$, 分为唐白河区、淮河区, 海河区^[3]。水源区与受水区的丰枯遭遇性直接影响调水工程的可靠性, 是跨流域水资源调配与管理运行的重要依据, 具有十分重要的现实意义。

由于受大规模人类活动影响, 水源区与受水区的径流资料系列难以满足水文系列样本的可靠性、一致性和代表性的要求, 因此过去关于南水北调中线工程水源区与受水区丰枯遭遇的研究工作, 大都利用天然区域降水资料进行分析^[3~7]。文献^[8~10]认为, 分析论证这一工程除考虑近几十年的水量外, 还应考虑其更长时间的丰枯变化。为此本文利用我国近 500 a 旱涝等级历史资料^[11]和近几十年的实测雨量资料, 尝试采用比较简单易行的集对分析法^[12~16]进行水源区与海河受水区的旱涝遭遇研究,

通过研究中线的旱涝统计特征, 具体分析水源区与海河受水区旱涝遭遇的频率, 为南水北调中线工程的实施和运行提供相应的科学依据, 使南水北调工程发挥最大效益。

1 资料和方法

1.1 资料

包括历史文献资料和实测资料。其中《中国近五百年旱涝分布图集》给出了代表站 1470~1979 年的旱涝史料, 划分为旱、涝 5 个等级, 即 1 级涝, 2 级偏涝, 3 级正常, 4 级偏旱, 5 级旱。根据资料情况, 水源区选用汉中、安康 2 站, 海河选用北京、天津、石家庄、保定 4 站。然后参考文献^[11]的方法, 采用标准差方法, 计算了 1980~2000 年上述 6 站的旱涝等级, 建立了 531 a 完整的旱涝资料系列。为了减少单站实测资料的片面性, 取水源区和受水区各站的算术平均序列作为区域序列进行分析。

1.2 集对性分析原理

集对分析(Set Pair Analysis, SPA)是我国学者赵克勤提出的一种新的不确定性分析方法^[12], 在水文水资源中应用前景较为广阔^[12~16]。所谓集对就是具有一定联系的两个集合 A 和 B 所组成的一个

收稿日期:2009-07-12; 修回日期:2009-09-15

基金项目:国家重点基础研究发展规划(973)项目(2010CB 428400); 国家自然科学基金项目(40730632, 50879061)

作者简介:张利平(1971~), 男, 湖北省黄冈人, 副教授, 博士, 主要从事水文学研究。E-mail: zlpwhu@sina.com

对子,记为 $H(A, B)$, 研究它们之间的关系就是分析集对的关系。集对在水文水资源学中大量存在, 例如某水文要素的大中小, 高中低, 丰平枯等就是一个集对。集对分析的核心思想是把组成集对的两个集合就某研究特性作同一性、差异性、对立性分析, 并用联系度描述:

$$\mu_{A-B} = \frac{S}{N} + \frac{F}{M}i + \frac{P}{N}j = a + bi + cj \quad (1)$$

式中: N 为集合特性的总数; S 为同一性的数目; P 为对立性的数目; F 为差异性的数目; i 为差异度标记, 在 $[-1, 1]$ 区间视不同情况取值; j 为对立度标记, 在计算中一般取 -1 。为简便, 称 $a = S/N$ 为同一度, 称 $c = F/N$ 为差异度, 称 $c = P/N$ 为对立度, a, b 和 c 均为非负值且满足 $a + b + c = 1$ 。集对分析是一种非常简便的分析方法, 是用一个充分体现同、异、反变化特性的联系度函数来表征不同集合之间的不确定的关系。应用集对分析的关键在于确定同、异、反变化特性的定量标准并统计其数量, 在此基础上用联系度来解决研究问题。

表 1 南水北调中线工程水源区与海河受水区旱涝等级分布

Tab. 1 Drought-waterlogging Grade Distribution of Water Source Area and Receiving Area in the Middle Route of South-to-North Water Transfer Project

等级 \ 年份	年份						合计	频数(%)
	1470~1500	1501~1600	1601~1700	1701~1800	1801~1900	1901~2000		
大涝	0(1)	5(3)	11(7)	4(2)	11(9)	11(3)	42(25)	7.91 (4.71)
偏涝	6(6)	23(25)	16(18)	26(18)	34(19)	21(18)	126(104)	23.73(19.59)
正常	14(14)	50(47)	49(34)	56(53)	40(43)	29(38)	238(229)	44.82(43.13)
偏旱	10(8)	18(22)	18(31)	11(24)	12(24)	26(34)	95(143)	17.89(26.93)
大旱	1(2)	4(3)	6(10)	3(3)	3(5)	13(7)	30(30)	5.65(5.65)
合计(涝)	6(7)	28(28)	27(25)	30(20)	45(28)	32(21)	168(129)	31.64(24.29)
正常	14(14)	50(47)	49(34)	56(53)	40(43)	29(38)	238(229)	44.82(43.13)
合计(旱)	11(10)	22(25)	24(41)	14(27)	15(29)	39(41)	125(173)	23.54(32.58)

注: 括号内为海河受水区的统计结果, 下同。

海河受水区自 15 世纪末以来, 旱涝发生频率较高, 以旱为主。不同程度的旱涝灾害共发生 302 次, 占总年数的 56.87%, 平均每 1.76 a 就有 1 次旱涝发生。在旱涝年中, 旱年占多数, 大旱和偏旱发生 173 次, 占总年数的 32.58%, 平均 3.07 年一遇, 其中大旱发生 30 次, 占总年数的 5.65%, 平均 17.7 a 发生 1 次; 偏旱发生 143 次, 占总年数的 26.93%, 平均 3.71 a 发生 1 次。不同程度的洪涝共发生 129 次, 占总年数的 24.29%, 平均 4.12 年一遇, 其中大涝发生 25 次, 占总年数的 4.71%, 平均 21.24 a 发生 1 次; 偏涝发生 104 次, 占总年数的 19.59%, 平均 5.1 a 发生 1 次。正常年 229 次, 占总年数的 43.13%。

2 南水北调工程水源区与海河受水区历史旱涝特征分析

2.1 旱涝出现频率高

表 1 为南水北调中线工程水源区与海河受水区 531 a 旱涝等级的分布统计。水源区自 15 世纪末以来, 旱涝发生频率较高, 以涝为主。不同程度的旱涝灾害共发生 293 次, 占总年数的 55.18%, 平均每 1.81 a 就有 1 次旱涝发生。在旱涝年中, 涝年占多数, 大涝和偏涝发生 168 次, 占总年数的 31.64%, 平均 3.16 年一遇, 其中大涝发生 42 次, 占总年数的 7.91%, 平均 12.64 a 发生 1 次; 偏涝发生 126 次, 占总年数的 23.73%, 平均 4.21 a 发生 1 次。不同程度的干旱共发生 125 次, 占总年数的 23.54%, 平均 4.25 年一遇, 其中大旱发生 30 次, 占总年数的 5.65%, 平均 17.7 a 发生 1 次; 偏旱发生 95 次, 占总年数的 17.89%, 平均 5.59 a 发生 1 次。正常年 238 次, 占总年数的 44.82%。

2.2 旱涝世纪分布不均

从表 1 还可发现旱涝发生的世纪分布非常不均。水源区旱涝年的出现频率 20 世纪最高, 达到了 71%; 其次是 19 世纪, 也达到了 60%; 18 世纪旱涝年出现频率最低, 只有 44%。涝年的出现频率 19 世纪最高, 达到了 45%, 比第二多的 20 世纪高了 13%, 说明这个世纪整体偏涝, 洪涝灾害非常严重。旱年的出现频率在 20 世纪最高, 出现了 39 次, 远高于干旱年第二多的 17 世纪的 24 次, 18 世纪和 19 世纪旱年的出现频率则最低。15 世纪最后 30 a 的旱涝灾害出现频率也比较高, 在 31 a 中, 出现了 17 次旱涝灾害, 出现几率达到了 54.84%, 其中干旱比率达到 35.48%, 在各个世纪中排第二, 仅次于 20

世纪。但洪涝年出现的几率只有 19.35%，为各世纪最低。16 和 17 世纪的旱涝出现频率非常接近，干旱年数和洪涝年数也基本一致，说明这两个世纪水源区的旱涝状况基本维持稳定。18 世纪正常年份占 56%，最为风调雨顺。

对于海河受水区，旱涝年世纪分布也是不均匀的。旱涝灾害出现频率最高为 17 世纪，占整个世纪中 66%；其次是 20 世纪，也达到了 62%。旱灾出现频率最高为 17 世纪和 20 世纪，达到了 41%，高于其它世纪 12% 以上。涝灾出现频率最高为 19 世纪和 16 世纪，达到 28%。15 世纪最后 30 a 和 19 世纪的旱涝出现频率比较接近，处在一个较高的水平，

表 2 南水北调中线工程水源区与海河受水区连旱连涝统计

Tab. 2 Continual Drought-waterlogging Characteristic of Water Source Area and Receiving Area in the Middle Route of South-to-North Water Transfer Project

年份	连涝				连旱							
	2 a	3 a	4 a	5 a	2 a	3 a	4 a	5 a	6 a	7 a	8 a	
1470~1500	0(2)	0(0)	0(0)	0(0)	1(0)	0(2)	1(0)	0(0)	0(0)	0(0)	0(0)	0(0)
1501~1600	5(2)	1(1)	0(0)	0(1)	5(4)	1(2)	0(0)	0(0)	0(0)	0(0)	0(0)	0(0)
1601~1700	2(3)	1(0)	1(1)	0(0)	1(4)	1(2)	0(1)	0(0)	0(1)	1(0)	0(1)	0(1)
1701~1800	6(2)	1(2)	1(0)	0(0)	1(4)	0(1)	1(1)	0(0)	0(0)	0(0)	0(0)	0(0)
1801~1900	2(5)	3(3)	4(0)	1(1)	2(4)	0(1)	1(1)	0(1)	0(0)	0(0)	0(0)	0(0)
1901~2000	3(3)	2(1)	0(1)	2(0)	4(6)	0(2)	1(1)	0(1)	1(0)	0(0)	0(0)	0(0)
合计	18(17)	8(7)	6(2)	3(2)	14(22)	2(10)	4(4)	0(2)	1(1)	1(0)	0(1)	0(1)

对于水源区，在 168 个洪涝年中，连涝年出现 35 次，共计 99 a，占涝年总数的 58.93%，其中持续 2 a 的洪涝有 18 次，持续 3 a 的洪涝有 8 次，持续 4 a 的有 6 次，持续 5 a 的有 3 次，没有出现持续 6 a 及以上的洪涝。在 125 个干旱年中，连旱年出现 22 次，共计 63 a，占旱年总数的 50.4%，其中持续 2 a 的干旱有 14 次，持续 3 a 的干旱有 2 次，持续 4 a 的有 4 次，持续 6 a 和 7 a 的各有一次。由此可见，水源区连涝年多于连旱年，其中以 2 a 连旱或连涝年最多。

对于海河受水区，在 129 个洪涝年中，连涝年出现 28 次，共计 72 a，占涝年总数的 55.81%，其中持续 2 a 的有 17 次，持续 3 a 的有 7 次，持续 4 a 的有 2 次，持续 5 a 的有 2 次，没有出现持续 6 a 及以上的洪涝。在 173 个干旱年中，连旱年出现 40 次，共计 134 a，占旱年总数的 77.46%，其中持续 2 a 的有 22 次，持续 3 a 的有 10 次，持续 4 a 的有 4 次，持续 5 a 的 2 次，持续 6 a 和 8 a 的各有一次。由此可见，海河受水区连旱年多于连涝年，其中以 2 a 连旱或连涝年较多。

分别达到了 54.8% 和 57%；18 世纪正常年份占 53%，最为风调雨顺，这与水源区是一致的。

另外可以发现，近 3 个世纪以来，旱涝灾害发生次数呈现出增加的趋势，特别是旱灾增加更为明显。这对于发挥南水北调中线工程的效益是不利的，应引起高度重视。

2.3 持续性旱涝比重大

持续性旱涝不仅持续时间长，而且造成灾害的严重程度也大，特别是多年连旱（连涝）损害更大。表 2 是水源区与海河受水区连旱连涝的持续年数统计表，从中可以看出，旱涝持续年数越长，出现次数也越少。

另外可以发现，近 3 个世纪以来，持续性旱涝灾害的程度呈现出加重的趋势。

2.4 旱涝变化周期

图 1 为水源区和海河受水区旱涝等级功率谱图，图中实线为功率谱值，虚线为白色噪音谱。从中可以看出，水源区旱涝具有 40 a、10 a 的年代际变化和 7 a、2~3 a 的际变化的周期特征，其中以 10 a、7 a、2 a 左右的周期最为显著。海河受水区旱涝具有 32 a、10 a 的年代际变化和 3.7 a、3.5 a、2.5 a 的际变化的周期特征，其中以 10 a、3.5 a、2.5 a 的周期最为显著。

图 2 为水源区和海河受水区旱涝等级小波分析图，小波系数正值（实线）表示处于干旱期，而负值（虚线）表示处于洪涝期。由图可见，水源区主要存在着 20~50 a 的年代际变化和 2~3 a 左右的际变化。海河受水区主要存在着准 50~80 a “世纪”变化、10~20 a 的年代际变化和 2~3 a 左右的际变化。对比两张图，还可以发现海河受水区的旱涝转换频率比水源区更快，这可能与全球气候变暖和全球水循环加快有关。

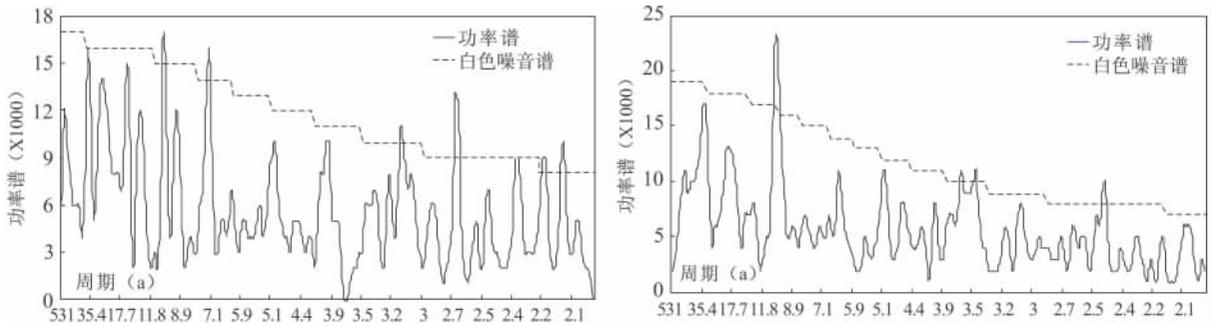


图 1 南水北调中线工程旱涝等级功率谱(左图为水源区,右图为海河受水区)

Fig. 1 Power Spectrum of Drought-waterlogging Grade in the Middle Route of South-to-North Water Transfer Project (Left is Water Source Area, Right is Water Receiving Area)

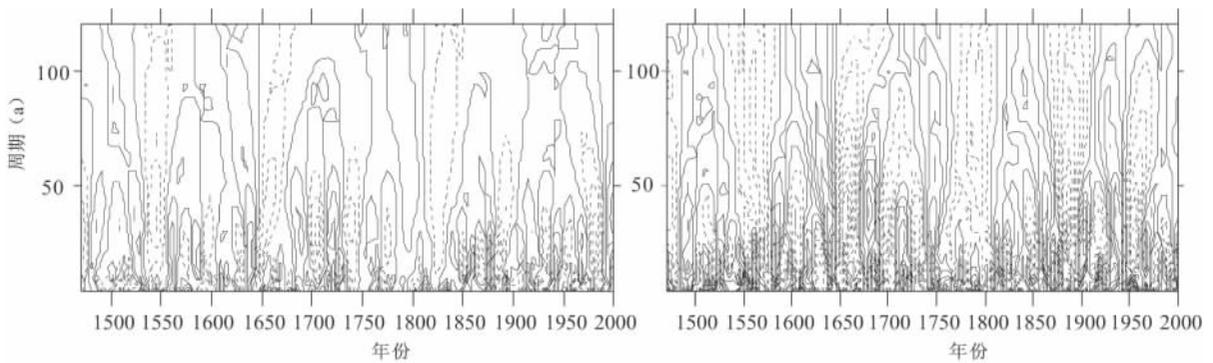


图 2 南水北调中线工程旱涝等级小波分析(左图为水源区,右图为海河受水区)

Fig. 2 Wavelet Analysis of Drought-waterlogging Grade in the Middle Route of South-to-North Water Transfer Project (Left is Water Source Area, Right is Water Receiving Area)

3 水源区与海河受水区历史旱涝集对分析

为了探讨水源区与海河受水区旱涝的集对关系,分别计算北京、天津、保定、石家庄 4 个站点与海河受水区之间,汉中和安康两个站点与水源区之间;汉中和安康与海河受水区之间;以及水源区与海河受水区旱涝等级之间的联系度。最后分析了水源区与海河受水区各种旱涝遭遇的概率。

由表 3 的分析可以看出,海河受水区的北京、天津、保定、石家庄 4 个站点与海河受水区平均旱涝等级联系系数比较大,尤其是北京、保定、石家庄 3 个站点,与海河流域平均旱涝等级的联系系数均达到了 0.6 以上,天津站稍低,但也达到了 0.585。若将同状态和异状态一并考虑,取 $i=1$,则联系度值 $\mu \approx 1$,即北京、天津、保定、石家庄 4 个站点与海河受水区的旱涝等级出现准相同状态的可能性接近 100%。由此说明可以用以上 4 个站点的平均旱涝等级来总体描述海河流域 531 a 的旱涝状态是可行的。

表 3 北京、天津、保定、石家庄 4 个站点与海河受水区旱涝等级的联系度

Tab. 3 Drought-waterlogging Grade Connection Degree Between Beijing, Tianjin, Baoding, Shijiazhuang and Water Receiving Area of Hai River

系数 站点	a	b	c	联系系数 ($i=0, j=-1$)
北京	0.685	0.301	0.013	0.672
天津	0.618	0.35	0.032	0.585
保定	0.691	0.305	0.004	0.687
石家庄	0.653	0.335	0.011	0.642

对于水源区(表 4),汉中和安康两个站点与水源区平均旱涝等级联系更加紧密,联系系数非常大,都达到了 0.925 以上。若将同状态和异状态一并考虑,取 $i=1$,则联系度值 $\mu=1$,也就是说这两个站点与水源区的旱涝等级从未出现过反状态,用这两个站点的平均旱涝等级来描述水源区的旱涝状态是准确的。

表 5 为水源区汉中、安康与受水区旱涝等级的联系度。从中可以发现汉中、安康与海河受水区旱涝出现相同状态的可能性为 38%和 39.3%,出现相

反状态的可能性为 11.9% 和 11.5%，出现相异状态的可能性达到 50.1% 和 49.2%。根据水源区与海河受水区资料可以计算出 $a=0.39, b_i=0.501, c_j=0.109$ ，取 $i=0, j=-1$ ，则 $\mu = \frac{S}{N} + \frac{F}{N}i + \frac{P}{N}j = a + b_i + c_j = 0.2695$ 。由此可以看出水源区与海河受水区旱涝的联系度很低，说明两个区域的旱涝状态同步性比较差，具有一定的互补性，这对于南水北调中线工程的水资源调配是十分有利的。

表 4 汉江各站点与汉江流域平均旱涝等级的联系度

Tab. 4 Drought-waterlogging Grade Connection Degree Between Hanzhong, Ankang and Water Source Area of Han River

站点 \ 系数	a	b	c	联系系数 ($i=0, j=-1$)
汉中	0.925	0.075	0	0.925
安康	0.938	0.062	0	0.938

表 5 汉中、安康与海河受水区旱涝等级的联系度

Tab. 5 Drought-waterlogging Grade Connection Degree Between Hanzhong, Ankang and Water Receiving Area of Hai River

站点 \ 系数	a	b	c	联系系数 ($i=0, j=-1$)
汉中	0.380	0.501	0.119	0.261
安康	0.393	0.492	0.115	0.278

表 6 为南水北调中线工程水源区与海河受水区各种旱涝的遭遇情况。从表中可以看到，水源区出现涝而海河受水区出现大旱或偏旱的几率分别为 2.07% 和 0.38%，水源区出现偏涝而海河受水区出现大旱或偏旱的几率为 4.52% 和 0.38%，这是最有利于调水的情况，因此对南水北调中线工程调水最有利情况出现几率为 7.35%。另外当水源区是平水年而受水区是大旱、偏旱、平水年或者水源区是涝、偏涝年而受水区是平水年，也是对工程调水较为有利的遭遇情况，从表中可以看出这种情况出现几率为 49.35%。

表 6 水源区与海河受水区旱涝遭遇概率

Tab. 6 Drought-waterlogging Encounter Probability Between Water Receiving Area of Hai River and Water Source Area

受水区 \ 水源区	大涝	偏涝	正常	偏旱	大旱
大涝	0.38%	1.32%	1.88%	0.94%	0.19%
偏涝	2.64%	4.71%	8.66%	3.20%	0.38%
正常	2.64%	12.81%	19.59%	6.78%	1.13%
偏旱	2.07%	4.52%	12.05%	5.65%	2.64%
大旱	0.38%	0.38%	2.26%	1.51%	1.32%

当水源区与海河受水区同是大旱或偏旱时对南水北调中线工程调水是最不利的。从表中可以看到，海河受水区出现大旱而水源区出现偏旱、大旱的可能性为 2.64% 和 1.32%，海河受水区出现偏旱而水源区出现偏旱、大旱的可能性为 5.65% 和 1.51%。这种最不利于调水的情况出现几率为 11.12%。另外水源区出现偏旱、大旱或者大涝、偏涝而海河受水区出现大涝、偏涝的情况对工程调水也较不利，这种情况出现几率分别为 4.71% 和 9.05%。

综合上述结果，南水北调中线工程水源区与海河受水区旱涝遭遇情况对工程调水有利的几率为 56.7%，对工程调水不利的几率为 24.88%。

4 结论

南水北调中线工程是缓解我国华北和京津水资源供需矛盾的一项重要工程，通过研究，得到以下结论：

(1) 南水北调中线水源区与海河受水区都是历史上旱涝灾害频发的地区，水源区以涝为主，海河受水区则以旱为主。旱涝发生的世纪分布非常不均，近 3 个世纪以来，旱涝灾害发生次数呈现出增加的趋势，特别是旱灾增加更为明显。

(2) 南水北调中线水源区与海河受水区持续性旱涝灾害严重，水源区连涝年占涝年总数的 58.93%，连旱年占旱年总数的 50.4%；海河受水区连涝年占涝年总数的 55.81%，连旱年占旱年总数的 77.46%。而且近 3 个世纪以来，持续性旱涝灾害程度呈现出加重的趋势。

(3) 南水北调中线水源区旱涝具有 40 a、10 a 的年代际变化和 2~3 a 的年际变化特征，海河受水区旱涝具有 50~80 a“世纪”变化、10~20 a 的年代际变化和 2~3 a 年际变化特征。

(4) 集对关系的分析表明，北京、天津、保定、石家庄 4 个站点与海河受水区旱涝等级、汉中和安康两个站点与水源区旱涝等级联系紧密。水源区与海河受水区旱涝的联系度很低，两个区域的旱涝状态同步性比较差，具有一定的互补性。

(5) 南水北调中线工程水源区与海河受水区旱涝遭遇情况对工程调水有利的几率为 56.7%，对工程调水不利的几率为 24.88%，这与文献[3~7]所得结论非常类似，只不过具体数据大小有所差异，这也说明了应用集对方法来分析不同区域的旱涝遭遇

是可行和合理的。

因此要提高南水北调中线工程的利用价值和更好地发挥其效益,还须考虑其他调蓄工程、以及水资源调配与科学管理。

参考文献:

- [1] 张利平,夏 军,胡志芳. 华北地区降水多时间尺度演变特征[J]. 气候变化研究进展,2008,4(3):140~144.
- [2] 李思悦,刘文治,顾 胜,等. 南水北调中线水源区汉江上游流域主要生态环境问题及对策[J]. 长江流域资源与环境,2009,18(3):275~280.
- [3] 闫宝伟,郭生练,肖 义. 南水北调中线水源区与受水区降水丰枯遭遇研究[J]. 水利学报,2007,38(10):1 178~1 184.
- [4] 郑红星,刘昌明. 南水北调东中线不同水文区降水丰枯遭遇性分析[J]. 地理学报,2000,55(9):523~532.
- [5] 张有芷,周良芳,张少婕. 南水北调中线水源区与供水区降水丰枯遭遇分析[J]. 人民长江,1992,23(11):18~21.
- [6] 韩宇平,蒋任飞,阮本清. 南水北调中线水源区与受水区丰枯遭遇分析[J]. 华北水利水电学院学报,2007,28(1):8~11.
- [7] 王政祥,张明波. 南水北调中线水源与受水区降水丰枯遭遇分析[J]. 人民长江,2008,39(17):103~105.
- [8] 章 淹,谯季蓉,林锦瑞. 南水北调中线重大水旱变化及其影响[J]. 科技导报,2000(2):16~19.
- [9] 谯季蓉,林锦瑞,章 淹. 南水北调中线地区旱涝变化长期特征[J]. 气候与环境研究,1997,2(4):339~346.
- [10] 王政祥. 南水北调中线水源区与受水区旱涝特征统计[J]. 人民长江,2008,39(17):112~114.
- [11] 中央气象局气象科学研究所. 中国近五百年旱涝分布图集[M]. 北京:地图出版社,1980.
- [12] 赵克勤. 集对分析及其初步应用[M]. 杭州:浙江科学技术出版社,2000.
- [13] 殷 彤,黄晓荣,文 雯. 南水北调西线调水区与受水区年径流量丰、枯相关性集对分析[J]. 四川大学学报(工程科学版),2009,41(2):48~52.
- [14] 聂 艳,周 勇,雷文华,等. 基于集对分析法的农田土壤环境质量评价[J]. 长江流域资源与环境,2008,17(3):396~396.
- [15] 王文圣,李跃清,金菊良. 基于集对原理的水文相关分析[J]. 四川大学学报(工程科学版),2009,41(2):1~5.
- [16] 王文圣,向红莲,李跃清. 基于集对分析的年径流丰枯分类新方法[J]. 四川大学学报(工程科学版),2008,40(5):1~6.

DROUGHT-WATERLOGGING ENCOUNTER PROBABILITY RESEARCH BETWEEN THE WATER SOURCE AREA AND WATER RECEIVING AREAS IN THE MIDDLE ROUTE OF SOUTH-TO-NORTH WATER TRANSFER PROJECT

ZHANG Li-ping^{1,2}, QIN Lin-lin¹, ZHANG Di¹, ZENG Si-dong¹

(1. State Key Laboratory of Water Resources and Hydropower Engineering Sciences, Wuhan University, Wuhan 430072, China; 2. Wuhan Institute of Heavy Rain, China Meteorological Administration, Wuhan 430074, China)

Abstract: The drought-waterlogging encounter probability of water source area and receiving area in the Middle Route of South-to-North Water Transfer Project is the important basis of water resources adjustment and co-operation. The set pair analysis was applied to research the drought-waterlogging encounter probability of water source area and Hai river receiving area based on the drought-waterlogging grade data from 1470 to 1979 and measured precipitation data from 1980 to 2000. The results showed that the drought-waterlogging disaster occurred frequently, the continuous hazards were serious, and it had an increasing tendency of the drought-waterlogging disaster frequency and degree in recent three centuries. For the drought-waterlogging state between water source area and Hai river receiving area, the connection degree was very low and the synchronization was also relatively poor, the profitable frequency of the drought-waterlogging encounter for water transfer was 56.7%, and the disadvantageous frequency was 24.88%. In order to enhance the effectiveness and reliability of the Middle Route of South-to-North Water Transfer Project, we should enhance the ability of water resources adjustment and co-operation with other water resources projects to ensure the water security of receiving areas.

Key words: the South-to-North Water Transfer Project; middle route; drought-waterlogging encounter probability; Set Pair Analysis